

Zeitschrift:	Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	66 (1948)
Heft:	46
Artikel:	Die Windkanalanlage der kriegstechnischen Abteilung in Emmen (Luzern)
Autor:	Hausammann, W.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-56824

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die Windkanalanlage der Kriegstechnischen Abteilung in Emmen (Luzern)

DK 533.6.07 (494)

IV. Die automatischen Sechsdimensionen-Waagen

Von Dipl. Ing. B. GRAEMIGER, Zürich

A. Aufgaben-Stellung

Für die vollständige Kenntnis der vom Wind auf ein Flugzeugmodell ausgeübten Wirkung ist es notwendig, die Kräfte in der Richtung von drei Axen, und die Momente um diese Achsen zu messen. Außerdem müssen Anstell- und -Kurswinkel unter Belastung eingestellt und gemessen werden können. Ueber diese Verhältnisse und über die verwendeten Bezeichnungen gibt Bild 32 Aufschluss. Es zeigt zudem den grundsätzlichen Aufbau einer Waage zum Messen der genannten Größen, auf den wir später zu sprechen kommen werden. Das rasche und übersichtliche Messen verlangt die unmittelbare Angabe der Komponenten, ohne dass zu ihrer Ermittlung irgendwelche Rechnungen erforderlich sind.

Beim grossen Windkanal (Gr.W.K.) wurde auch die Messung des Staudrucks mittels einer Waage in Verbindung mit einem Zählwerk vorgeschrieben. Gegenüber üblichen Ausführungen wurde die Aufgabestellung erweitert, indem noch die Messung von zwei Ruderkräften, sowie die Verstellung und die Messung von zwei Ruderwinkeln hinzukamen. Man hat es hier also mit acht Komponenten zu tun. Für den Antrieb der Propellermotoren musste die Einführung von Starkstrom für 2×70 PS und außerdem einer Anzahl von Mesströmen in das Modell vorgesehen werden.

Beim Gr.W.K. müssen die Messergebnisse durch ein Schreibwerk selbsttätig protokolliert werden; ferner soll ein «Punktschreiber» über irgendeiner Komponente oder einem Winkel als Abszisse die übrigen Komponenten als Ordinaten aufzeichnen. Ueber die Hauptanforderungen an die beiden Mehrkomponenten-Waagen gibt Tabelle 1 (S. 631) Aufschluss.

(Fortsetzung von S. 571)

Man erkennt, dass beim Kl.W.K. die Kräfte zehnmal, die Momente etwa 28 mal kleiner sind, als beim Gr.W.K.

Damit die vorgeschriebenen negativen Werte möglich werden, müssen im Waagen-System entsprechende Vorspannungen vorgesehen sein. Die Kraftkomponenten und die den Momenten entsprechenden Kräfte werden letzten Endes auf Waagen-Elemente übertragen, die vermittelst einer Fernübertragung Zählwerke betätigen. Diese Elemente waren — abgesehen von kleinen und jederzeit ausgleichbaren Unterschieden — unter sich austauschbar zu gestalten. So ergab sich z. B. die Möglichkeit, für die verhältnismässig seltenen Ruderkräftmessungen die Anschaffung besonderer Elemente zu ersparen, indem hierfür am Kl.W.K. vorübergehend entbehrliche Elemente mit ihren Zählwerken verwendet werden.

Im ganzen wurden 13 Waagen-Elemente und 19 Zählwerke erforderlich. Um Wiederholungen zu vermeiden, seien die besondern Anforderungen, die an die Waagen-Elemente und an die Zählwerke gestellt werden mussten, bei deren Beschreibung und im Zusammenhang mit den erreichten Resultaten erörtert.

Wegleitend für die Konstruktion war die allgemeine Forderung, dass die Vorbereitung und die Durchführung der Messungen wenig Zeit und wenig Personal erfordern sollen.

B. System und Konstruktion der Mehrkomponenten-Waagen

1. Grundsätzlicher Aufbau (Bild 32)

An einem im Raum feststehenden oder in Richtung des Luftstrahles verschiebbaren Konus ist die um die vertikale Axe drehbare Messbühne aufgehängt. Sie trägt vermittelst des Kraftübertragungsmechanismus die sogen. «Spinne». Diese Bezeichnung röhrt her von der Form und der Gliederung dieses Baugliedes. Die Spinne besteht aus dem Spinnenrumpf und zwei dreiteiligen Spinnenarmen, die mit zwei Schultergelenken mit dem Rumpf verbunden sind. Die Spinnenarme tragen sechs Spinnenhände, an denen je drei profilierte Streben verstellbar befestigt sind. Diese vereinigen sich in den beiden Hauptaufhängepunkten B und C des Modells. Ein dritter Aufhängepunkt L ist im Heck des Flugzeuges eingebaut. Dort greift der Längsmomentendraht an. Die profilierten Streben müssen immer zur Windrichtung parallel sein, damit ihr Widerstand auf ein Minimum beschränkt bleibt. Der Widerstand der sechs profilierten Streben ist etwa gleich dem doppelten minimalen Modellwiderstand; hätte man runde Streben gleichen Querschnittes verwendet, so würde ihr Widerstand etwa den 15 fachen Modellwiderstand erreichen. Daraus ergibt sich die zwingende Forderung profilierten Streben und deren Parallelführung. Wenn also z. B. die Messbühne und mit ihr der Spinnenrumpf und das Modell im Sinne des Uhrzeigers um 20° gedreht werden (Schieben des Flugzeuges), so müssen die zwei dreiteiligen Spinnenarme um 20° im entgegengesetzten Sinne zurückgedreht werden. Dabei darf keine bleibende äussere Wirkung auf die Spinne, im besondern auf die Spinnenarme, auftreten. Der Widerstand der Aufhängestreben in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit wird durch einen Eichversuch bestimmt und bei der Auswertung der Messergebnisse des eigentlichen Versuches berücksichtigt.

Die auf das Flugzeugmodell wirkenden Kräfte und Momente werden durch die Spinnenarme auf den Spinnenrumpf übertragen. Von dort werden sie zum Zwecke der Messung abgenommen und zwar:

- Der Auftrieb in der absolut vertikalen A-Axe und das Gier- oder Kursmoment um diese Axe. Die A-Axe ist in Bezug auf die Windrichtung unveränderlich, gegenüber der Flugzeughochaxe dagegen geneigt, wenn das Flugzeug angestellt ist.
- Der Widerstand in der horizontalen W-Axe und das Rollmoment um diese Axe. Die W-Axe stellt die horizontale Projektion der Flugzeug-Längsaxe dar und ist daher hinsichtlich ihrer Lage in der Horizontalebene flugzeugorientiert.
- Die Seitenkraft in der horizontalen S-Axe und das Längsmoment um diese Axe. Die S-Axe ist vollständig flugzeugorientiert, weil im Windkanal eine Drehung des Modelles um die Flugzeuglängsaxe nicht vorkommt.

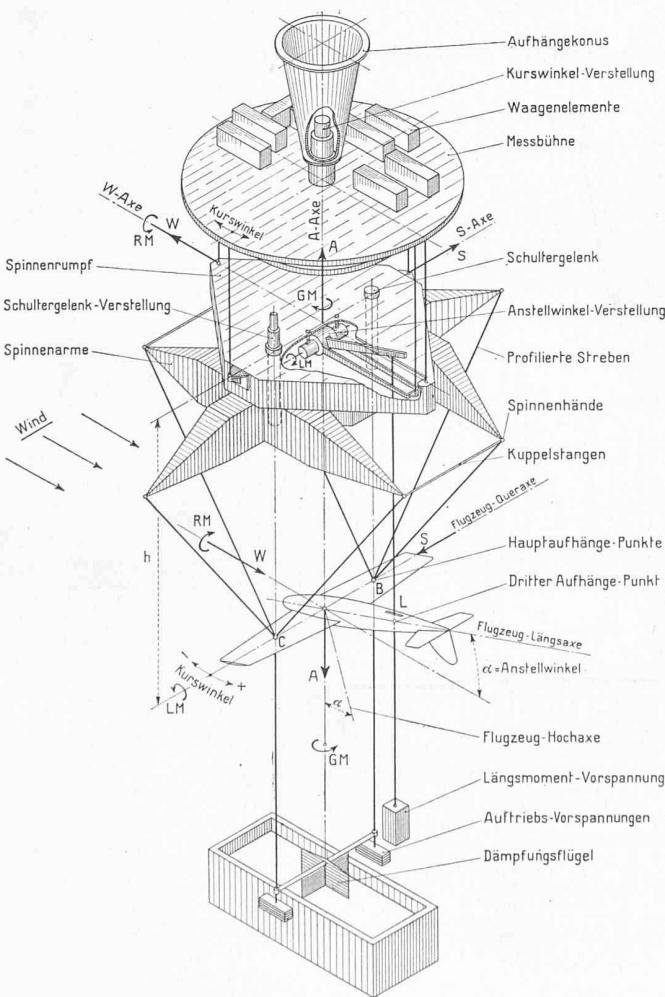


Bild 32. Genereller Aufbau einer Mehrkomponenten-Waage mit den Bezeichnungen der Einzelteile

In Bild 32 sind die vom Wind auf das Modell ausgeübten Kräfte und Momente eingezzeichnet; an der Spinnne sind sie in entgegengesetzter Richtung als von den Waagenelementen und den Vorspannungen ausgeübte Wirkungen eingezeichnet.

