

VERSLAGEN EN VER-
HANDELINGEN VAN
DEN RIJKS-STUDIEDIENST
VOOR DE LUCHTVAART
□ AMSTERDAM □

DEEL I — 1921

J. Ballin

VERSLAGEN EN VER-
HANDELINGEN VAN
DEN RIJKS-STUDIEDIENST
VOOR DE LUCHTVAART
□ AMSTERDAM □

DEEL I — 1921



J. Buller

INHOUD.

INLEIDING.

Bladz.

De Rijks-Studiedienst voor de Luchtvaart	7
--	---

RAPPORT A 12.

De windtunnelinstallatie van den Rijks-Studiedienst voor de Luchtvaart	11
l'Installation aérodynamique du „Rijks-Studiedienst voor de Luchtvaart”.	
The windchannel of the „Rijks-Studiedienst voor de Luchtvaart”.	
Die Windkanalanlage des „Rijks-Studiedienst voor de Luchtvaart”.	

RAPPORT A 7.

Onderzoek naar den invloed van de verwarming van het bovenvlak van een draagvlakmodel op de lift- en driftkrachten	40
Etude de l'effet sur la portance et la trainance que produit l'échauffement de la surface dorsale d'un modèle d'aile.	
Experiments on the effect of heating the upper wing surface on the lift- and drag forces.	
Untersuchung über den Einfluss der Erhitzung der oberen Seite eines Flügelmodells auf die Luftkräfte.	

RAPPORT A 14.

Voorloopig onderzoek van den invloed van de wijze van ophanging van het model bij aerodynamische metingen	54
Etude préalable de l'influence du mode de suspension du modèle aux mesures aérodynamiques.	
Preliminary experiments on the effect of the method of suspending the model in aerodynamic measurements on the results.	
Vorläufige Untersuchung über den Einfluss der Aufhängerart des Modells bei aerodynamischen Messungen.	

RAPPORT A 19.

- Onderzoek van een model van het Fokker F II vliegtuig 74
 Essai d'un modèle de l'avion Fokker F II.
 Experiments on a model of the Fokker F II monoplane.
 Untersuchungen an einem Modell des Fokker F II Eindeckers.

RAPPORT A 26.

- Onderzoek van de strooming om een stroomlijnvormigen stijl 95
 Etude de l'écoulement de l'air autour d'un montant fuselé.
 A study of the flow round a streamline strut.
 Untersuchung der Strömungsvorgänge um einen Stiel mit strom-
 linienförmigem Querschnitt.

RAPPORT A 10.

- Onderzoek van Pitotbuizen 101
 Etude expérimentale des tubes de Pitot.
 Experiments on Pitottubes.
 Untersuchungen von Stauröhren.

RAPPORT A 20.

- Onderzoek naar den invloed van een hoek tusschen een
 Pitotbuis en de windrichting 113
 Etude de l'effet d'un angle entre le tube de Pitot et la direction
 du vent.
 Experiments on the effect of an angle between a Pitottube and
 the direction of the wind.
 Versuche über den Einfluss eines Winkels zwischen einem
 Staurohr und der Windrichtung.

RAPPORT A 24.

- Onderzoek van eenige vormen van windvanen 119
 Etude de quelques formes de girouettes.
 Experiments on a number of windvanes.
 Untersuchung einiger Windfahnen.

RAPPORT B 3.

- Onderzoekingen, uitgevoerd met een 6-cylinder 185 P.K.
 Opel-B. M. W. motor 131
 Report of experiments with a six-cylinder 185 H.P. Opel-B.M.W.
 engine.
 Expériences effectuées avec un moteur Opel-B.M.W. 6-cylindres,
 185 H.P.
 Versuche mit einem 6-Zylinder 185 P.S. Opel-B.M.W. Motor.

RAPPORT M 17 A.

- Rapport betreffende proeven over den weerstand van duralumin tegen wisselspanningen 160
 Recherches sur la résistance à la fatigue du duralumin.
 On the fatigue-resistance of duralumin.
 Untersuchungen über Dauerbeanspruchung von Duralumin.

RAPPORT M 40 A.

- Over de betrouwbaarheid van laschverbindingen van dunne naadlooze stalen buizen 173
 Recherches sur la solidité de fuselages d'avions composés de tubes d'acier sans soudure joints par la soudure autogène.
 Tests on the strength of fuselages, composed of seamless steel pipes, joined by autogeneous welding.
 Versuche über die Festigkeit von Flugzeugruppfen aus autogen-geschweissten nahtlos gezogenen Stahlröhren.

ERRATA.

In de tabel op blz. 50 zijn enkele fouten ingeslopen. In de zesde kolom van links, drie onderste cijfers, staat:

0,0322

0,0339

0,0348

Dit moet zijn:

0,0722

0,0716

0,0721

DE RIJKS-STUDIEDIENST VOOR DE LUCHTVAART.

Bij de snelle ontwikkeling van het luchtvaartuig in de oorlogs-jaren voelde men in ons land de behoefte aan een instituut, waar de verschillende vraagstukken, die deze ontwikkeling met zich medebrengt, zouden kunnen worden bestudeerd, waar de vorde-ringen, in andere landen gemaakt, kritisch konden worden bekeken, zoodat zoowel aan de Regeering als aan particulieren adviezen op luchtvaartgebied zouden kunnen worden uitgebracht en waarin de ontwikkeling van de luchtvaart in het algemeen zou kunnen worden bevorderd.

Op de Begrooting van het departement van Oorlog van het jaar 1918 werden daarom gelden gereserveerd voor het inrichten van een dergelijk instituut, dat op de Marinewerf te Amsterdam zou worden ondergebracht en in het begin van dat jaar werd met de voorbereiding van de plannen begonnen.

Oorspronkelijk werd daarbij het nieuwe instituut onder toezicht van den Voorzitter van het Munitiebureau gesteld, die een be-langrijk aandeel had in het bepalen van de wijze, waarop deze nieuwe Dienst werd ingericht. Vele besprekingen met de Com-mandanten en met de Chefs der Technische Diensten der beide Militaire Luchtvaartafdeelingen gaven gelegenheid, van de bij deze Afdeelingen vergaarde kennis gebruik te maken.

De Kon. Ned. Vereeniging voor Luchtvaart toonde hare be-langstelling door hare verzameling apparaten voor aerodynamisch onderzoek aan den R.S.L. af te staan.

Met ingang van 1 Januari 1920 kwam de Studiedienst te res-sorteeren onder het Ministerie van Waterstaat, waaronder naast de luchtvaart ook de andere takken van verkeer vallen.

Bij K.B. van 22 Febr. 1920 No. 71 werd een Commissie van Advies benoemd, waarin zitting hebben:

Prof. L. A. VAN ROYEN, *Voorzitter*, te 's Gravenhage.

Mr. A. J. L. VAN BEECK CALKOEN, Referendaris bij het Departement van Onderwijs, Kunsten en Wetenschappen te 's Gravenhage.

Mr. S. J. BLOEM ¹⁾, Adjunct-Commies bij het Departement van Binnenlandsche Zaken te 's Gravenhage.

De COMMANDANT van de Luchtvaartafdeeling te Soesterberg.

¹⁾ Deze werd vervangen door Mr. D. J. I. van den Oever, Adjunct-commies bij het Departement van Binnenlandsche Zaken te 's Gravenhage, K.B. 15 Juni 1920, No. 81.

Prof. Dr. E. VAN EVERDINGEN, Hoofddirecteur van het Koninklijk Nederlandsch Meteorologisch Instituut te De Bildt.

A. F. M. HOOG, Majoor der Artillerie van het leger in Nederlandsch-Indië, gedetacheerd bij het Departement van Koloniën te 's Gravenhage.

ALB. TH. KAPTEIJN, Onder-Voorzitter van de Koninklijke Nederlandsche Vereeniging voor Luchtvaart, te 's Gravenhage.

Mr. J. F. SCHÖNFELD ¹⁾, Administrateur bij het Departement van Waterstaat te 's Gravenhage.

De COMMANDANT van den Marine-Luchtvaartdienst te Den Helder.

Secretaresse,

Mej. Mr. W. H. H. GEY VAN PITTIUS.

Secretariaat: Laan van Meerdervoort 104, te 's Gravenhage.

De Rijks-Studiedienst voor de Luchtvaart doet, blijkens Artikel 1 van het bij Kon. Besluit van 16 Februari 1920, No. 67 vastgestelde Reglement voor dien Dienst, proefnemingen op het gebied der luchtvaart, in den meest uitgebreiden zin genomen. Deze proefnemingen kunnen zoowel geschieden op eigen initiatief als op verzoek van regeeringslichamen of particulieren.

Teneinde het uitgebreide studiegebied te verdeelen, werden de volgende afdelingen ingericht:

1. afdeling voor vliegtuigbouw en constructie, tevens voor proefnemingen op ware grootte en in de lucht.
2. afdeling voor aerodynamica.
3. afdeling voor materialen.
4. afdeling voor motoren.

Verder werd een bibliotheek ingericht, terwijl een teekenkamer, instrumentmakerij, modelmakerij en mechanische werkplaats voor het ontwerpen en vervaardigen van beproevingsinrichtingen en modellen moeten dienen.

De afdeling voor vliegtuigbouw enz. beschikt over een laboratoriumvliegtuig en de noodige instrumenten voor proefnemingen in de lucht, terwijl de toestellen voor een inrichting voor het meten van de snelheid van vliegtuigen op verschillende hoogte werden aangekocht.

De afdeling voor aerodynamica beschikt over een windtunnel van 1.60 M. diameter met een maximale windsnelheid van 35 M/sec., waarbij de noodige meetapparaten voor modelmetingen aanwezig zijn.

De afdeling voor materialen beschikt over toestellen voor

¹⁾ Deze werd vervangen door den Heer E. Th. de Veer, Hoofdcommies bij het Departement van Waterstaat, te 's Gravenhage, K.B. 24 Januari 1921, No. 50.

mechanische proeven als trek- en buigproeven, slagproeven en vermoeidheidsproeven op metalen, hout en doek, terwijl mikroskopisch en chemisch onderzoek van metalen, enz. plaats vindt.

De afdeling voor motoren, die eerst December 1920 met proefnemingen is begonnen, heeft een stationnaire proefbank voor motoren tot 600 P.K. met waterrem en een balansbok voor beproeving van motoren met hunne luchtschroeven. Verder zijn de noodige apparaten voor metingen aan motoren en aan hunne onderdeelen aanwezig.

Het leidend personeel bestaat uit de Ingenieurs:

Dr. Ir. E. B. WOLFF, Directeur.

Ir. F. D. PIGEAUD ¹⁾ }
Ir. C. KONING } afdeeling voor aerodynamica.

Ir. J. C. G. GRASÉ Jr. }
F. H. REIJNEKER ²⁾ } afdeeling voor vliegtuigbouw, enz.

Ir. L. J. G. VAN EWIJK, afdeeling voor materialen.

C. KUIPERS }
Ir. I. BAWLY } afdeeling voor motoren.

Mevrouw Dr. MENDES DA COSTA-VET, Scheikundige.

Volgens het bovengenoemd Reglement zullen de uitkomsten van de onderzoekingen neergelegd worden in verslagen.

Een eerste reeks dezer verslagen wordt hierachter met goedkeuring van Z. E. den Minister van Waterstaat gepubliceerd. Deze reeks bevat alleen die verslagen, die van algemeen belang worden geacht en tegen welke publicatie geen bezwaar bestond.

Het onderzoek naar den invloed van de verwarming van het bovenvlak van een draagvlakmodel op de lift- en drijfkrachten werd als Congresbericht van het Algemeen Ingenieurscongres te Batavia gepubliceerd. Voor de volledigheid wordt het hier nogmaals afgedrukt.

1) Ir. F. D. Pigeaud heeft op 16 Juli 1921 den Dienst met eervol ontslag verlaten.

2) F. H. Reyneker werd benoemd met ingang van 5 April 1921.

RAPPORT A 12.

DE WINDTUNNELINSTALLATIE VAN DEN RIJKS- STUDIEDIENST VOOR DE LUCHTVAART.

OVERZICHT.

A. Strekking van het rapport.

In het rapport wordt een beschrijving gegeven van de windtunnelinstallatie en van de wijzigingen, welke vanaf de in bedrijfstelling tot Juni 1920 aangebracht werden. Na dien datum werden geen wijzigingen van beteekenis aangebracht. In het kort zullen de overwegingen vermeld worden, welke leidden tot het aanbrengen der verschillende verbeteringen, alsmede de verkregen resultaten.

B. Beschrijving der oorspronkelijke uitvoering.

Deze was van het Eiffelsche type met vrijstraalkamer, doch met toevoeging van een luchtverdeeler achter de ventilatorschroef. De middellijn van den vrijstraal was 1600 mM., het voor aandrijving van de ventilatorschroef beschikbare vermogen 30 P. K.

Een teekening van den windtunnel is gegeven in bijlage 1, die van het gebouw, waarin deze opgesteld werd, in bijlage 2.

C. Aard der wijzigingen.

Bij de oorspronkelijke uitvoering liet de regelmatigheid van den windstroom veel te wenschen over. Verbetering hiervan werd verkregen door het aanbrengen van verschillende wijzigingen. Deze kunnen verdeeld worden in twee groepen:

1. Wijzigingen in den windtunnel.
2. Wijzigingen in de omringende hal.

De belangrijke veranderingen der eerste groep zijn: het geheel omkleeden van den vrijstraal en het verbeteren en naar voren verplaatsen van den collecteur. Hierdoor werd een tunnel verkregen, waarin zoowel met vrijstraal als met omsloten straal gewerkt kan worden. De wijzigingen der tweede groep bestonden in het aanbrengen van eenige gordijnen en afdichtingen. De wijzigingen in het gebouw zijn aangegeven in bijlage 2 (getrokken lijnen: oorspronkelijke toestand; stippellijnen: wijzigingen); die in den windtunnel in bijlage 3.

Bovendien werd ter verhooging van de maximum snelheid het motorvermogen vergroot van 30 P. K. op 50 P. K.

D. Resultaten verkregen door de verschillende wijzigingen.

De snelheidsverdelingen, welke op de meetplaats verkregen werden na het aanbrengen der verschillende wijzigingen, zijn in de bijlagen 4 tot en met 17 gegeven. De toestand van den windtunnel is hierbij aangegeven door verwijzing naar de in de bijlagen 2 en 3 gegeven schetsen. Als eindtoestand werd verkregen: maximum windsnelheid 35 M. per seconde; grootste afwijking van de gemiddelde snelheid binnen een cirkel met een straal van 500 mM.: 1.5 %.

L'INSTALLATION AÉRODYNAMIQUE DU „RIJKS-STUDIEDIENST VOOR DE LUCHTVAART”.

RÉSUMÉ.

A. But du rapport.

Dans le rapport on donne une description de l'installation aérodynamique ainsi que des modifications apportées à cette installation depuis la mise en service jusqu'à juin 1920. Après ce date l'installation n'a plus été changée. On a fait part des considérations qui ont conduit aux différentes modifications et des résultats obtenus.

B. Description de l'exécution originale.

Le tunnel original était du type Eiffel, muni d'une chambre d'échappement type anglais. Le diamètre du jet libre était de 1600 m.M., la puissance motrice disponible pour actionner l'hélice était de 30 ch. Un dessin du tunnel est donné pl. 1; celui de l'édifice dans lequel le tunnel est placé pl. 2.

C. Nature des modifications.

Au commencement l'uniformité du courant d'air laissait beaucoup à désirer. On obtenait une amélioration en introduisant plusieurs modifications.

Nous pouvons diviser ces modifications en deux groupes:

1. Modifications du tunnel proprement dit.
2. Modifications des structures environnantes.

Les modifications les plus importantes du premier groupe sont les suivantes: d'abord, on a complètement enfermé le jet libre; puis, on a amélioré le collecteur et placé celui-ci plus en avant. Ainsi on a obtenu un tunnel qui peut aussi bien être utilisé à jet libre comme à courant renfermé. Dans le deuxième groupe on trouve la mise en place de quelques écrans.

Les modifications apportées à l'édifice sont indiqués dans la planche 2 (traits pleins: situation originale; traits pointillés: modifications). Les modifications du tunnel sont indiquées sur la planche 3.

Afin d'obtenir des vitesses plus grandes on a remplacé le moteur de 30 ch. par un autre fournissant 50 ch.

D. Résultats obtenus avec les modifications.

La répartition des vitesses à l'endroit où est placé le modèle est représentée dans les planches 4—17. La situation du tunnel est indiquée sur les planches 2 et 3. Comme résultats définitifs, on a obtenu une vitesse maxima de 35 M/sec.; écart maximum de la vitesse à l'intérieur d'un cercle de rayon 500 m.M.: 1,5 pCt.

THE WINDCHANNEL OF THE „RIJKS-STUDIEDIENST VOOR DE LUCHTVAART”.

SUMMARY.

A. Object of the report.

In the report a description is given of the windchannel and of the changes made since the putting in use up to June, 1920. Since then no changes have been made. The considerations which have led to the various changes are given; also the results obtained.

B. *Description of the original installation.*

This was mainly of the Eiffel type, but with an outlet chamber of NPL-type. The diameter of the free jet was 1600 m.M., the power available for driving the screw-ventilator was 30 H.P. A drawing of the channel is given in appendix 1; another of the building in which the channel is placed, in appendix 2.

C. *Nature of the changes.*

With the original form of construction, the uniformity of the air-flow was unsatisfactory. Improvement was obtained by making several changes. These may be divided into two groups:

1. Modifications of the channel.
2. Modifications of the surrounding building.

The following changes are the most important: of the first set: the free part of the flow was entirely enclosed and the collector was improved and moved forward. Thus, a channel has been obtained which may be used either with a free jet or with enclosed flow.

The modifications of the 2nd. group consisted in placing several curtains and joints. The modifications of the building are given in appendix 2 (full lines: original situation; dotted lines: modifications); those of the channel are given in appendix 3.

In order to raise the maximum velocity, the driving power was increased from 30 H.P. to 50 H.P.

D. *Results obtained with the modifications.*

The speed gradings at the section, where the models are placed in the stream, as obtained after the introduction of various alterations are represented in appendices 4—17.

For the situation of the channel the reader is referred to the sketches given in appendices 2—3. As a final result, a maximum velocity of 35 Metres per sec. was obtained; the greatest variation of the mean velocity within a circle of 500 m.M. radius was 1.5 pCt.

DIE WINDKANALANLAGE DES „RIJKS-STUDIEDIENST VOOR DE LUCHTVAART”.

ZUSAMMENFASSUNG.

A. *Zweck der Mitteilung.*

Die Mitteilung gibt eine Beschreibung der Windkanalanlage und der seit der Inbetriebsetzung bis Juni 1920 ausgeführten Abänderungen. Seit dem sind keine Abänderungen angebracht worden. Die Überlegungen, welche zu den Abänderungen geführt haben, werden angegeben; ebenfalls die Resultate davon.

B. *Beschreibung der ursprünglichen Ausführung.*

Diese gehörte zum Eiffel-typ mit einem Ausstromkasten des NPL-Typs. Der Durchmesser des Freistrahles betrug 1600 m.M. Zum Antreiben der Ventilator-schraube standen 30 P.S. zur Verfügung.

Eine Zeichnung des Windkanals ist in Anlage 1 gegeben; ein Plan des Gebäudes, in welchem der Kanal aufgestellt wurde, in Anlage 2.

C. Art der Abänderungen.

Bei der ursprünglichen Ausführung war der Gleichförmigkeitsgrad des Windstromes ungenügend. Mehrere Abänderungen führten zur Verbesserung. Die Abänderungen lassen sich in zwei Gruppen teilen:

1. Abänderungen des Windkanals.
2. Abänderungen der Halle.

Als bedeutende zur ersten Gruppe gehörende Abänderungen sind anzuführen die völlige Umkleidung des Freistrahles und das Ausbessern und nach vorn Verschieben des Gleichrichters. Man hat also einen Kanal erhalten der entweder mit Freistrahle oder mit eingeschlossener Strömung benutzt werden kann. Die Abänderungen der zweiten Gruppe bestanden in der Anordnung einiger Schirme und Abdichtungen. Die Abänderungen des Gebäudes sind angegeben in Anlage 2 (voll ausgezogene Linien: ursprüngliche Lage; punktierte Linien: Abänderungen); die Abänderungen des Windkanals sind in Anlage 3 eingetragen. Weiter wurde zur Erhöhung der Höchstgeschwindigkeit die Motorstärke von 30 P.S. auf 50 P.S. gebracht.

D. Ergebnisse der Abänderungen.

Die Geschwindigkeitsverteilungen an der Messstelle nach Ausführung der Abänderungen sind in Beilagen 4 bis 17 eingetragen. Die Lage des Windkanals ist dabei durch Verweisung auf die in Beilagen 2 und 3 gegebenen Skizzen angedeutet. Als Endzustand wurde erreicht: Höchstgeschwindigkeit 35 M/Sek.; grösste Geschwindigkeitsdifferenz innerhalb eines Kreises mit 500 m.M. Radius: 1,5 v.H.

RAPPORT A 12.

DE WINDTUNNELINSTALLATIE VAN DEN RIJKS- STUDIEDIENST VOOR DE LUCHTVAART.

I. *Strekking van het rapport.*

In het hier volgende rapport wordt een beschrijving gegeven van de windtunnelinstallatie en van de wijzigingen, welke vanaf de in bedrijfstelling tot Juni 1920 aangebracht werden. Tevens zullen in het kort de overwegingen vermeld worden, welke leidden tot het aanbrengen der verschillende verbeteringen, alsmede de verkregen resultaten.

II. *Beschrijving van de windtunnelinstallatie in de oorspronkelijke uitvoering.*

Bij het ontwerp van den windtunnel werd hoofdzakelijk de Eiffelsche constructie gevolgd. De lucht werd echter, inplaats van door een ventilator, aangezogen door een vierbladige schroef, en in het gebouw teruggevoerd door een uitlaatkast, welke overeenkomt met die der N. P. L. windtunnels. De door de ventilator-schroef aangezogen lucht vormde dus op de metingsplaats een vrijen straal tusschen twee tegenover elkaar gelegen openingen in de wanden der kamer. De middellijn van dezen straal was 1600 mm. De collecteur, dienende tot vergelijkmaticing van den windstroom, bevond zich onmiddellijk voor de opening in de voorzijde van de kamer. Aan de beide wanden om de openingen bevonden zich korte, wijd opengebogen tuiten. De verbindingsbuis tusschen de kamer en de ventilatorschroef was over het achterste gedeelte kegelvormig verwijd, teneinde besparing in de voor de aandrijving benoodigde energie te verkrijgen. Achter de schroef bevond zich de uitlaatkast, waarvan de wanden gevormd werden door kruisgewijs over elkaar liggende latten. De openingen tusschen deze latten waren aan de voorzijde grooter dan aan de achterzijde, om een meer gelijkmatige uitstrooming der lucht te bevorderen. Het vermogen van den voor aandrijving der ventilatorschroef dienenden motor, welke achter in de uitlaatkast geplaatst werd, bedroeg 30 P.K. Een teekening van de oorspronkelijke uitvoering van den tunnel is gegeven in bijlage 1, die van het gebouw, waarin deze was opgesteld, in bijlage 2.

III. *Algemeene overwegingen, welke aanleiding gaven tot het aanbrengen der wijzigingen.*

De windstroom der tunnelinstallatie voldeed bij de oorspronkelijke uitvoering niet aan alle eischen, welke bij nauwkeurige aerodynamische onderzoekingen gesteld moeten worden.

De belangrijkste van deze eischen zijn:

- a. geringe verschillen in windsnelheid tusschen verschillende punten (de onregelmatigheid van den windstroom in dezen zin zal in het vervolg aangeduid worden als „plaats-onregelmatigheid”).
- b. geringe veranderingen van de windsnelheid in één punt met den tijd (in tegenstelling met de vorige wordt deze onregelmatigheid „tijd-onregelmatigheid” genoemd).
- c. geringe turbulentie. De mate van turbulentie van den windstroom kan niet door meting bepaald worden, echter kan hier aangenomen worden, dat deze nauw samenhangt met de onregelmatigheden, genoemd onder a en b en wel in dien zin, dat met vermindering dezer onregelmatigheden in het algemeen ook de turbulentie verminderd wordt.

Bovendien was het gewenscht, de bereikbare maximumsnelheid zoo hoog mogelijk op te voeren. De reden hiervan is tweevoudig:

1. modelonderzoekingen moeten kunnen geschieden tot een zoo hoog mogelijke waarde van het „toestandsgetal” vl. (snelheid $\times$ lineaire afmeting van het model).
2. ijking van snelheidsmeters en dergelijke instrumenten moet geschieden bij windsnelheden, die gelijk zijn aan of althans zoo dicht mogelijk naderen tot de gebruikssnelheden.

IV. *Algemeene aard der aangebrachte wijzigingen.*

De boven onder III a en b genoemde onregelmatigheden werden verbeterd door het aanbrengen van wijzigingen, zoowel in den eigenlijken windtunnel zelf als in de hal, waarin deze opgesteld is. De belangrijkste wijzigingen in den windtunnel bestaan uit het geheel omsluiten van de vrijstraal door een cylindrischen koker en het aanbrengen van een nieuw verbeterd collecteur-apparaat, dat tevens met den zuigmond verder naar voren verplaatst werd.

De wijzigingen in de hal bestaan uit het aanbrengen van eenige gordijnen en afdichtingen, waardoor de strooming in het gebouw beïnvloed wordt. Bovendien werd om een andere reden een gedeelte van de hal afgeschoten, waardoor de snelheidsverdeling van den windstroom ook eenigermate beïnvloed werd.

De gewenschte verhooging van de maximum windsnelheid werd aanvankelijk verkregen door in de vrijstraalkamer een vernauwde inzettunnel aan te brengen. Deze inrichting was echter door de kleine doorsnede van den windstroom alleen bruikbaar voor

eenige onderzoekingen, als het ijken van snelheidsmeters. Later bleek het wenschelijk, de windsnelheid over de geheele doorsnede van den vrijstraal hooger op te voeren. Dit werd verkregen door het aanbrengen van een krachtiger motor voor de aandrijving van de ventilatorschroef, terwijl tevens door een parallelschakeling van opwekker en generator van het omvormer-agregaat de te leveren energie opgevoerd kan worden. Voor het verkrijgen van nog hogere windsnelheden over een kleinere doorsnede wordt thans overwogen hiervoor gebruik te maken van een vernauwingsbuis volgens voorstel van Prof. Prandtl. De hier in het kort aangegeven wijzigingen zijn in VI uitvoeriger beschreven onder vermelding van de verkregen resultaten.

V. *Beschrijving van de methode van onderzoek naar de onregelmatigheid van den windstroom; voorstelling van de verkregen resultaten.*

Voor de meting van snelheden in den windstroom werd steeds gebruik gemaakt van een Pitotbuis; de door deze gegeven drukverschillen werden gemeten met een vloeistof-micromanometer. De gebruikte Pitotbuis is van het Prandtl'sche type; de micromanometer is van het fabriikaat Fuess. De tijdonregelmatigheid werd bepaald, door bij een gegeven instelling van de snelheidsregeling na te gaan, welke slingeringen de met de Pitotbuis verbonden micromanometer vertoonde. Voor de bepaling van de plaatsonregelmatigheid werd bij een gegeven snelheid de windsnelheid in verschillende punten in één doorsnede van den windstroom gemeten. Uit de verkregen waarden werd de gemiddelde snelheid bepaald en de afwijkingen in de verschillende punten in % van deze uitgedrukt.

De windsnelheid werd oorspronkelijk geregeld met behulp van een Pitotbuis, die onmiddellijk achter den collecteur opgesteld was, op zóódanige wijze, dat haar opening achter het midden van een collecteurcel stond. Later geschiedde de snelheidsregeling volgens de Eiffelsche methode: de eene zijde van een micromanometer is door een opening in den wand van de vrijstraalkamer verbonden met de buitenlucht, de andere door een buisje loodrecht op den wand van de voortuit met de lucht van den vrijstraal. Het gemeten drukverschil is dan evenredig met het kwadraat van de windsnelheid.

VI. *Beschrijving van de aangebrachte wijzigingen en van de hiermede verkregen resultaten.*

In bijlage 2 is een teekening gegeven van de hal, waarin de getrokken lijnen de oorspronkelijke uitvoering en de stippellijnen later aangebrachte wijzigingen voorstellen.

Bijlage 3 geeft de schematische doorsneden over zuigmond, collecteur en vrijstraalkamer, waaruit de ontwikkelingsgang van dit gedeelte der tunnelinstallatie te zien is.

Bij de in bedrijf stelling (Maart 1919) bleek, dat een maximum-windsnelheid van ongeveer 25 M/sec. bereikt kon worden. Zoowel plaats- als tijdonregelmatigheid waren zeer groot. Behalve vrij regelmatige schommelingen, vertoonde de windsnelheid plotse-linge snelheidsdalingen van 10 tot 20 %, gevolgd door een vrij snellen terugkeer tot de oorspronkelijke snelheid. Het aantal dezer schokken bleek verminderd te kunnen worden door het aanbrengen van een gordijn tusschen den rechterzijwand van de vrijstraalkamer en den muur van de hal (bijlage 2 bij a). Dit gordijn ligt in één vlak met den voorwand van de vrijstraalkamer, de boven- en onderrand ervan liggen gelijk, resp. met het boven- en het ondervlak van de vrijstraalkamer.

Teneinde bij onderzoeken, als bij het ijken van snelheids-meters, waarbij vermindering van de doorsnede der straal geen bezwaren opleverde, een hogere windsnelheid te kunnen berei-ken, werd in de vrijstraalkamer een uitneembare vernauwde inzet-tunnel ingebouwd, bestaande uit een cilindrisch middenstuk en twee kegelvormige verloopstukken, aansluitende aan de wanden van de vrijstraalkamer (bijlage 3, fig. II, April '19). De grootste middellijn der verloopstukken is gelijk aan die van de openin-gen in de wanden van de vrijstraalkamer, de maximum-snelheid in dezen inzet-tunnel bedroeg 33 M/sec.; de windstroom was veel regelmatig dan die in den vrijstraal.

Teneinde in de vrijstraal een grootere regelmatigheid der snelheid te verkrijgen werd de oorspronkelijke tuit aan den voorsten wand van de kamer vervangen door een cilindrische met een axiale lengte van 950 mM. (bijlage 3, fig. III, Mei 1919). Het aanbrengen van deze tuit had inderdaad een gunstige invloed op de onregelmatigheid. De tijdonregelmatigheid, onmiddellijk achter den collecteur, bedroeg 1 %, uitgezonderd sporadisch optredende schokken van 10 tot 20 % snelheidsverschil. Op de plaats, waar bij de onderzoeken de modellen opgehangen werden, dus verder naar achteren, was deze onregelmatigheid grooter. In dit vlak werd ook de plaatsonregelmatigheid bepaald. De hiervoor verkregen waarden zijn in bijlage 4 uitgezet. Deze was nog verre van gunstig. De gemiddelde snelheid in het vlak der modellen bedroeg ongeveer 85 % van die, onmiddellijk achter den collecteur. Dit verschil werd waarschijnlijk veroorzaakt door divergentie der stroomlijnen in den vrijstraal.

Daar hierdoor bleek, dat het gedeeltelijk omsluiten van den vrijstraal een gunstigen invloed had op de regelmatigheid van den windstroom, werd ook de tuit aan de achterzijde vervangen door een conische met een axiale lengte van ongeveer 950 mM. (bijlage 3, fig. IV, Juli 1919). Tevens werden de cellen van den collecteur, die gedeeltelijk bedekt waren door de randen van den zuigmond en van de voortuit, zóódanig met hout opgevuld, dat het open gedeelte van den collecteur een cirkelvormige doorsnede verkreeg, waarvan de middellijn gelijk was aan die van de aan-sluitende gedeelten van mond en tuit. De snelheidsverdeling, die na het aanbrengen van deze wijzigingen verkregen werd, is

gegeven in bijlage 5. Hieruit blijkt, dat de snelheidsverdeling, hoewel nog niet bevredigend, verbeterd was. Ook de tijdonregelmaticheid was verbeterd. Een verdere verbetering van de plaatsonregelmaticheid werd verkregen, door op de plaatsen van hooge snelheid in de collecteurcellen metalen kruisen en vlakke plaatjes aan te brengen. De resultaten zijn gegeven in bijlage 6. Bij deze snelheidsmeting, welke slechts over de bovenste helft van den vrijstraal uitgevoerd werd, werden de meetpunten gekozen achter het midden der collecteurcellen. Hoewel door het aanbrengen der kruisen en plaatjes de gelijkmatigheit der snelheidsverdeling aanzienlijk verbeterd was, werd toch dit systeem later weder verlaten, daar vermoed werd, dat hierdoor de turbulentie van den windstroom vergroot werd.