2. Generelles Schema des Uebertragungs-Mechanismus

Bild 33, das sich auf den Gr. W. K. bezieht, zeigt schematisch alle wesentlichen Glieder des Uebertragungs-Mechanismus zwischen den Angriffspunkten an der Spinnne (Spinnenpunkte) und den Fixpunkten an der Messbühne (Bühnenpunkte). Die Lastaufhängepunkte der Waagenelemente bilden den Schluss des Uebertragungs-Mechanismus für jede Komponente.

Als Beispiel sei die Auftriebs-Wägung erklärt: Die Hauptauftriebskräfte werden bei A'S und A''S abgenommen und über die Hebel A'H₁, A'H₂, A''H₁, A''H₂, AH₃ auf die Auftriebswaage geleitet. Die Untersetzung beträgt 50:1.

Die für die Messung des Rollmomentes maßgebende Kraft R bildet zunächst eine Entlastung des Auftriebes. R muss daher mit der Untersetzung 50:1 auch auf die Auftriebs-

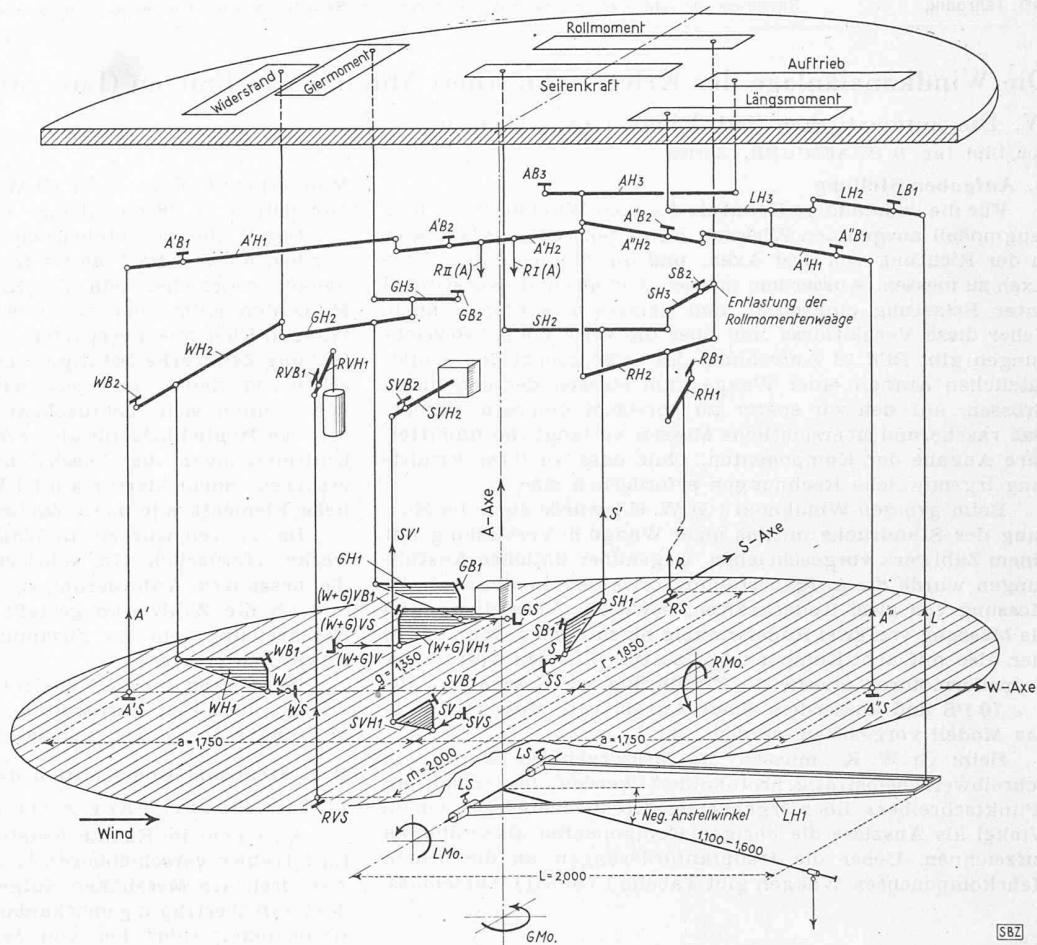


Bild 33. Prinzipschema des Uebertragungsmechanismus des grossen Windkanals

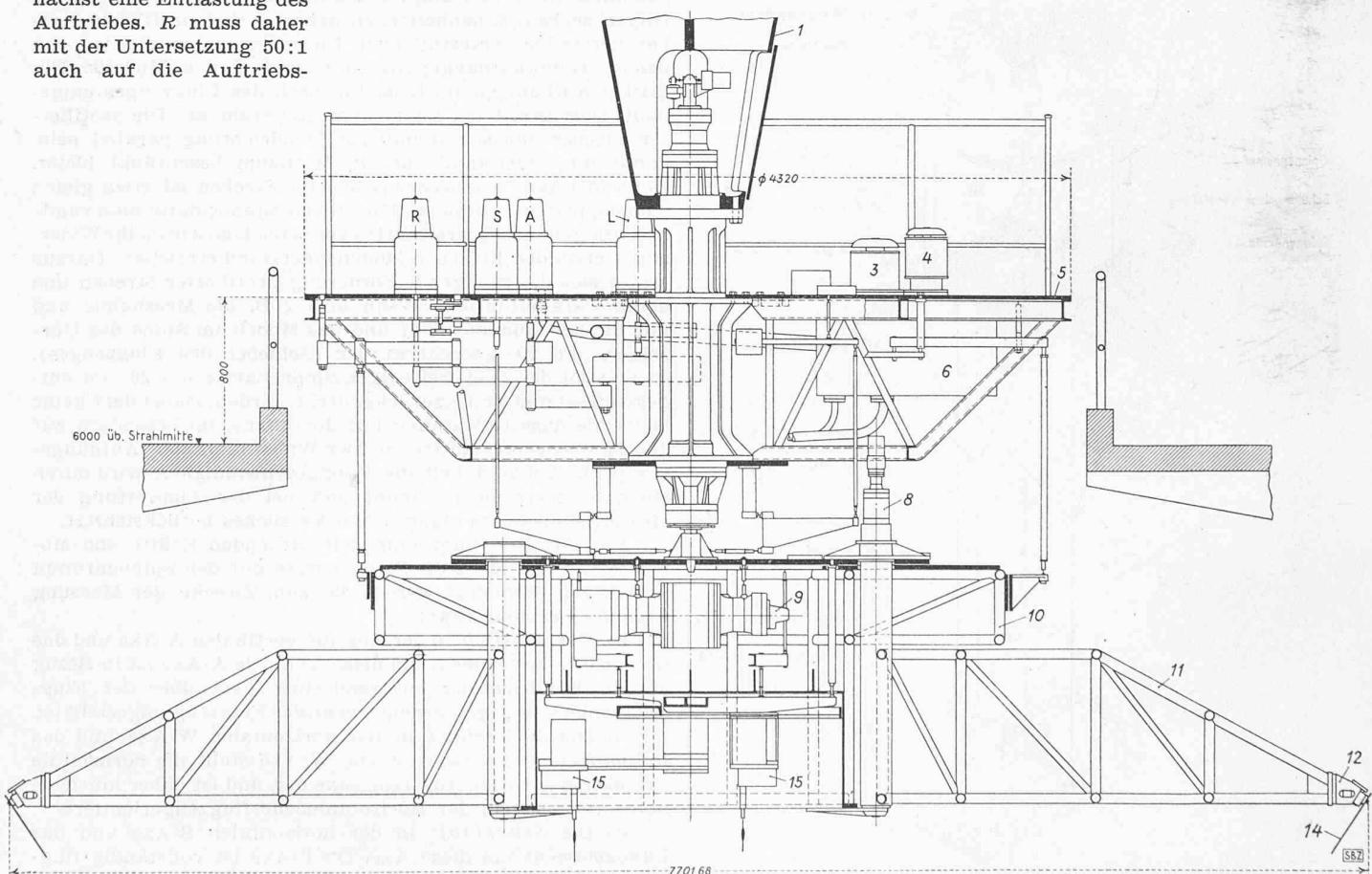


Bild 35. Achtkomponenten-Waage des grossen Windkanals, Schnitt quer zum Wind, Maßstab 1:40

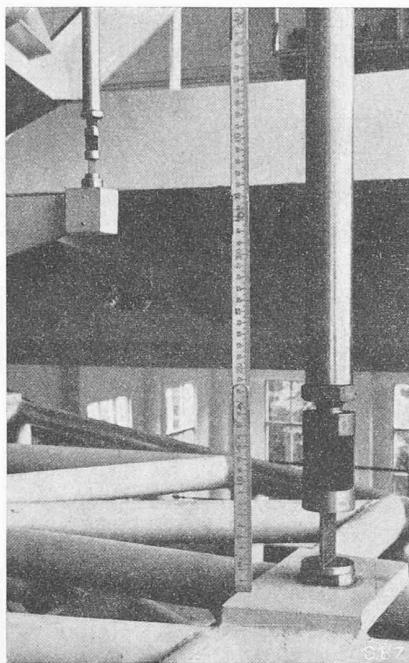


Bild 34. Bandgelenke, links für 250 kg Zugbelastung, rechts für 3500 kg

tet werden müssen. Am Hebel A'H₂ sind die beiden Punkte ersichtlich, an denen die Einleitung dieser Kräfte R_I(A) und R_{II}(A) in das Auftriebsystem erfolgt. Die insgesamt auf das Auftriebswaagenelement geleitete Kraft besteht also aus sechs Anteilen.

Wenn eine Seitenkraft S herrscht, so entsteht ein Kräftepaar Sh, das sich als Rollmoment geltend macht (Bild 32). Es muss von der totalen Rollmomentbelastung in Abzug gebracht werden. Dies erfolgt, vom Hebel SH₂ (Bild 33) ausgehend, über den Hebel SH₃. Der Bühnenpunkt SB₂, an dem

waage geleitet werden. Dies erfolgt vom RH₂ aus, der mit AH₃ verbunden ist. Auch die für die Messung des Längsmomentes massgebende Kraft L entlastet direkt den Auftrieb. Sie muss daher ebenfalls mit der Untersetzung 50:1 auf die Auftriebswaage geleitet werden, was durch die Verbindungsstange zwischen den Hebeln LH₃ und A'H₁ geschieht.

Das Schema für die Messung von zwei Ruderkräften ist in Bild 33 nicht enthalten, da die Darstellung zu unübersichtlich geworden wäre. Auch aus den Ruderkräften entstehen Entlastungen des Auftriebes, die mit der Untersetzung 50:1 auf die Auftriebswaage geleitet werden, was durch die Verbindungsstange zwischen den Hebeln LH₃ und A'H₁ geschieht.

der Hebel SH₃ hängt, ist vermöge eines geeigneten Mechanismus verstellbar. Man kann damit das Hebelverhältnis der genauen Höhe h anpassen. Beim Aufbringen einer Seitenkraft am Modell darf die Rollmomentenwaage nichts anzeigen. Anderseits, wenn man in der Messebene der Spinne eine Seitenkraft anbringt und etwa durch ungleiche Belastung der Hauptaufhängepunkte B und C ein dem Seitenkraftmoment gleiches Rollmoment erzeugt, muss ebenfalls die Anzeige der Rollmomentenwaage Null sein. Das maximal mögliche Seitenkraftmoment beträgt ein Vielfaches des maximal möglichen Rollmomentes. Mit $h = 5,4$ m und der Seitenkraft-Vorspannung von 250 kg entsteht eine negative Belastung der Rollmomentenwaage von 1350 mkg. Statt der eigentlichen Vorspannung von 350 mkg muss daher eine solche von 1700 mkg aufgebracht werden. Das wahre Rollmoment ergibt sich als verhältnismässig kleine Differenz von zwei grossen Beträgen. Es ist darum hinsichtlich Genauigkeit die schwierigste Komponente.

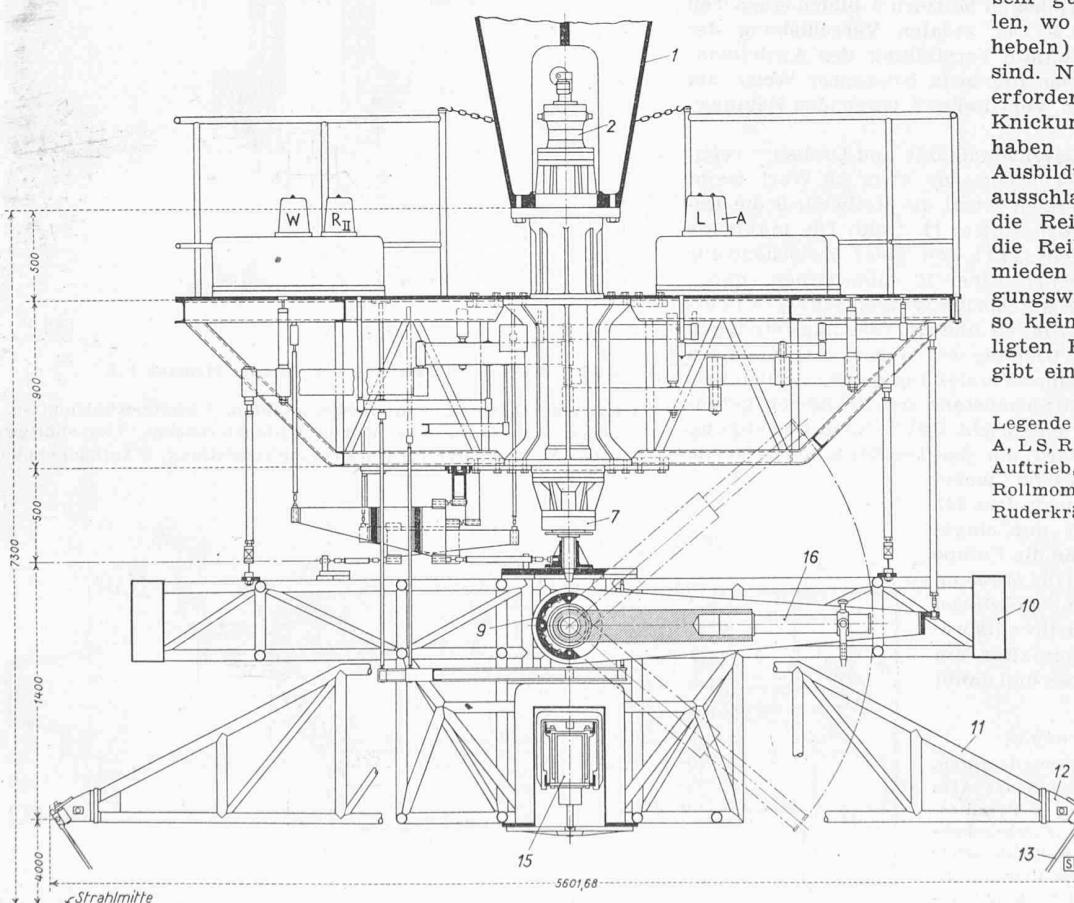
Der am Flugzeug angreifende Widerstand W bildet mit der an der Spinne wirkenden gleichen Kraft ein Kräftepaar Wh, das als Längsmoment anzusprechen wäre. Die Längsmomentenmessung wird aber davon nicht berührt, weil die entsprechende Kraft L nicht durch Vermittlung der Spinne vom Flugzeugheck auf das zugehörige Waagenelement übertragen wird. Das erwähnte zusätzliche Längsmoment hat lediglich die Wirkung, dass die beiden Hauptauftriebsanteile A' und A'' verschieden gross werden.

3. Konstruktive Ausbildung des Uebertragungs-Mechanismus und der Winkelverstellungen

Wegleitend für die konstruktive Ausbildung waren kleinstmögliche Deformationen, damit sich die Lage des Flugzeuges unter Belastung nicht in störendem Ausmaße ändere. Es entstehen dann auch in den Gelenkpunkten möglichst kleine Drehungen. Diese Gelenkpunkte sind durchwegs als federnde Bandgelenke ausgebildet, die aus hochwertigem Stahl aus dem Vollen herausgefräst sind. Bild 34 zeigt ein Bandgelenk für 3500 kg und ein zweites für 250 kg maximaler Zugbelastung. Im ganzen System müssen alle Freiheitsgrade der Bewegung gewährleistet sein, weshalb zum grössten Teil gekreuzte Bandgelenke zur Anwendung kamen. Die Bandgelenke haben sich

sehr gut bewährt, auch an Stellen, wo sie (z.B. an den Winkelhebeln) auf Druck beansprucht sind. Natürlich musste dabei die erforderliche Rücksicht auf die Knickung genommen werden. Sie haben gegenüber jeder andern Ausbildung der Drehpunkte den ausschlaggebenden Vorteil, dass die Reibung und im besonderen die Reibung der Ruhe ganz vermieden ist. Die Summe der Biegungswiderstände, die die an noch so kleinen Verschiebungen beteiligten Bandgelenke ausüben, ergibt eine merkliche Beeinflussung

Legende zu den Bildern 35 und 36:
 A, L, S, R, W, G, R_I und R_{II} Waagen für Auftrieb, Längsmoment, Seitenkraft, Rollmoment, Widerstand, Giermoment, Ruderkräfte, 1 fahrbarer Aufhängekonus, 2 Kurswinkel-Verstellung $\pm 40^\circ$, 3 Betriebs- und Regulierpumpe, 4 Hochdruckpumpe, 5 drehbare Messbühne $\pm 40^\circ$, 6 oberer Oeltank, 7 Zentrale Blockierung, 8 Schultergelenk - Verstellung $\pm 40^\circ$, 9 Anstellwinkel-Verstellung $\pm 40^\circ$, 10 Spinnenrumpf, 11 Spinnenarm, 12 Spinnenhand, 13 Auftriebsdraht, 14 Seitenkraft-Draht, 15 Ruder-Verstellung, 16 beweglicher Arm, an dem über den Längsmomentendraht das Flugzeugheck aufgehängt ist.



der Kraftübertragung. Sie ist aber nicht nur nach der Theorie, sondern auch in Wirklichkeit streng linear und kann demgemäß bei der Adjustierung vollständig ausgemerzt werden. Unerwünschte Wirkungen, wie etwa elastische Hysteresis, die ja einer Reibung der Ruhe gleichgesetzt werden müsste, konnten nie festgestellt werden. Bei der Ausbildung der profilierten Streben zwischen Modell und Spinne musste naturgemäß ein Kompromiss zwischen der Forderung geringer Dehnung und kleinen Luftwiderstandes getroffen werden.