De wenschelijkheid van het hooger opvoeren der windsnelheid leidde tot de aanschaffing en montage van een zwaarderen motor voor aandrijving van de ventilatorschroef (Augustus 1919). Het normaal vermogen van den nieuwen motor bedroeg 50 P.K.

Om over een voldoende energie voor het nieuwe maximum vermogen te kunnen beschikken, werd een wijziging in de gelijkstroomschakelinrichting aangebracht, waardoor het mogelijk werd, de gelijkstroomdynamo en de opwekkermachine van het omvormer-agregaat parallel te doen loopen. Bij de beproeving werd een windsnelheid van 35 M sec. bereikt.

Uit eigen ondervinding en uit inlichtingen, verstrekt door buitenlandsche laboratoria, was voldoende gebleken, dat van een volledige omgrenzing van den vrijstraal een gunstige invloed op de regelmaticheid te verwachten was. Tot een zoodanige omgrenzing werd overgegaan door den inbouw van een nieuwe inzet-tunnel, welke verschuifbaar tusschen twee cylindrische tuiten aangebracht werd (bijlage 3, fig. V, September 1919). De inzet-tunnel werd op het onderste platform van het balansgestel bevestigd; zij kan dus te zamen met dit gestel verschoven worden in een richting, loodrecht op de tunnelas. Deze verschuifbaarheid levert gemak op bij de montage van modellen en is een der voordeelen van het hier toegepaste systeem boven het Teddingtonsche. Een tweede voordeel is de aanwezigheit van de experimenteer-kamer, waarin dezelfde druk heerscht als in den windstroom, zoodat tijdens het experimenteren een klep in de tunnel geopend kan worden, zonder dat hierdoor de luchtstroom verstoord wordt. In de nieuwe inzet-tunnel werd een uitvoerig onderzoek naar de snelheidsverdeling uitgevoerd. Deze werd bepaald in twee vlakken, resp. 780 mM. en 1730 mM. achter den voorrand van den inzet-tunnel gelegen. Deze vlakken zullen hier verder aangeduid worden als „vorste” resp. „achterste vlak”. Bovendien werd onderzocht, welken invloed de wanden der collecteurcellen hadden op den windstroom in het vorste vlak. De resultaten zijn gegeven in de bijlagen 7, 8 en 9.

In bijlage 7 zijn schetsmatig de verschillende standen van de Pitotbuis ten opzichte van de collecteurcel aangegeven; de stip stelt voor de opening der buis. De getallen geven de aanwijzin-

gen der Pitotbuis in de verschillende standen bij eenzelfde windsnelheid. Uit de resultaten blijkt, dat de snelheidsverdeeling gunstiger is, naarmate de afstand van het meetvlak tot den collecteur grooter is en dat de wanden van de collecteurcellen in het voorste vlak een zeer duidelijken invloed hebben op de snelheidsverdeeling.

Naar aanleiding van de bij dit laatste onderzoek verkregen resultaten werd besloten de volgende wijzigingen aan te brengen:

1. de bestaande collecteur, waarvan de afwerking te wenschen overliet, te vervangen door een nieuwe van betere uitvoering.
2. deze collecteur op grooteren afstand van de meetplaats der modellen aan te brengen.

Dit laatste werd mogelijk gemaakt door het aanbrengen van een cilindrisch tuitstuk met een lengte van ongeveer 2750 mm. tusschen den voorwand van de vrijstraalkamer en den zuigmond. De nieuwe collecteur kreeg een cilindrischen buitenomtrek van 1600 mm. middellijn zonder flenzen, zoodat montage in iedere willekeurige plaats van de cilindrische tuit mogelijk is.

Voordat deze nieuwe inrichting gereed was, bleek het noodzakelijk voor uitbreiding der werkplaatsen een zijvleugel van de hal af te scheiden (bijlage 2 bij *b*) (Januari '20). De invloed van deze verandering op de snelheidsverdeeling (gegeven in bijlage 10) was duidelijk merkbaar, de plaatsonregelmatigheid bleef echter in grootte vrijwel onveranderd.

Teneinde na te gaan, welke invloed de collecteur heeft op den windstroom, werd, na het gereedkomen van het nieuwe collecteurapparaat en tuitstuk, voorloopig alleen het laatste gemonteerd (bijlage 2 bij *c* en op bijlage 3 in fig. VI, April '20). De snelheidsverdeeling, die in dezen toestand op de plaats der modellen verkregen werd, is gegeven in bijlage 11. Over het algemeen genomen was zij verbeterd, doch zij vertoont een duidelijk zichtbaar gebied van lage snelheid in den linkerbovenhoek. In dit lage snelheidsgebied was ook de tijdonregelmatigheid grooter dan in het overige gedeelte van het onderzochte vlak, waar zij in grootte ongeveer overeenkwam met die in den vorigen toestand. De oorzaak van dit gebied van lage snelheid werd gezocht in een onregelmatige strooming van de lucht door de hal. Op tweërlei wijze werd getracht deze oorzaak weg te nemen.

1. door het tot op den vloer verlengen van het gordijn *a* (bijlage 2).
2. door het aanbrengen van het gordijn *f*, waardoor een hoek, die schuin voor den zuigmond gelegen is en luchtwervelingen zou kunnen veroorzaken, gedeeltelijk afgescheiden werd (bijlage 2).

De snelheidsverdeelingen, die hierbij verkregen werden, zijn gegeven in bijlagen 12 en 13. Uit deze blijkt, dat geen van beide wijzigingen het gewenschte resultaat opleverde, hoewel de invloed

op het lage snelheidsgebied toch merkbaar is. De beide gordijnen werden na het onderzoek weder verwijderd.

Voordat verder gegaan werd met het onderzoek naar de oorzaak der hier beschouwde afwijking werd de nieuwe collecteur gemonteerd (bijlage 3, fig. VII, Mei 1920). Deze werd, om den afstand tot de modellen zoo groot mogelijk te houden, voor in het nieuwe cylindrische tuitstuk geplaatst.

Uit een snelheidsmeting (bijlage 14) bleek duidelijk de gunstige invloed van de collecteur op de snelheidsverdeeling. Het lage snelheidsgebied bleek echter te blijven bestaan. Er werd onderzocht, of dit veroorzaakt kon worden door toestrooming van lucht uit de kamer in den luchtstroom door de naden tusschen den inzetunnel en de tuiten. Afdichting van deze naden leverde geen verbetering op. Voor vergelijkmatiging van de luchtstrooming door de hal werd een tweede gordijn opgehangen tusschen de vrijstraalkamer en den zijmuur van de hal (bijlage 2 bij *d*). Hierdoor werd wel eenige, doch geen voldoende verbetering van de snelheidsverdeeling verkregen (zie bijlage 15).

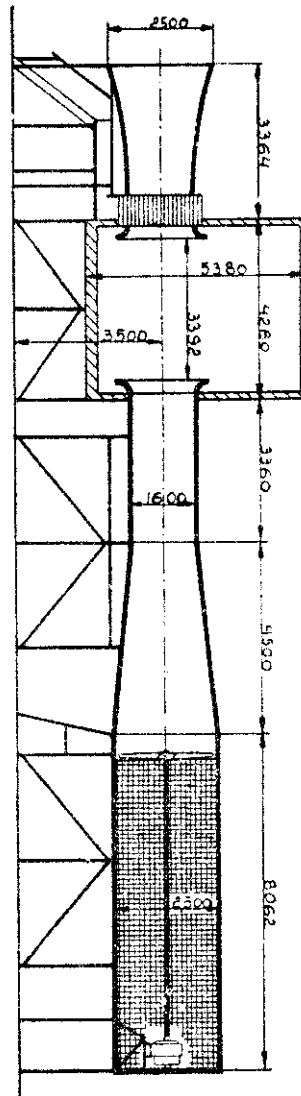
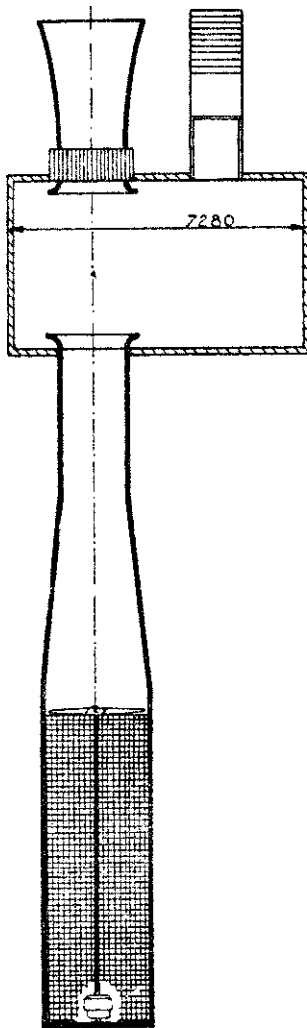
Een nauwkeurig onderzoek van de luchtstrooming door het gebouw door middel van rook, die uit een lange dunne buis geblazen werd toonde aan, dat door de ruimte tusschen den als modelmakerij afgesloten vleugel van de hal en den zijwand van de vrijstraalkamer een snelle en onregelmatige luchtstrooming plaats vond. Deze ruimte werd aan de voorzijde afgedicht (bijlage 2 bij *e*). Bij onderzoek van de snelheidsverdeeling bleek het lage snelheidsgebied, met uitzondering van eenige punten op den buitensten cirkel, verdwenen te zijn, terwijl ook de tijdonregelmatigheid daar ter plaatse aanzienlijk verbeterd was. De verkregen snelheidsverdeeling, die in den loop van Juli 1920 bij 2 snelheden opgemeten werd, is gegeven in de bijlagen 16 en 17. Hoewel de afwijkingen in sommige punten eenigszins verschillen, is het algemeene karakter der snelheidsverdelingen voor beide snelheden hetzelfde.

Sedert Juli 1920 werden geen verdere wijzigingen aangebracht.

(A/gesloten October 1921).

Rapport A 12.

Bijlage 1.

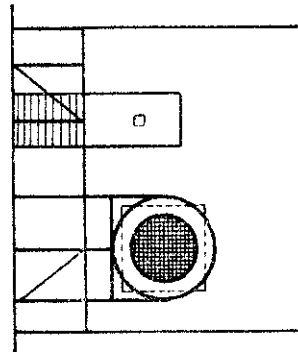


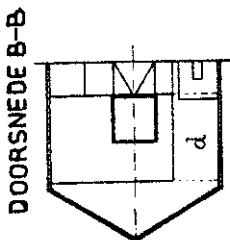
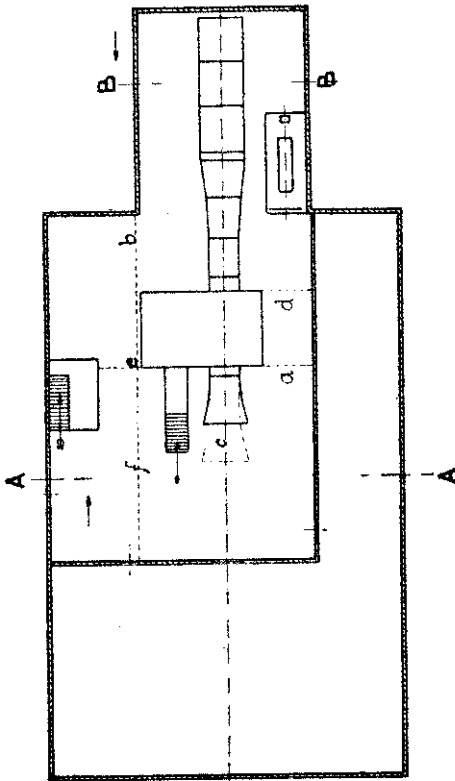
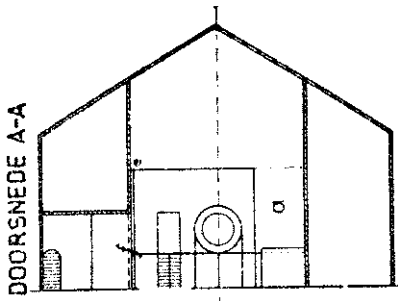
Windtunnel in oorspronkelijke uitvoering.

Le tunnel; exécution originale.

Original arrangement of the wind-channel.

Originalausführung der Windkanalanlage.





Opstelling van den windtunnel.

Situation du tunnel.

Arrangement of the windchannel.

Aufstellung des Windkanals.

Aangebrachte wijzigingen.	Modifications.	Modifications.	Abänderungen.
<i>a</i> en <i>d</i> Gordijnen.	Ecrans.	Curtains.	Schirme.
<i>b</i> Nieuw aangebrachte werkplaats.	Nouveau atelier.	New workshop.	Neuer Arbeitsraum.
<i>c</i> Verplaatste zuigmond.	Collecteur déplacé.	Transferred collector.	Versetzte Einstromdüse.
<i>e</i> Afdichting.	Joint.	Joint.	Abdichtung.
<i>f</i> Gordijn tijdelijk aangebracht.	Ecran appliqué temporairement.	Temporarily placed curtain.	Provisorisch angebrachte Abdichtung.

FIG. I.

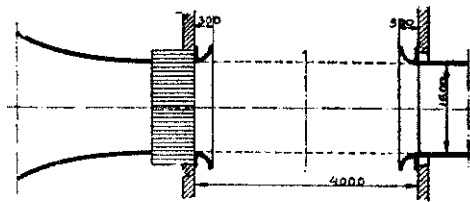


FIG. II.

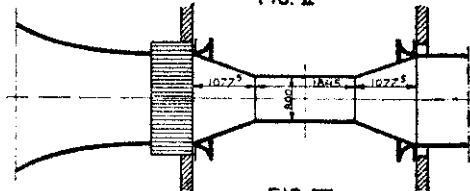


FIG. III.

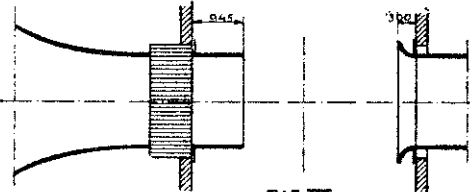


FIG. IV.

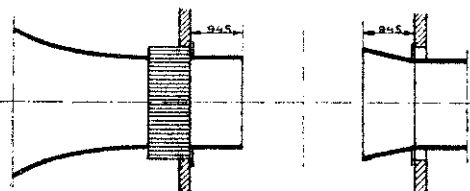


FIG. V.

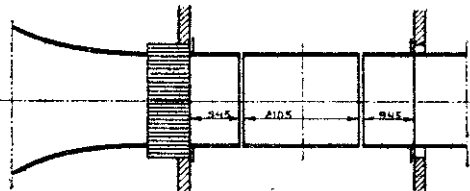


FIG. VI.

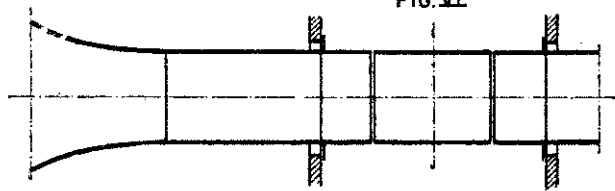
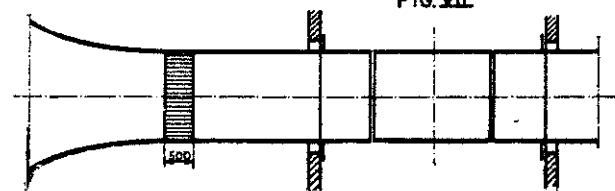


FIG. VII.

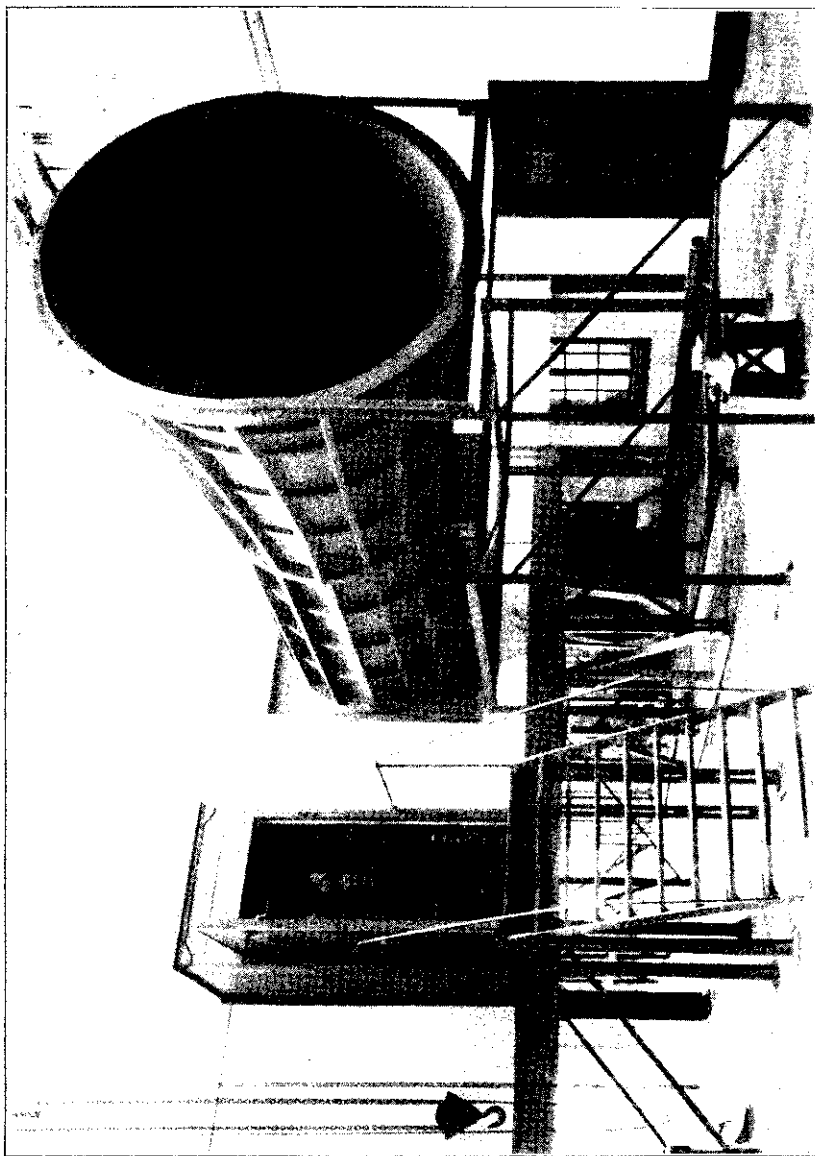


Schematische voorstel-
ling van de aan den wind-
tunnel aangebrachte wij-
zigingen.

Modifications apportées
an tunnel.

Sketch of changes made
to the tunnel.

Schematische Abbildung
der am Windkanal ange-
brachten Abänderungen.



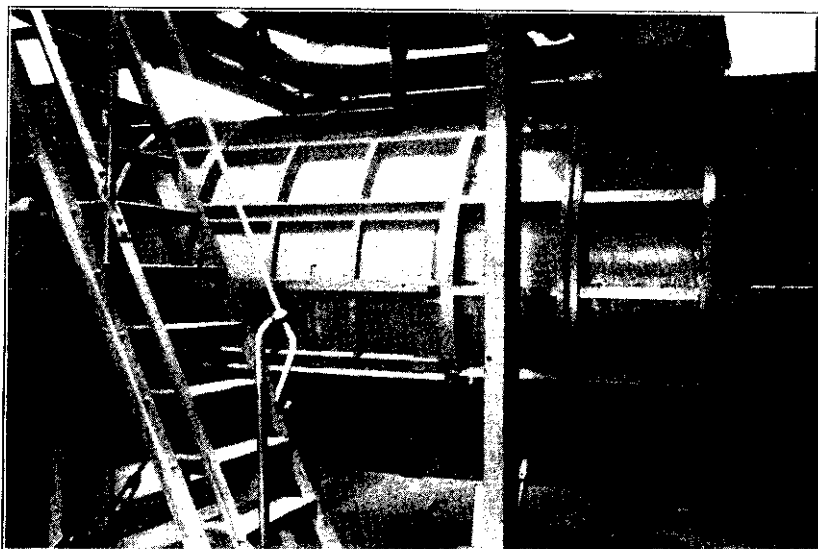
Zuigmond van den windtunnel.

Collecteur du tunnel.

Collector of the channel.

Einstromdüse des Kanals.

Rapport A 12.



Verschuifbaar gedeelte van den tunnel.

Partie déplaçable du tunnel.

Sliding part of the channel.

Verschiebbarer Teil des Kanals.

SNELHEIDSVERDEELING.

Afwijking in % van de gemiddelde snelheid.

RÉPARTITION DE LA VITESSE.

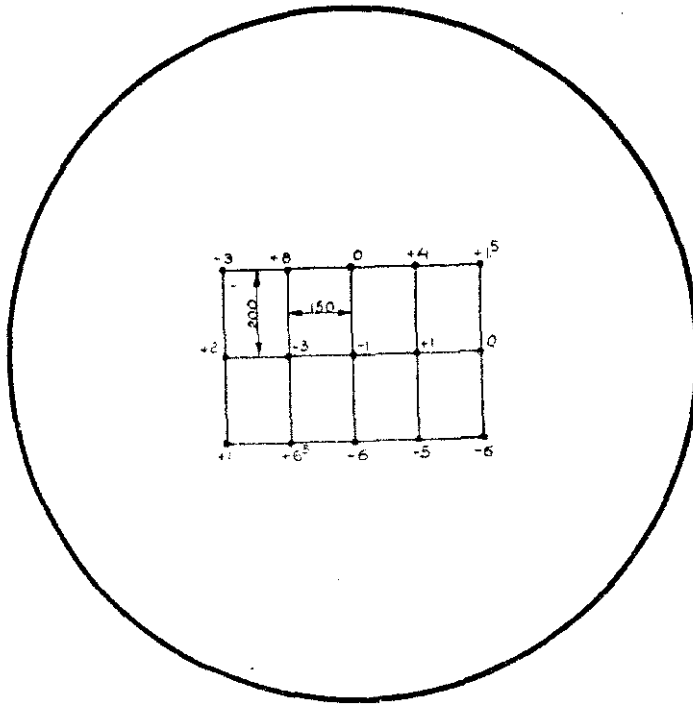
Ecarts de la vitesse moyenne en %.

VELOCITY DISTRIBUTION.

Differences in % of the mean velocity.

GESCHWINDIGKEITSVERTEILUNG.

Abweichungen in % der mittleren Geschwindigkeit.

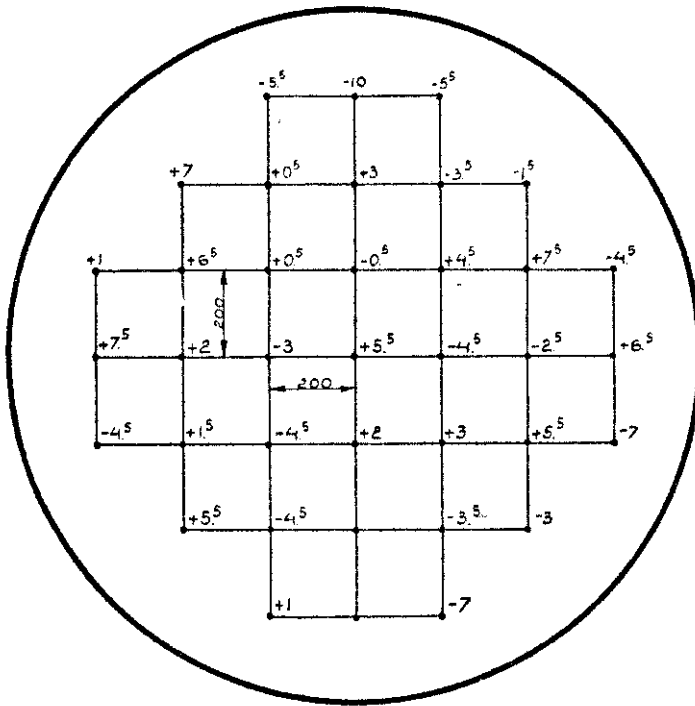


Toestand van den windtunnel zie bijlage 3, fig. III.

Pour l'état du tunnel voir pl. 3, fig. III.

Condition of the channel see app. 3, fig. III.

Für die Beschaffenheit des Windkanals siehe Anl. 3, Fig. III.

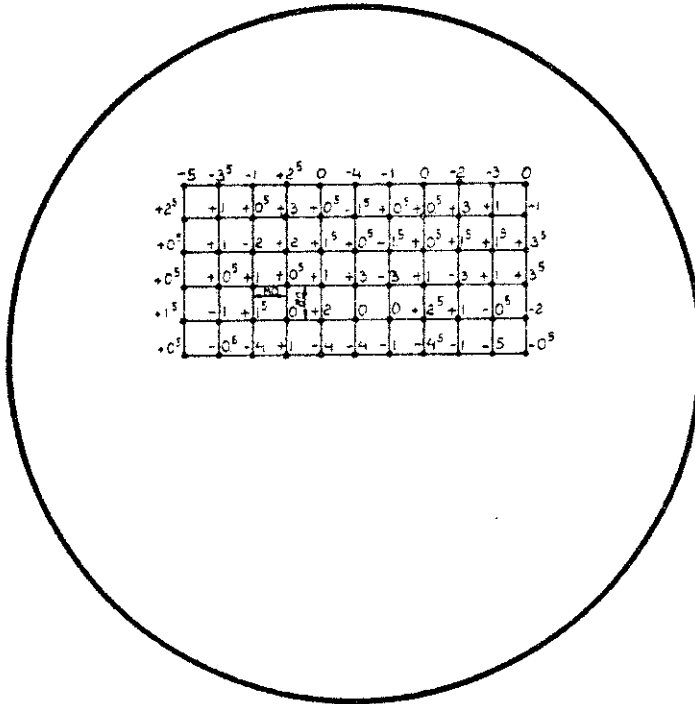


Toestand van den windtunnel zie bijlage 3, fig. IV.

Pour l'état du tunnel voir pl. 3, fig. IV.

Condition of the channel see app. 3, fig. IV.

Für die Beschaffenheit des Windkanals siehe Anl. 3, Fig. IV.



Toestand van den windtunnel zie bijlage 3, fig. IV.

Pour l'état du tunnel voir pl. III, fig. IV.

Condition of the channel see app. III, fig. IV.

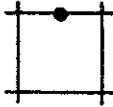
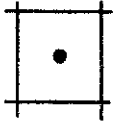
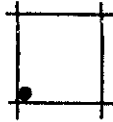
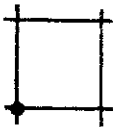
Für die Beschaffenheit des Windkanals siehe Anl. III, Fig. IV.

Snelheidsverdeelung verbeterd door kruisen in den collecteur.

La répartition des vitesses est améliorée par des croix dans le collecteur.

Velocity distribution is improved by crosses in the collector.

Die Geschwindigkeitsverteilung ist durch Kreuze im Gleichrichter verbessert worden.

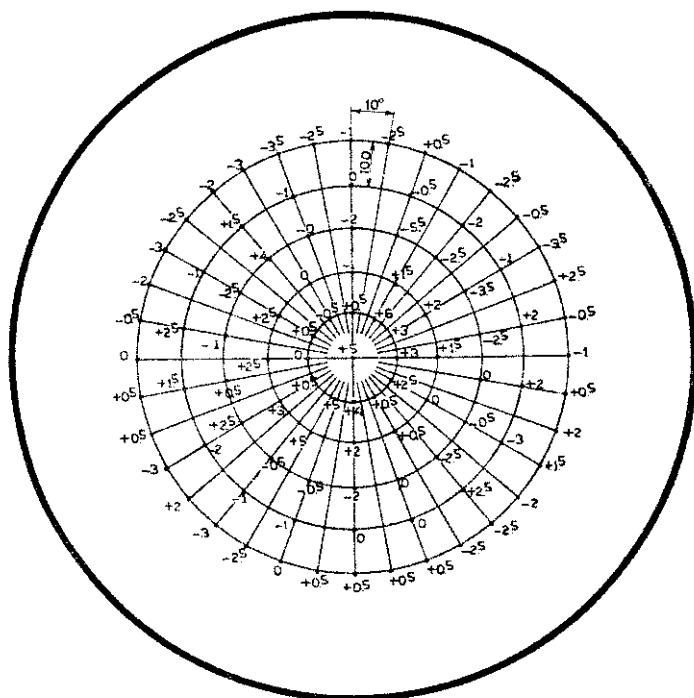
PLAATS $\frac{v}{D}$ PITOTBUIS.	AANWIJZING $\frac{v}{D}$ PITOTBUIS	
	80.5	BEHOORT BIJ SNELHEIDSVERDEELING VAN BYLAGE 6.
	87.	
	81.	
	81.5	

Invloed van de collecteurcellen op de windsnelheid in het voorste vlak.

Influence des cellules du collecteur sur la vitesse dans le plan avant.

Influence of the collector cells on the wind velocity in the front plane.

Einfluss der Gleichrichterzellen auf die Windgeschwindigkeit in der vorderen Fläche.



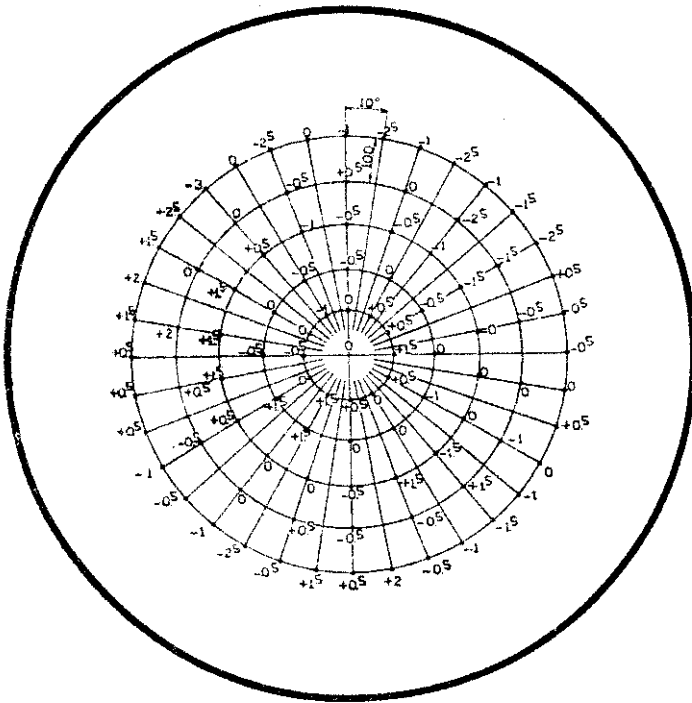
Voorste vlak. Plan avant. Plane in front. Vordere Fläche.

Toestand van den windtunnel zie bijlage 3, fig. V.

Pour l'état du tunnel voir pl. 8, fig. V.

Condition of the channel see app. 8, fig. V.

Für die Beschaffenheit des Windkanals siehe Anl. 3, Fig. V.



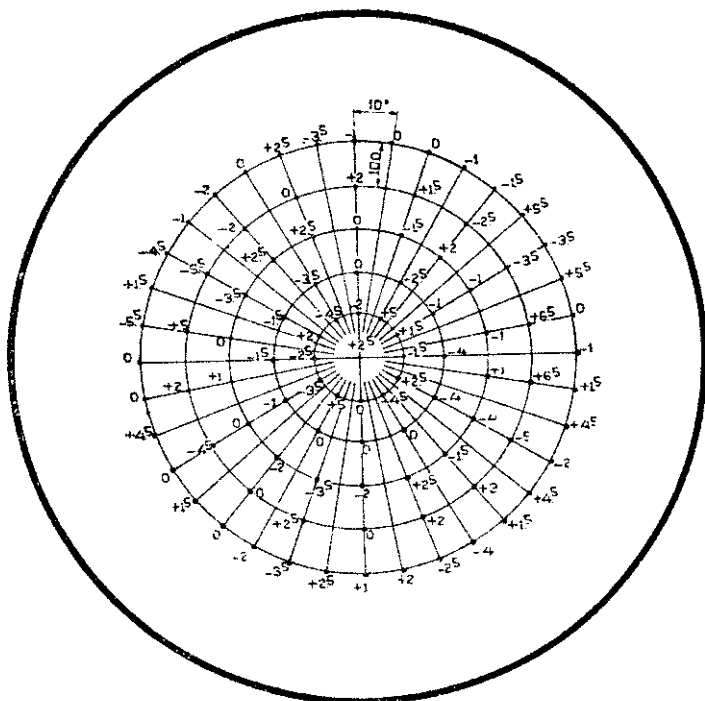
Achterste vlak. Plan arrière. Back plane. Hintere Fläche.