Bilder 35 und 36 zeigen für den Gr.W.K. zwei Seitenrisse für Bühne und Spinne, mit Hebelwerk, Gestänge und Winkelverstellungen. Nicht nur wegen der Korrektheit der Uebersetzungen, sondern vor allem auch in Hinsicht auf das Erreichen der genauen Richtung der vertikalen und der horizontalen an der Spinne angreifenden, von den Waagenelementen ausgehenden Kräfte mussten die Bühnen- und die Spinnenpunkte mit weitgehender Genauigkeit festgelegt und die Hebel auf exakte Längen bearbeitet werden. Ungenaue Richtungen dieser Kräfte erzeugen Nebenwirkungen einer Komponente auf andere. Diese weitgetriebene Genauigkeit erforderte die Ausarbeitung besonderer Herstellungsmethoden und einen erheblichen Aufwand an Mitteln.

Zwischen Bühne und Spinnenrumpf ist eine auf Bild 35 erkennbare, auf Bild 37 im Schnitt dargestellte «Zentrale Blockierung» angeordnet. Durch Drehen der Mutter 7 kann die Büchse 6 so weit gehoben werden, dass die Spinne in den zwei konischen Sitzen 4 und 5 zum Aufsitzen kommt und so mit der Bühne fest verbunden wird. Diese Blockierung leistete gute Dienste bei der Montage; man bedient sich ihrer auch während des Aufhängens und des Wegnehmens von Modellen oder wenn irgendwelche Arbeiten am Gestänge auszuführen sind.

Auf Bild 38 ist als Beispiel die Anstellwinkelverstellung gezeigt. Sie muss einen Winkelweg von 80° durchlaufen und ein Längsmoment von 1000 mkg überwinden. Eine Lösung auf rein mechanischem Wege war angesichts der Platzverhältnisse, die infolge der Einfügung der Ruderkraft-Messung und Ruderverstellung besonders beschränkt wurden, kaum möglich. Wir wählten daher eine hydraulische Lösung mit Verwendung von Hochdrucköl: Die im Zylinder gegen Verdrehung gesicherten Kolben 1 verschieben je einen Steilgewindezapfen 2. Die zugehörigen Muttern 3 bilden einen Teil des verstellbaren Hebels 4. Der axialen Verschiebung der Kolben ist also eine bestimmte Verstellung des Anstellwinkels zugeordnet. Die Kolben folgen in bekannter Weise der axialen Bewegung der den Ventilteller 5 tragenden Regulier- spindel 6.

Ein hochtouriger, in Geschwindigkeit und Drehsinn regulierbarer Gleichstrommotor 7 von nur etwa 30 Watt treibt über geeignete Untersetzungen 8 und die Keilwelle 9 die Regulierspindel, die sich in der Mutter 11 dreht. Die maximale Kraft der Kolben 1 erreicht 14 t! Von einer Zwischenwelle wird ein elektrodynamischer Geber 10 angetrieben, durch den die Bewegung auf das zugehörige Winkel-Zählwerk übertragen wird. Die Uebersetzungen und die Gewindesteigungen sind so gewählt, dass ein Umgang am Geber, also auch ein Umgang des Zählwerkes, einer Verstellung des Anstellwinkels um $0,1^\circ$ entspricht. Der Ziffernabstand der dekadisch geteilten ersten Zählwerkwalze entspricht 0,01°. Nach Beendigung eines Verstellvorganges wird die das Hochdrucköl liefernde Pumpe ausser Betrieb gesetzt, wobei eine Verriegelung dafür sorgt, dass der kleine Gleichstrommotor 7 nur eingeschaltet werden kann, wenn die Pumpe läuft. Auf diese Weise wird die Messung des Winkels eindeutig und unbeeinflusst von der Belastung und der ihr entsprechenden Grösse des Abflusspaltes am Ventilteller; denn der Kolben und damit

Legende zu nebenstehendem Bild 38:
 1 Servomotor-Kolben, 2 Steilgewindezapfen, 3 Steilgewindemutter, 4 beweglicher Arm (16 auf Bild 36), 5 Ventilteller, 6 Regulierspindel, 7 Gleichstrommotor, 8 Schneckengetriebe, 9 Keilwelle, 10 elektrodynamischer Geber, 11 Mutter für die Regulierspindel, 12 DH-Oel-Eintritt, 13 Steueröl-Verbindungsleitung, 14 Oelrücklauf, 15 Bandgelenk-Aufhängung, in Bild 33 mit LS bezeichnet

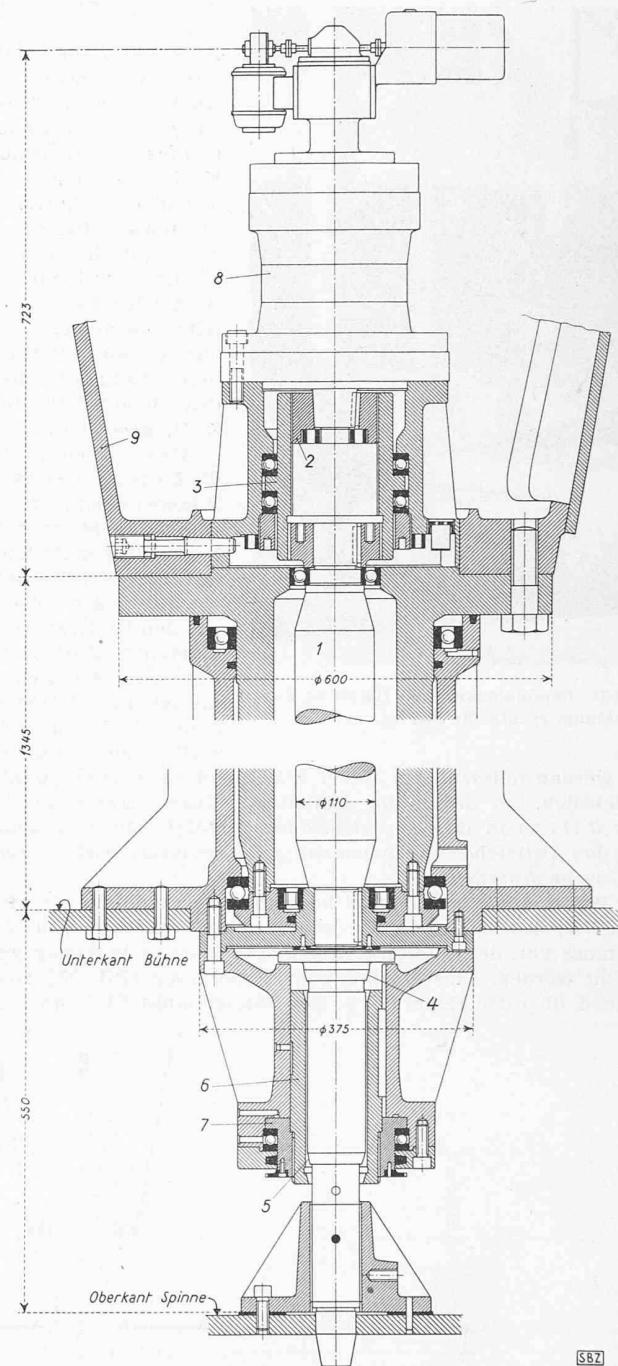


Bild 37. Zentrale Blockierung der Spinne, Masstab 1:8

1 Bühnendrehzapfen, 2 Steilgewindezapfen, 3 Steilgewindemutter, 4 oberer Konus, 5 unterer Konus, 6 Blockierbüchse, 7 zugehörige Mutter, 8 Servomotor für Kurswinkel-Verstellung, 9 Aufhängekonus

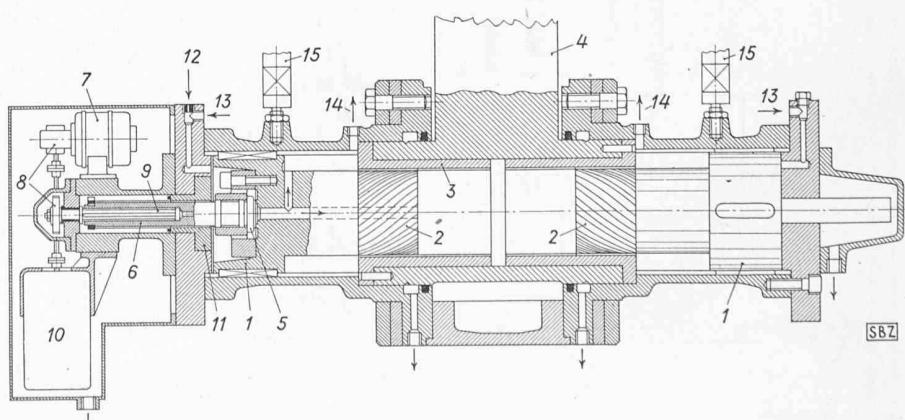


Bild 38. Servomotor mit zugehöriger Steuerung für die Anstellwinkel-Verstellung, Masstab 1:5

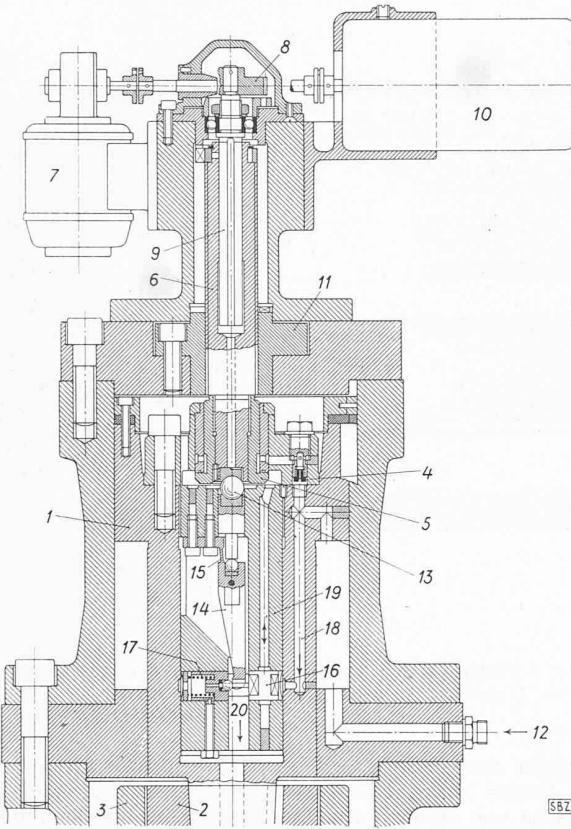


Bild 39. Servomotor und Steuerung zur Kurswinkel-Verstellung
Masstab 1:5

1 Servomotor-Kolben, 2 Steiggewindezapfen, 3 Steiggewindemutter (siehe Bild 37), 4 Blende zur Primärregelung, 5 zweisitziger Ventilteller, 6 Regulierspindel, 7 Gleichstrommotor, 8 Schneckengetriebe, 9 Keilwelle, 10 elektrischer Geber, 11 Mutter für die Regulierspindel, 12 HD-Oel-Eintritt, 13 Uebertragungskugel, 14 Winkelhebel, 15 zugehöriges Bandgelenk, 16 Schieber zur Zusatzsteuerung, 17 Feder zu 16, 18 Druckölböhrung, 19 Steuerölbohrung, 20 Oelablauf

der verstellte Hebel setzen sich nach Verschwinden des Oeldruckes eindeutig auf die Regulierspindel ab. Die konstruktiven Teile sind vollständig symmetrisch, weshalb die Oelvolumina, die die beiden Kolben bewegen, stets gleich gross sind. Wäre dies nicht der Fall, so entstünden Rollmomente in Abhängigkeit vom Anstellwinkel. Die Verstellvorrichtung als Ganzes bildet den ersten Uebertragungshebel LH1 (Bild 33) für die Längsmomenten-Wägung; er ist am Spinnenrumpf mit zwei Bandgelenken 15 aufgehängt.

Die Kurswinkelverstellung für $\pm 350 \text{ mkg}$ ist ähnlich, jedoch nur einseitig ausgeführt. Ihr Gehäuse ist im Aufhängekonus fest eingebaut; sie dreht den in Bild 37 sichtbaren Bühnendrehzapfen 1. Bild 39 zeigt den Verstellmechanismus. Hier kommt nach Beendigung des Verstellvorganges der Ventilteller 5 je nach dem Drehsinn des herrschenden Kursmomentes oben oder unten zum Anliegen. Der Regulierspalt darf ein gegebenes Minimum nicht überschreiten in Hinsicht auf die Genauigkeit der Winkelanzeige. Weil der zulässige Spalt allein zu klein wäre, ist eine zusätzliche Steuerung eingebaut. Sie besteht aus dem Hebel 14, der sich um das Feder-Bandgelenk 15 dreht und mittels Feder 17 in Kraftschluss mit dem Ventilteller steht. Er verschiebt den Steuerkolben 16, der den Raum über dem Kolben 1 über die Bohrung 19 entweder mit Drucköl aus der Bohrung 18 versorgt, oder mit dem Ablauf 20 verbindet.

Die Schultergelenkverstellung (8, Bild 35) ist eine verkleinerte Ausführung der Kurswinkelverstellung; sie wird nur mit Niederdrucköl betrieben. Sie hat theoretisch kein Moment zu überwinden, weil alle an den Spinnenarmen angreifenden Kräfte die Axen der Schultergelenke schneiden. Der Antrieb erfolgt durch einen elektrodynamischen Empfänger, der elektrisch mit dem Geber der Kurswinkelverstellung so gekuppelt ist, dass die erforderliche entgegengesetzte Drehung der Schultergelenke gegenüber der Bühnen-, Spinnen- und Modell-Verdrehung entsteht.

Tabelle 1. Gestellte Hauptanforderungen

	Grosser Windkanal		Kleiner Windkanal	
	Bereich	Kleinster Skalenteil ¹⁾	Bereich	Kleinster Skalenteil ¹⁾
1. Auftrieb	+ 2700 kg		+ 270 kg	
	- 700 kg	50 g	- 70 kg	5 g
	3400 kg		340 kg	
2. Widerstand	+ 550 kg		+ 55 kg	
	- 150 kg	50 g	- 15 kg	5 g
	700 kg		70 kg	
3. Seitenkraft (Querkraft)	+ 250 kg		+ 25 kg	
	- 250 kg	50 g	- 25 kg	5 g
	500 kg		50 kg	
4. Giermoment (Kurstmoment)	+ 350 mkg		+ 12,5 mkg	
	- 350 mkg	50 g m	- 12,5 mkg	5 g m
	700 mkg		25 mkg	
5. Längsmoment	+ 600 mkg		+ 21,5 mkg	
	- 400 mkg	50 g m	- 14,5 mkg	5 g m
	1000 mkg		36 mkg	
6. Rollmoment	+ 350 mkg		+ 12,5 mkg	
	- 350 mkg	50 g m	- 12,5 mkg	5 g m
	700 mkg		25 mkg	
7. Anstellwinkel	+ 40°		+ 40°	
	- 40°	0,005°	- 40°	0,005°
	80°		80°	
8. Kurswinkel	+ 40°		+ 40°	
	- 40°	0,005°	- 40°	0,005°
	80°		80°	
9. Staudruck	500 mm WS	0,05 mm WS		
10. Ruderkräfte I	70 kg	5 g		
11. Ruderkräfte II	70 kg	5 g		
12. Ruderausschlag I	beliebig	0,05° ²⁾		
13. Ruderausschlag II	beliebig	0,05° ²⁾		

¹⁾ Die visuelle Ableitung geht bis auf den fünften Teil, also 10 g bzw. 1 gr bzw. 0,01 mm WS bzw. 0,001°.

²⁾ Bezogen auf einen Radius von 100 mm der die Ruder betätigenden Seilscheibe

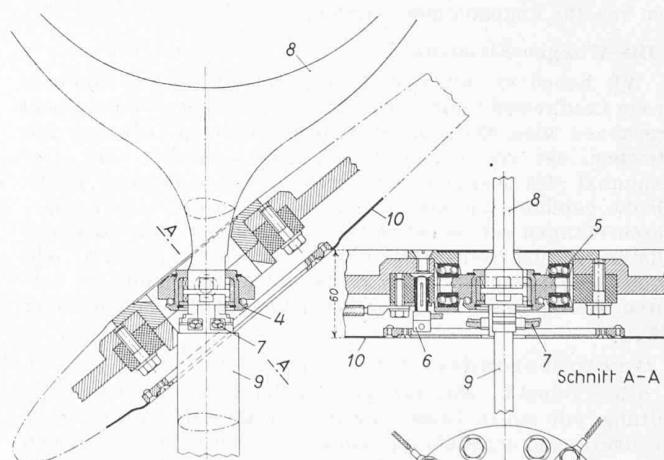
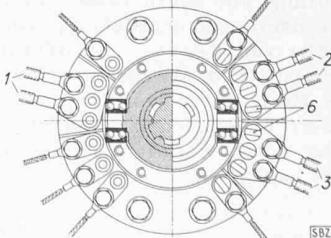


Bild 40. Modellaufhängepunkt
Masstab 1:5

1, 2 und 3 Stromzufuhr zum Propellermotor, 4 Lagerung für die Kurswinkelbewegung, 5 Lagerung für die Anstellwinkelbewegung, 6 Stecker, 7 Kupferlitzen, 8 profilierte dreiteilige Aufhängestrebe, 9 profiliertes Vorspannungsstab mit eingebauten Stromleitern, 10 Modell