Toestand van den windtunnel zie bijlage 3, fig. V.

Pour l'état du tunnel voir pl. 3, fig. V.

Condition of the channel see app. 3, fig. V.

Für die Beschaffenheit des Windkanals siehe Anl. 3, Fig. V.



Toestand van den windtunnel zie bijlage 3, fig. V.

Pour l'état du tunnel voir pl. 3, fig. V.

Condition of the channel see app. 8, fig. V.

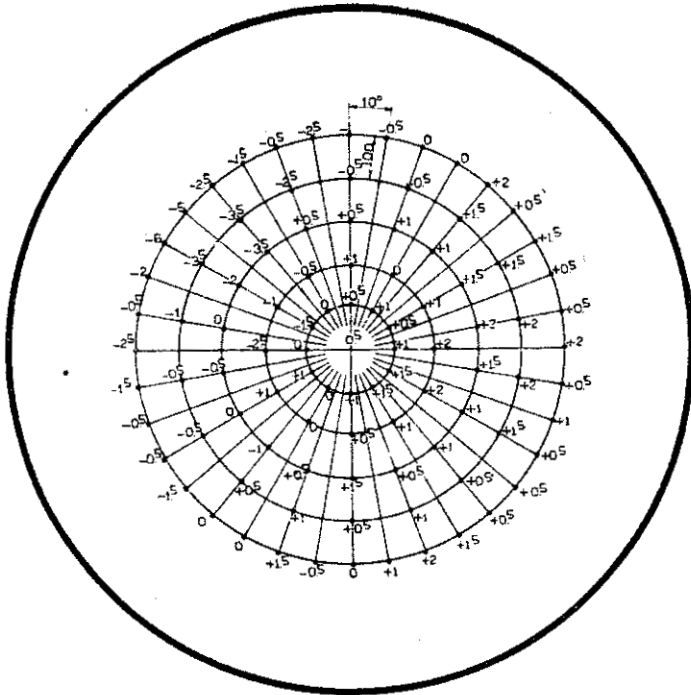
Für die Beschaffenheit des Windkanals siehe Anl. 3, Fig. V.

Vleugel van de hal afgeschoten, zie bijlage 2b.

L'aile de l'édifice est séparée par une cloison; voir pl. 2b.

The side-aisle of the building is partitioned off; see app. 2b.

Der Flügel des Gebäudes ist abgeschlossen worden; siehe Anl. 2b.

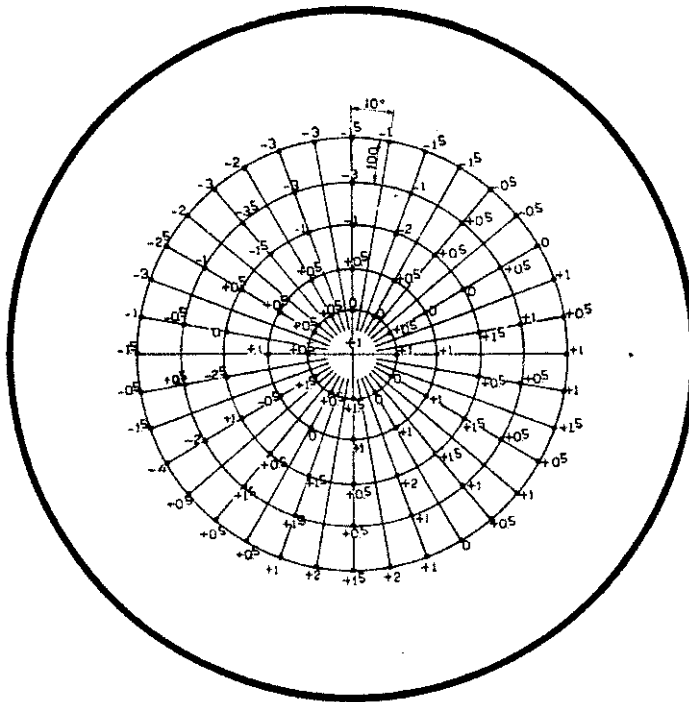


Toestand van den windtunnel zie bijlage 3, fig. VI.

Pour l'état du tunnel voir pl. 3, fig. VI.

Condition of the channel see app. 3, fig. VI.

Für die Beschaffenheit des Windkanals siehe Anl. 3, Fig. VI.



Toestand van den windtunnel zie bijlage 3, fig. VI.

Pour l'état du tunnel voir pl. 8, fig. VI.

Condition of the channel see app. 3, VI.

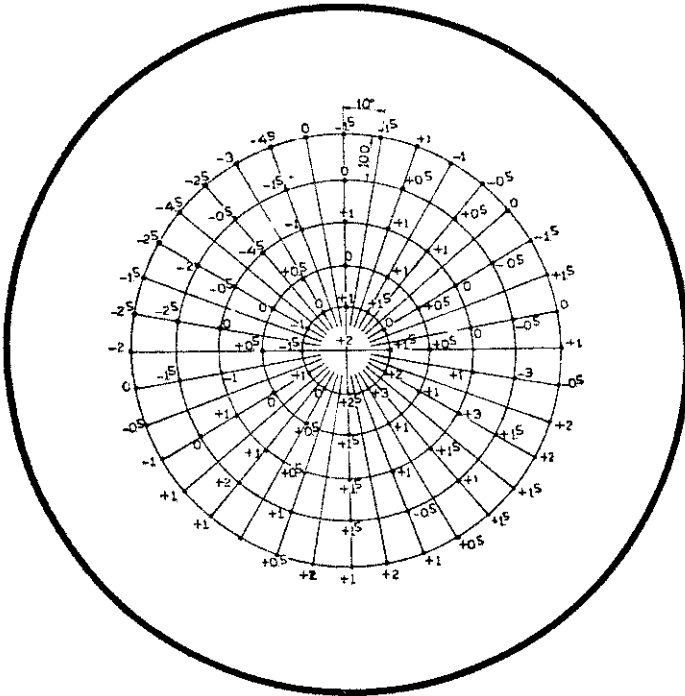
Für die Beschaffenheit des Windkanals siehe Anl. 3, Fig. VI.

Gordijn *a* verlengd.

L'écran *a* est allongé.

Curtain *a* made longer.

Schirm *a* ist verlängert worden.



Toestand van den windtunnel zie bijlage 3, fig. VI.

Pour l'état du tunnel voir pl. 3, fig. VI.

Condition of the channel see app. 8, fig. VI.

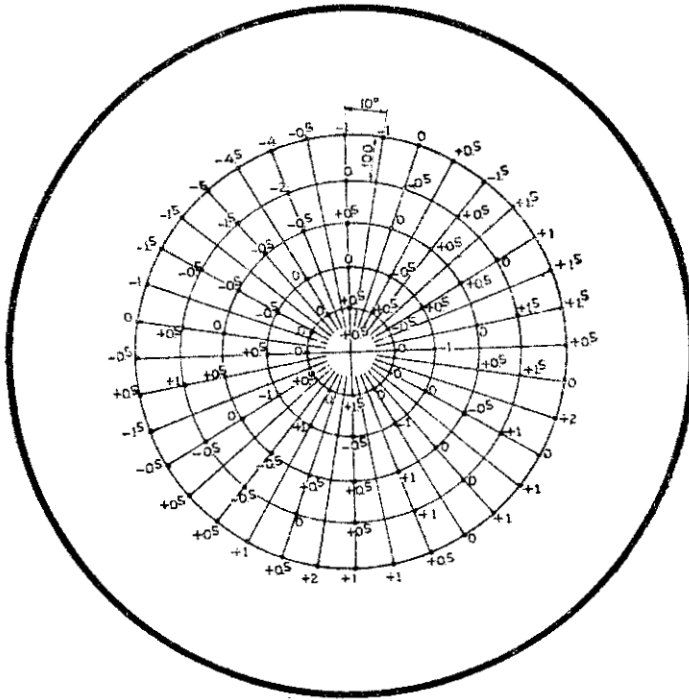
Für die Beschaffenheit des Windkanals siehe Anl. 3, Fig. VI.

Gordijn / aangebracht.

L'écran / est mis in place.

Curtain / affixed.

Schirm / ist angebracht worden.

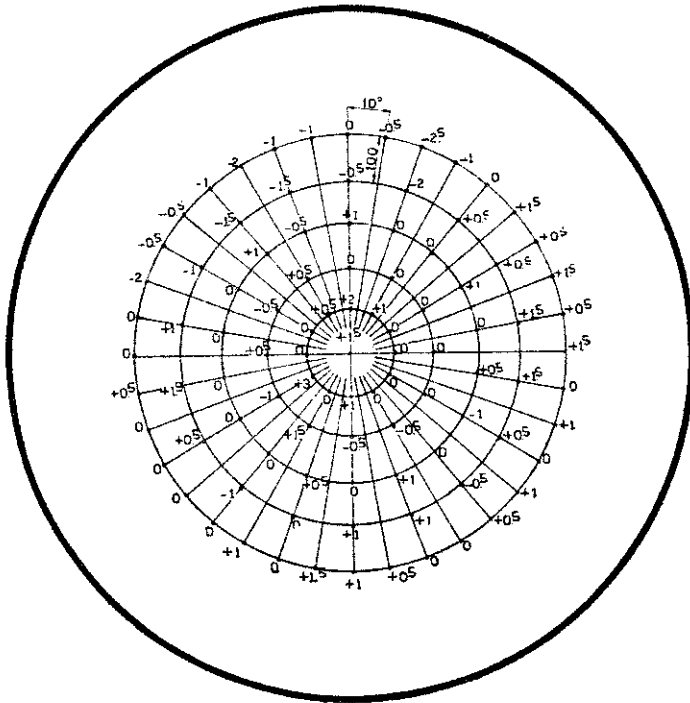


Toestand van den wintunnel zie bijlage 3, fig. VII.

Pour l'état du tunnel voir pl. 3, fig. VII.

Condition of the channel see app. 3, fig. VII.

Für die Beschaffenheit des Windkanals siehe Anl. 8, Fig. VII.



Toestand van den windtunnel zie bijlage 3, fig. VII.

Pour l'état du tunnel voir pl. 3, fig. VII.

Condition of the channel see app. 3, fig. VII.

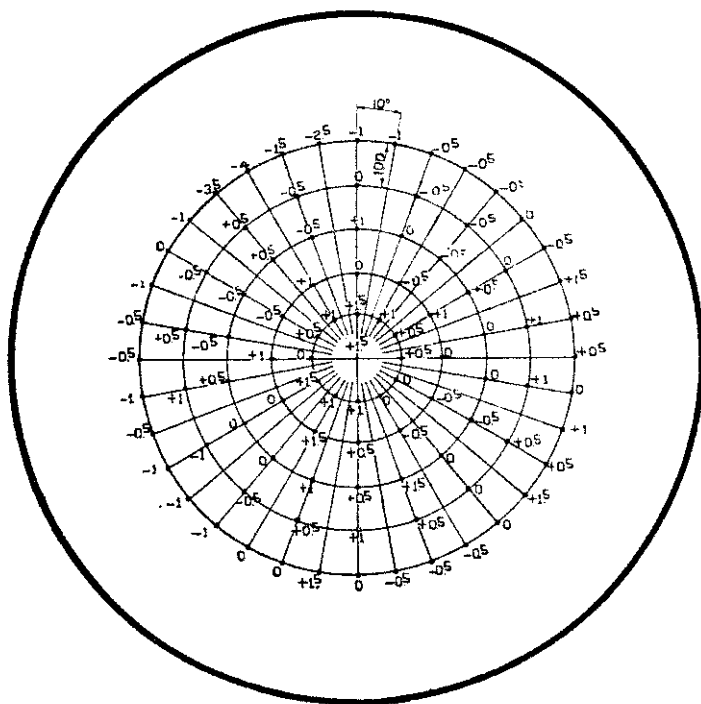
Für die Beschaffenheit des Windkanals siehe Anl. 3.

Gordijn *d* aangebracht.

L'écran *d* est mis en place.

Cartain *d* affixed.

Schirm *d* is angebracht worden.



Toestand van den windtunnel zie bijlage 3, fig. VII.

Pour l'état du tunnel voir pl. 3, fig. VII.

Condition of the channel see app. 3, fig. VII.

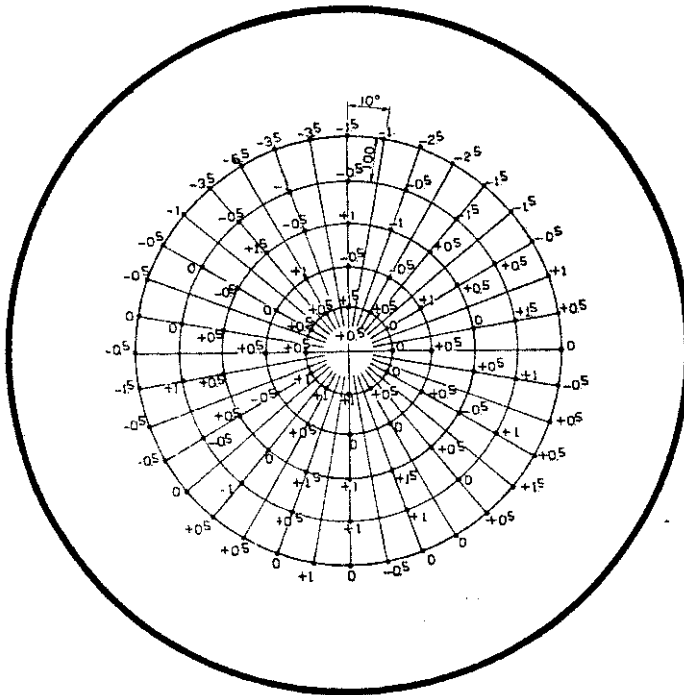
Für die Beschaffenheit des Windkanals siehe Anl. 3, Fig. VII.

Afdichting *e* aangebracht; windsnelheid 16 M: sec.

Le joint *e* est mis en place; vitesse de l'air 16 M: sec.

Joint *e* put in place; windspeed 16 M: sec.

Abdichtung *e* ist angebracht worden; Windgeschwindigkeit 16 M: sec.



Toestand van den windtunnel zie bijlage 3, fig. VII.

Pour l'état du tunnel voir pl. 3, fig. VII.

Condition of the channel see app. 3. fig. VII.

Für die Beschaffenheit des Windkanals siehe Anl. 3, Fig. VII.

Afdichting *e* aangebracht; windsnelheid 24 M: sec.

Le joint *e* est mis en place; vitesse de l'air 24 M: sec.

Joint *e* put in place; windspeed 24 M: sec.

Abdichtung *e* ist angebracht worden; Windgeschwindigkeit 24 M: sec.

RAPPORT A 7.

ONDERZOEK NAAR DEN INVLOED VAN DE VERWARMING VAN HET BOVENVLAK VAN EEN DRAAGVLAK-MODEL OP DE LIFT- EN DRIFTKRACHTEN.

OVERZICHT.

A. Doel van het onderzoek.

Het onderzoek had ten doel na te gaan, of een temperatuursverschil tusschen boven- en ondervlak van een draagvlak invloed heeft op de grootte der lift- en driftkrachten. Het werd uitgevoerd naar aanleiding van het door sommige autoriteiten geuite vermoeden, dat de verwarming van het bovenvlak van een draagvlak door sterke zonbestraling in de tropen een ongunstigen invloed zou hebben op de aerodynamische eigenschappen.

B. Beschrijving van het model. (Zie bijlage 1).

Het model werd zoo sterk mogelijk uitgevoerd, teneinde de vervormingen, welke ontstonden door de verwarming van het bovenvlak, zoo gering mogelijk te maken.

De verwarming van het bovenvlak geschiedde door een elektrischen verwarmingsdraad, welke in dit vlak ingelaten en met een metalen plaat afgedekt was. Bijlage 3 geeft de temperatuurverdeling op het bovenvlak bij verhitting bij de verschillende windsnelheden, waarbij het onderzoek werd uitgevoerd en bij een luchttemperatuur van ongeveer 13°.

C. Beschrijving van de onderzoekingsmethode.

Het rapport geeft een beschrijving van de wijze, waarop de krachtenmeting met de Eiffelsche balans en de berekening der coëfficiënten uitgevoerd werd.

D. Resultaten van het onderzoek.

Deze zijn gegeven in de tabel op blz. 50. Met het onverwarmde model werd zoowel vóór als na de verwarming een meting uitgevoerd ter contrôle op blijvende deformatie.

E. Conclusie.

Door het onderzoek werd aangetoond, dat de invloed van de verwarming van het bovenvlak van een draagvlak op de aerodynamische eigenschappen, zoo hij bestaat, uiterst gering en waarschijnlijk voor de praktijk van geen beteekenis is.

ÉTUDE DE L'EFFET SUR LA PORTANCE ET LA TRAÎNANCE QUE PRODUIT L'ÉCHAUFFEMENT DE LA SURFACE DORSALE D'UN MODÈLE D'AILE.

RÉSUMÉ.

A. But de l'étude.

L'étude avait pour objet de déterminer les variations éventuelles de la traînée et de la portance quand il existe une différence de température entre l'extrados et l'intrados d'une aile. L'essai fut exécuté à cause de l'opinion émise que l'échauffement de l'extrados d'une aile sous l'influence du fort rayonnement solaire dans les régions tropicales devrait avoir un effet défavorable sur les propriétés aérodynamiques.

B. Description du modèle. (Voir planche 1).

Le modèle est construit aussi solide que possible afin de diminuer les déformations produites par l'échauffement de l'extrados. L'échauffement fut obtenu à l'aide d'un fil chauffé électriquement qui est introduit dans la surface dorsale et couvert d'une tôle. La distribution des températures de l'extrados est représentée sur la planche 3 pour l'échauffement aux diverses vitesses du vent pour lesquelles des mesures furent faites. La température de l'air ambiant était d'environ 13°.

C. Description de la méthode d'essai.

Le rapport donne une description de la manière de laquelle la mesure des forces avec la balance Eiffel et le calcul des coefficients furent exécutés.

D. Résultats de l'essai.

Ceux-ci sont représentés dans le tableau (p. 50). On faisait une série d'essais avec le modèle froid avant l'échauffement et une autre série après, en vue de la possibilité de déformations permanentes produites par la chaleur.

E. Conclusion.

La recherche a montré que l'influence de l'échauffement de l'extrados d'une aile sur les qualités aérodynamiques est en tout cas tellement minime, qu'elle est probablement sans aucune importance pour la pratique.

EXPERIMENTS ON THE EFFECT OF HEATING THE UPPER WING SURFACE ON THE LIFT- AND DRAG-FORCES.

SUMMARY.

A. Object of the experiments.

Object of the experiments was to study the effect of a difference in temperature between the upper and lower wing surfaces on the magnitude of lift- and drag-forces. They were made to prove if the suggestion, that the heating of the upper wing surface, caused by the intense blaze of the sun in the tropics, might have an unfavourable effect on the aerodynamic properties, is true.

B. Description of the model. (See appendix 1).

The model was constructed as strong as possible in order to keep the deformations caused by the heating of the upper surface small. For the purpose of heating an electric heating wire was embedded in the upper surface and covered by a metal plate. App. 3 gives the temperature grading

on the upper surface on heating at varying wind-speeds. The temperature of the air was about 13° .

C. Description of the method of measurement.

The report gives a description of the method of measuring the forces with the Eiffel balance and of calculating the coefficients.

D. Results of the experiments.

These are represented in the table (pag. 50). The forces on the unheated model were measured a first time before the heating and a second time afterwards, because of the possibility of permanent deformations, caused by the heat.

E. Conclusion.

The experiments have demonstrated that the effect of heating the upper wings surface on the aerodynamical properties of the wing, if at all existing, is very small and probably may be neglected in practice.

UNTERSUCHUNG ÜBER DEN EINFLUSS DER ERHITZUNG DER OBEREN SEITE EINES FLÜGELMODELLS AUF DIE LUFTKRÄFTE.

ZUSAMMENFASSUNG.

A. Zweck der Untersuchung.

Zweck der Untersuchung war, den Einfluss eines Temperaturunterschiedes zwischen Saug- und Druckseite eines Flügels auf die Luftkräfte zu verfolgen.

Die Versuche wurden ausgeführt zur Entscheidung der Frage ob die von der intensiven Sonnenstrahlung in den tropischen Gebieten hervorgerufene Erhitzung der oberen Seite eines Tragflügels die aerodynamischen Eigenschaften im ungünstigen Sinne beeinflussen konnte.

B. Beschreibung des Modells. (Beilage I).

Das Modell wurde möglichst stark ausgeführt damit die infolge Erhitzung der Saugseite auftretenden Formänderungen möglichst klein würden. Die Erhitzung der oberen Fläche geschah mittels eines Hitzdrahtes, der in einem Schlitz in der Fläche eingelegt und mit einer Blechplatte abgedeckt wurde. Beilage 3 veranschaulicht die Temperaturverteilung auf der Saugseite bei Erhitzung mit den verschiedenen Windgeschwindigkeiten, wobei die Messungen ausgeführt wurden. Die Lufttemperatur war etwa 13° .

C. Beschreibung der Versuchsausführung.

Der Bericht gibt eine Beschreibung der Weise, in der die Kraftmessungen mit der Eiffel'schen Wage ausgeführt wurden. Die Berechnung der Beiwerte wird auch angegeben.

D. Ergebnisse der Untersuchung.

Diese sind in der Zahlentafel (S. 50) zusammengestellt. Es wurde vor und nach der Erhitzung Messungen mit dem kalten Modell ausgeführt, um etwaige bleibende Formänderungen aufzudecken.

E. Schlussfolgerung.

Die Untersuchung hat gezeigt dass der Einfluss der Erhitzung der Saugseite eines Flügels auf die aerodynamischen Eigenschaften, wenn er überhaupt existiert, sehr geringfügig und wahrscheinlich praktisch zu vernachlässigen ist.

RAPPORT A 7. 1)

ONDERZOEK NAAR DEN INVLOED VAN DE VERWARMING VAN HET BOVENVLAK VAN EEN DRAAGVLAK-MODEL OP DE LIFT- EN DRIFTKRACHTEN.

1. *Doel van het onderzoek.*

Het hier beschreven onderzoek had ten doel na te gaan, of een temperatuursverschil tusschen boven- en ondervlak van een draagvlakmodel invloed heeft op de grootte der lift- en driftkrachten, welke optreden, wanneer dit draagvlakmodel zich in een windstroom bevindt. Dit onderzoek werd uitgevoerd naar aanleiding van het door sommige deskundigen geuite vermoeden, dat de verwarming van het bovenvlak der draagvlakken van een vliegtuig — door sterke zonbestraling in de tropen — een ongunstigen invloed op de aerodynamische eigenschappen daarvan tengevolge zou hebben.

2. *Voorloopige onderzoekingen.*

Aanvankelijk werd als voorloopige proef een draagvlakmodel onderzocht, uit een stuk hout (cederella) vervaardigd, dat nauwkeurig afgewerkt was met een sterk gewelfd bovenvlak en een plat ondervlak. In het bovenvlak waren zeer ondiepe groeven gemaakt, welke opgevuld werden door een platten nickeline-weerstandsdraad, die zigzagsgewijs over dat vlak verdeeld was en waarvan de uiteinden verbonden waren aan twee klemschroefjes, op den achterkant van het model aangebracht. Door deze inrichting was het mogelijk, het bovenvlak van het model te verwarmen met behulp van een electrischen stroom, welke over de klemschroefjes in den weerstandsdraad geleid werd.

Bij het eerste voorloopige onderzoek werd in kouden toestand nagegaan, of de weerstandsdraad volkomen gelijk lag met den bovenkant van het model, waarna de verwarming door middel van den electrischen stroom plaats had, zoowel in stilstaande lucht als in een kunstmatigen windstroom. In beide gevallen bleek toen, dat de weerstandsdraad bol ging staan en boven het modeloppervlak uitstak, hetgeen toegeschreven kon worden aan de grootere uitzetting van dien draad ten opzichte van het houten

1) Dit rapport werd in eenigszins uitgebreider vorm gepubliceerd als congresbericht van het Algemeen Ingenieurs-Congres te Batavia 1920.

model. Door dit verschijnsel zouden de metingen geen betrouwbare resultaten opleveren, omdat immers de bolstaande verwarmingsdraad de strooming om het draagvlak zou beïnvloeden. In verband hiermede werd getracht het model te verbeteren. Daartoe werden de groeven, waarin de weerstandsdraad lag, afgedekt met mica strookjes van 0,05 mM. dikte, waarna een koperen plaat van 0,5 mM. dikte passend over het bovenvlak van het model heengewelfd werd en met houtschroeven stevig werd vastgezet. Op de plaatsen der klemschroefjes werden uitsparingen in deze dekplaat gemaakt.

Bij het tweede voorloopige onderzoek werd in kouden toestand nagegaan, of de dekplaat overal nauwkeurig dezelfde welving had en of de beschrijvende lijnen volkomen recht waren, waarna de verwarming door middel van den electrischen stroom plaats had op dezelfde wijze als bovenomschreven. Hierbij bleek, dat het geheele model met de dekplaat in langsrichting bol ging staan, doordat de dekplaat door de verwarming sterker uitzette dan de houten onderlaag en deze onderlaag niet sterk genoeg was om een meetbare doorbuiging te beletten.

Teneinde deze vervorming tegen te gaan werd het model versterkt door op het ondervlak een houten plaat aan te brengen, die zóódanig afgewerkt werd, dat het geheel een draagvlak-profiel verkreeg (zie beschrijving in punt 3).

3. *Beschrijving van het gebruikte model.*

Het model bestaat uit drie lagen. De beide bovenste worden gevormd door het voorloopig houten model met koperen dekvlak, in punt 2 besproken, terwijl de onderste laag bestaat uit een eiken plank van 15 mM. dikte, welke met houtschroeven en lijm aan het hout van het oude model is bevestigd. Deze eiken plank is zóódanig aan voor- en achterkant afgewerkt, dat zij met het oorspronkelijke model een nieuw draagvlak vormt, waarbij nu echter de verwarmde koperen dekplaat slechts een gedeelte van het bovenvlak bedekt. Een teekening van het model komt voor in bijlage 1.

4. *Inrichting van de proef.*

a. Tunnel en Balansmethode.

De meting van de op het model werkende lift- en drijfkrachten geschiedde in de R. S. L. windtunnel. Het model werd door middel van normale bevestigingsstukken opgehangen aan de Eiffelsche balans. De electrische verwarmingsstroom werd door middel van een snoer op de klemmen van het draagvlak geleid. Er werd met groote nauwkeurigheid voor gewaakt, dat deze snoer tijdens de metingen niet van plaats zou kunnen veranderen, waardoor de windkrachten op het draagvlakmodel beïnvloed zouden worden.

Waar het hier een vergelijkend onderzoek betreft, met het doel alleen de windkrachten te vergelijken in verwarmden en

onverwarmden toestand van het draagvlakmodel, werd het niet noodig geoordeeld, eene correctie aan te brengen voor de windkrachten, die op de balansstift met bevestigingsstukken en snoer worden uitgeoefend. Deze bijkomende krachten zijn in beide draagvlaktoestanden volkomen dezelfde en behoeven dus niet in aanmerking te worden genomen.

b. Windsnelheidsmeting.

De windsnelheid in de tunnel werd gemeten met behulp van een alcohol-micromanometer van Fuess. De drukzijde van dezen micromanometer stond door een opening in één der wanden van de vrijstraalkamer met de lucht buiten deze kamer in verbinding; de onderdrukzijde was verbonden met een buisje, dat op eenigen afstand van de meetplaats op zóódanige wijze was aangebracht, dat het mondingsvlak samenviel met den tunnelwand en evenwijdig was aan de windrichting. De op deze wijze gemeten drukhoogte was evenredig met den stuwdruk op de meetplaats, hetgeen aangetoond werd door vergelijking met de aanwijzingen van een daar ter plaatse opgestelde Pitotbuis. Om den stuwdruk op de meetplaats te vinden, moest dus de aflezing van den micromanometer vermenigvuldigd worden met een constanten factor, welke bepaald werd door den stuwdruk op verschillende punten in een vlak, loodrecht op de windrichting, bij constante windsnelheid te meten en het gemiddelde van deze waarden te deelen door de micromanometeraanwijzing.

De windsnelheid werd uit den stuwdruk berekend met behulp van de formule:

$$p = \frac{\gamma}{2g} V^2$$

waarin: p = stuwdruk in mM. water.

γ = S.G. van de lucht in K.G./M³.

g = versnelling van de zwaartekracht in M/sec.².

V = windsnelheid in M/sec.

c. Temperatuurmeting en -regeling.

De temperatuur van het bovenvlak van het model werd op verschillende plaatsen gemeten door een klein thermo-elementje met een uitgeplette contactplaats voorzichtig op een punt van de koperen afdekplaat te drukken, waarvan dan de temperatuur werd overgenomen en aangewezen werd door een millivoltmeter verbonden aan de beide metalen van het thermo-element. De aanwijzingen van dezen millivoltmeter met het thermo-element werden geijkt tegen de aanwijzingen van een precisie-thermometer in een waterbad, waaruit een ijkkromme verkregen werd. Met behulp van deze ijkkromme konden telkens uit de aflezingen van den millivoltmeter de bijbehorende temperaturen in Celsiusgraden worden bepaald. De verwarming van het bovenvlak kon worden geregeld door verandering van de stroomsterkte

in den verwarmingsdraad. Bij verschillende windsnelheden werd de maximum stroomsterkte toegelaten, waarbij de afkoeling nog juist voldoende was om schroeien van de houten onderlaag te voorkomen. Bij kleine windsnelheden kon de temperatuur van het bovenvlak hooger opgevoerd worden dan bij grootere snelheden.

5. *Verloop van het onderzoek.*

a. *Voorafgaande metingen.*

Hierbij werd nagegaan, of er vormverschillen bestonden tusschen het verwarmde en het onverwarmde model. Het ondervlak van het model was in onverwarmden toestand recht. Bij maximum verhitting in stilstaande lucht bleek dit hol te zijn met een welvingspijl van 1 mM. De vervorming der profielen was niet meetbaar. Bij onderzoek van de temperatuursverdeeling over het bovenvlak bij maximum toelaatbare stroomsterkte bleek de gemiddelde temperatuur in stilstaande lucht veel hooger te zijn dan in stroomende. (Zie bijlage 3).

De deformatie van het model in stroomende lucht zal dus ook kleiner zijn dan de bovenaangegevene; er kan aangenomen worden, dat zij geen meetbaren invloed heeft op de windkrachten.

b. *Balansmetingen.*

Om met de Eiffelsche balans de lift- en driftkrachten op het draagvlakmodel te kunnen meten, werd bij een bepaalde windsnelheid evenwicht gemaakt in vier verschillende standen van het model ten opzichte van de balans, welke standen op bijlage 2 zijn aangegeven. Daarbij heeft het model ten opzichte van de windrichting steeds denzelfden invalshoek, waaronder verstaan wordt de hoek, die het platte ondervlak van het model met deze maakt. De meting der windkrachten geschiedde bij invalshoeken van 0° en 9° . Daarbij werden voor iedere hoek achtereenvolgens de noodige metingen verricht om de windkrachten te bepalen bij windsnelheden van 10,3, 19,2 en 27,3 Meter/sec. en in onverwarmden en in verwarmden toestand van het model.

De metingen werden ter grootere nauwkeurigheid zóódanig uitgevoerd, dat bij een bepaalde windsnelheid eerst in kouden toestand gemeten werd, welke resultaten als *1e meting onverwarmd* zijn aangeduid. Daarna is in verwarmden toestand en tenslotte nogmaals in kouden toestand gemeten. De laatste resultaten zijn als *2e meting onverwarmd* aangeduid.

c. *Temperatuursbepaling.*

Bij elke verwarming werd de temperatuur van de verschillende punten van het bovendeckvlak bepaald volgens de in 4c. aangegeven methode. Dit is geschied zoowel in stilstaande lucht als in bewegende lucht met snelheden van 10,3 M/sec., 19,2 M/sec. en 27,3 M/sec. Op bijlage 3 vindt men de gemiddelde temperaturen slechts ingeschreven op één draagvlakheft, omdat voor de andere helft dezelfde gemiddelden gelden.

6. Berekening der resultaten.

a. Berekeningsmethode voor de windkrachten.