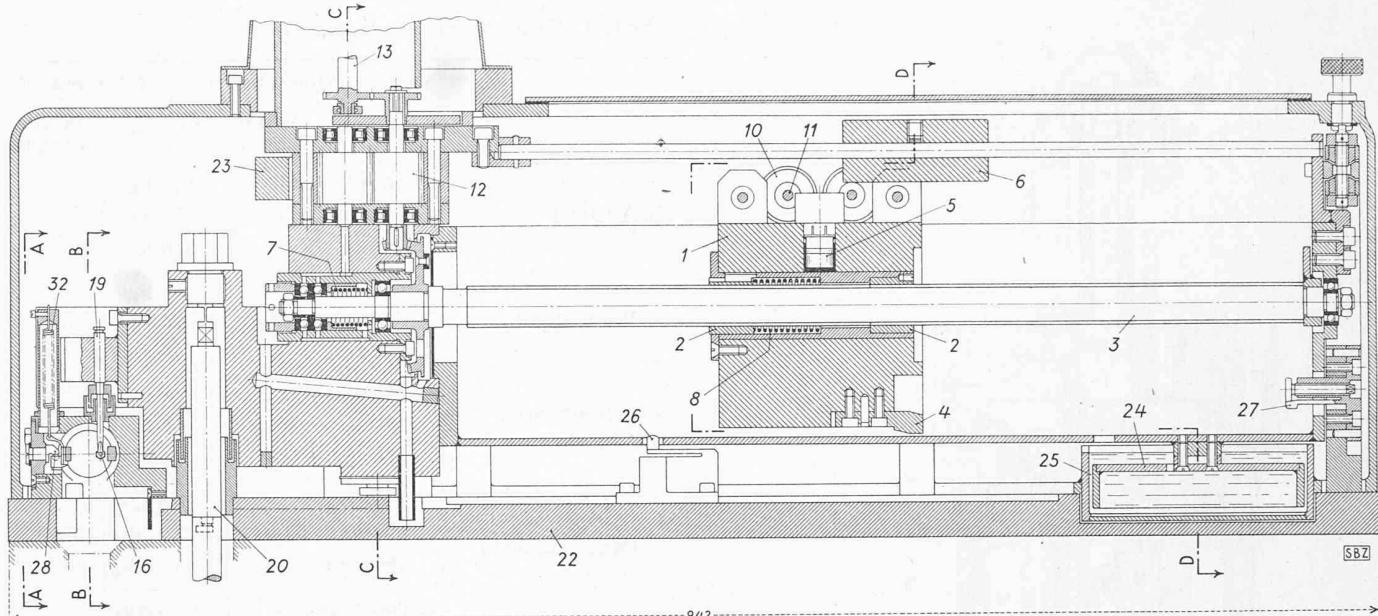


Bild 41. Waagenelement, Längsschnitt, Maßstab 1:5

1 Laufgewicht, 2 Mutter, 3 Gewindespindel, 4 Auflaufnocke, 5 Adjustiergewichte, 6 Tarierge wicht, 7 Feder zum Fixieren der Spindel, 8 Feder zum Ausgleich des Axialspiels der Spindelmuttern, 9 Waagebalken, 10 Laufrollen, 11 elastische Achsen, 12 Oelmotor, 13 Geberwelle, 14 Steuerschieber, 15 Differentialkolben, 16 Oelstrahl, 17 Sendedüse

Bild 40 zeigt einen *Hauptaufhängepunkt* für den Gr.W. K. Die konstruktive Lösung war durch die grossen aufzunehmenden Kräfte und durch die geringe zulässige Bauhöhe von nur 60 mm erschwert. Die Stromzuführung für den Propellerantrieb erfolgt durch Leiter, die in den profilierten Vorspannungsstäben eingebaut sind und die an ihren oberen Enden in biegsame Litzen mit Steckern ausmünden. 1, 2 und 3 (Grundriss) sind die drei Phasen des Motorenstromes; sie führen maximal je 180 Amp. Die übrigen sechs Leiter dienen Mess- und Steuerzwecken; sie sind gegen induktive Beeinflussung durch den Motorenstrom abgeschirmt. Der «Aufhängepunkt» als Ganzes ist fest in das Modell eingebaut. Die Einführung der oberen Aufhängestreben 8 und der unteren Vorspannungsstäbe 9 erfolgt durch je einen Bajonettverschluss. Dabei bildet der untere eine Verriegelung für den oberen, so dass das Modell nicht ausgehängt werden könnte, auch wenn es einmal durch den Wind entgegen den Vorspannungen und dem Eigengewicht gehoben würde. Dank der geschilderten Konstruktion kann ein mit den Aufhängepunkten ausgerüstetes Modell in sehr kurzer Zeit in die Waage eingehängt oder von ihr abgenommen werden.

C. Die Waagen-Elemente

Wir haben es mit einer Laufgewichtswaage zu tun, bei der ein Laufgewicht durch eine sich drehende Gewindespindel verschoben wird. Die Spindel wird durch einen Oelmotor angetrieben, der von einem Strahlregler gesteuert wird. Der Drehpunkt des Waagebalkens wird durch elastische Bandgelenke gebildet, wie sie im Gesamtsystem der Mehrkomponenten-Waagen verwendet werden. Reibung ist also auch hier vollständig ausgeschaltet¹⁾. Wir verweisen auf Bilder 41 und 42, die die hauptsächlichsten erklärenden Bezeichnungen enthalten. Einige Besonderheiten seien im Nachstehenden näher erläutert.

1. Gewindespindel und Laufgewicht

Die Spindel 3 (Bild 41) ist gehärtet und geschliffen. Die Prüfung mit einem Zeiss-Gewinde-Mess-Komparator ergab Veränderungen der Steigung, die im ungünstigsten Falle einen Fehler von 0,035 %₀₀ der Höchstlast bewirken könnten. Die Spindel ist im Waagebalkenkopf so gelagert, dass sie durch die Kraft der Feder 7 in axialer Richtung mit Sicherheit fixiert bleibt. In das Laufgewicht 1 sind zwei der Spindel entsprechende Muttern 2 eingesetzt. Die eine davon ist fest mit dem Laufgewicht verbunden, die andere ist axial verschiebbar

¹⁾ Patent Nr. 251 629. Elektrisch gesteuerte Laufgewichtswaagen, die speziell für Verwendung in Windkanalanlagen entwickelt wurden, sind z. B. die DVL-Waage (Z. VDI Jg. 1936. Bd. 80, S. 141) und eine holländische Waage (Verslagen en Verhandelingen van het National Luchtvaart Laboratorium Amsterdam, Deel XI, 1942).

und durch eine Feder 8 belastet. Die beiden Muttern liegen somit immer auf der gleichseitigen Flanke des Spindelgewindes an und etwaige Abnutzungen können die Genauigkeit der Wägung nicht beeinflussen. Die Muttern bestehen aus gesintertem und in Öl getränktem Material (Glissa), so dass auch bei «trockenem» Lauf der Reibungswiderstand gegen Drehung gering bleibt. Die Federspannung ist nur so gross, dass mit Sicherheit die auftretenden axialen Trägheitskräfte den Kraftschluss nicht lösen können.

Das Laufgewicht 1 wird nicht durch die Spindel 3, sondern durch den wannenförmigen Waagebalken 9 getragen. Die feststehenden Achsen 11 der Laufrollen 10 sind auf Biegung so vorgespannt, dass die Gewindespindel entlastet bleibt.

2. Oelmotor

Der die Spindel über ein Kegelradgetriebe antreibende Oelmotor 12 ist mit weitgehender Präzision gearbeitet, so dass er auf geringsten Druckunterschied anspricht. Quetschöl, das eine erhebliche Beeinträchtigung des regelmässigen leichten Ganges verursachen könnte, tritt infolge der Wahl geeigneter Schrägen der Verzahnung nicht auf. Der Motor treibt außer der Spindel 1 über die Welle 13 einen elektrodynamischen Geber, durch den die Spindelbewegung in geeigneter Uebersetzung auf ein zugehöriges Zählwerk übertragen wird. Der Oelmotor wird durch einen Schieber 14, (Bild 42, Schnitt BB) gesteuert, der durch einen Differentialkolben 15 verstellt wird. In diesem Kolben strömt ein Oelstrahl 16 von einer Sendedüse 17 nach einer Empfangsdüse 18. Das den Oelmotor antreibende und durch den Schieber gesteuerte «Betriebsöl» und das den Regulierstrahl speisende «Regulieröl» wird von zwei getrennten Pumpen geliefert. Der Regulierstrahl ist durch ein Messer 19, das mit dem Waagebalkenkopf verbunden ist, teilweise gestört, in der Gleichgewichtslage des Waagebalkens gerade so, dass der Differentialkolben und damit der Steuerschieber für den Oelmotor in der Mittellage stehen bleiben. Die geringste Verstellung des Messers nach oben oder nach unten löst eine Bewegung des Steuerschiebers aus. Der Strahl liegt im Differentialkolben exzentrisch (Bild 41), und der Kolben gleitet auf einer schrägen Führung 28 (Schnitt AA), so dass er sich bei einer axialen Bewegung zugleich auch dreht. Dadurch entsteht eine bestimmte Zuordnung zwischen der Stellung des Messers und der Stellung des Differentialkolbens und des Steuerschiebers.

Die Neigung der erwähnten Führung ist einstellbar, so dass die Zuordnung geändert werden kann²⁾. Die Emp-

²⁾ Der Strahlregler mit Messer wurde von einem früheren Mitarbeiter des Verfassers, Dipl. Ing. Albert Lüthi, im Jahre 1927 erfunden und unter seiner Leitung durch die Escher Wyss Maschinenfabriken A.-G. entwickelt. Der Verfasser dankt Kollege Lüthi für einige nützliche Winke für die hier vorliegende spezielle Verwendung.

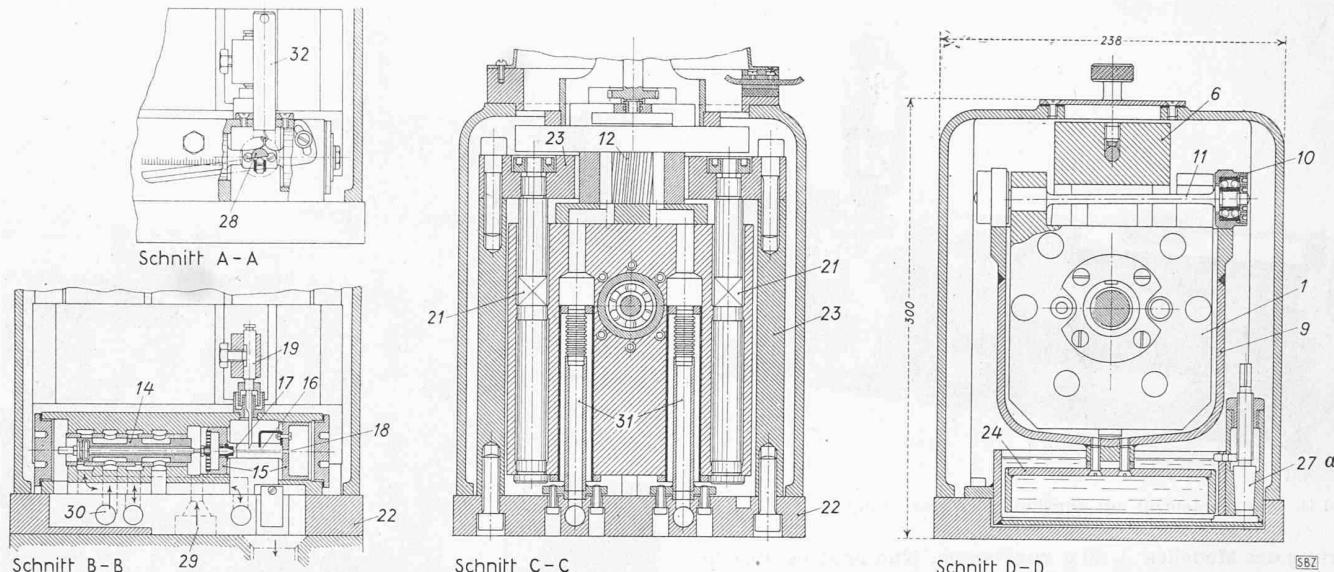


Bild 42. Querschnitte und Einzelheiten zu Bild 41

18 Empfangsdüse, 19 Messer, 20 Lastaufhängung, 21 Bandgelenke, 22 Grundplatte, 23 Joch, 24 Dämpfungsteller, 25 Spaltraum, 26 innerer Endanschlag, 27 äusserer Endanschlag, 27a Nebenschluss zur Dämpfung, 28 verstellbare Führungsbahn, 29 Regulieröl-Eintritt, 30 Betriebsöl-Eintritt, 31 elastische Zu- bzw. Ableitung des Motorenöles, 32 Feder zu 28

findlichkeit der Steuerung geht fast unglaublich weit: Bewegungen des Messers von der Grössenordnung $1/10 \mu$ machen sich schon geltend. Trotzdem ist die Zuverlässigkeit einwandfrei. Zunächst könnte es als gegeben erscheinen, das Messer und die Steuerung am Ende des langen Teils des Waagebalkens anzubringen. Trotz des grossen Trägheitsmomenten des wattenförmigen Waagebalkens entstünden dann aber infolge der Durchbiegung in Abhängigkeit von der Lage des Laufgewichtes merkliche Wägungsfehler; darum wurde das Messer am Waagebalkenkopf, also dem kürzeren Teil, angebracht, der äusserst starr ausgebildet ist und von der Grösse der Last praktisch unbeeinflusst bleibt.

3. Die Bandgelenke

Der Waagebalken ist mit zwei Bandgelenken 21 (Bild 42, Schnitt CC) an dem mit der Grundplatte 22 fest verbundenen Joch 23 aufgehängt. Diese Bandgelenke bilden die Federn, die für das Erreichen der Stabilität erforderlich sind. Ihre Dicke von rd. 3 mm muss zunächst überraschen. Sie hat sich aus den Rechnungen über die Stabilitätsbedingungen ergeben. Wohl könnte man die Bandgelenke bedeutend schwächer ausführen und dafür irgendwo am Waagebalken beispielsweise eine übliche Drehrungsfeder mit der erforderlichen Federkonstanten anbringen. Die Temperaturabhängigkeit der Federkonstanten ist grundsätzlich für beide Arten Federn genau gleich. Die Bandgelenkfeder hat aber in der Gleichgewichtslage der Waage die Spannung Null und die Temperatur hat daher in dieser Mittellage keinen störenden Einfluss. Eine irgendwo angebrachte besondere Feder hätte aber (wenig-

stens, wenn man von konstruktiven Komplikationen absehen will) notgedrungen eine gewisse Vorspannung in der Gleichgewichtslage der Waage, und daraus ergäbe sich eine unzulässige Fälschung der Wägung aus dem Temperatureinfluss. Die Benützung der Aufhängebandgelenke als Feder stellt somit die beste und einfachste Lösung dar, der auch hauptsächlich die erstaunliche Robustheit der Waagenelemente zuzuschreiben ist.

4. Die Dämpfungseinrichtung

Diese ist aus den Bildern 41 und 42, Schnitt DD, ohne weiteres verständlich. Im langen Durchflusspalt 25 stellt sich eine laminare Strömung ein, so dass zwischen Dämpfungskraft und Geschwindigkeit ein linearer Zusammenhang entsteht. Die Dämpfung kann am Nebenschluss 27 den Bedürfnissen angepasst werden.

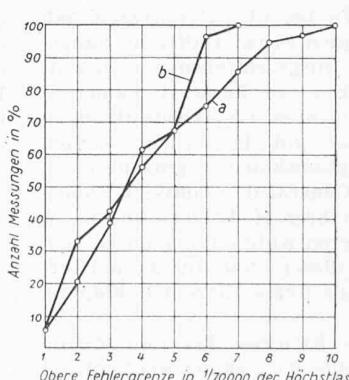
5. Umsteuerung

In den Endlagen wird das Laufgewicht durch Nocken 26 und 27 so gehoben oder niedergedrückt, dass eine sinngemässen Umsteuerung durch das Messer 19 erfolgt und das Laufgewicht nicht zum Anschlag und zur Verklemmung mit dem Waagebalken kommen kann. Gefahren dieser Art ergeben sich besonders bei abnormalen Belastungen, wie etwa beim Einrichten.

6. Anforderungen, Messergebnisse und Adjustierung

Die maximale Last der Waagenelemente wurde zu 70 kg festgelegt. Im gesamten Messbereich sollte die Ungenauigkeit 15 g nicht überschreiten. Tabelle 2 und Bild 43 zeigen die Prüfungsergebnisse von zwei Elementen. Die Resultate b) sind besser als a), weil die Prüfungsmethode verfeinert werden konnte. Die Genauigkeit und die Empfindlichkeit bleiben auch nach Einfügung der Elemente in das Gesamtsystem voll erhalten, selbst wenn am Vorgang sehr viele Bandgelenke beteiligt sind. Genauigkeit und Empfindlichkeit könnten erheblich weiter getrieben werden, wenn nicht die Stabilitätsforderungen für den praktischen Betrieb eine Grenze setzen würden.

Bild 43. Fehlerhäufigkeit eines Waagenelementes zu 70 kg Höchstlast in g.
a) erste Ausführung,
b) spätere Ausführung



Für die Verschiebung des Lastaufhängepunktes waren mit Rücksicht auf die Lageän-

Tabelle 2. Prüfergebnisse der Sechskomponenten-Waage des Gr. W. K.