Uit bijlage 2 is te zien, dat in de vier standen van de balans de windkracht-ontbondenen R_x en R_y niet van grootte zijn veranderd, doch alleen R_y in de standen 3 en 4 tegengestelde richting heeft aangenomen. De momenten welke deze ontbondenen om de draaipunten A, B, C en D van de balans in bovengenoemde 4 standen uitoefenen, kunnen worden uitgedrukt door de formules:

$$\begin{aligned} M_A &= R_x \cdot y \\ M_B &= R_x \cdot (y + c) - R_y \cdot b \\ M_C &= R_x \cdot (2a - y) \\ M_D &= R_x \cdot (2a + c - y) + R_y \cdot b \end{aligned}$$

Met deze momenten maken de gemeten gewichten G_1, G_2, G_3 en G_4 in dezelfde balansstanden evenwicht, hetgeen kan worden uitgedrukt met behulp van 2 balansconstanten:

$$\begin{aligned} M_A &= c_a G_1 \\ M_B &= c_b G_2 \\ M_C &= c_a G_3 \\ M_D &= c_b G_4 \end{aligned}$$

Oplossing dezer vergelijkingen naar R_x en R_y geeft:

$$R_x = \frac{c_a}{2a} (G_1 + G_3) = c_1 (G_1 + G_3)$$

$$R = \frac{c_b}{2b} (G_4 - G_2) - \frac{c_a}{2b} (G_3 - G_1) = c_2 (G_4 - G_2) - c_3 (G_3 - G_1)$$

In bovenstaande vergelijkingen zijn in plaats van de beide eenvoudige balansconstanten C_a en C_b drie gecombineerde constanten c_1, c_2 en c_3 gesteld, welke door gewichtsijsing bepaald werden.

b. Gewichtsijsing van de balans.

De gewichtsijsing van de balans beoogt het vinden van de bedragen der 3 balansconstanten c_1, c_2 en c_3 . Daarvan kan c_1 gemakkelijk worden gevonden door een bekende horizontaalkracht R_{x0} aan te brengen aan het einde van de horizontale balansstift. In dat geval zijn de standen 1 en 3 gelijk, zoodat volstaan kan worden met evenwicht te maken tegen de bekende kracht R_{x0} Gram door het bijplaatsen op de balans van een gewicht G_{x0} Gram. De constante is dan $c_1 = \frac{R_{x0}}{2 G_{x0}}$.

De constante c_2 kan worden gevonden door een bekende vertikaalkracht op de horizontale balansstift te doen aangrijpen met behulp van een los balansmes met een daaraanhangend ijkgewicht. Door nu dit mes zoodanig langs de stift te verschuiven, totdat de balans bij stand 1 of 3 in evenwicht is onafhankelijk van het aanhangen of wegnemen van het ijkgewicht, is bereikt, dat de gewichten

G_1 en G_3 in de vergelijking voor R_y gelijk nul gesteld kunnen worden. Wordt daarna de balans in stand 2 of 4 gebracht, welke ook gelijk zijn, zoo kan door het bijplaatsen van een gewicht van G_{y1} Gram evenwicht gemaakt worden met het ijkgewicht van R_{y1} Gram. De constante is dan:

$$c_2 = \frac{R_{y1}}{2 G_{y1}}$$

Op dezelfde wijze kan de constante c_3 worden gevonden door een ijkgewicht langs de stift te verschuiven, totdat bij stand 2 of 4 onafhankelijk evenwicht bereikt is en G_2 en G_4 gelijk 0 gesteld kunnen worden. Wordt de balans daarna in stand 1 of 3 gebracht, dan kan door het bijplaatsen van een gewicht G_{y2} evenwicht gemaakt worden met het ijkgewicht R_{y2} . De constante is dan

$$c_3 = \frac{R_{y2}}{2 G_{y2}}$$

c. Berekening der lift- en driftcoëfficiënten.

De dimensielooze lift- en driftcoëfficiënten C_y en C_x en hun verhouding C_y/C_x werden berekend uit de volgende formules:

$$R_x = C_x \frac{\gamma}{g} OV^2 = C_x \cdot 2 \text{ pO.}$$

$$R_y = C_y \frac{\gamma}{g} OV^2 = C_y \cdot 2 \text{ pO.}$$

$$C_y/C_x = R_y/R_x$$

Hierin stelt O het oppervlak van de projectie van het model op het koordvlak in M^2 . voor, terwijl de stuwdruk p in millimeters waterkolom is uitgedrukt. Verder zijn R_x en R_y in kilogrammen gegeven. De gevonden waarden zijn gegeven in de tabel.

7. Conclusies.

Allereerst blijkt uit de tabel dat de lift- en driftcoëfficiënten bij een bepaalden invalshoek van het draagvlak niet geheel onafhankelijk van de windsnelheid zijn, zoodat dus alleen de coëfficiënten in verwarmden en onverwarmden toestand van het draagvlak bij dezelfde windsnelheid en invalshoek met elkaar vergeleken kunnen worden. Dan vertoonen deze coëfficiënten met en zonder verwarming van het model slechts zeer kleine onderlinge verschillen. Deze verschillen zijn van dezelfde orde van grootte als die tusschen de 1e en 2e metingen, welke door de foutengrens der meetmethode bepaald zijn. Daarom is niet te zeggen, of deze zeer geringe verschillen afkomstig zijn van de balansfouten, van kleine modelvervormingen of van de verwarming van het bovenvlak.

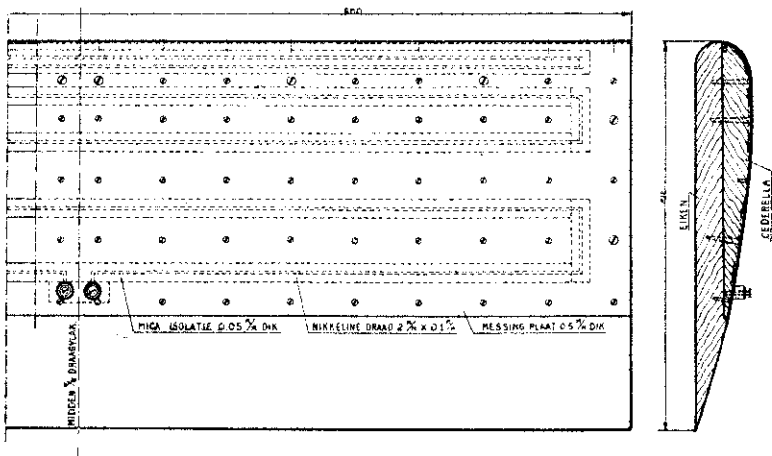
Vastgesteld kan worden, dat, zoo de verwarming van het bovenvlak van een draagvlak al eenigen invloed heeft op de aerodynamische eigenschappen daarvan, deze invloed uiterst gering en waarschijnlijk voor de practijk van geen beteekenis kan worden geacht.

8. *Bemerking.*

Het is van belang op te merken, dat het bovenstaande onderzoek alleen den invloed der verwarming behandelt, wanneer belangrijke vormveranderingen van het vleugelprofiel zijn uitgesloten. Het is echter in een tropisch klimaat mogelijk, dat de draagvlakprofielen tengevolge van sterke zonbestraling vormveranderingen vertoonen, welke van directen invloed zijn op de lift- en driftkrachten. Deze vormveranderingen zullen echter eerst in de practijk bestudeerd moeten worden, voordat beoordeeld kan worden, welken invloed zij zullen hebben op de aerodynamische eigenschappen van het draagvlak.

(Afgesloten November 1919).

Invalshoek.	Windsnelheid in M/Sec.	1e Meting. Niet verwarmd.			2e Meting. Niet verwarmd.			Verwarmd.		
		C _x	C _y	C _y / C _x	C _x	C _y	C _y / C _x	C _x	C _y	C _y / C _x
0°	10.3	0.0316	0.128	4.05	0.0316	0.128	4.05	0.0316	0.132	4.17
	19.2	0.0305	0.136	4.47	0.0311	0.136	4.37	0.0308	0.136	4.43
	27.3	0.0301	0.141	4.68	0.0301	0.141	4.68	0.0301	0.142	4.70
9°	10.3	0.0705	0.324	4.60	0.0322	0.322	4.46	0.0722	0.326	4.52
	19.3	0.0716	0.341	4.76	0.0339	0.339	4.74	0.0713	0.339	4.76
	27.4	0.0725	0.350	4.85	0.0348	0.348	4.84	0.0725	0.350	4.84

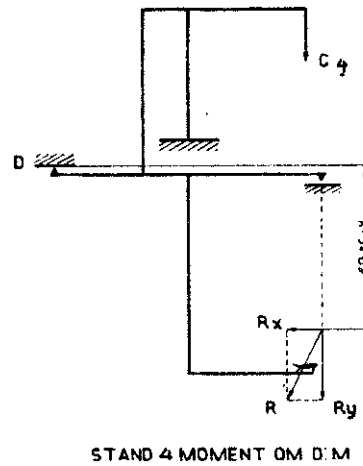
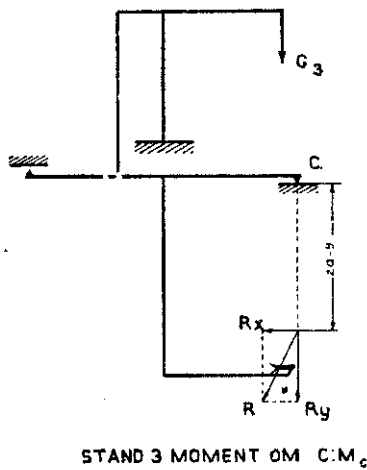
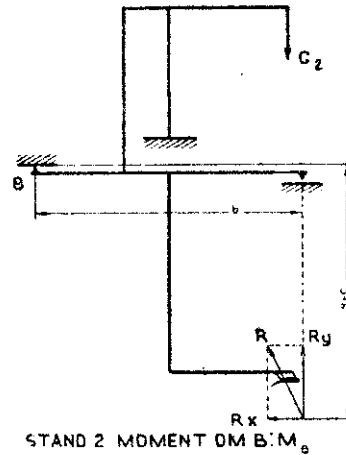
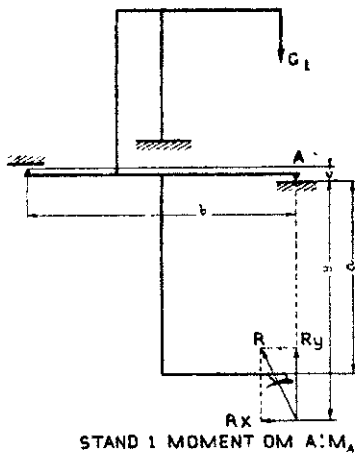


Draagvlakmodel No. 8.

Modèle d'aile No. 8.

Model wing Nr. 8.

Flügelmodell Nr. 8.

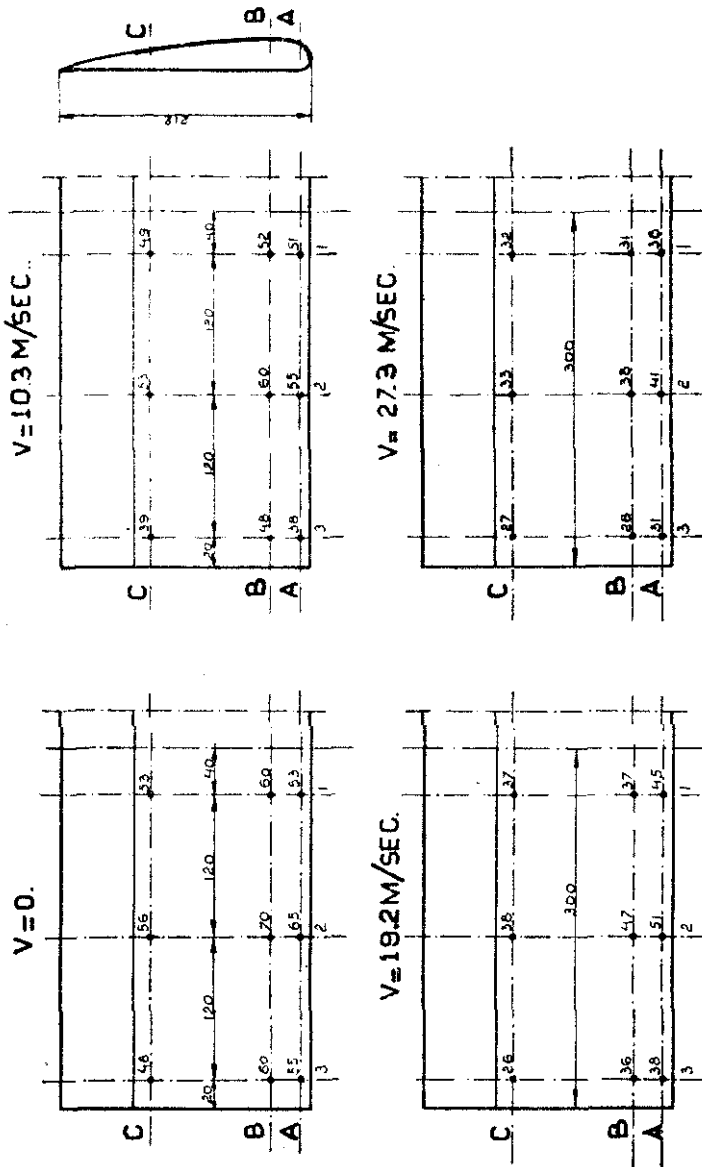


Schema van de Eiffelsche balans.

Schéma de la balance type Eiffel.

Schema of the balance Eiffel type.

Schema der Eiffel'schen Wage.



Temperatuurverdeling op het verwarmde draagvlak.
 Répartition de la température sur le modèle chauffé.
 Temperature distribution on the heated model.
 Temperaturverteilung auf dem heissen Modell.

RAPPORT A 14.

VOORLOOPIG ONDERZOEK VAN DEN INVLOED VAN DE WIJZE VAN OPHANGING VAN HET MODEL BIJ AERODYNAMISCHE METINGEN.

OVERZICHT.

A. Doel van het onderzoek.

Bij het onderzoek van modellen in den windtunnel zullen de deelen, welke dienen tot bevestiging van het model aan de aerodynamische balans, een invloed uitoefenen op de strooming.

Een gevolg hiervan is een verschil tusschen de krachten, welke gemeten worden en die, welke zouden werken op het model, indien dit onbeïnvloed kon worden opgehangen. Teneinde een indruk te krijgen over de grootte van dezen invloed voor draagvlakmodellen werden twee modellen (Nos 9 en 10, bijlage 1) bij gebruikmaking van twee verschillende ophangmethoden onderzocht (bijlagen 2 en 3).

B. Resultaten van het onderzoek.

De met de beide ophangmethoden verkregen waarden der lift- en drift-coëfficiënten vertoonen belangrijke verschillen (zie bijlagen 4 t/m 7 en tabellen I—VII). De oorzaken van deze verschillen worden in het rapport behandeld.

C. Conclusie.

De ophangmethode 2 zal een geringere verstoring veroorzaken; methode 1 is onvoorwaardelijk af te keuren. De invloed der storing zal voor de hier behandelde en andere ophangingsmethoden nader onderzocht worden.

ÉTUDE PRÉALABLE DE L'INFLUENCE DU MODE DE SUSPENSION DU MODÈLE AUX MESURES AÉRODYNAMIQUES.

RÉSUMÉ.

A. But de l'étude.

Les parties reliant le modèle à la balance aérodynamique ont une influence sur l'écoulement de l'air autour du modèle. Il y aura donc une différence entre les forces mesurées et celles qu'on trouverait si le modèle pourrait être attaché de telle sorte qu'il ne subirait aucune influence perturbatrice. Afin d'avoir une idée de la grandeur de cette influence pour les modèles d'ailes, on a essayé deux modèles (Nos. 9—10 Pl. 1) en employant deux modes de suspension différentes. (Pl. 2—3).

B. Résultats de l'étude.

Les résultats obtenus avec les deux méthodes de suspension montrent des différences importantes (voir Pl. 4—7 et tableaux I—VII). Dans le rapport on explique les causes de ces différences.

C. Conclusion.

La méthode de suspension No. 2 causera la moindre perturbation; la méthode No. 1 est inutilisable. L'étude de l'influence de la perturbation causée par le mode de suspension sera continué.

PRELIMINARY EXPERIMENTS ON THE EFFECT OF THE METHOD OF SUSPENDING THE MODEL IN AERO-DYNAMIC MEASUREMENTS ON THE RESULTS.

SUMMARY.

A. Object of the Experiments.

In experiments on models in the windchannel the parts fixing the model to the balance will have a disturbing influence on the air flow. Therefore a difference will be found between the measured forces and those which would be found if the disturbing influences could be eliminated. In order to gather an idea of the magnitude of this effect for wing models, two models (nrs. 9—10, appendix 1) were tested, using two different methods of suspension (appendix 2—3).

B. Results of tests.

The values of the lift- and drag coefficients, which were obtained in the two cases, show wide differences (see app. 4—7 and tables I—VII). The causes of these differences are dealt with in the report.

C. Conclusion.

Method nr. 2 will cause less disturbance; method nr. 1 is impracticable. The effect of the disturbance will be studied with more detail for these and other methods of suspension.

VORLÄUFIGE UNTERSUCHUNG ÜBER DEN EINFLUSS DER AUFHÄNGUNGSART DES MODELLS BEI AERO-DYNAMISCHEN MESSUNGEN.

ZUSAMMENFASSUNG.

A. Zweck der Untersuchung.

Bei Versuchen mit Modellen im Windkanal werden die Teile, welche das Modell an der aerodynamischen Wage verbinden, einen Einfluss auf die Strömungsvorgänge haben. Demzufolge gibt es einen Unterschied zwischen

den gemessenen Kräften und den nach Elimination aller Aufhängungsteile zu erwartenden. Um einen Eindruck über die Bedeutung dieses Einflusses für Flügelmodelle zu erhalten, wurden mit zwei Modellen (Nrn. 9—10. Anlage 1) unter Benutzung zweier Aufhängungsarten Versuche angestellt (Anlagen 2—3).

B. Ergebnisse der Versuche.

Die unter Benutzung beider Aufhängungsarten gewonnenen Werte der Auftriebs- und Widerstandsbeiwerte zeigen bedeutende Unterschiede (Anlagen 4—7 und Zahlentafeln I—VII). Die Ursachen dieser Unterschiede werden im Bericht klargelegt.

C. Schlussfolgerung.

Die Aufhängungsart Nr. 2 wird Ursache einer geringeren Störung sein; Methode Nr. 1 ist unbrauchbar.

Der Einfluss der Störung wird für die hier behandelte und auch für andere Aufhängungsarten genauer untersucht werden.

RAPPORT A 14.

VOORLOOPIG ONDERZOEK VAN DEN INVLOED VAN DE WIJZE VAN OPHANGING VAN HET MODEL BIJ AERODYNAMISCHE METINGEN.

1. *Strekking van het onderzoek.*

Bij meting van de op een model werkende windkrachten zullen de deelen, die dienen voor ophanging van het model en overbrenging van de krachten op het weegapparaat, de uitkomsten beïnvloeden. Deze invloed heeft twee verschillende oorzaken:

1. de windkrachten op de ophangdeelen voor zoover deze zich in den windstroom bevinden, worden medegemeten;
2. de aanwezigheid der ophangdeelen aan en in de nabijheid van het model veroorzaakt een verandering van den stroomings-toestand om het model.

De gevolgen van onder 1 en 2 genoemde oorzaken zullen in dit rapport aangeduid worden als „ophangingsweerstand”, resp.: „ophangingsstoring”. De ophangingsweerstand kan geëlimineerd worden door het aanbrengen der z.g. stiftcorrectie. Hiertoe worden de windkrachten, welke op de ophangdeelen werken, gemeten, terwijl het model los van deze, op dezelfde plaats als bij de oorspronkelijke meting, opgesteld wordt. De hierbij gemeten krachten, worden afgetrokken van de oorspronkelijke, waardoor dus de op het model alleen werkende gevonden worden.

Een correctie voor de ophangingsstoring kan niet op een dergelijke eenvoudige wijze verkregen worden.

Het hier beschreven onderzoek had ten doel door vergelijking van twee verschillende ophangingsmethoden een indruk te krijgen van de grootte der ophangingsstoring bij draagvlakmodellen.

2. *Beschrijving van de modellen en van de ophangingsmethoden.*

Voor het onderzoek werd gebruik gemaakt van de draagvlakmodellen nr. 9 en nr. 10. Teekeningen van deze zijn met de hoofdmaten gegeven in bijlage 1. Beide modellen zijn gelijkvormig, doch verschillen aanzienlijk in afmetingen.

De modellen werden op twee verschillende wijzen aan de aerodynamische balans opgehangen:

a. *Ophanging 1.* Deze kwam in hoofdzaak overeen met de door Eiffel gebruikte 1). Op het bovenvlak van het model werden twee vrij dikke metalen plaatjes bevestigd. Het voorste had aan de bovenzijde een dubbel glijstuk voor ophanging aan het oog van de balansstift, het achterste twee ooren voor bevestiging van het glijstuk, dat door de gleuf in de balansstift gestoken werd en diende voor verstelling van den invalshoek. De doorsneden van al deze ophangdeelen waren ongeveer rechthoekig.

b. *Ophanging 2.* Aan het ondervlak van het model werden twee stiften van stroomlijnvormige doorsnede bevestigd. Het voorste werd aan het oog van de balansstift, het achterste aan het glijstuk van deze bevestigd.

Bij model nr. 9 werden in het ondervlak twee metalen plaatjes ingelaten, waarin de stroomlijn-stiften vastgeschroefd werden; bij nr. 10 werden de stiften aan het vrije einde rechthoekig omgezet en in het ondervlak van het model ingelaten.

Beide ophangingen zijn met de hoofdmaten voor de twee modellen gegeven in bijlagen 2 en 3.

Voor model nr. 10 werden de afmetingen der ophangdeelen kleiner genomen dan voor nr. 9, daar de geringere windkrachten dit mogelijk maakten.

3. *Beschrijving van de methode van meting en berekening.*

Het onderzoek werd uitgevoerd in de windtunnelinstallatie van den R. S. L. De windkrachten werden gemeten met behulp van de Eiffelsche balans. Bij iederen invalshoek en windsnelheid werden de momenten van de resulterende windkracht om vier punten bepaald en uit deze de lift- en driftkracht berekend. Dit geschiedde eerst voor model en ophanging tezamen en daarna alleen voor de ophanging met het model vast op zijn plaats. De bedragen der totale windkracht-momenten werden dan bij de berekening verminderd met die der windkracht-momenten van de ophanging. Uit de zoo verkregen eindwaarden werden op de bekende wijze de absolute lift- en driftcoëfficiënten C_x en C_y afgeleid.

4. *Beschouwing van de verkregen resultaten.*

De resultaten van het onderzoek zijn gegeven in de bijlagen 4 tot en met 7 en de tabellen I—VII.

Van model no. 9 zijn de getallenwaarden der coëfficiënten C_x en C_y en van de verhouding C_y/C_x in de tabellen I—VI gegeven voor alle invalshoeken en windsnelheden, waarbij de metingen werden uitgevoerd. In de bijlagen 4—7 zijn de coëfficiënten van dit model in C_y/C_x krommen uitgezet, waarbij in iedere grafiek

1) De Eiffelsche ophangmethode is o.m. afgebeeld:

G. Eiffel. Nouvelles recherches sur la résistance de l'air et l'aviation faites au laboratoire d'Auteuil. Atlas, Planche I.

G. Eiffel. Résumé des principaux travaux exécutés pendant la guerre au laboratoire aérodynamique Eiffel 1915—1918. Fig. 30. p. 37.

de krommen voor beide ophangingsmethoden bij eenzelfde windsnelheid opgenomen zijn. De coëfficiënten van draagvlakmodel No. 10, dat slechts bij drie invalshoeken onderzocht werd, zijn gegeven in tabel VII.

Uit de resultaten van het onderzoek blijkt, dat bij alle invalshoeken en windsnelheden met ophanging 1 een lagere liftcoëfficiënt en een hogere driftcoëfficiënt werd gevonden dan met ophanging 2. De verschillen bedragen voor model No. 9 tot ongeveer 40 % voor de driftcoëfficiënt en tot ongeveer 40 % voor de liftcoëfficiënt bij 0.140 en ongeveer 12 % bij 0.800.

Voor dit verschijnsel zijn twee redenen te vinden:

1. De ophanging 1, welke op het bovenvlak bevestigd is, zal zich in een gebied van hogere snelheid bevinden dan in ophanging 2, welke zich aan het ondervlak bevindt. Dientengevolge zal reeds, afgezien van den vorm der ophangdeelen, de verstoring door de ophanging 1 grooter zijn dan door ophanging 2. Doch ook de invloed welke deze verstoring op de grootte van de liftkracht heeft bij beide ophangingsmethoden, zal verschillend zijn. Verstoring van ophanging 1 toch zal de stroomingssnelheid aan het bovenvlak ter plaatse der ophangstukken aanzienlijk verminderen, waardoor ook de circulatie daar kleiner zal worden en de liftkracht geringer. Daarentegen zal de verstoring van ophanging 2 zich uiten in een vermindering van de snelheid aan het ondervlak, hetgeen echter de circulatie vergroot en dus de liftkracht ook zal vermeerderen.
2. De opgeschroefde voetjes der ophangdeelen van ophanging 1 zullen een sterk ontwikkelde wervelstaart veroorzaken, welke direct op het bovenvlak van het model ligt en aanleiding geeft, dat ook in de grenslaag over een vrij breede strook wervelvorming optreedt, hetgeen afgifte van impuls door het draagvlak aan de omringende strooming en dus weerstandstoename beteekent. Dit verschijnsel zal echter bij ophanging 2 in veel geringer mate zich voordoen, omdat daar de bevestigingsvoetjes in het draagvlakmodel zijn ingelaten en dus geen wervelvorming in de grenslaag kunnen veroorzaken. Alleen de ophangstijltjes zelf kunnen die grenslaag eenigermate turbulent maken, doch dan maar over een zeer smal strookje. Dit zal waarschijnlijk een weerstandstoename geven die, hoewel niet te verwaarloozen, toch een zeer gering bedrag vertegenwoordigt.

5. *Conclusie.*

Van de beide onderzochte ophangingsmethoden is de 1e onvoorwaardelijk af te keuren; van de 2e kan verwacht worden, dat de verkregen resultaten beter met die van een onbeïnvloed model zullen overeenstemmen.

De 2e ophangingsmethode kan voorloepig voor het gebruik aangenomen worden, het is echter noodzakelijk de ophangingsstoring door deze en andere ophangingen nader te onderzoeken.

(A/gesloten September 1920).

TABEL I.
ONDERZOEK VAN OPHANGMETHODEN.

DRAAGVLAKMODEL N°. 9.

1^e Ophanging.

Invalshoek -16°.

2^e Ophanging.

V	C _x	C _y	C _y /C _x
14.9	0.086	-0.026	-0.30
28.0	0.088	-0.010	-0.11

V	C _x	C _y	C _y /C _x
14.9	0.087	-0.010 ⁵	-0.12
27.9	0.082	0.015 ⁵	0.18

1^e Ophanging.

Invalshoek -14°.

2^e Ophanging.

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.084 ⁵	-0.038	-0.45
10.5	0.077	-0.023	-0.29
14.9	0.074	-0.002	-0.03
18.3	0.073	0.004	0.05
21.1	0.072	0.009	0.12
23.6	0.072	0.010	0.14
27.9	0.073	0.010	0.13

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.083	-0.015	-0.18
10.5	0.077 ⁵	-0.017 ⁵	0.23
14.9	0.073	0.035 ⁵	0.49
18.2	0.071 ⁵	0.042 ⁵	0.60
21.1	0.071 ⁵	0.045 ⁵	0.64 ⁵
23.6	0.070 ⁵	0.048	0.68 ⁵
27.9	0.070	0.047	0.67

1^e Ophanging.

Invalshoek -12°.

2^e Ophanging.

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.071	-0.018	-0.25
10.5	0.069	0.001 ⁵	0.02
14.8	0.067	0.014	0.21
18.2	0.065	0.017	0.26
21.0	0.065	0.014	0.22
23.5	0.066	0.015	0.23
27.8	0.066	0.014	0.21

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.069 ⁵	0.029 ⁵	0.42 ⁵
10.5	0.062	0.057 ⁵	0.93
14.9	0.060	0.069	1.15
18.2	0.060	0.067	1.11 ⁵
21.0	0.059 ⁵	0.068 ⁵	1.15
23.5	0.059 ⁵	0.067 ⁵	1.14
27.8	0.059 ⁵	0.063	1.06 ⁵

V = Windsnelheid in M./sec.

C_x = Absolute driftcoëfficiënt.C_y = Absolute liftcoëfficiënt.C_y/C_x = Lift: drift verhouding.

TABEL II.

ONDERZOEK VAN OPHANGMETHODEN.

DRAAGVLAKMODEL N°. 9.

1^e Ophanging.

Invalshoek -10°.

2^e Ophanging.

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.5	0.063	-0.021	-0.33
10.6	0.060	0.011	0.18
15.0	0.060	0.014	0.23
18.3	0.058	0.012	0.20
21.2	0.057 ⁵	0.008	0.14
23.7	0.057	0.008	0.14
28.0	0.057	0.005 ⁵	0.10

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.5	0.055	0.050	0.91
10.6	0.050	0.071 ⁵	1.43
15.0	0.047 ⁵	0.070	1.47
18.4	0.048 ⁵	0.065 ⁵	1.34
21.2	0.048 ⁵	0.065 ⁵	1.35 ⁵
23.7	0.047 ⁵	0.063	1.33
28.0	0.047 ⁵	0.061	1.28

1^e Ophanging.

Invalshoek -8°.

2^e Ophanging.

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.5	0.048	-0.009	-0.18
10.6	0.045 ⁵	0.008 ⁵	0.19
15.0	0.043 ⁵	0.013 ⁵	0.31
18.3	0.043	0.013	0.30
21.2	0.042	0.013	0.31
23.7	0.042	0.012 ⁵	0.30
28.0	0.042	0.012 ⁵	0.30

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.5	0.040	0.062	1.55
10.6	0.042 ⁵	0.088 ⁵	2.10
15.0	0.033 ⁵	0.083	2.46
18.3	0.033 ⁵	0.083 ⁵	2.51
21.2	0.035 ⁵	0.081 ⁵	2.31
23.7	0.033	0.083	2.52
28.0	0.032	0.085	2.66

1^e Ophanging.

Invalshoek -6°.

2^e Ophanging.

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.036 ⁵	0.056	1.52
10.6	0.030	0.073	2.43
15.0	0.029	0.079	2.72
18.3	0.028	0.080 ⁵	2.89
21.2	0.028	0.079 ⁵	2.86
23.6	0.027	0.080 ⁵	2.96
27.9	0.027	0.079 ⁶	2.96

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.026 ⁵	0.117 ⁵	4.40
10.5	0.023	0.129	5.58
14.9	0.021 ⁵	0.136	6.30
18.2	0.021	0.138	6.65
21.0	0.020 ⁵	0.141	6.94
23.5	0.020	0.142 ⁵	7.14
27.8	0.019	0.143 ⁵	7.61

V = Windsnelheid in M./sec.

C_x = Absolute driftcoëfficiënt.C_y = Absolute liftcoëfficiënt.C_y/C_x = Lift: drift verhouding.

TABEL III.

ONDERZOEK VAN OPHANGMETHODEN.

DRAAGVLAKMODEL N°. 9.

1^e Ophanging.

Invalshoek -4°.

2^e Ophanging.

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.031 ⁵	0.137	4.37
10.5	0.024	0.143 ⁵	5.96
15.0	0.023 ⁵	0.147	6.28
18.3	0.021 ⁵	0.153	7.08
21.2	0.021 ⁵	0.155	7.25
23.6	0.020	0.157	7.72
27.9	0.019 ⁵	0.160	8.27

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.021 ⁵	0.191 ⁵	8.94
10.5	0.017 ⁵	0.201 ⁵	11.60
14.8	0.013	0.210	15.82
18.2	0.015	0.212	13.94
21.0	0.015	0.213	14.44
23.5	0.014 ⁵	0.215	15.08
27.8	0.014	0.220	15.93

1^e Ophanging.

Invalshoek -2°.

2^e Ophanging.

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.026 ⁵	0.205	7.70
10.6	0.024	0.216	8.98
15.0	0.022 ⁵	0.217	9.66
18.3	0.022	0.221	9.92
21.2	0.021 ⁵	0.224	10.43
23.6	0.021	0.227	10.88
27.9	0.020	0.229	11.29

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.021 ⁵	0.309	14.39
10.4	0.018 ⁵	0.300	16.38
14.8	0.017	0.290	17.02
18.1	0.013 ⁵	0.294	21.61
20.9	0.015 ⁵	0.295	18.94
23.2	0.015 ⁵	0.296 ⁵	19.42
27.6	0.015	0.304	20.09

1^e Ophanging.

Invalshoek 0°.

2^e Ophanging.