Komponente	Soll-Last kg bzw. kgm	Anzeige kg bzw. kgm	Differenzen in kg bzw. kgm	%
Auftrieb	600,00	600,00	0,00	0,00
	1200,00	1199,75	-- 0,25	- 0,21
Widerstand	75,00	74,94	- 0,06	- 0,80
	150,00	149,78	- 0,22	- 1,50
Längsmoment	320,00	320,13	+ 0,13	+ 0,40
	640,00	639,90	- 0,10	- 0,16
Seitenkraft	58,33	58,25	- 0,08	- 1,40
	116,67	116,44	- 0,23	- 2,00
Rollmoment	+ 210,00	+ 210,15	+ 0,15	+ 0,72
	- 210,00	- 209,75	+ 0,25	+ 1,20
Kursmoment	101,25	101,10	- 0,15	- 1,40
	202,50	202,77	+ 0,27	+ 1,33

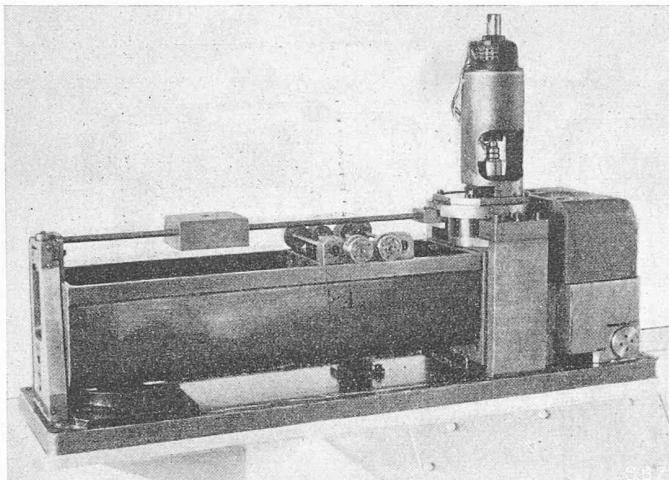


Bild 44. Waagenelement mit abgehobener Verschalung

derung des Modell $\pm 30 \mu$ zugelassen. Nun liegt es aber im Wesen unserer Steuerung, dass der Waagebalken in der Gleichgewichtslage unabhängig von der Belastung immer in die gleiche Stellung kommen muss. Aus den festgestellten Genauigkeit und aus der Charakteristik der Aufhängebandgelenke ergibt sich, dass höchstens eine Höhenänderung des Lastaufhängepunktes von $\pm 1 \mu$ auftritt (hierüber wurden übrigens auch Kontrollen mit äusserst feinen Tastuhren durchgeführt); die gestellte Bedingung ist also um das 30fache übertroffen.

Die Adjustierung erfolgt so, dass die Laufgewichte entsprechend der durch die beteiligten Bandgelenke erzeugten Abweichung verändert werden. Hierfür sind sie bequem eingerichtet. Die rechnerische Verfolgung aller bei der Wägung einer Komponente mitspielenden Deformationen und ihre Auswirkung auf die Wägung, also der zu erwartenden Korrektur, hat durchaus befriedigende Übereinstimmung mit den praktisch zutage getretenen und durch Adjustierung ausgemerzten Beträgen ergeben. Bei der Adjustierung der Gesamtwaagen und im besonderen bei der Ausmerzung der Nebenwirkung einer Komponente auf andere bot die zuver-

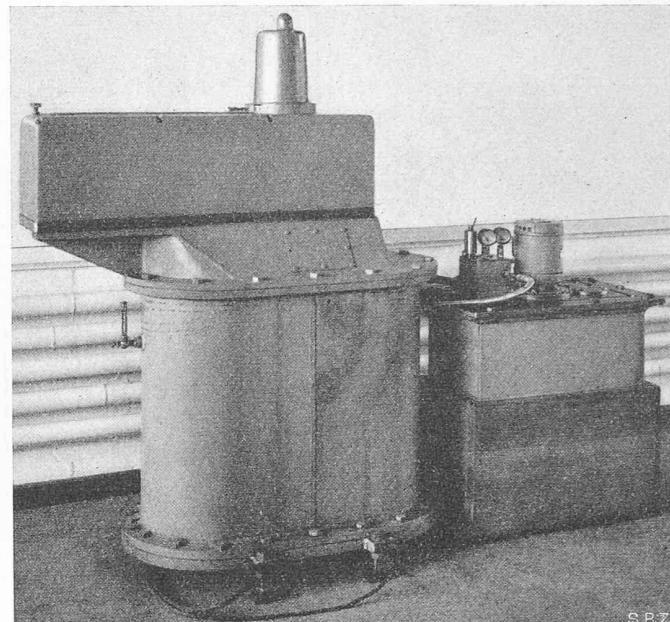


Bild 45. Staudruckwaage, unten Behälter für die zwei Glocken

lässige Genauigkeit der Waagenelemente an sich die unentbehrliche Grundlage.

Bild 44 zeigt ein offenes Waagenelement. Bild 45 stellt die Staudruckwaage dar. Das normale Waagenelement misst die Differenz des Druckes zweier Glocken, die in Flüssigkeit tauchen. Die grosse Empfindlichkeit und Genauigkeit kommt in dieser Kombination besonders schön zur Geltung. Man kann leicht Differenzen von 0,01 mm W. S. am zugehörigen Zählwerk ablesen.

Aus den Prüfungsprotokollen der Sechskomponentenwaagen gibt Tabelle 2 einige interessante Zahlen, die sich auf den Gr. W. K. beziehen. Dabei wurden die Soll-Lasten in Form von geeichten Gewichten aufgebracht. (Schluss folgt)

III. Kongress der Internat. Vereinigung für Brückenbau und Hochbau, Lüttich und Brüssel 1948

DK 061.3 : 624.2 (493)

Um es vorwegzunehmen, sei gleich betont, dass dieser III. Kongress der I. V. B. H. ein voller Erfolg war und die beiden früheren Kongresse in Paris 1932 und Berlin 1936 übertroffen hat. Während dem der I. Kongress in Paris noch gegen die üblichen Anfangsschwierigkeiten anzukämpfen hatte und die damaligen Exkursionen und Abendunterhaltungen nicht alle Kongressteilnehmer befriedigten¹⁾, der II. Kongress in Berlin²⁾ auch unvoreingenommenen Ausländern die Gefahr des nationalsozialistischen Deutschlands vor Augen führte, war der III. Kongress in Lüttich ein in allen Teilen vorzüglich organisierter Kongress, der die wissenschaftliche, praktische und freundschaftliche Zusammenarbeit förderte und von welchem jeder Ausländer nur mit grosser Bewunderung für Belgien nach Hause zurückkehrte. Wie bei allen Kongressen, gab es selbstverständlich auch in Belgien Schwierigkeiten, hauptsächlich bei der Einhaltung der vorgeschriebenen Redezeit, Schwierigkeiten, die jedoch durch die äusserst kameradschaftliche Intervention der Präsidenten der Arbeitssitzungen und der Generalsekretäre immer gut überbrückt werden konnten. Dem belgischen Organisationskomitee, präsidiert von Ing. A. Devallée, Directeur Général des Ponts et Chausées, mit den beiden Generalsekretären H. Louis und R. A. Nihoul (der wegen eines schweren Autounfalles durch Ing. Thiry vertreten wurde) soll an dieser Stelle für die muster-gültige Organisation, die bis in die letzte Einzelheit klappte, bestens gedankt werden.

Wenn dieser internationale Kongress bis zum letzten i-Punkt die volle Anerkennung aller Teilnehmer verdient, ist

dies ausser den Organisatoren in Belgien dem Zentralsekretariat der I. V. B. H. in Zürich zu verdanken. Hier wurde der ganze technische Teil vorbereitet, die Beiträge für den Vorbericht gesichtet und die vorbereitete Diskussion in die Wege geleitet. Der Präsident der I. V. B. H., Prof. Dr. C. Andreea, hat mit den beiden Generalsekretären der I. V. B. H., Prof. Dr. F. Stüssi (Stahlbau) und Prof. Dr. P. Lardy (Massivbau), in mühsamer Kleinarbeit alles für das gute Gelingen dieses III. Kongresses geleistet. Dass der Vorbericht im Umfang von 697 Seiten schon zwei Monate vor Beginn des Kongresses in der Hand jedes Kongressteilnehmers war, ist nicht nur der raschen Arbeit des Generalsekretariates in Zürich, sondern auch dem belgischen Organisationskomitee und der speditiven Imprimerie G. Thone in Lüttich zu verdanken, also einer internationalen Zusammenarbeit, die es ermöglichte, dass jeder Kongressteilnehmer über die am Kongress zu behandelnden Probleme frühzeitig bis in alle Einzelheiten orientiert wurde.

Am Kongress wurden sechs Arbeitssitzungen durchgeführt, nämlich:

I. Verbindungsmitte und konstruktive Einzelheiten im Stahlbau

- a) Der heutige Stand der Schweißtechnik
- b) Die Ausbildung der Knotenpunkte
- c) Stabilität und Festigkeit dünner Bleche
- d) Biegung und Verdrehung vollwandiger Träger

II. Neuere Bauweisen des Massivbaues

- a) Fortschritte in der Beschaffenheit des Betons
- b) Der vorgespannte Beton
- c) Neue Armierungstypen
- d) Bemerkenswerte Ausführungen seit 1936

¹⁾ C. Hubacher: I. Kongress der Internationalen Vereinigung für Brückenbau und Hochbau, Paris 1932. SBZ Bd. 100, Nr. 3, S. 38.

²⁾ C. Jeger: Eindrücke vom Berliner Kongress der Internationalen Vereinigung für Brückenbau und Hochbau. SBZ Bd. 108, Nr. 21, S. 229*.