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.5	0.026 ⁵	0.265	9.95
10.6	0.026 ⁵	0.276	10.31
15.0	0.024	0.280	11.59
18.4	0.024	0.285	11.80
21.2	0.023	0.287	12.32
23.7	0.024	0.291	12.18
28.0	0.023 ⁵	0.298	12.69

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.021 ⁵	0.356	16.58
10.5	0.020	0.357	17.89
14.9	0.018 ⁵	0.359	19.43
18.2	0.017 ⁵	0.360	20.65
21.0	0.017 ⁵	0.363	20.80
23.5	0.017	0.368	21.28
27.8	0.017	0.376	22.30

V = Windsnelheid in M./sec.

C_x = Absolute driftcoëfficiënt.C_y = Absolute liftcoëfficiënt.C_y/C_x = Lift: drift verhouding.

TABEL IV.

ONDERZOEK VAN OPHANGMETHODEN.

DRAAGVLAKMODEL N°. 9.

1^e Ophanging.Invalshoek $+2^\circ$.2^e Ophanging.

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.5	0.033	0.341	10.23
10.6	0.030	0.347	11.56
15.0	0.029	0.350	12.14
18.3	0.030	0.356	12.00
21.2	0.029	0.360	12.45
23.7	0.029	0.364	12.42
28.0	0.029 ⁵	0.373	12.69

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.5	0.030	0.441 ⁵	14.72
10.6	0.025	0.432	17.40
15.0	0.024	0.436	18.03
18.3	0.023	0.439	18.90
21.2	0.023	0.444 ⁵	19.20
23.7	0.023	0.450 ⁵	19.50
28.0	0.023	0.462	19.95

1^e Ophanging.Invalshoek $+4^\circ$.2^e Ophanging.

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.038	0.421	11.03
10.5	0.037 ⁵	0.417	11.13
15.0	0.037	0.418	11.35
18.3	0.036 ⁵	0.422	11.53
21.2	0.035 ⁵	0.428	12.08
23.6	0.035 ⁵	0.432	12.10
27.9	0.037	0.441	12.00

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.028	0.490	17.40
10.5	0.026 ⁵	0.498	18.67
14.9	0.027	0.500	18.52
18.2	0.027	0.528	19.65
21.0	0.027	0.512 ⁵	19.00
23.5	0.027 ⁵	0.520	18.73
27.8	0.028 ⁵	0.531	18.70

1^e Ophanging.Invalshoek $+6^\circ$.2^e Ophanging.

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.5	0.046 ⁵	0.478	10.27
10.6	0.043 ⁵	0.484	11.15
15.0	0.043 ⁵	0.484	11.12
18.4	0.042 ⁵	0.485	11.40
21.2	0.043	0.490	11.37
23.7	0.043	0.492	11.40
28.0	0.045	0.502	11.20

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.038	0.572	15.00
10.5	0.035	0.558 ⁵	16.03
14.9	0.034	0.569 ⁵	16.68
18.2	0.033	0.569	17.11
21.0	0.033	0.578	17.38
23.5	0.033 ⁵	0.583	17.30
27.8	0.034 ⁵	0.592	17.10

V = Windsnelheid in M./sec.

C_x = Absolute driftcoëfficiënt.C_y = Absolute liftcoëfficiënt.C_y/C_x = Lift : drift verhouding.

TABEL V.

ONDERZOEK VAN OPHANGMETHODEN.

DRAAGVLAKMODEL N^o. 9.1^e Ophanging.

Invalshoek +8°.

2^e Ophanging.

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.5	0.055	0.550	10.0
10.6	0.052	0.532	10.19
15.1	0.050 ⁵	0.530	10.50
18.4	0.050	0.537	10.74
21.3	0.051 ⁵	0.539	10.52
23.8	0.053	0.547	10.30
28.1	0.055	0.555	10.11

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.028	0.653	23.20
10.5	0.040 ⁵	0.620	15.21
14.9	0.041	0.632	15.45
18.2	0.040	0.628 ⁵	15.64
21.1	0.039 ⁵	0.633	15.95
23.6	0.041	0.638	15.50
27.9	0.041 ⁵	0.654	15.70

1^e Ophanging.

Invalshoek +10°.

2^e Ophanging.

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.068	0.593	8.71
10.5	0.062	0.592	9.52
15.0	0.058 ⁵	0.580	9.90
18.3	0.060	0.578	9.65
21.1	0.061	0.589	9.65
23.6	0.061 ⁵	0.595	9.70
27.9	0.064 ⁵	0.606	9.40

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.051 ⁵	0.688	13.36
10.5	0.047 ⁵	0.666 ⁵	14.18
14.9	0.047	0.679	14.43
18.2	0.047	0.679	14.40
21.1	0.047 ⁵	0.688	14.50
23.6	0.048 ⁵	0.688	14.13
27.9	0.050	0.699 ⁵	13.97

1^e Ophanging.

Invalshoek +12°.

2^e Ophanging.

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.075	0.652	8.72
10.5	0.067 ⁵	0.640	9.50
14.9	0.068 ⁵	0.631	9.23
18.2	0.069	0.634	9.21
21.1	0.070	0.638	9.12
23.5	0.071 ⁵	0.642	9.02
27.8	0.074 ⁵	0.651	8.72

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.061 ⁵	0.818 ⁵	13.32
10.5	0.055 ⁵	0.705	12.69
14.9	0.056	0.714	12.70
18.2	0.056	0.716	12.79
21.1	0.057	0.716	12.57
23.6	0.058	0.727	12.50
27.9	0.060 ⁵	0.738	12.20

V = Windsnelheid in M./sec.

C_x = Absolute driftcoëfficient.C_y = Absolute liftcoëfficient.C_y/C_x = Lift : drift verhouding.

TABEL VI.

ONDERZOEK VAN OPHANGMETHODEN.

DRAAGVLAKMODEL N°. 9.

1^e Ophanging.

Invalshoek +14°.

2^e Ophanging.

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.087	0.681	7.72
10.5	0.083	0.687	8.27
14.9	0.081 ⁵	0.671	8.26
18.3	0.081 ⁵	0.671	8.23
21.2	0.082	0.678	8.29
23.6	0.084	0.680	8.08
27.9	0.090	0.682	7.59

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.069 ⁵	0.751	10.77
10.5	0.064	0.736	11.50
14.9	0.065 ⁵	0.742	11.37
18.2	0.066	0.747	11.38
21.1	0.067 ⁵	0.750	11.08
23.6	0.069 ⁵	0.755 ⁵	11.88
27.9	0.072 ⁵	0.762	10.52

1^e Ophanging.

Invalshoek +16°.

2^e Ophanging.

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.5	0.124	0.564	4.53
10.6	0.089	0.715	8.03
15.0	0.091	0.701	7.68
18.4	0.093	0.700	7.53
21.2	0.096 ⁵	0.704	7.29
23.8	0.098 ⁵	0.699	7.11
28.0	0.102	0.714	6.96

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.123	0.621	5.05
10.5	0.077 ⁵	0.803	10.37
14.9	0.076 ⁵	0.802	10.48
18.2	0.078	0.807	10.30
21.1	0.080 ⁵	0.804	10.00
23.6	0.083	0.805 ⁵	7.00
27.9	0.087	0.809	9.30

1^e Ophanging.

Invalshoek +18°.

2^e Ophanging.

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.5	0.162	0.443	2.74
10.6	0.134	0.617	4.59
15.1	0.102	0.713	7.00
18.4	0.107 ⁵	0.710	6.60
21.3	0.110	0.714	6.50
23.8	0.110	0.711	6.43
28.1	0.114	0.720	6.30

V	C _x	C _y	C _y /C _x
7.4	0.166 ⁵	0.460	2.76
10.5	0.134	0.627	4.68
14.8	0.091 ⁵	0.792 ⁵	8.70
18.2	0.095	0.782	8.25
21.0	0.098 ⁵	0.786	7.93
23.5	0.100 ⁵	0.783	7.78
27.8	0.106 ⁵	0.781	7.34

V = Windsnelheid in M./sec.

C_x = Absolute driftcoëfficiënt.C_y = Absolute liftcoëfficiënt.C_y/C_x = Lift : drift verhouding.

TABEL VII.

ONDERZOEK VAN OPHANGMETHODEN.

DRAAGVLAKMODEL N°. 10.

1^e Ophanging.

i	V	C _x	C _y	C _y /C _x
0	14.9	0.031	0.235	7.5
	18.2	0.019	0.246	13.0
	23.6	0.022	0.258	11.7
	27.9	0.022	0.262	11.9
2	14.9	0.027	0.305	11.3
	18.3	0.026	0.315	12.0
	23.6	0.025	0.324	12.9
	28.0	0.025	0.327	13.0
4	14.8	0.031 ⁵	0.375	11.9
	18.2	0.031	0.378	12.0
	23.5	0.032	0.387	12.1
	27.8	0.032	0.390	12.1

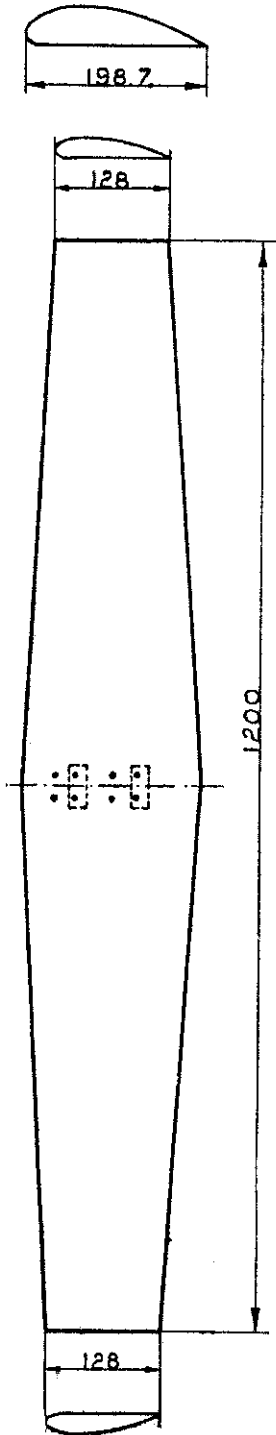
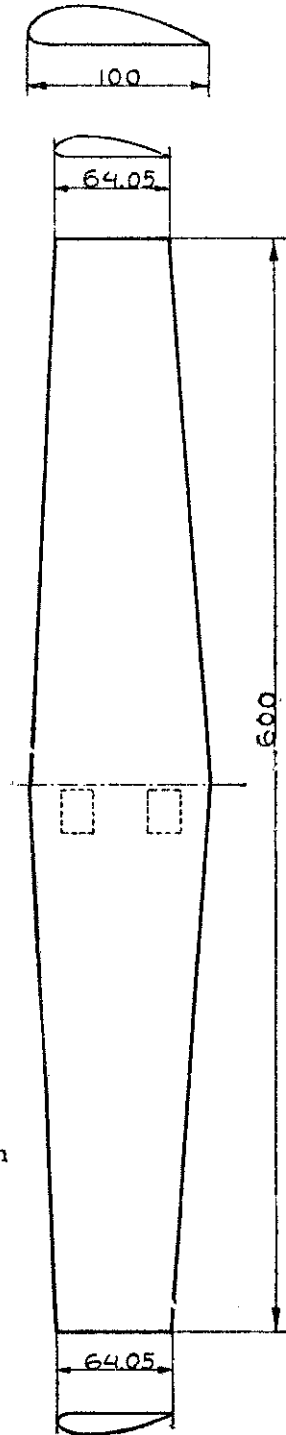
2^e Ophanging.

i	V	C _x	C _y	C _y /C _x
0	14.9	0.014	0.314	22.0
	18.3	0.012	0.327	26.2
	23.7	0.012	0.340	28.5
	28.0	0.013	0.348	26.8
2	14.9	0.019	0.396	21.1
	18.2	0.016	0.404	25.8
	23.6	0.016	0.408	26.1
	27.9	0.017	0.415	24.9
4	15.0	0.025	0.462	18.1
	18.4	0.025	0.462	18.4
	23.7	0.024	0.467	19.5
	28.1	0.023	0.467	20.1

i = Invalshoek gemeten t.o.v. het ondervlak.

V = Windsnelheid in M./sec.

C_x = Absolute driftcoëfficiënt.C_y = Absolute liftcoëfficiënt.C_y/C_x = Lift : drift verhouding.

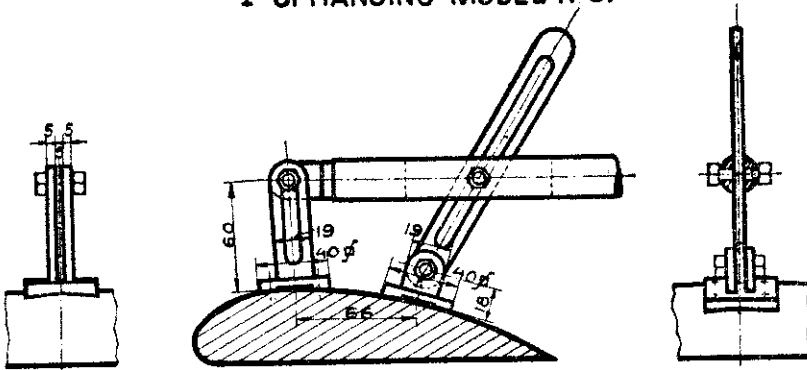
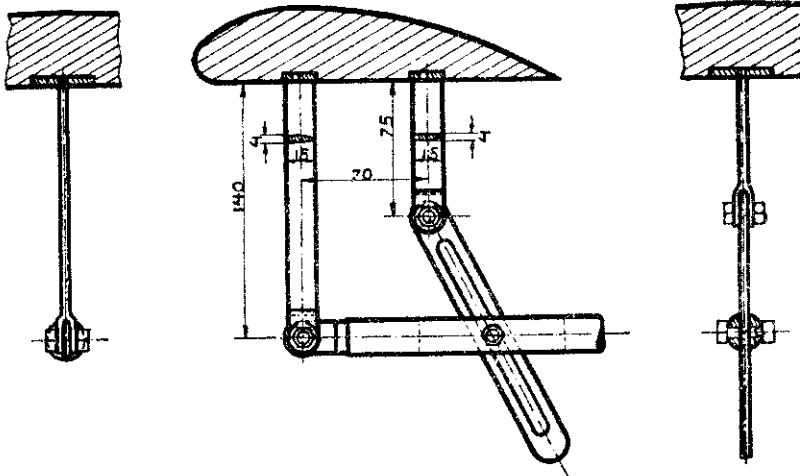
MODEL N° 9.**MODEL N° 10.**

Draagvlakmodellen
9 en 10.

Modèles d'aile
9 et 10.

Model wings
9 and 10.

Flügelmodelle
9 und 10.

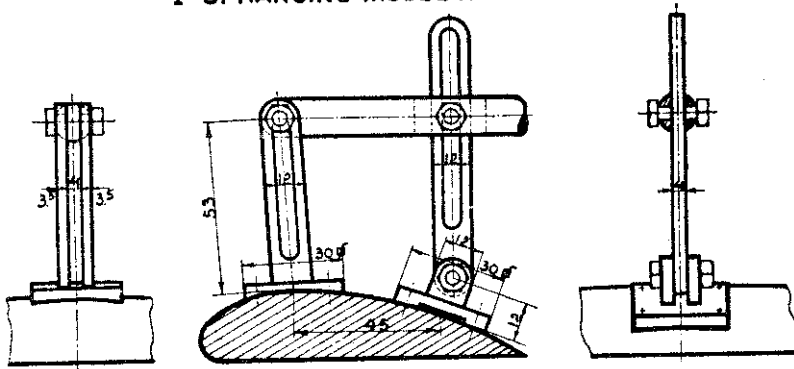
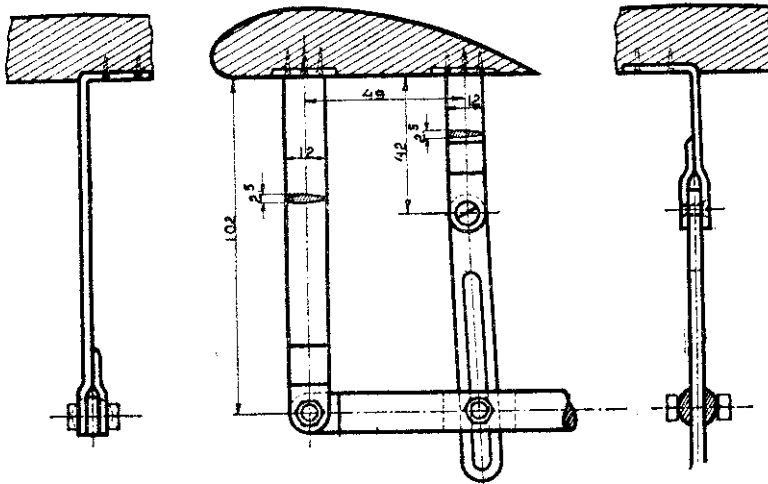
1^E OPHANGING MODEL N^o 9.2^E OPHANGING MODEL N^o 9.

Ophangstukken.

Pièces de fixation.

Supporting parts.

Halteorgane.

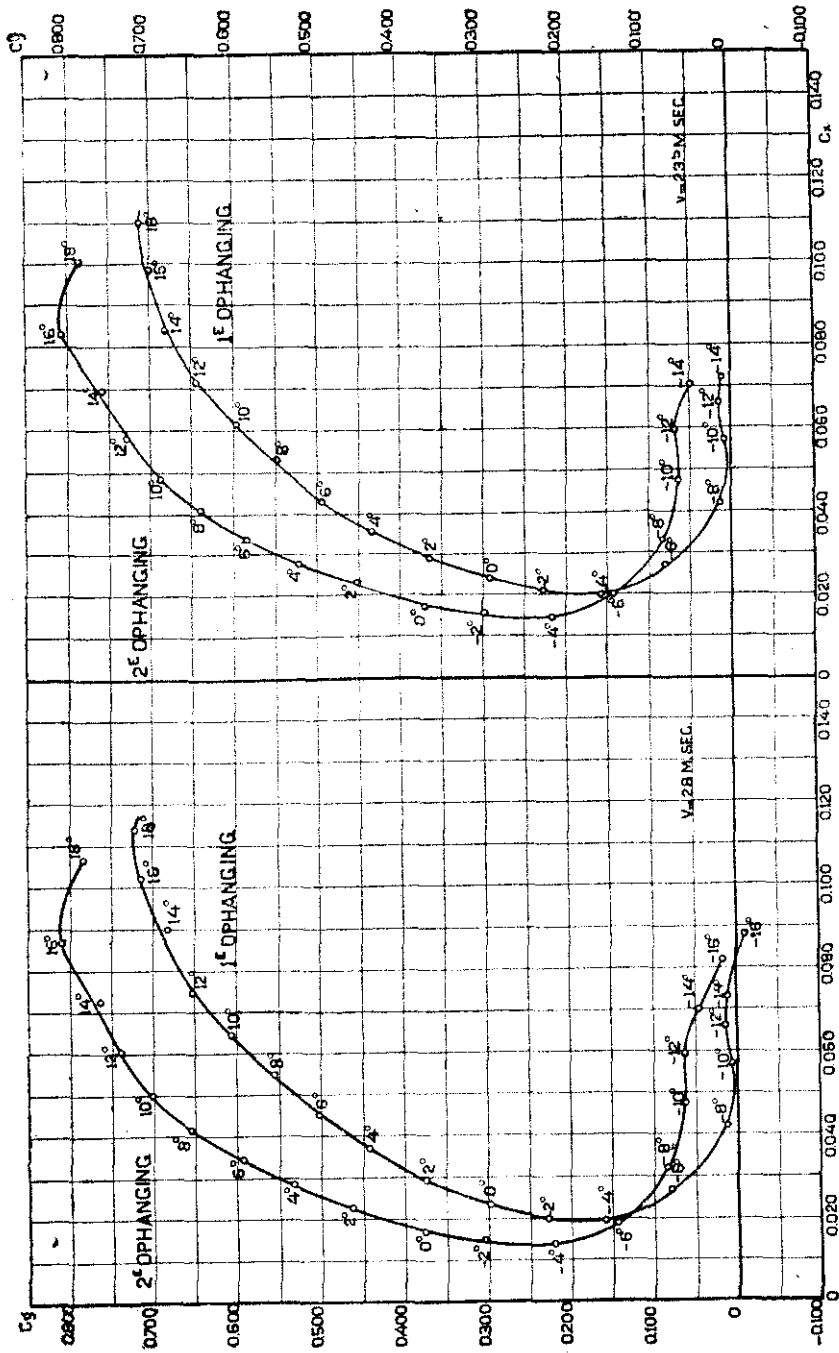
1^E OPHANGING MODEL N°10.2^E OPHANGING MODEL N°10.

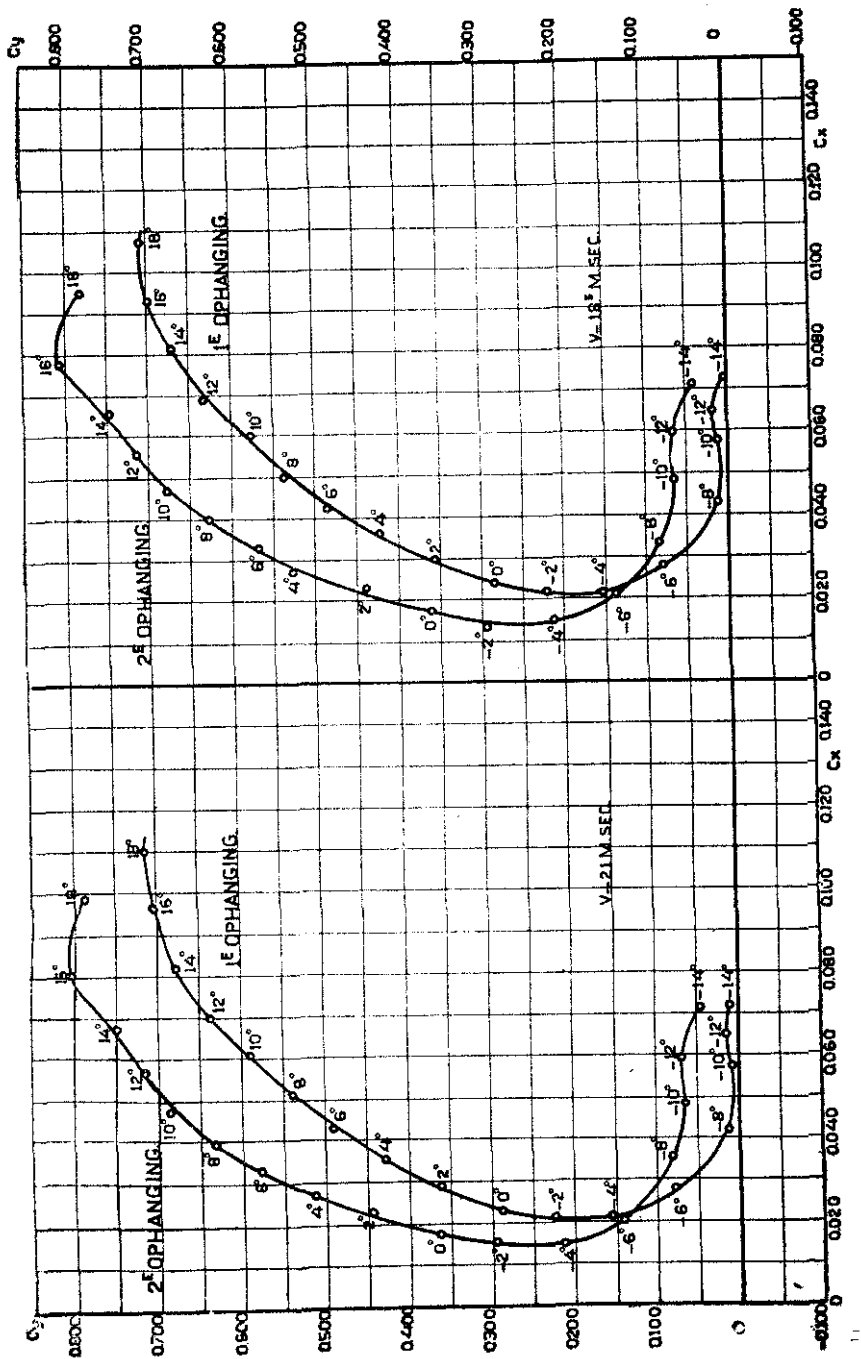
Ophangstukken.

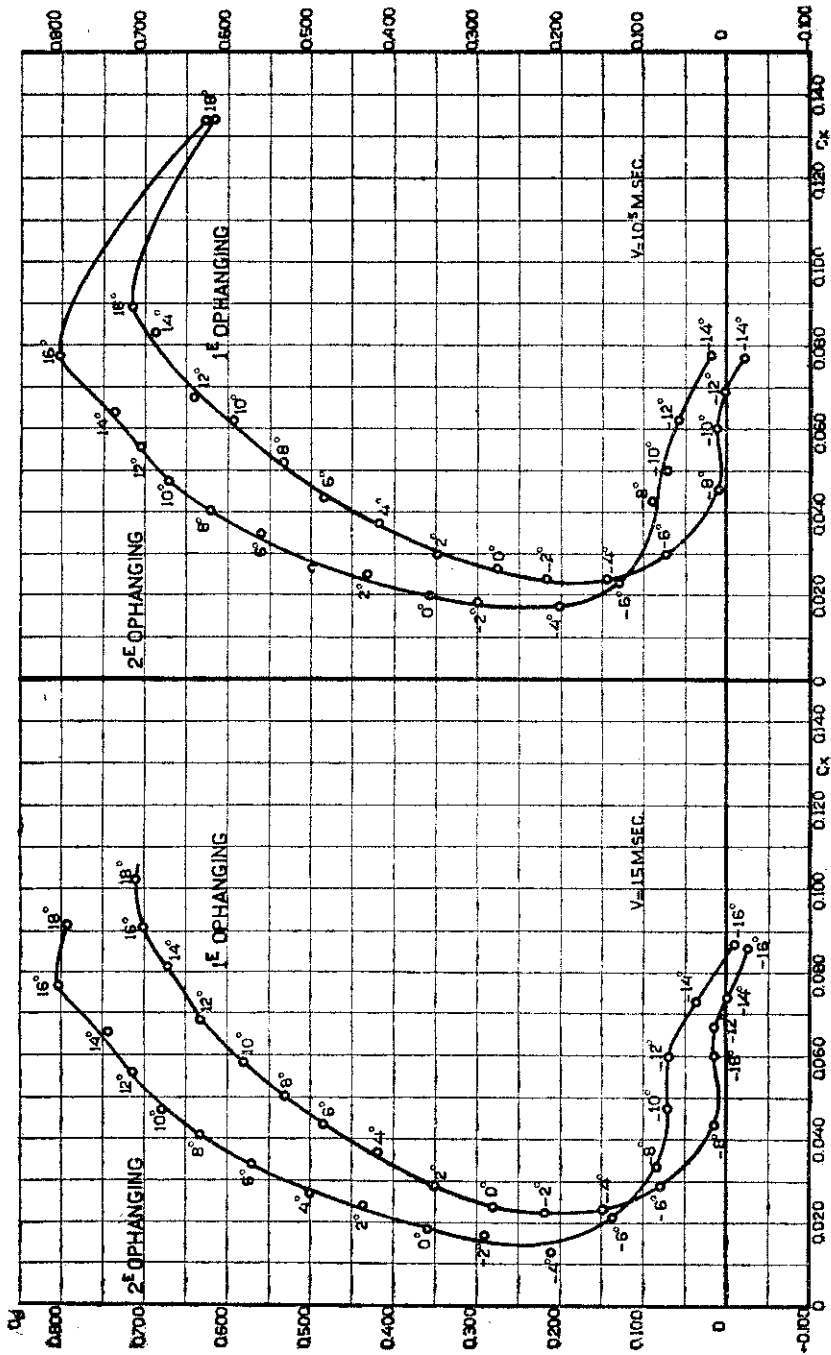
Pièces de fixation.

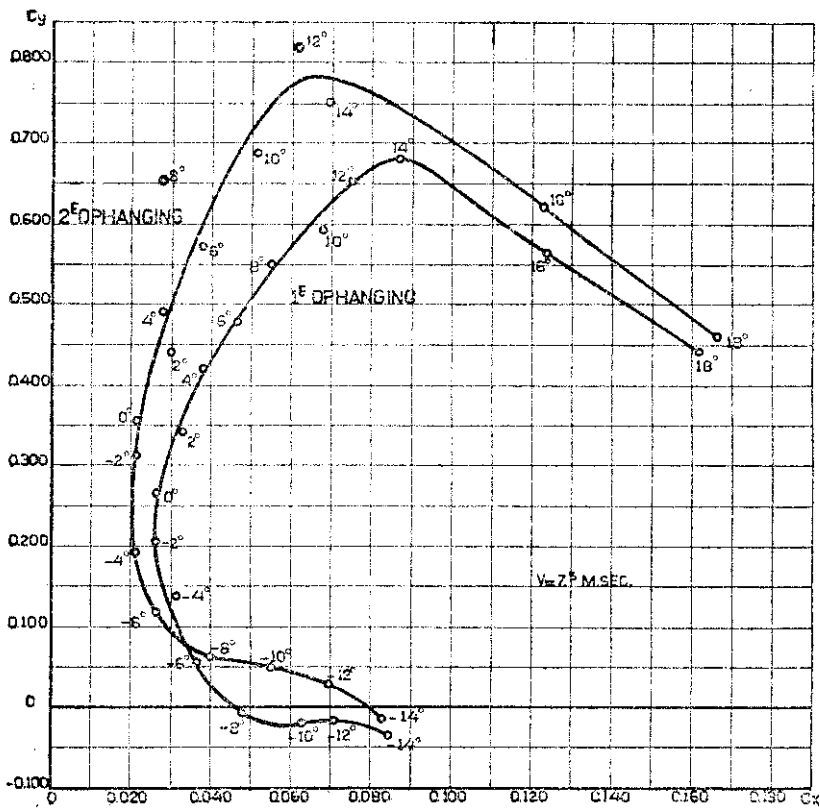
Supporting parts.

Halteorgane.









RAPPORT A 19.

ONDERZOEK VAN EEN MODEL VAN HET FOKKER F II VLIEGTUIG.

(VLIEGTUIGMODEL N^o. 1).

OVERZICHT.

A. Doel van het onderzoek.

Een model, schaal 1 : 20, van het Fokker F II vliegtuig, werd in den windtunnel onderzocht met het doel:

1. de lift- en drijfcoëfficiënten voor dit model te bepalen, welke moeten dienen voor vergelijking met ware-grootteproeven;
2. den invloed te bepalen van eenige ter verbetering van de aerodynamische eigenschappen voorgeslagen wijzigingen.

B. Aangebrachte wijzigingen. (Bijlage 1).

Deze vervallen in twee groepen:

1. met vulstuk op den romp achter het draagvlak (modellen 1b en 1e);
- 2e. met vulstuk voor op den romp, waardoor de bestaande open ruimte tusschen deze en het draagvlak (bestuurdersplaats) weggenomen werd (modellen 1c en 1d).

C. Resultaten van het onderzoek. (Bijlagen 4 en 5, Tabellen I—X).

Bijlage 4 geeft de lift- en drijfcoëfficiënten voor het ongewijzigde model met uitslagen van het hoogteroer van -4° , 0° , $+4^{\circ}$.

De waarden der coëfficiënten voor het model met verschillende wijzigingen zijn uitgezet in bijlage 5, waarin tevens die voor het ongewijzigde model (getrokken kromme) en die voor het draagvlak (gestippelde kromme) opgenomen zijn. De wijzigingen geven over het algemeen een verbetering, welke toeneemt bij vergroting van den invalshoek. Met behulp der modelgegevens werden voor het vliegtuig op ware grootte de maximum snelheden voor verschillend gewicht en motorvermogen en het benodigd vermogen voor verschillend gewicht en snelheid berekend. Deze berekeningen werden zoo- wel voor het ongewijzigde model als voor die met de verschillende wijzigingen uitgevoerd. De resultaten der berekening (Tabellen IX en X) geven slechts vergelijkingswaarden, daar geen rekening gehouden werd met het vergrotingseffect en het nuttig effect van de schroef constant aangenomen werd.

ESSAI D'UN MODÈLE DE L'AVION FOKKER F II.

(MODÈLE D'AVION N^o. 1).

RÉSUMÉ.

A. But de l'essai.

Un modèle au 1/20 de l'avion Fokker F II fut essayé dans le tunnel. L'intention de ces expériences était:

1. la détermination des coefficients de portance et de trainance, destinés à une comparaison avec les résultats d'expériences en vol;
2. la détermination de l'influence de quelques modifications proposées afin d'améliorer les qualités aérodynamiques de l'appareil.

B. Modifications apportées. (planche I)

Elles sont divisées en deux groupes:

1. addition d'une pièce complémentaire sur le fuselage, derrière l'aile (modèles 1b et 1e);
2. addition d'une pièce complémentaire à l'avant du fuselage, comblant l'espace libre existant entre le fuselage et l'aile (poste du pilote). (modèles 1c et 1d).

C. Résultats des essais. (Planches 4—5; Tableaux I—X).

Les coefficients de portance et de trainance du modèle original pour trois positions du gouvernail de profondeur (incidences—4°, 0°, en +4°) sont représentés graphiquement (Planche 4).

Les valeurs des coefficients du modèle modifié sont représentées Planche 5, où l'on donne aussi celles du modèle original (courbe en trait plein) et de l'aile (courbe en pointillé). Les modifications donnent en général une amélioration, qui augmente avec l'angle d'incidence. A l'aide des données obtenues pour le modèle, on a calculé les vitesses maxima réalisables avec des poids et des puissances motrices variées et, inversement, la puissance nécessaire au vol quand on modifie la charge et la vitesse.

Ces calculs ont été faits aussi bien pour le modèle original que pour les diverses modifications. Les résultats du calcul (Tableaux IX et X) ne donnent que des valeurs relatives, parce qu'on n'a pas tenu compte de l'influence des dimensions sur les valeurs trouvées et que le rendement de l'hélice était supposé constant.

EXPERIMENTS ON A MODEL OF THE FOKKER F II
MONOPLANE.(AEROPLANE MODEL N^o. 1).

SUMMARY.

A. Purpose of the experiments.

A model on scale 1 : 20 of the Fokker F II monoplane was tested in the windchannel for the purpose of:

1. determining the lift- and drag coefficients of this model, to form a basis of comparison with full-scale tests;

2. determining the influence of a few modifications proposed with the idea of improving the aerodynamical properties of the machine.

B. Changes made. (Appendix 1).

These may be divided into two groups:

1. With fairing in top of the fuselage behind the wing (models 1b and 1e);
2. With fairing on the front part of the fuselage, so that the existing hollow space between the fuselage and the wing was filled up (models 1c and 1d).

C. Results of the experiments. (Appendices 4—5; Tables I—X).

Appendix 4 gives the lift- and drag coefficients of the original model with the elevator pitched at -4° , 0° , and $+4^\circ$.

The values of the coefficients for the modified model are plotted in app. 5; the curves for the original model (full line) and for the wing (dotted line) are also given. The changes generally give an improvement, increasing with the angle of incidence. By means of the model data the top speeds with different loads and horsepowers and the required horsepower for different loads and speeds were calculated for the full-scale machine. These calculations were made for the original model as well as for the modified fuselages. The results of the calculation (tables IX—X) give only relative values as scale-effect was not taken into account and the propeller efficiency was assumed constant.

UNTERSUCHUNGEN AN EINEM MODELL DES FOKKER F II EINDECKERS.

(FLUGZEUGMODELL N^o. 1).

ZUSAMMENFASSUNG.

A. Zweck der Untersuchung.

Ein Modell, Massstab 1 : 20, des obengenannten Eindeckers wurde im Windkanal gemessen, mit dem Zweck:

1. die zum zahlenmässigen Vergleich mit Versuchen am fliegenden Flugzeug nötigen Auftriebs- und Widerstandsbeiwerte des Modells zu bestimmen;
2. den Einfluss einiger zur Besserung der Flugeigenschaften des Flugzeuges vorgeschlagen Abänderungen zu verfolgen.

B. Abänderungen. (Anlage I).

Diese lassen sich in zwei Gruppen teilen.

1. mit Füllstück auf dem Rumpf hinter dem Flügel (Modelle 1b und 1e);
2. mit Füllstück vorn auf dem Rumpf, derart, dass der Hohlraum zwischen Rumpf und Flügel (Führersitz) ausgefüllt wird. (Modelle 1c und 1d).

C. *Ergebnisse der Versuche (Anlagen 4—5; Zahlentafeln I—X).*

Anlage 4 gibt die Auftriebs- und Widerstandsbeiwerte des ursprünglichen Modells mit Höhenruderausschlägen von -4° , 0° , $+4^\circ$.

Die Zahlenwerte der Beiwerte des abgeänderten Modells sind in Anlage 5 eingetragen worden, ebenfalls die Werte des ursprünglichen Modells (voll ausgezogene Kurve) und des Flügels (gestrichelte Kurve). Die Abänderungen geben im Allgemeinen eine Verbesserung, welche mit dem Anstellwinkel zunimmt.

Mit Hilfe der Modelldaten sind die Höchstgeschwindigkeiten bei mehreren Belastungen und Motorstärken und ebenfalls die nötige Leistung für mehrere Belastungen und Geschwindigkeiten für das Flugzeug berechnet. Diese Berechnungen sind für das ursprüngliche wie für das abgeänderte Modell ausgeführt. Die Ergebnisse der Rechnung (Zahlentaf. IX, X) liefern nur Vergleichswerte, da der Einfluss des Kennwertes nicht in Rechnung gezogen ist und der Nutzeffekt der Schraube konstant angenommen wurde.

RAPPORT A 19. 1)

ONDERZOEK VAN EEN MODEL VAN HET FOKKER F II VLIEGTUIG.

(VLIEGTUIGMODEL N^o. 1).

I. *Strekking van het onderzoek.*

Het hier beschreven onderzoek had ten doel:

1. het bepalen der lift- en driftcoëfficiënten van een model van het F II vliegtuig, teneinde deze te kunnen vergelijken met de resultaten van proeven met het vliegtuig op ware grootte;
2. na te gaan, welken invloed eenige ter verbetering der aerodynamische eigenschappen voorgeslagen wijzigingen hadden op de lift- en driftkrachten.

II. *Beschrijving van het model en van de aangebrachte wijzigingen.*

Het model werd naar opmetingen van het vliegtuig zoo nauwkeurig mogelijk op schaal 1 : 20 vervaardigd. Draagvlak, romp, schroef en wielen werden in gepolitoerd mahoniehout, de overige onderdeelen in koper uitgevoerd. Alle stuurvlakken waren verstelbaar; voor het vastzetten van deze werden kleine stelboogjes aangebracht. De spandraden van het landingsgestel werden weggelaten omdat deze, door den grooten invloed van het vl. effect voor cilindrische lichamen, een onjuist beeld zouden geven van de op het model werkende driftkrachten. Het draagvlak werd afneembaar aan het model bevestigd, zoodat het ook afzonderlijk onderzocht kon worden. In de boven- en onderzijde van den romp werden op eenigen afstand achter het draagvlak koperen plaatjes ingelaten, waarin de stroomlijnvormige stiften, welke dienden voor bevestiging aan de balans, vastgeschroefd konden worden.

De wijzigingen, welke aan het model aangebracht werden, kunnen verdeeld worden in twee groepen.

De eerste groep had ten doel een betere overgang van de strooming over het bovenvlak van het draagvlak in die over den romp te verkrijgen.

1) Voor publicatie van dit rapport werd op welwillende wijze toestemming verleend door de N. V. Nederlandsche Vliegtuigenfabriek.

Met de tweede groep werd getracht een verbetering te verkrijgen door een gewijzigden vorm van het voorste gedeelte van den romp. Beide groepen bestonden uit twee verschillende uitvoeringen.

De eerste groep omvat de modellen 1b en 1c. (alle modellen werden verkregen door wijziging van het oorspronkelijke, doch worden hier ter vereenvoudiging als afzonderlijke aangeduid). Het model 1b werd verkregen door het aanbrengen van een vulstuk op den romp achter het draagvlak. De breedte van dit vulstuk was gelijk aan die van den romp, terwijl het bovenvlak aan de voorzijde rakend overging in dat van het draagvlak en aan de achterzijde een stompe hoek maakte met den romp. Bij het model 1c werd ditzelfde vulstuk aangebracht, waarna de hoek tusschen vulstuk en romp met parafine opgevuld en vloeiend bijgewerkt werd.

Bij de modellen der tweede groep werden vulstukken aangebracht, waardoor de ruimte tusschen romp en draagvlak aan de voorzijde (bestuurdersplaats) weggenomen en een meer gelijkmatige overgang der beide deelen in elkaar verkregen werd. Deze vulstukken gingen voor en opzij vloeiend in de bestaande rompvorm over.

Voor het model 1c raakte het vulstuk aan het ondervlak van het draagvlak, voor het model 1d daarentegen aan het bovenvlak.

Een teekening van het model met de verschillende wijzigingen is gegeven in bijlage 1, van het draagvlak afzonderlijk in bijlage 2, terwijl bijlage 3 foto's geeft van het ongewijzigde model met de bij de metingen gebruikte ophangstiften aan de bovenzijde van den romp bevestigd.

III. *Beschrijving van de beproevings- en berekeningsmethode.*

Het onderzoek van het model geschiedde in den windtunnel van den R. S. L. De lift- en drifkrachten werden voor verschillende invalshoeken gemeten met de Eiffelsche balans. Voor positieve invalshoeken werden de ophangstiften in het bovenvlak van den romp vastgeschroefd, voor negatieve daarentegen in het ondervlak, waardoor tegengegaan werd, dat de staart van het model te dicht bij de balansstift kwam. Voor 0° invalshoek werd met beide bevestigingswijzen een meting uitgevoerd, de verkregen resultaten gaven een goede overeenstemming. De krachtenmeting met de balans geschiedde door het bepalen van de momenten van de resultante der windkrachten om vier verschillende punten. Uit de verkregen waarnemingen werden de lift- en drifkrachten berekend met behulp van de formules, genoemd op bladzijde 47.

Voor de windkrachten, welke op de zich in den windstroom bevindende deelen der balans, alsmede op de ophangstiften werkten, werd bij de berekening een correctie aangebracht. Deze correctie werd bepaald door meting dezer krachten alleen, waarbij het model in denzelfden stand als bij de oorspronkelijke meting, doch los van de balans, opgesteld werd.

Als invalshoek werd de hoek aangenomen tusschen de wind-

richting en het ondervlak van het draagvlak, gemeten onmiddellijk naast den romp.

Uitslagen van het hoogteroer zijn aangegeven t.o.v. den neutralen stand en gerekend in den zelfden zin als de invalshoeken. Voor zoover bij de afzonderlijke metingen niet aangegeven, was de stand der stuurvlakken neutraal. De schroef werd bij alle metingen in horizontalen stand vastgezet.

Uit de berekende krachten werden de absolute coëfficiënten bepaald met behulp der formules:

$$R_x = C_x \frac{\gamma}{g} OV^2.$$

$$R_y = C_y \frac{\gamma}{g} OV^2.$$

waarin:

R_x, R_y = drift-, resp. liftkracht in K.G.

C_x, C_y = absolute drift-, resp. liftcoëfficiënt.

γ = soortelijk gewicht der lucht in K.G./M³.

g = versnelling van de zwaartekracht in M./sec.².

O = oppervlak van het draagvlak in M.² (met inbegrip van de klappen).

V = windsnelheid in M./sec.

Het draagvlak van het model werd (met de klappen eraan) ook afzonderlijk op de hier aangegeven wijze onderzocht. Dit model werd draagvlakmodel No. 14 genoemd (zie bijlage 2). Bij het onderzoek werden de ophangstiften aan het ondervlak bevestigd.

Om een indruk te krijgen van den invloed, welke de verschillende wijzigingen zullen hebben voor het werkelijke vliegtuig, werd het benodigde motorvermogen voor verschillende gewichten en snelheden en de maximumsnelheid voor gegeven vermogen bepaald. Hierbij werd gebruik gemaakt van het logaritmische diagram 1), terwijl de resultaten gecontroleerd werden met de formules voor horizontaal vliegen:

$$G = C_y \frac{\gamma}{g} OV^2.$$

$$\gamma P = \frac{1}{75} C_x \frac{\gamma}{g} OV^3.$$

Hierin is:

G = gewicht van het vliegtuig in K.G.

C_y, C_x = absolute lift-, resp. drift-coëfficiënt.

γ = S. G. van de lucht in K.G./M³.

g = versnelling van de zwaartekracht in M./sec.².

O = oppervlak van het draagvlak (met inbegrip van de klappen) in M².

1) G. Eiffel, Nouvelles recherches sur la résistance de l'air et l'aviation. Polaires logarithmiques, blz. 52 (2e édition).

V = snelheid in M./sec.

P = motorvermogen in P.K.

η = nuttig effect van de luchtschroef.

Voor η werd de constante waarde 0.8 aangenomen.

IV. Resultaten van het onderzoek.

De bij het onderzoek verkregen waarden der coëfficiënten zijn in de bijlage 4 en 5 en de tabellen I—VIII verzameld. In de tabellen zijn de waarden opgenomen voor beide snelheden van ongeveer 19,5 en 27,5 M. sec., waarbij het onderzoek uitgevoerd werd, in de grafieken alleen die voor de hoogste snelheid.

a. Invloed van kleine verstellingen van het hoogteroer.

De coëfficiënten voor het ongewijzigde model bij uitslagen van het hoogteroer van -4° , 0° en $+4^\circ$ zijn gegeven in bijlage 4 en de tabellen I—III. Hieruit blijkt, dat de verschillen in de coëfficiënten, veroorzaakt door deze verstellingen van het hoogteroer, hoewel meetbaar, toch gering zijn.

Dit is van belang voor vergelijking der modelresultaten met die van ware-grootte-proeven, daar bij deze laatsten het hoogteroer in het algemeen een kleine uitslag uit den neutralen stand zal vertoonen.

Behoudens eenige afwijkingen, welke mogelijk aan metings-onnauwkeurigheden toegeschreven kunnen worden, wordt door een positieven roeruitslag de lift vermeerderd, door een negatieven verminderd. Voor invalshoeken kleiner dan $+2^\circ$ wordt de drift door uitslagen in beide richtingen vergroot, terwijl voor grootere invalshoeken verstelling van het hoogteroer binnen de beschouwde grenzen practisch geen invloed heeft op de grootte van de drift.

b. Vergelijking van de resultaten voor het draagvlak met die voor het geheele model.

De resultaten van het onderzoek van het draagvlakmodel No. 1 zijn gegeven in bijlage 5 en tabel IV. De liftcoëfficiënt is grooter dan die voor het vliegtuigmodel bij gelijke invalshoeken. Dit verschil kan verklaard worden als gevolg van verminderde werkzaamheid van het zich boven den romp bevindende middenstuk en de daaraan grenzende deelen van het draagvlak en van een mogelijke negatieve lift van den romp en stuurvlakken.

Een mogelijke invloed van het verschil in plaatsing der ophangstiften kan buiten beschouwing gelaten worden. Deze invloed kan geacht worden zeer klein te zijn (zie punt III over het onderzoek van het model met de ophangstiften op boven- en ondervlak van den romp).

Het verschil in drift tusschen draagvlak en vliegtuig, dus de z.g. schadelijke weerstand, blijft nagenoeg constant over een groot gebied, zich uitstrekkend van $C_y = 0.100$ tot $C_y = 0.450$.

In verband met de kritische invalshoek vertoonen de beide modellen een opvallend verschil. Voor het draagvlak is deze ongeveer 16° , terwijl bij het overschrijden van deze een snelle vermindering van de liftcoëfficiënt optreedt. Voor het vliegtuig daarentegen ligt deze hoek bij ongeveer 17° en treedt hier een zeer geleidelijke overgang op.

c. Invloed van de verschillende wijzigingen.

De resultaten van het onderzoek naar den invloed der verschillende wijzigingen zijn in tabelvorm gegeven in de tabellen V t/m VIII, en ter vergelijking met die van het ongewijzigde model uitgezet in de grafiek in bijlage 5. Er blijkt, dat, over het algemeen genomen, de wijzigingen geringen invloed hebben op de waarde der liftcoëfficiënten, doch een verbetering der driftcoëfficiënten ten gevolge hebben. Deze verbeteringen zijn gering bij lage waarden van de liftcoëfficiënt (tot ongeveer 0.200) en nemen daarna geleidelijk toe. De invloed zal dus klein zijn voor het vliegen bij kleine invalshoeken (grootte snelheid, gering gewicht van het vliegtuig) en van meer beteekenis worden bij toenemenden invalshoek (kleinere snelheid, grootere belasting, stijgen).

Van de beide wijzigingen met vulstuk achter het draagvlak 1b en 1c is de laatste het gunstigste. Dit is het gevolg van het vervangen van den scherpen overgang tusschen het vulstuk en den romp door een meer geleidelijke. Van de beide modellen met gewijzigd voorstuk is 1c, behalve bij zeer lage waarden van de liftcoëfficiënt (< 0.100) gunstiger dan 1d.

De grootte der door de verschillende wijzigingen verkregen verbeteringen kan het beste beoordeeld worden door vergelijking der uit de verkregen gegevens berekende maximum snelheden voor verschillende vliegtuiggewichten en motorvermogens en het benodigde vermogen voor verschillende snelheden en gewichten. Bij beoordeeling der resultaten dient op het volgende gelet te worden:

- a. het nuttig effect van de schroef is constant aangenomen;
- b. er is geen rekening gehouden met een mogelijk aanwezig vl-effect;
- c. de invloed van de schroefstraal op het vliegtuig en van de voor het verkrijgen der verschillende snelheden benodigde uitlagen van het hoogteroer is buiten beschouwing gelaten;
- d. voor alle modellen zijn voor vergelijking dezelfde gewichten aangenomen, er is dus geen rekening gehouden met de gewichtsvermeerdering, welke een gevolg kan zijn van het aanbrengen der wijziging.

Over den invloed dezer vereenvoudigingen op de resultaten kan het volgende opgemerkt worden:

- a. Het nuttig effect van een gegeven luchtschroef is in werkelijkheid afhankelijk van de snelheid van het vliegtuig en van het

aantal omwentelingen, dus bij een gegeven motor van het vermogen. Uit de aanname van een constant nuttig effect van de schroef volgt dus, dat ieder geval berekend is met een speciaal daarvoor aangepaste schroef. De waarden voor het vermogen bij verschillende snelheden, tenzij deze onderling weinig verschillen, mogen dus niet direct vergeleken worden.

b. Doordat geen rekening gehouden werd met het vl-effect hebben alle uitkomsten geen absolute, doch slechts vergelijkings-waarde. Aangenomen mag worden, dat, daar de verschillende modellen onderling weinig verschillen, dit effect voor allen hetzelfde is. Bovendien is uit de resultaten van glijvluchtproeven met het FII vliegtuig op ware grootte gebleken, dat de hieruit berekende gegevens vrij goed overeenstemden met die der modelproeven, het schaal-effect dus gering is.

c. De invloed van de schroef op de aerodynamische eigenschappen van het vliegtuig uit zich, afgezien van de roteerende beweging in de schroefstraal, door een vergroote windsnelheid van de in deze straal gelegen deelen van het vliegtuig.

De op deze deelen werkende windkrachten zullen dus, vergeleken bij die op het overige gedeelte van het vliegtuig, relatief grooter zijn voor het werkelijke vliegtuig met loopenden motor dan voor het model met stilstaande schroef. Waar nu de verbeteringen van het model verkregen werden door wijzigingen, welke in de schroefstraal gelegen zijn, mag aangenomen worden, dat de gunstige werking mogelijk verhoogd, doch zeker niet verminderd zal worden door de werking van de schroef.

Bij vergelijking der modellen bij eenzelfde snelheid en gewicht zullen de invalshoeken slechts zeer weinig verschillen. Aangenomen kan worden, dat de verschillende wijzigingen geringen invloed zullen hebben op de ligging van het drukmiddelpunt en op de strooming om de stuurvlakken, zoodat de verschillen in roeruitslag te verwaarloozen zijn. Hierbij kan nog verwezen worden naar het punt IVa reeds opgemerkte over het onderzoek van het model met het hoogteroer in verschillende standen.

d. De gewichtsvermeerdering door de verschillende wijzigingen is buiten beschouwing gelaten, daar zij afhankelijk is van constructieve overwegingen.

Resumeerende volgt uit het bovenstaande, dat de uit de berekening verkregen resultaten, welke opgenomen zijn in de tabellen IX en X gebruikt mogen worden voor vergelijking bij gelijke snelheid en gewicht. De met het werkelijke vliegtuig te verkrijgen verschillen mogen verwacht worden hiervan niet veel af te wijken.

Bij beschouwing van deze resultaten blijkt, dat de boven bij de bespreking der coëfficiënten gemaakte opmerkingen hierdoor bevestigd worden. De besparing door de wijzigingen verkregen, neemt in het algemeen af bij vermindering van den invalshoek,

dus bij vergrooting van de snelheid of vermindering van het gewicht. Zoo bedraagt de vermindering in benodigd vermogen voor het model 1c, uitgedrukt in percenten van dat voor het ongewijzigde model, bij een vliegtuiggewicht van 1600 K.G. en bij snelheden van 100, 120 en 140 K.M./uur, respectievelijk 8, $6\frac{1}{2}$, en 3, terwijl zij bij 120 K.M./uur, en gewichten van 1200, 1600 en 2000 K.G., resp. 3, $6\frac{1}{2}$ en $7\frac{1}{2}$ is. Voor het model 1e zijn deze getallen 5, 2, 0 en 0, 2, $2\frac{1}{2}$.

Van de beide groepen van wijzigingen zijn de modellen 1c en 1e het gunstigste; door combinatie van beide zou mogelijk een grootere verbetering verkregen kunnen worden.

De maximumsnelheden werden slechts weinig beïnvloed, de grootste verbetering, welke verkregen werd bedraagt 3 K.M./uur.

d. Vergelijking der resultaten met die van ware-grootte-proeven.

De ware-grootte-proeven, bestaande uit een serie glijvlucht-proeven, waren van voorloopigen aard en kunnen om die reden niet als zeer betrouwbaar worden aangemerkt.

Er werd echter een vrij goede overeenstemming met de resultaten der modelproeven verkregen. De ware-grootte-proeven zullen, na verbetering der methode, herhaald worden.

V. Conclusies.

Het boven beschreven onderzoek leidt tot de volgende conclusies:

- a. Een verstelling van het hoogteroer van 4° heeft slechts geringen invloed op de waarde der lift- en driftkrachten (zie bijlage 4).
- b. Tengevolge van de aanwezigheid van den romp heeft het vliegtuig bij gelijke invalshoek een lagere liftcoëfficiënt dan het draagvlak afzonderlijk, terwijl tevens de grootte van de kritische invalshoek en het gedrag na overschrijden van deze gewijzigd wordt (zie bijlage 5).
- c. De schadelijke weerstand is nagenoeg constant in het gebied tusschen $C_y = 0.100$ en $C_y = 0.450$ (zie bijlage 5).
- d. Verbetering der aerodynamische eigenschappen kan verkregen worden:
 1. door verbetering van den overgang van de strooming over het draagvlak in die over den romp door het aanbrengen van een vulstuk achter het draagvlak.
Aanbeveling verdient, de overgang van dit stuk in den romp zoo geleidelijk mogelijk te maken (zie bijlage 1, model 1e).
 2. door verandering van het voorste gedeelte van den romp op zoodanige wijze, dat de thans bestaande ruimte tusschen deze en het voorste gedeelte van het draagvlak verdwijnt. Het beste is, het bovenvlak van den romp aan te sluiten aan het ondervlak van het draagvlak (zie bijlage 1, model 1c.)

Een combinatie der wijzigingen $1c$ en $1e$ kan verwacht worden het beste resultaat op te leveren.

- e. De waarde der verbetering kan beoordeeld worden naar de uit de modelgegevens berekende waarden voor het benodigde motorvermogen (zie tabel X). In verband met de beschouwingen in punt IVc geven de getallen *vergelijkingswaarden*. Het benodigde vermogen voor de verschillende modellen mag slechts bij eenzelfde snelheid en gewicht vergeleken worden.
- f. Voor alle onderzochte wijzigingen is de verbetering gering bij kleine invalshoeken (groote snelheid, gering gewicht) doch wordt belangrijker bij toenemende invalshoek (kleine snelheid, groot gewicht, stijgen). de stijgsnelheid zal in het algemeen verbeterd worden.
- g. De maximumsnelheid wordt weinig beïnvloed door de verschillende wijzigingen, de stijgsnelheid zal in het algemeen verbeterd worden.
- h. De resultaten van het modelonderzoek gaven een vrij goede overeenstemming met die der glijvluchtproeven; daar de laatste slechts een voorloopig karakter hadden, werden de resultaten hiervan nog niet gepubliceerd.

(Afgesloten Februari 1921).

TABEL I.

VLIEGTUIGMODEL N^o. I „FOKKER F II”.

Hoogteroer 0°.

i	V	C _y	C _x	C _y /C _x
-8°	19.6	-0.065 ⁵	0.058 ⁵	-1.12
-6°	19.6	0.020	0.041 ⁵	0.48
-4°	19.5	0.091	0.032 ⁵	2.82
-2°	19.5	0.184 ⁵	0.031 ⁵	5.88
0°	19.6	0.257	0.033	7.77
2°	19.6	0.327 ⁵	0.037	8.84
4°	19.4	0.414 ⁵	0.043	9.61
6°	19.5	0.486	0.050	9.74
8°	19.5	0.551	0.061 ⁵	8.93
10°	19.5	0.613 ⁵	0.072	8.50
12°	19.6	0.670 ⁵	0.086 ⁵	7.77
14°	19.6	0.722	0.102	7.09
16°	19.6	0.739 ⁵	0.122	6.06
18°	19.6	0.742 ⁵	0.143	5.19
20°	19.6	0.637	0.199 ⁵	3.19

i	V	C _y	C _x	C _y /C _x
-8°	27.7	-0.069 ⁵	0.057	-1.22
-6°	27.7	0.019	0.040	0.48
-4°	27.5	0.094	0.031	3.04
-2°	27.5	0.192 ⁵	0.029 ⁵	6.53
0°	27.7	0.265	0.031 ⁵	8.35
2°	27.7	0.338	0.035 ⁵	9.48
4°	27.4	0.422	0.043 ⁵	9.73
6°	27.5	0.496	0.051	9.78
8°	27.5	0.568	0.062 ⁵	9.15
10°	27.5	0.633 ⁵	0.073 ⁵	8.60
12°	27.7	0.685 ⁵	0.087 ⁵	7.82
14°	27.7	0.722	0.103	7.00
16°	27.7	0.742 ⁵	0.125 ⁵	5.91
18°	27.7	0.741	0.149	4.97
20°	27.7	0.635	0.205	3.09

TABEL II.

VLIEGTUIGMODEL N^o. I „FOKKER F II”.

Hoogteroer -4°.

i	V	C _y	C _x	C _y /C _x
-8°	19.5	-0.066	0.061	-1.08
-6°	19.4	0.001	0.045 ⁵	0.03
-4°	19.4	0.090	0.033 ⁵	2.70
-2°	19.3	0.177 ⁵	0.032 ⁵	5.47
0°	19.5	0.251	0.033 ⁵	7.55
2°	19.4	0.328 ⁵	0.037	8.90
4°	19.4	0.406	0.043	9.49
6°	19.4	0.481 ⁵	0.050	9.63
8°	19.5	0.545 ⁵	0.059 ⁵	9.15
10°	19.4	0.606	0.070	8.64
12°	19.4	0.656	0.083	7.90
14°	19.4	0.697 ⁵	0.100	6.98
16°	19.4	0.720 ⁵	0.120	5.99
18°	19.5	0.701 ⁵	0.139 ⁵	5.03
20°	19.6	0.628	0.198	3.17

i	V	C _y	C _x	C _y /C _x
-8°	27.5	-0.070	0.059	-1.18
-6°	27.4	0.000 ⁵	0.043 ⁵	0.01
-4°	27.4	0.091	0.032	2.83
-2°	27.3	0.183 ⁵	0.031	5.90
0°	27.4	0.261	0.032 ⁵	8.00
2°	27.4	0.344	0.036	9.62
4°	27.4	0.420 ⁵	0.042 ⁵	9.87
6°	27.4	0.509 ⁵	0.050 ⁵	10.12
8°	27.5	0.568	0.060	9.48
10°	27.4	0.625	0.071	8.79
12°	27.3	0.675	0.084 ⁵	7.99
14°	27.4	0.712	0.102 ⁵	6.95
16°	27.4	0.731 ⁵	0.124 ⁵	5.88
18°	27.6	0.735 ⁵	0.145 ⁵	5.04
20°	27.6	0.629	0.203	3.10

TABEL III.

VLIEGTUIGMODEL N°. 1 „FOKKER F II”.

Hoogteroer +4°.

i	V	C _y	C _x	C _y /C _x
-8°	19.6	-0.050	0.056	-0.89
-6°	19.6	0.026	0.040 ⁵	0.64
-4°	19.6	0.106	0.033	3.24
-2°	19.5	0.185	0.031 ⁵	5.85
0°	19.5	0.263	0.033	7.90
2°	19.6	0.342 ⁵	0.037 ⁵	9.17
4°	19.5	0.415 ⁵	0.043 ⁵	9.54
6°	19.5	0.498 ⁵	0.052	9.62
8°	19.5	0.560	0.062	9.02
10°	19.6	0.617 ⁵	0.075 ⁵	8.17
12°	19.6	0.675	0.088	7.68
14°	19.6	0.714	0.106 ⁵	6.72
16°	19.6	0.730 ⁵	0.124	5.89
18°	19.5	0.741	0.147	5.04
20°	19.4	0.646 ⁵	0.204 ⁵	3.16

i	V	C _y	C _x	C _y /C _x
-8°	27.7	-0.051 ⁵	0.054	-0.96
-6°	27.6	0.020	0.038	0.53 ⁵
-4°	27.6	0.109 ⁵	0.031	3.54
-2°	27.5	0.187 ⁵	0.030	6.28
0°	27.5	0.274	0.032 ⁵	8.40
2°	27.7	0.354 ⁵	0.036 ⁵	9.69
4°	27.6	0.427 ⁵	0.043 ⁵	9.83
6°	27.6	0.510	0.052	9.79
8°	27.5	0.576 ⁵	0.063	9.18
10°	27.7	0.636	0.075 ⁵	8.43
12°	27.7	0.689 ⁵	0.089	7.76
14°	27.7	0.725	0.108 ⁵	6.68
16°	27.6	0.741 ⁵	0.127 ⁵	5.81
18°	27.5	0.748	0.152	4.92
20°	27.4	0.638 ⁵	0.208 ⁵	3.06

TABEL IV.

DRAAGVLAKMODEL N°. 14.

Draagvlak van het vliegtuigmodel N°. 1.

i	V	C _y	C _x	C _y /C _x
-8°	19.5	-0.024 ⁵	0.032	-0.76
-6°	19.5	0.043 ⁵	0.018	2.42
-4°	19.4	0.120	0.012	9.82
-2°	19.6	0.203 ⁵	0.012	17.07
0°	19.6	0.276	0.015	18.25
2°	19.6	0.363	0.020	18.05
4°	19.6	0.441	0.027	16.40
6°	19.7	0.511 ⁵	0.034	15.08
8°	19.6	0.577 ⁵	0.042 ⁵	13.60
10°	19.5	0.632 ⁵	0.049 ⁵	12.83
12°	19.6	0.686	0.061	11.24
14°	19.6	0.727	0.080	9.10
16°	19.6	0.730	0.085 ⁵	8.54
18°	19.7	0.687 ⁵	0.112 ⁵	6.10
20°	19.7	0.533 ⁵	0.163	3.27

i	V	C _y	C _x	C _y /C _x
-8°	27.6	-0.026 ⁵	0.031	-0.86
-6°	27.6	0.044	0.017	2.62
-4°	27.5	0.123 ⁵	0.011	11.34
-2°	27.7	0.210	0.011	19.22
0°	27.7	0.284 ⁵	0.015	18.94
2°	27.7	0.374 ⁵	0.019 ⁵	19.16
4°	27.7	0.450	0.026 ⁵	17.08
6°	27.8	0.519	0.033	15.64
8°	27.6	0.592	0.042	14.05
10°	27.6	0.643	0.049 ⁵	12.92
12°	27.6	0.692	0.060 ⁵	11.41
14°	27.7	0.721	0.071	10.13
16°	27.8	0.726 ⁵	0.086 ⁵	8.38
18°	27.8	0.684	0.104 ⁵	6.53
20°	27.8	0.558 ⁵	0.166 ⁵	3.35

TABEL V.

VLIEGTUIGMODEL N^o. 1^b „FOKKER F II” (gewijzigd).

i	V	C _y	C _x	C _y /C _x
-8°	19.3	-0.056 ⁵	0.056	-1.01 ⁵
-6°	19.5	0.019	0.039	0.48 ⁵
-4°	19.4	0.098	0.031	3.16
-2°	19.4	0.172	0.030 ⁵	5.70
0°	19.5	0.264	0.033	8.04
2°	19.5	0.339 ⁵	0.036 ⁵	9.34
4°	19.5	0.416 ⁵	0.042 ⁵	9.78
6°	19.6	0.484	0.050	9.65
8°	19.6	0.553 ⁵	0.058 ⁵	9.44
10°	19.6	0.621	0.071	8.77
12°	19.6	0.677 ⁵	0.082 ⁵	8.20
14°	19.6	0.720	0.097 ⁵	7.40
16°	19.5	0.750 ⁵	0.116	6.46
18°	19.5	0.756 ⁵	0.133	5.69
20°	19.5	0.641	0.195 ⁵	3.28

i	V	C _y	C _x	C _y /C _x
-8°	27.3	-0.059	0.055	-1.07
-6°	27.4	0.019 ⁵	0.037	0.53
-4°	27.4	0.102	0.029 ⁵	3.49
-2°	27.4	0.176 ⁵	0.029	6.10
0°	27.5	0.274	0.032	8.49
2°	27.5	0.343	0.037	9.27
4°	27.5	0.432	0.042 ⁵	10.17
6°	27.6	0.499 ⁵	0.049 ⁵	10.13
8°	27.7	0.570	0.058 ⁵	9.69
10°	27.7	0.639 ⁵	0.071	9.02
12°	27.8	0.688 ⁵	0.084	8.21
14°	27.8	0.723	0.098 ⁵	7.34
16°	27.5	0.747	0.120	6.24
18°	27.5	0.751	0.139 ⁵	5.38
20°	27.5	0.640	0.199 ⁵	3.21

TABEL VI.

VLIEGTUIGMODEL N^o. 1^c „FOKKER F II” (gewijzigd).

i	V	C _y	C _x	C _y /C _x
-8°	19.6	-0.041 ⁵	0.058	-0.71
-6°	19.6	0.025	0.041 ⁵	0.60
-4°	19.6	0.107	0.032	3.36
-2°	19.6	0.184 ⁵	0.029 ⁵	6.30
0°	19.5	0.264	0.031	8.60
2°	19.6	0.344	0.034 ⁵	9.91
4°	19.4	0.409	0.039 ⁵	10.37
6°	19.6	0.484	0.047	10.28
8°	19.5	0.550	0.056 ⁵	9.72
10°	19.5	0.617	0.068 ⁵	9.00
12°	19.5	0.670	0.083	8.07

i	V	C _y	C _x	C _y /C _x
-8°	27.8	-0.044 ⁵	0.057	-0.78
-6°	27.7	0.029 ⁵	0.044 ⁵	0.67
-4°	27.7	0.110 ⁵	0.030 ⁵	3.59
-2°	27.7	0.191	0.028 ⁵	6.71
0°	27.5	0.275	0.030	9.11
2°	27.7	0.354	0.034 ⁵	10.19
4°	27.4	0.426	0.039 ⁵	10.76
6°	27.6	0.499	0.047	10.59
8°	27.5	0.573	0.057 ⁵	9.98
10°	27.5	0.638	0.069 ⁵	9.18
12°	27.5	0.683	0.084	8.12

TABEL VII.

VLIEGTUIGMODEL N^o. 1d „FOKKER F II” (gewijzigd).

i	V	C _y	C _x	C _y /C _x
-8°	19.7	-0.054 ⁵	0.053 ⁵	-1.01
-6°	19.7	0.011 ⁵	0.037 ⁵	0.30
-4°	19.6	0.101	0.030 ⁵	3.34
-2°	19.6	0.180 ⁵	0.029 ⁵	6.16
0°	19.6	0.260	0.031 ⁵	8.26
2°	19.6	0.333	0.036	9.28
4°	19.6	0.413 ⁵	0.041	10.05
6°	19.6	0.483	0.048 ⁵	9.98
8°	19.5	0.552 ⁵	0.057 ⁵	9.57
10°	19.6	0.615	0.069	8.92
12°	19.6	0.662 ⁵	0.085	7.82

i	V	C _y	C _x	C _y /C _x
-8°	27.8	-0.059 ⁵	0.052	-1.15
-6°	27.8	0.012	0.036 ⁵	0.32
-4°	27.6	0.103	0.029	3.57
-2°	27.6	0.188	0.028 ⁵	6.61
0°	27.8	0.270 ⁵	0.031	8.80
2°	27.8	0.344	0.034 ⁵	9.95
4°	27.8	0.429 ⁵	0.040 ⁵	10.61
6°	27.8	0.493	0.048	10.26
8°	27.5	0.572	0.058	9.86
10°	27.6	0.636	0.070	9.09
12°	27.7	0.675	0.086 ⁵	7.78

TABEL VIII.

VLIEGTUIGMODEL N^o. 1e „FOKKER F II” (gewijzigd).

i	V	C _y	C _x	C _y /C _x
-6°	19.3	0.030 ⁵	0.038 ⁵	0.78
-4°	19.3	0.115 ⁵	0.031	3.70
-2°	19.4	0.196 ⁵	0.031	6.37
0°	19.5	0.282	0.033	8.52
2°	19.5	0.340	0.036 ⁵	9.35
4°	19.3	0.413 ⁵	0.041 ⁵	10.00
6°	19.4	0.500	0.049 ⁵	10.08
8°	19.3	0.561	0.059	9.52
10°	19.4	0.625 ⁵	0.070 ⁵	8.88

i	V	C _y	C _x	C _y /C _x
-6°	27.3	0.030	0.037	0.81
-4°	27.3	0.116 ⁵	0.029 ⁵	3.92
-2°	27.4	0.200 ⁵	0.029 ⁵	6.85
0°	27.5	0.290 ⁵	0.032	9.04
2°	27.5	0.348	0.035 ⁵	9.79
4°	27.3	0.430	0.041	10.46
6°	27.4	0.509	0.049 ⁵	10.29
8°	27.3	0.572	0.060	9.55
10°	27.4	0.639 ⁵	0.071	8.99

TABEL IX.

MAXIMUM SNELHEID F II.

Berekend uit de gegevens der modelproeven.

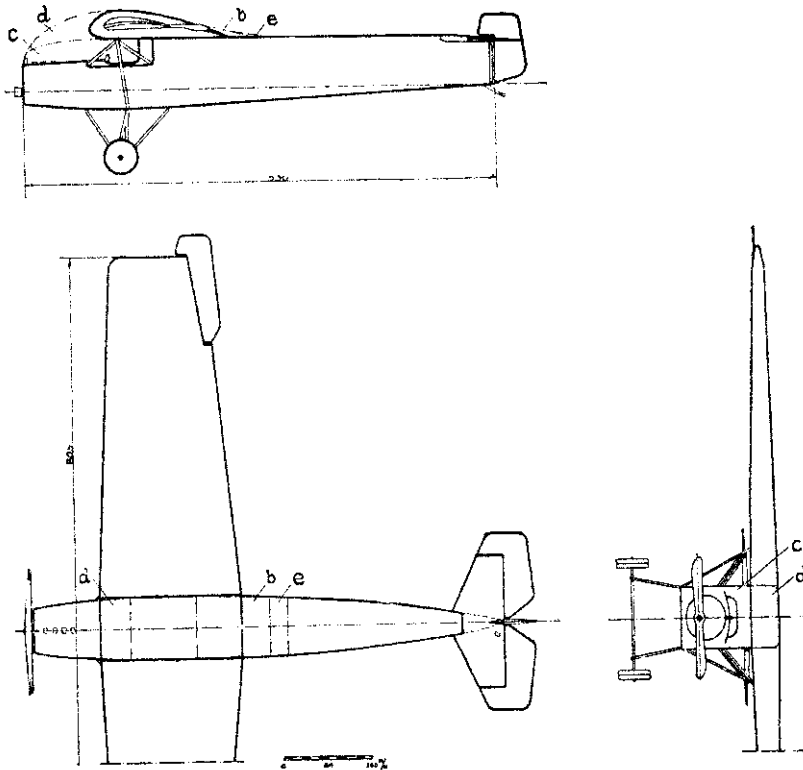
P p.k.	G kg.	Vmax. in K.M./uur.				
		I	I ^b	I ^c	I ^d	I ^e
185	1200	146	148	147	149	148
	1600	147	148	149	149	148
	2000	146	146	149	148	146
230	1200	156	158	156	159	158
	1600	157	159	159	160	159
	2000	158	159	160	160	159

TABEL X.

BENODIGD MOTORVERMOGEN F II

Berekend uit de gegevens der modelproeven.

		P in p.k.				
V KM./uur	G k.g.	I	I ^b	I ^c	I ^d	I ^e
100	1200	64	64	59	61	62
	1600	77	77	71	72	73
	2000	95	91	85	87	89
120	1200	100	100	97	97	100
	1600	107	105	100	104	105
	2000	119	121	110	114	116
140	1200	163	157	157	154	157
	1600	160	160	155	154	160
	2000	163	165	157	163	163

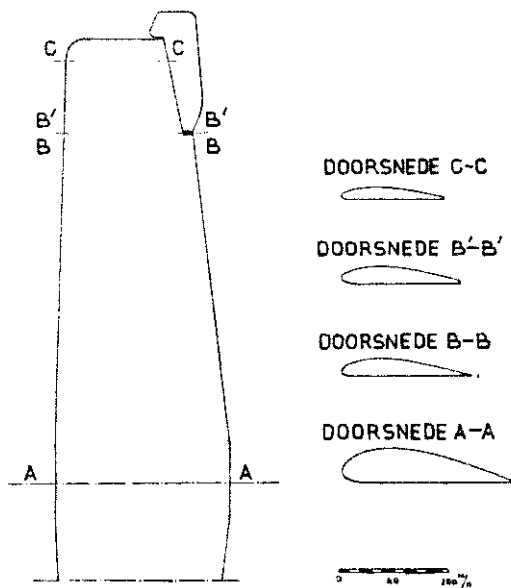


Vliegtuigmodel No. 1. Fokker F II Schaal 1:20.

Modèle d'avion No. 1. Fokker F II Echelle 1:20.

Aeroplane model No. 1. Fokker F II Scale 1:20.

Flugzeugmodell Nr. 1. Fokker F II Maszstab 1:20.

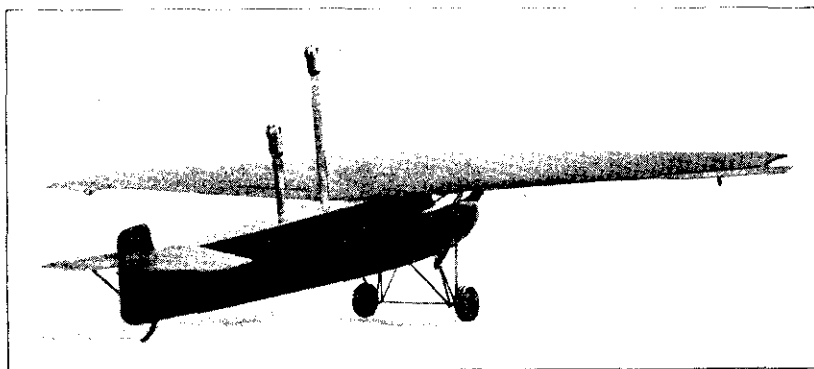
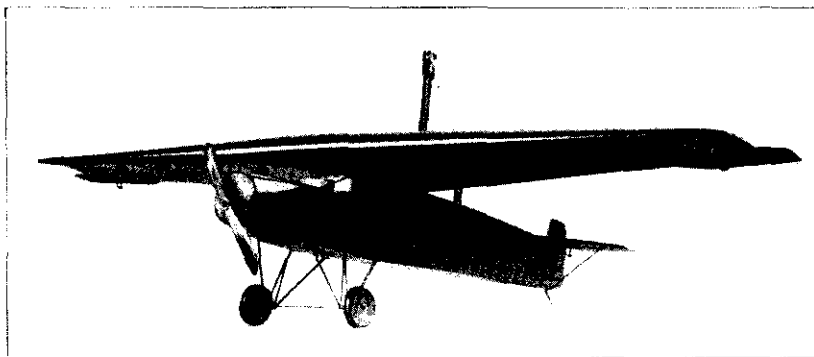


Draagvlak van het vliegtuigmodel No. 1, (draagvlakmodel No. 14).

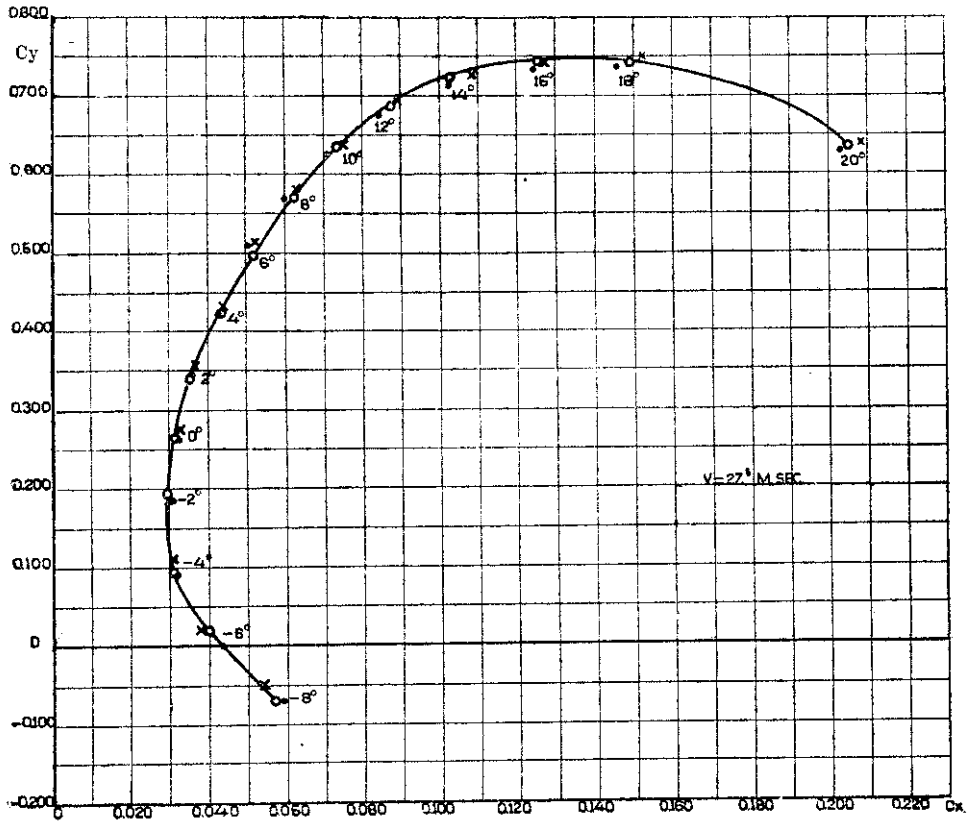
Aile du modèle d'avion No. 1, (modèle d'aile No. 14).

Wing of the aeroplane model Nr. 1, (wing model Nr. 14).

Tragfläche des Flugzeugmodells Nr. 1, (Modellfläche Nr. 14).



Vliegtuigmodel No. 1.
Modèle d'avion No. 1.
Aeroplane model Nr. 1.
Flugzeugmodell Nr. 1.



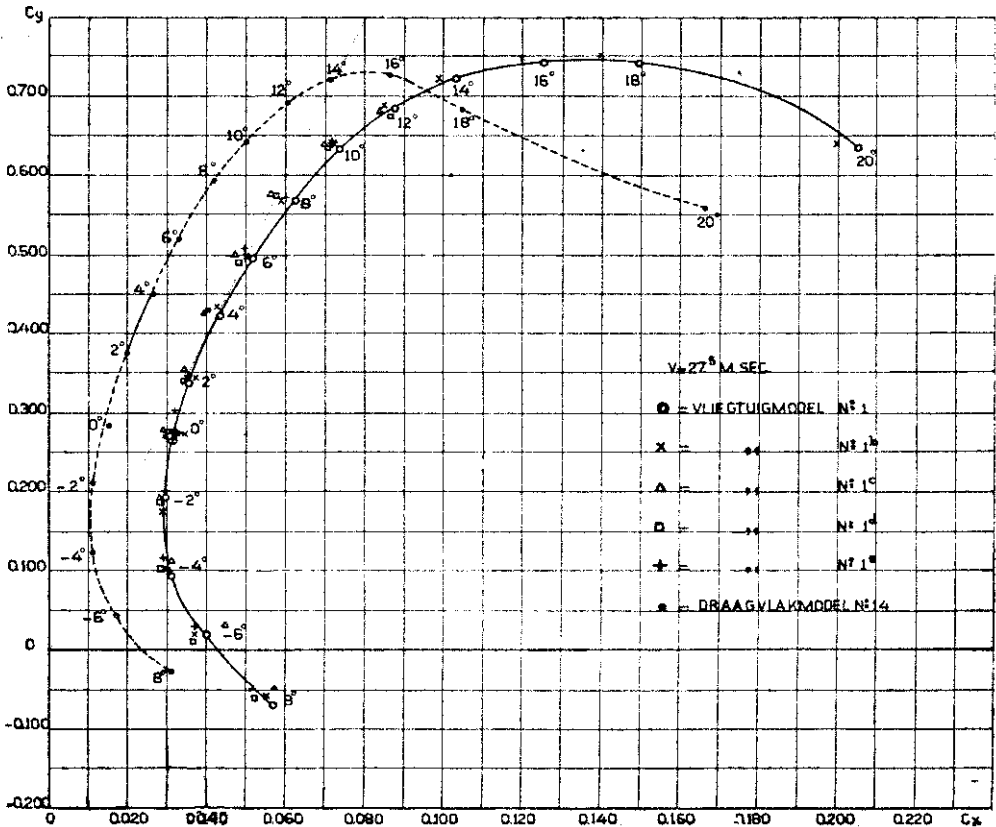
Invloed van de verstelling van het hoogteroer.

Influence de la position du gouvernail de profondeur.

Effect of the position of the elevator.

Einfluss der Höhensteuerstellung.

o hoogteroer o°	gouvernail de profondeur o°	Höhensteuer o°	elevator o°
• „ -4°	„ „ „ -4°	„ -4°	„ -4°
× „ +4°	„ „ „ +4°	„ +4°	„ +4°



Invloed der verschillende wijzigingen.
Vergelijking met het draagvlak.

Influence des modifications.
Comparaison avec l'aile isolée.

Effect of the modifications.
Comparison with the wing.

Einfluss der Abänderungen.
Vergleich mit dem Flügel.

RAPPORT A 26.

ONDERZOEK VAN DE STROOMING OM EEN STROOMLIJNVORMIGEN STIJL.

OVERZICHT.

A. Doel van het onderzoek.

Voor het opstellen van instrumenten in een vliegtuig was het gewenscht den invloed te kennen, welke een stroomlijnvormige stijl uitoefent op de strooming in haar nabijheid.

B. Onderzoekingsmethode.

De windsnelheden in verschillende punten om een in den windtunnel opgestellten stroomlijnvormigen stijl werden met een Pitotbuis gemeten en vergeleken met die der ongestoorde strooming in dezelfde punten. Het profiel van den stijl is gegeven in de bijlage. Invloed van de uiteinden werd vermeden, door de lengte van den stijl gelijk aan de middellijn van de windtunnel te maken.

C. Resultaten.

Het onderzoek werd uitgevoerd bij een windsnelheid van ongeveer 28 M/sec. In de bijlage zijn de rechten, waarin de meetpunten gelegen waren, aangegeven door streep-stippellijnen. De getrokken krommen geven de verschillen in stuwdruk, veroorzaakt door de aanwezigheid van den stijl, uitgedrukt in % van die voor de ongestoorde strooming.

D. Conclusie.

De storing, veroorzaakt door een stroomlijnvormigen stijl van in de bijlage aangegeven profiel en afmetingen, heeft bij een windsnelheid van 28 M/sec. zijdelings een meetbare grootte tot op een afstand van 600 mm. Deze afstand neemt naar achteren langzaam, naar voren snel af.

ÉTUDE DE L'ÉCOULEMENT DE L'AIR AUTOUR D'UN MONTANT FUSELÉ.

RÉSUMÉ.

A. But de la recherche.

En vue de la montage d'instruments à bord d'un avion on désirait connaître l'influence d'un montant sur l'écoulement de l'air dans sa proximité.

B. Méthode suivie.

Un montant fuselé était placé dans le tunnel; on a mesuré les vitesses du vent dans la proximité du montant à l'aide d'un tube de Pitot et on a

comparé ces vitesses avec celles du courant imperturbé aux mêmes endroits. Le profil du montant est représenté dans la planche. L'influence des bouts était éliminé en faisant la longueur du montant égale au diamètre du tunnel.

C. Résultats.

Pendant l'essai la vitesse de l'air était d'environ 28 M/sec. Sur la planche on a indiqué par des lignes en — · — · — les droites sur lesquelles se trouvaient les points où la vitesse fut mesurée. Les courbes tracées donnent les différences en pression dynamique, causées par la mise en place du montant, exprimé en pour cent de la pression dynamique du courant imperturbé.

D. Conclusion.

La perturbation causée par un montant fuselé ayant la forme et les dimensions données dans la planche se fait sentir, pour une vitesse de 28 M/sec., de chaque côté sur une distance de 600 mM. Cette distance diminue graduellement en arrière, très vite en avant.

A STUDY OF THE FLOW ROUND A STREAMLINE STRUT.

SUMMARY.

A. Object of the experiments.

In view of the mounting of instruments on an aeroplane it was desired to know the influence of a streamline strut on the flow of the air in its proximity.

B. Testing method.

The windspeeds in various points round a streamline strut, mounted in the channel, were measured with a Pitot tube and compared with the velocity of the undisturbed flow at the same points. The strut section is given in the appendix.

Effects of the ends were eliminated by making the length of the strut equal to the diameter of the channel.

C. Results.

The measurements were made at a windspeed of about 28 M/sec. The points of measurement were arranged in straight lines, indicated in the appendix by — · — · — lines. The full lines give the differences in dynamic pressure as caused by the presence of the strut, expressed as fractions of the velocity head of the undisturbed flow.

D. Conclusion.

The disturbance caused by a streamline strut of section and dimensions as given in the appendix at a windvelocity of 28 M/sec. has a measurable magnitude at a distance of 600 mM. on either side of the strut. This distance diminishes quickly in front and slowly in the rear.

UNTERSUCHUNG DER STRÖMUNGSVORGÄNGE UM EINEN STIEL MIT STROMLINIENFÖRMIGEM QUERSCHNITT.

ZUSAMMENFASSUNG.

A. Zweck der Untersuchung.

Zum richtigen Aufstellen der Instrumente an Bord eines Flugzeuges ist es erwünscht den Einfluss eines stromlinienförmigen Stieles auf das Strömungsbild in der Umgebung zu kennen.

B. Versuchsmethode.

Es wurden die Windgeschwindigkeiten um einen im Windkanal aufgestellten Stiel mit einem Staurohr gemessen und verglichen mit der Geschwindigkeit der ungestörten Strömung an denselben Orten. Der Stielquerschnitt ist in der Beilage angegeben. Der Einfluss der Enden wurde dadurch behoben, dass die Länge des Stieles dem Windkanal-Durchmesser gleichgemacht wurde.

C. Ergebnisse.

Die Versuche wurden ausgeführt bei einer Windgeschwindigkeit von etwa 28 M/Sek. In der Beilage sind die die Messungspunkte enthaltenden Geraden strichpunktiert angegeben. Die voll ausgezogenen Kurven geben die vom Stiel verursachten Staudruckunterschiede, ausgedrückt in Prozenten des Staudruckes der ungestörten Strömung.

D. Schlussfolgerung.

Die von einem Stiel der in der Beilage gegebenen Form und Abmessungen verursachte Störung hat bei einer Windgeschwindigkeit von 28 M/Sek. quer zur Windrichtung eine messbare Grösse bis auf 600 mM. Entfernung. Diese Entfernung nimmt nach vorn schnell und nach hinten langsam ab.

RAPPORT A 26.

ONDERZOEK VAN DE STROOMING OM EEN STROOMLIJNVORMIGEN STIJL.

1. *Doel van het onderzoek.*

Voor het opstellen van instrumenten in een laboratorium-vliegtuig was het gewenscht, den invloed te kennen, welke een stroomlijnvormige stijl uitoefent op de strooming in haar nabijheid.

2. *Beschrijving der onderzoekingsmethode.*

Voor het onderzoek, dat uitgevoerd werd in den R. S. L. wind-tunnel, wordt de stijl met zijn symmetrievlak evenwijdig aan de windrichting en met zijn lengte-as loodrecht op deze opgesteld. Als profiel van den stijl werd een gunstige stroomlijnform, welke met eenige hoofdmaten gegeven is in de bijlage, aangenomen. De stijl was vervaardigd van vurenhout; het oppervlak was gelakt. De lengte van den stijl was gelijk aan de middellijn van den wind-tunnel, zoodat zijne eindvlakken samenvielen met de grenzen van den windstroom en beïnvloeding der strooming door de uiteinden uitgeschakeld werd. Om een practische reden, het gemakkelijker opstellen en verplaatsen der te gebruiken Pitotbuis, werd de stijl niet in den inzettunnel, doch in de vrijstraal opgesteld. De stuw-druk in verschillende punten werd zoowel in de ongestoorde strooming als bij aanwezigheid van den stijl gemeten met een Pitotbuis. Het verschil van beide waarden voor eenzelfde punt geeft de waarde der door den stijl veroorzaakte storing. Daar de Pitotbuis bij alle metingen evenwijdig aan de richting der ongestoorde strooming opgesteld werd, zijn de verkregen waarden quantitatief niet geheel juist. De aanwezigheid van den stijl zal, behalve de grootte, ook de richting der snelheid wijzigen. De Pitotbuis is dus bij aanwezigheid van den stijl niet in de windrichting opgesteld en geeft hierdoor een onjuiste aanwijzing. Deze fouten zijn, bij kleine afwijkingen van de windrichting¹⁾, gering en zullen dus op eenigen afstand van den stijl van weinig beteekenis zijn. Zij kunnen hier verder buiten beschouwing gelaten worden, te meer daar het doel van het onderzoek niet zoozeer meting van de grootte der snelheids-afwijkingen was, dan wel het bepalen van den afstand, op welken de invloed van den stijl nog merkbaar is.

1) Zie Rapport A 20, blz. 115.

3. *Resultaten van het onderzoek.*

Het onderzoek werd uitgevoerd bij een windsnelheid van ongeveer 28 M/sec. De punten, in welke de stuwdruk gemeten werd, werden aangenomen op rechten, welke loodrecht op het symmetrievlak van den stijl stonden. Deze rechten waren gelegen op 150 en 50 mm. vóór en 50, 150 en 250 mm. achter den voorrand van den stijl, terwijl de punten een onderlingen afstand van 50 mm. hadden. De verschillen in stuwdruk voor de ongestoorde strooming en die om den stijl werden uitgedrukt in % van de eerste en zijn in de bijlage op zóódanige wijze uitgezet, dat de rechten, waarin de metingspunten gelegen zijn (aangegeven door streepstippellijn) de nullijnen vormen voor de krommen, welke de verschillen aangeven (getrokken). De waarden, welke verkregen werden voor de punten, waarin de Pitotbuis in de onmiddellijke nabijheid van den stijl geplaatst werd en waarin de strooming door de buis zelf beïnvloed werd, zijn niet betrouwbaar. Deze gedeelten der krommen zijn daarom gestippeld aangegeven.

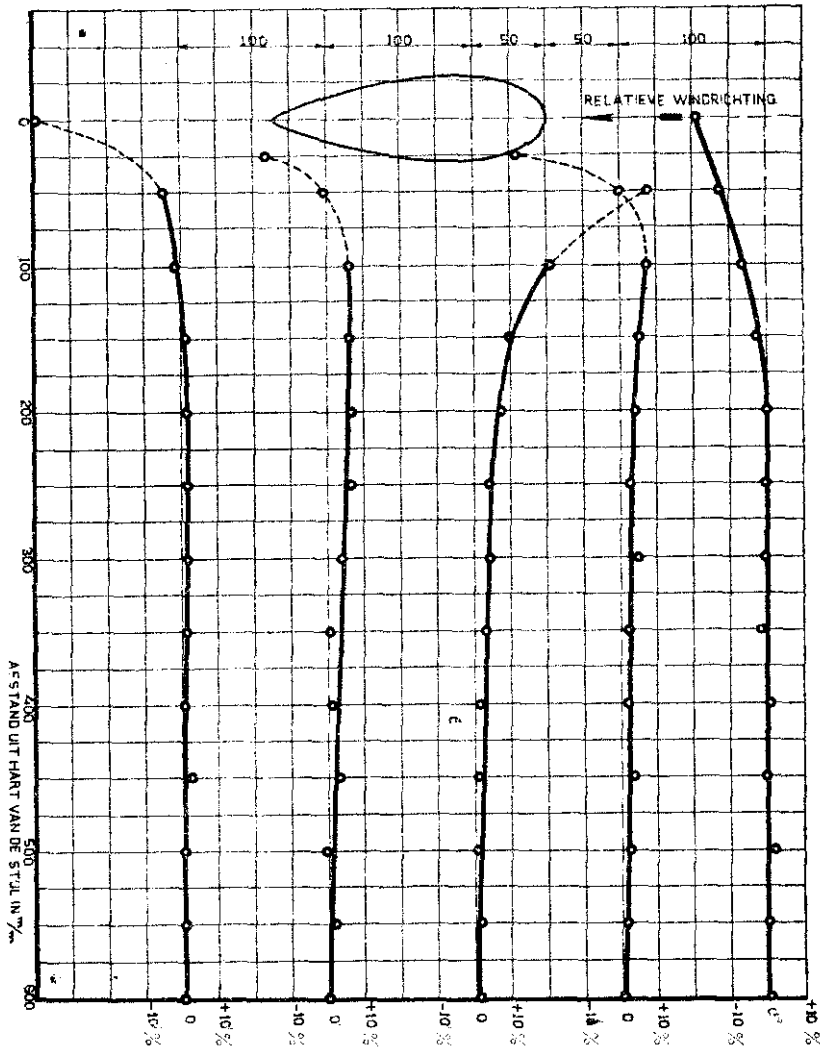
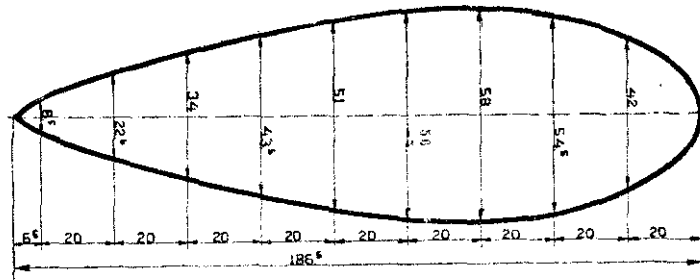
De meetbare storing strekt zich zijdelings in de lijnen II en III uit tot afstanden van 600 mm. Voor de lijnen IV en V is deze afstand een weinig kleiner, terwijl in de lijn I de invloed van den stijl merkbaar is tot 200 mm. buiten het symmetrievlak.

4. *Conclusie.*

Door het onderzoek werd aangetoond, dat de storing, veroorzaakt door een stroomlijnvormigen stijl van gunstig profiel, met een maximum dikte van ongeveer 58 mm. en een profiellengte van 187 mm., bij een windsnelheid van 28 M/sec. zijdelings van den stijl een meetbare grootte heeft tot op een afstand van 600 mm. Deze afstand neemt naar achteren langzaam, naar voren zeer snel af.

(Afgesloten Maart 1921).

Rapport A 26.



Snelheidsverdeling om een stijl.

Répartition de la vitesse autour d'un montant.

Speed distribution in the proximity of a strut.

Geschwindigkeitsverteilung um einen Stiel.

RAPPORT A 10.

ONDERZOEK VAN PITOTBUIZEN.

OVERZICHT.

A. Doel van het onderzoek.

De aanwijzingen van een aantal Pitotbuizen werden bij verschillende windsnelheden bepaald, teneinde de onderlinge verschillen te kunnen beoordeelen.

B. Onderzochte Pitotbuizen.

Er werden 7 laboratorium-Pitotbuizen onderzocht, (nrs. 1 t/m. 7), benevens 3 voor vliegtuiggebruik (nrs. 8 t/m 10, bijlage 1).

Tot de laboratorium-Pitotbuizen behoorden o.m. 2 van het N. P. L. standaardtype (nrs. 3 en 4) en 2 van het standaardtype van Fuess. (nr. 5 en 6).

C. Resultaten van het onderzoek.

In de bijlagen 2 t/m. 6 zijn de stuwdrukken, welke de Pitotbuizen bij verschillende snelheden aangaven, uitgezet als functie van die, welke bepaald werden met den micromanometer voor snelheidsregeling der wind-tunnelinstallatie en welke evenredig zijn met de kwadraten der windsnelheden.

De Pitotbuizen nrs. 3 t/m. 6 geven dezelfde aanwijzingen; deze zijn voor vergelijking in de overige grafieken gestippeld aangegeven, terwijl in de tabel de afwijkingen in % aangegeven zijn.

D. Conclusie.

De nummers 3 t/m. 6, welke behooren tot twee buitenlandsche standaardtypen van verschillenden vorm, kunnen als standaard-instrumenten worden aangenomen. Bevestiging dezer aanname door een absolute snelheidsmeting blijft echter gewenscht.

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES TUBES DE PITOT.

RÉSUMÉ.

A. But de la recherche.

On a déterminé les indications d'un nombre de tubes de Pitot à plusieurs vitesses du courant d'air, afin de pouvoir se former une opinion quant aux différences de ces indications.

B. Tubes de Pitot étudiés.

On a expérimenté avec 7 tubes de laboratoire (numéros 1—7) et avec 3 tubes destinés à être employés à bord d'avion. Parmi les tubes de laboratoire il y en a deux du type standard du N. P. L. (nos. 3 et 4) et deux du type standard de Fuess. (nos. 5 et 6).

C. *Résultats des mesures.*

Les planches 2—6 donnent les pressions dynamiques registrées par les tubes de Pitot à plusieurs vitesses.

Ces pressions sont représentées en fonction de celles, trouvées à l'aide du micromanomètre destiné à la régulation de la vitesse de l'air dans le tunnel, qui sont proportionnelles au carré des vitesses du vent.

Les tubes 3—6 donnent les mêmes indications; pour faciliter la comparaison on les a reproduites en trait pointillé sur les autres graphiques. Le tableau donne les écarts en %.

D. *Conclusion.*

Les tubes 3—6 appartenant à deux types-standard étrangers sont acceptables comme instruments-standard. Cependant il serait désirable de contrôler cette hypothèse par une mesure de la vitesse absolue.

EXPERIMENTS ON PITOTTUBES.

SUMMARY.

A. *Reasons for inquiry.*

The readings of a number of Pitottubes were determined at various wind velocities in order to give a basis for comparison of the mutual differences.

B. *Pitottubes tested.*

Seven Pitottubes for laboratory purposes were tested (ns. 1—7) also three others for use on aeroplanes (ns. 8—10). Among the former there were two of the N. P. L. standard-type (ns. 3—4) and two of the Fuess standard type (ns. 5—6).

C. *Results of the tests.*

In the appendices 2—6 the dynamic pressures, indicated by the tubes at various speeds are plotted as a function of those determined with the micromanometer for velocity regulation of the channel which are proportional to the square of the wind speeds. The tubes ns. 3—6 give the same results; these results are shown dotted for comparison purposes in the other graphs, whereas in the table the differences are given in %.

D. *Conclusion.*

The tubes ns. 3—6, belonging to two foreign standard types of different forms, may be accepted as standard instruments. Still it is desirable that this assumption should be checked by a measurement of the absolute velocity.

UNTERSUCHUNGEN VON STAUROHREN.

ZUSAMMENFASSUNG.

A. *Zweck der Untersuchung.*

Die Anweisungen mehrerer Stauröhren wurden bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten bestimmt zwecks Beurteilung der Unterschiede in der Anweisung.

B. Untersuchte Stauröhren.

Es wurden 7 Röhren für Laboratoriumszwecke (Nrn. 1—7) und 3 zum Gebrauch an Bord von Flugzeugen (Nrn. 8—10) untersucht. Zur ersten Gruppe gehören u. a. 2 Exemplare des N. P. L. Standard Typs (Nrn. 3—4) und 2 des Fuess'schen Standard Typs. (Nrn. 5—6).

C. Ergebnisse der Untersuchung.

In Beilagen 2—6 sind die von den Stauröhren bei verschiedenen Geschwindigkeiten angegebenen Staudrucke eingetragen als Funktion derjenigen Drucke, welche bestimmt wurden mit dem Mikromanometer für die Geschwindigkeitsregulierung der Anlage und welche dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional sind.

Die Röhren 3 bis 6 geben dieselben Anweisungen; diese sind zum Vergleich punktiert in die übrigen Abbildungen eingetragen, während die Zahlentafel die Abweichungen in % angibt.

D. Schlussfolgerung.

Die Röhren 3 bis 6, zu zwei ausländischen Standard-Typen ungleicher Form gehörend, dürfen als Standard-Instrumente angenommen werden. Weitere Versuche mittels absoluter Geschwindigkeitsmessung sind erwünscht.

RAPPORT A 10.

ONDERZOEK VAN PITOTBUIZEN.

1. *Strekking van het onderzoek.*

Bij een vroeger uitgevoerd voorloopig onderzoek was gebleken, dat Pitotbuizen van verschillende constructie bij éézelfde windsnelheid eenigszins afwijkende aanwijzingen gaven. Teneinde de grootte van deze afwijkingen te bepalen, werden alle beschikbare Pitotbuizen bij verschillende windsnelheden onderzocht.

Daar zich bij bovenbedoelde instrumenten eenige van buitenlandsch standaard-type bevinden, kan het onderzoek tevens aanwijzingen geven bij de keuze van een standaardinstrument.

2. *Onderzochte Pitotbuizen.*

De volgende Pitotbuizen werden onderzocht:

- No. 1. Pitotbuis van Duitsche constructie, die oorspronkelijk in het aerodynamisch laboratorium als standaard gebruikt werd;
- No. 2. Pitotbuis van Duitsche constructie;
- No. 3. Pitotbuis van het N. P. L. standaard-type (no. 39337);
- No. 4. Als no. 3 (no. 39938);
- No. 5. Pitotbuis van het Fuess-type (no. I);
- No. 6. Als no. 5 (no. II);
- No. 7. Pitotbuis van Engelsche constructie, waarvan later de buis tweemaal rechthoekig omgezet werd;
- No. 8. Pressure head. Mark IVa. S. S. & S.
- No. 9. Als no. 8. Mark IVa. G. D. & Co. Ltd.
- No. 10. Pitotbuis behoorende bij Atmos-Fahrtschreiber.

Teekeningen van deze Pitotbuizen zijn met de hoofdmaten in bijlage 1 gegeven.

De nrs. 3 en 4 zijn geheel gelijk, evenzoo de nrs. 5 en 6. De hoofdafmetingen der nrs. 8 en 9 zijn gelijk, alleen is de afstand der beide buizen voor de eerste grooter.

3. *Inrichting van het onderzoek.*

Het onderzoek geschiedde in de R. S. L. windtunnel. De te onderzoeken Pitotbuizen werden met hun opening steeds op dezelfde plaats opgehangen. Deze ophanging was zoodanig, dat de Pitotbuis vrij geacht kan worden van storende invloeden van ophangdeelen. Voor het meten der drukkingen werd voor alle Pitotbuizen éézelfde micromanometer gebruikt. De snelheid van

den windstroom werd geregeld met behulp van een tweeden micromanometer, waarvan de eene zijde in verbinding stond met de lucht buiten de vrijstraalkamer, terwijl de andere zijde verbonden was met een buisje, dat op korten afstand achter den voorsten wand van de vrijstraalkamer loodrecht op de straalomkleeding uitmondde.

De aflezing van den met de Pitotbuis verbonden micromanometer geschiedde op het oogenblik, dat de snelheidsmanometer de juiste aanwijzing gaf.

De windsnelheden bedroegen van ongeveer 7 M./sec. tot ongeveer 27 M./sec.

4. Resultaten van het onderzoek.

Deze zijn in de bijlagen 2 t/m. 6 in diagramvorm gegeven. In de diagrammen zijn als abcissen de drukhoogten, gemeten met den micromanometer voor snelheidsregeling, uitgezet; als ordinaten de door de Pitotbuizen bij deze snelheden aangegeven drukken. Alle drukken zijn gegeven in mm. vloeistofkolom bij een manometerfactor van 0.4.

Om de onderlinge vergelijking der Pitotbuizen te vergemakkelijken en een beoordeeling van de regelmatigheid der opklimmingen mogelijk te maken, is in ieder der diagrammen een rechte getrokken, die als gemiddelde der 3 aanwijzingen beschouwd kan worden.

Verder komt in elk der diagrammen een stippellijn voor, welke als de aanwijzing van een aan te nemen standaard is te beschouwen.

Bij een vergelijking blijkt, dat de nrs. 3 t/m. 6 hoewel zij twee aan twee van verschillende constructie zijn, dezelfde aanwijzing geven. De overige nrs. geven eenigszins hiervan afwijkende waarden. In de volgende tabel zijn deze afwijkingen gegeven, uitgedrukt in % van de aanwijzing van de nrs. 3 t/m. 6.

No. van de Pitotbuis.	Afwijking van de aanwijzing van het standaard-instrument in %
1	+2
2	+0.5
3	0
4	0
5	0
6	0
7	-2
8	-6
9	-5
10	+1.5

De evenredigheid van de aanwijzing met den stuwdruk is goed voor de nrs. 2 t/m. 6 en 9, vrij goed voor de nrs. 1, 7 en 8, terwijl nr. 10 eenigszins belangrijker afwijkingen vertoont.

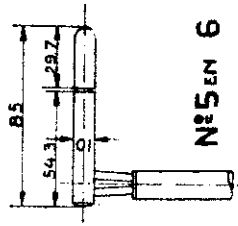
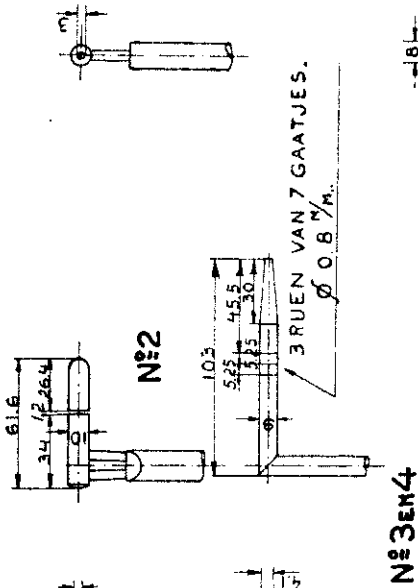
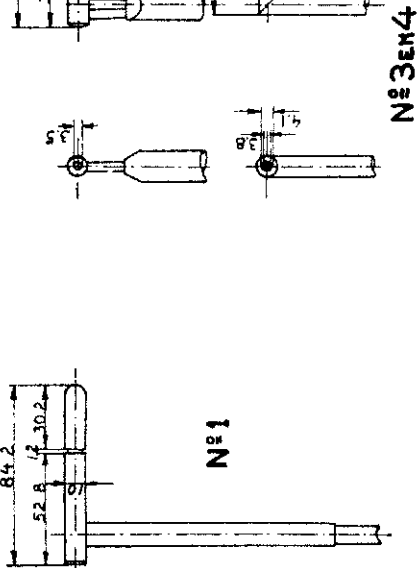
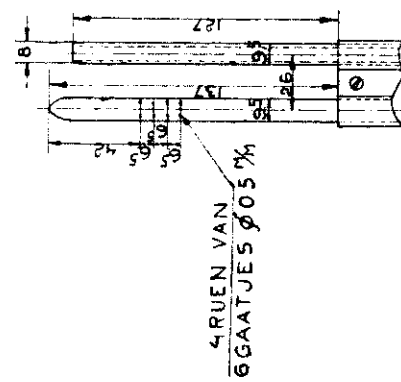
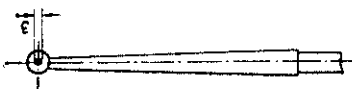
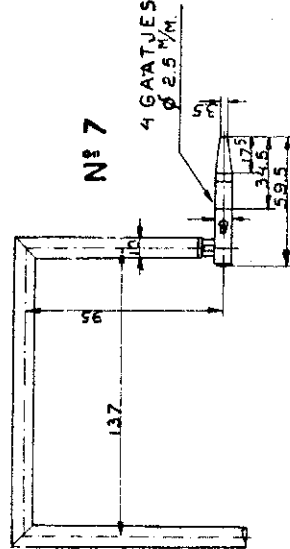
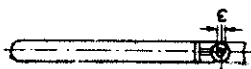
5. *Conclusie.*

Voor de keuze van een standaardinstrument zijn de nrs. 3 t/m. 6 volkomen gelijkwaardig, omdat zij t. o. v. de aanwijzing van het aan te nemen standaardinstrument geen meetbare afwijking vertoonen. Zij behooren tot twee buitenlandsche standaardtypen van verschillende constructie. De overeenstemming der aanwijzingen van deze instrumenten maakt het waarschijnlijk, dat zij als absolute standaard beschouwd mogen worden. Bevestiging hiervan door een absolute snelheidsmeting blijft echter gewenscht.

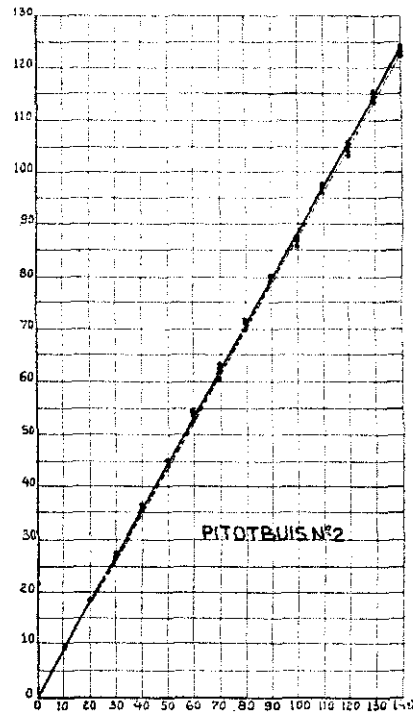
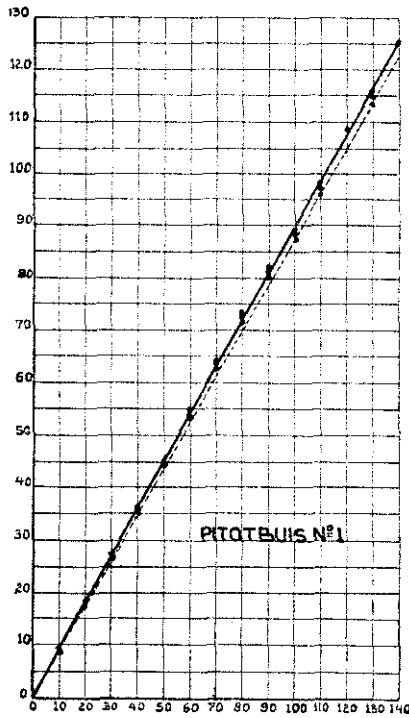
(A/gesloten Februari 1920).

Rapport A 10.

Bijlage 1.

N^o 5 EN 6N^o 2N^o 1N^o 9N^o 7

Onderzochte Pitotbuizen. Voor No. 8 en 10 zie rapport A 20, bijlage 1.
 Tubes de Pitot étudiés. Pour les Nos. 8 et 10 voir rapport A 20, Pl. 1.
 Pitot tubes tested. For the nrs. 8 and 10 see report A 20, app. 1.
 Untersuchte Stauröhren. Für die Nrn. 8 u. 10 siehe Bericht A 20, Anlage 1.

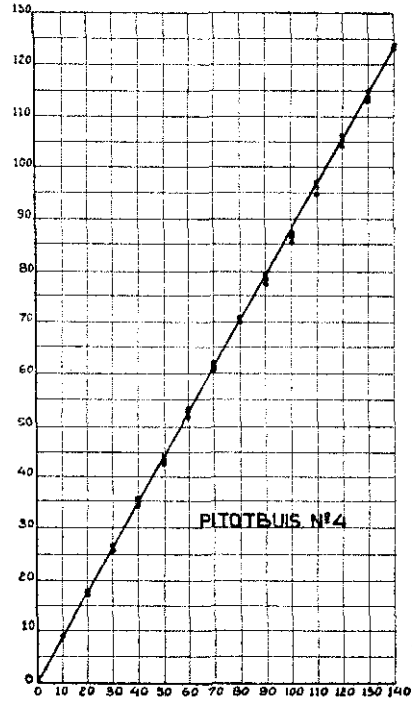
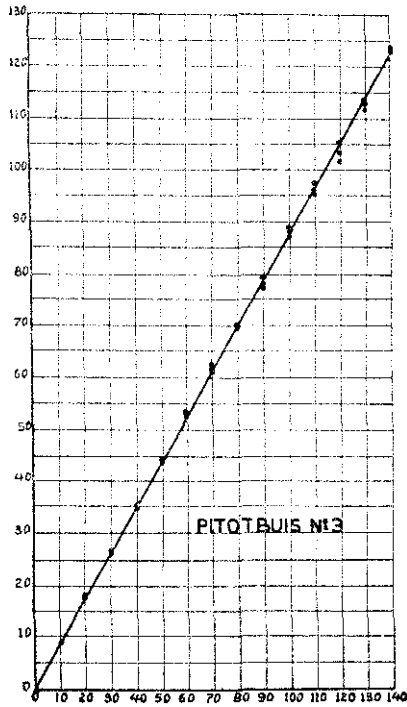


Uitkomsten van het onderzoek.

Résultats des expériences.

Results of the experiments.

Messungsergebnisse.

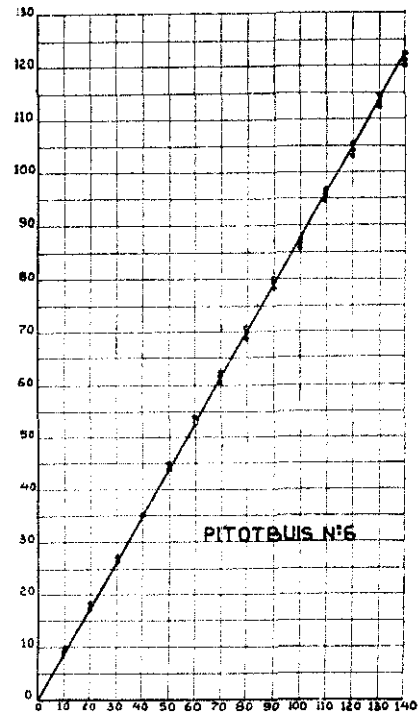
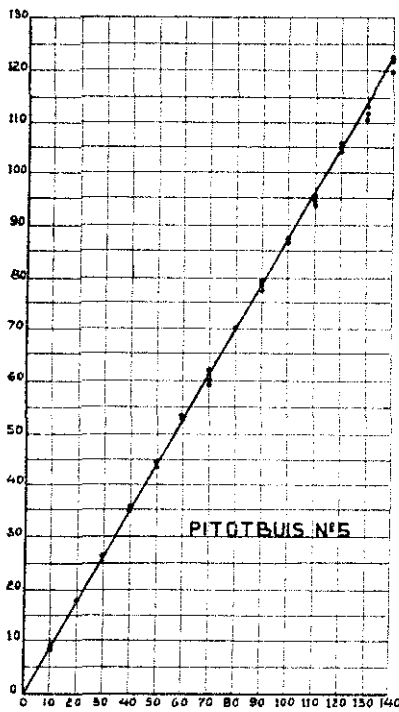


Uitkomsten van het onderzoek.

Résultats des expériences.

Results of the experiments.

Messungsergebnisse.

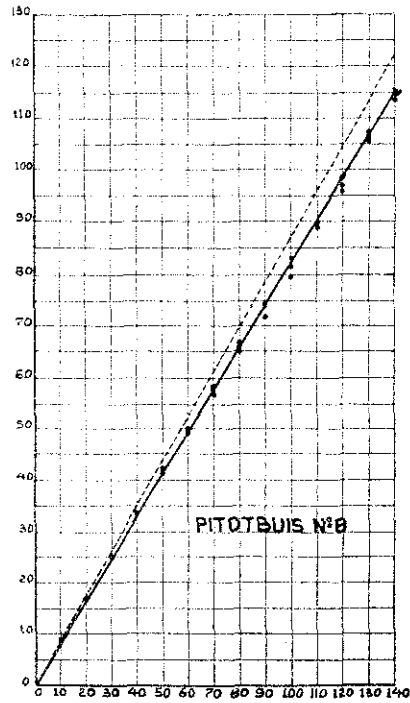
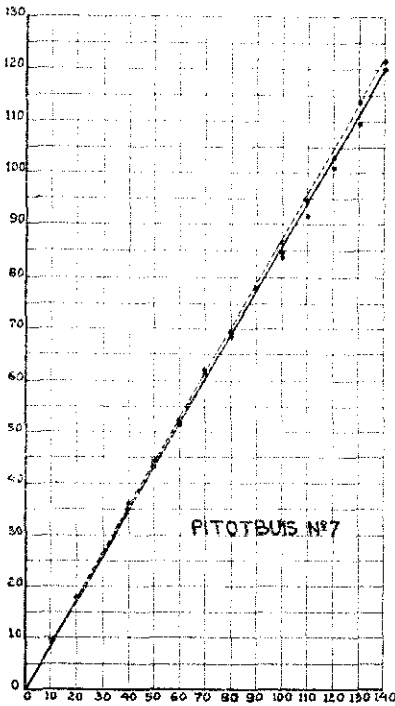


Uitkomsten van het onderzoek.

Résultats des expériences.

Results of the experiments.

Messungsergebnisse.

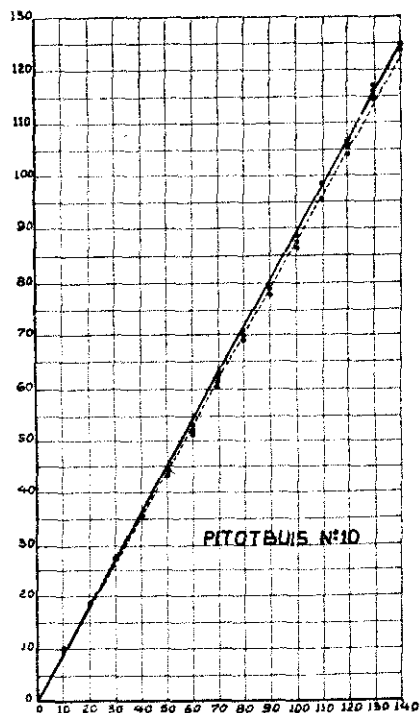
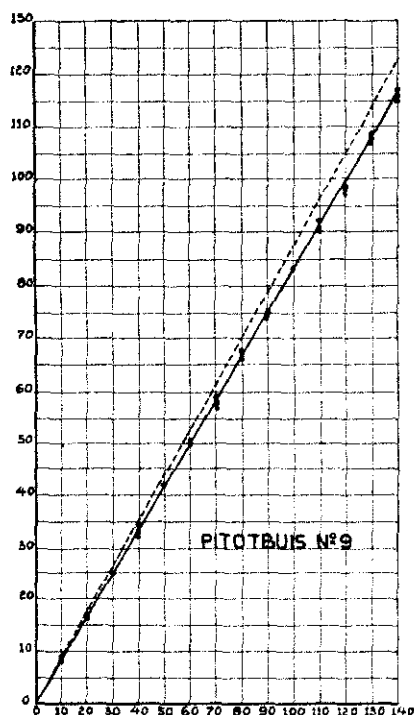


Uitkomsten van het onderzoek.

Résultats des expériences.

Results of the experiments.

Messungsergebnisse.



Uitkomsten van het onderzoek.

Résultats des expériences.

Results of the experiments.

Messungsergebnisse.

RAPPORT A 20.

ONDERZOEK NAAR DEN INVLOED VAN EEN HOEK TUSSCHEN EEN PITOTBUIS EN DE WINDRICHTING.

OVERZICHT.

A. Doel van het onderzoek.

Een Pitotbuis zal een onjuiste aanwijzing geven, indien zij niet evenwijdig aan de relatieve windrichting is opgesteld. Voor het gebruik in een laboratorium-vliegtuig moet deze fout zoo klein mogelijk zijn. Om deze reden werd voor twee vliegtuig-Pitotbuizen van verschillende constructie de invloed van een afwijking bepaald. Voor vergelijking werd tevens een Pitotbuis van het N. P. L. standaard-type onderzocht.

B. Resultaten van het onderzoek.

De stuwdrukken, welke de Pitotbuizen aangaven voor afwijkingen tot 36° , werden bij twee windsnelheden bepaald. De verschillen tusschen deze aanwijzingen en die bij afwijking 0 werden uitgedrukt in % van deze laatste en als functie van de afwijking uitgezet. (bijlage 2).

ÉTUDE DE L'EFFET D'UN ANGLE ENTRE LE TUBE DE PITOT ET LA DIRECTION DU VENT.

RÉSUMÉ.

A. But de l'étude.

Un tube de Pitot donne une fausse indication, s'il n'est pas parallèle au vent relatif. Pour l'emploi à bord d'un avion-laboratoire, il faut que cette erreur soit aussi petite que possible. On a donc déterminé l'influence d'une déviation pour deux types de tubes destinés à l'emploi à bord d'un avion. A titre de comparaison on a essayé aussi un tube de Pitot du type standard anglais.

B. Résultats de l'essai.

Les pressions dynamiques indiqués par les tubes pour des déviations allant jusqu'à 36° furent déterminés à deux vitesses du vent. Les différences entre ces indications et celles quand la déviation est zéro, sont exprimés en % de ces dernières. Elles sont représentées en fonction de la déviation. (planche 2).

EXPERIMENTS ON THE EFFECT OF AN ANGLE BETWEEN A PITOTTUBE AND THE DIRECTION OF THE WIND.

SUMMARY.

A. Object of the experiments.

A Pitottube will give incorrect readings, if not mounted parallel with the relative wind. For use on aeroplanes the error must be as small as possible. Therefore the effect of a deviation was determined for two aeroplane Pitottubes of different construction. At the same time a Pitottube of the N. P. L. standard type was tested for comparison purposes.

B. Results of tests.

The dynamic pressures indicated by the Pitottubes for deviations up to 36° were determined at two windspeeds. The differences between these readings and those for zero deviation are expressed as fractions of the latter and are plotted against deviations. (app. 2).

VERSUCHE ÜBER DEN EINFLUSS EINES WINKELS ZWISCHEN EINEM STAUROHR UND DER WINDRICHTUNG.

ZUSAMMENFASSUNG.

A. Zweck der Untersuchung.

Ein Staurohr wird eine ungenaue Anweisung geben, falls es nicht parallel dem relativen Winde aufgestellt wird. Für den Gebrauch in Flugzeugen soll dieser Fehler möglichst klein sein. Es wurde deshalb für zwei Flugzeug-Staurohren verschiedener Konstruktion der Einfluss einer Abweichung bestimmt. Zum Vergleich wurde auch ein Staurohr des N. P. L.-standard-typs geprüft.

B. Ergebnisse der Versuche.

Die von den Stauröhren angegebenen Staudrucke wurden für Abweichungen bis 36° bei zwei Windgeschwindigkeiten bestimmt. Die Unterschiede zwischen diesen Anweisungen und denjenigen für Abweichungen werden angegeben in Prozentsen der letzteren und als Funktion der Abweichungen eingetragen. (Anlage 2).

RAPPORT A 20.

ONDERZOEK NAAR DEN INVLOED VAN EEN HOEK TUSSCHEN EEN PITOTBUIS EN DE WINDRICHTING.

1. *Strekking van het onderzoek.*

Het onderzoek had ten doel, na te gaan voor welke van twee vliegtuig-Pitotbuizen de aanwijzing het minste beïnvloed werd door afwijkingen ten opzichte van de windrichting. Voor vergelijking werd tevens een laboratorium-Pitotbuis onderzocht.

2. *Beschrijving der onderzochte instrumenten.*

De volgende instrumenten werden onderzocht:

1. Een vliegtuig-Pitotbuis van Engelsche constructie met gescheiden statische en dynamische drukbuizen (Nr. 8);
2. Een vliegtuig-Pitotbuis van Atmos met een statische drukopening rondom de dynamische drukbuis (Nr. 10);
3. Een laboratorium-Pitotbuis van het N. P. L. standaard type (nr. 4).

De achter de omschrijving geplaatste nummers zijn die, met welke de instrumenten in het rapport over het onderzoek van Pitotbuizen (A 10) aangeduid werden.

Teekeningen der Pitotbuizen met de hoofdmaten zijn gegeven in bijlage 1.

3. *Beschrijving van de onderzoekings-methode 1).*

De Pitotbuis werd in den windtunnel opgesteld met de hartlijn evenwijdig aan de windrichting, dus met afwijking 0. In dezen stand werd met behulp van een vloeistofmicromanometer de stuwdrukhoogte bepaald, welke zij aangaf voor windsnelheden van 18.0 en 25.4 M./sec. Daarna werd op dezelfde wijze voor deze snelheden de stuwdrukhoogte gemeten bij afwijkingen tot 36° .

Voor de nrs. 4 en 10, welke symmetrisch zijn t. o. v. de hartlijn werden afwijkingen in slechts één richting gegeven, voor nr. 8 daarentegen in drie verschillende richtingen, welke in bijlage 1 door pijltjes aangegeven zijn.

1) De hoek, welke de Pitotbuis maakt met de windrichting, zal hier ter verkorting, „afwijking” genoemd worden, terwijl voorts het drukhoogteverschil tusschen dynamische en statische drukopeningen met stuwdrukhoogte wordt aangeduid.

4. Resultaten van het onderzoek.

De verschillen tusschen de stuwdrukhoogten bij de verschillende afwijkingen en die bij afwijking 0 werden bepaald en uitgedrukt in % van de laatste. Zij zijn in bijlage 2 uitgezet als functie van de afwijking.

Bij vergelijking der resultaten voor de beide vliegtuig-Pitotbuisen blijkt, dat de door afwijkingen kleiner dan 10° veroorzaakte fouten voor nr. 8 aanzienlijk kleiner zijn dan voor nr. 10, zoodat de eerstgenoemde, wat de hier beschouwde eigenschap betreft, voor vliegtuig-gebruik het meest aan te bevelen is.

Voor de Pitotbuis nr. 4 geven afwijkingen kleiner dan 4° geen meetbare fout.

De windsnelheid heeft voor de nrs. 4 en 8 in het onderzochte gebied slechts geringen invloed op de grootte der fouten.

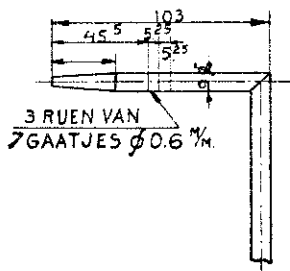
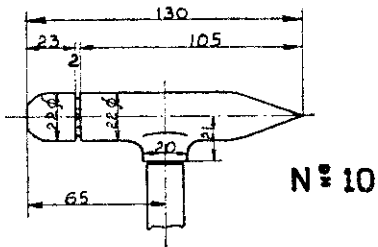
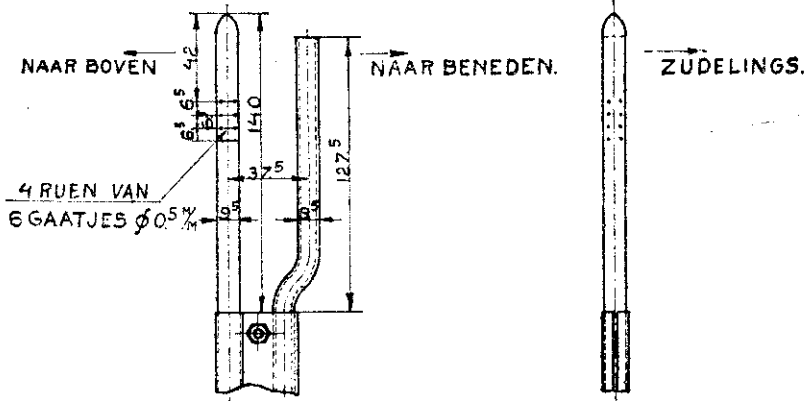
5. Conclusies.

a. Voor vliegtuiggebruik is de Pitotbuis nr. 8, wat betreft de fout veroorzaakt door een afwijking uit de windrichting, beter dan nr. 10.

b. Voor een Pitotbuis van het N. P. L. standaard-type heeft een afwijking kleiner dan 4° geen meetbare invloed op de aanwijzing.

Het bovenbeschreven onderzoek levert alleen een vergelijking der hier behandelde, of op geheel dezelfde wijze uitgevoerde Pitotbuizen. De resultaten mogen geenszins gebruikt worden ter beoordeeling der waarde in het algemeen van Pitotbuizen met centrale of gescheiden opstelling der statische en dynamische drukbuizen, daar verwacht kan worden, dat constructieve details, als vorm van den kop, vorm, grootte en ligging der statische drukopening, een belangrijken invloed zullen hebben op de hier beschouwde fouten.

(Afgesloten December 1920).

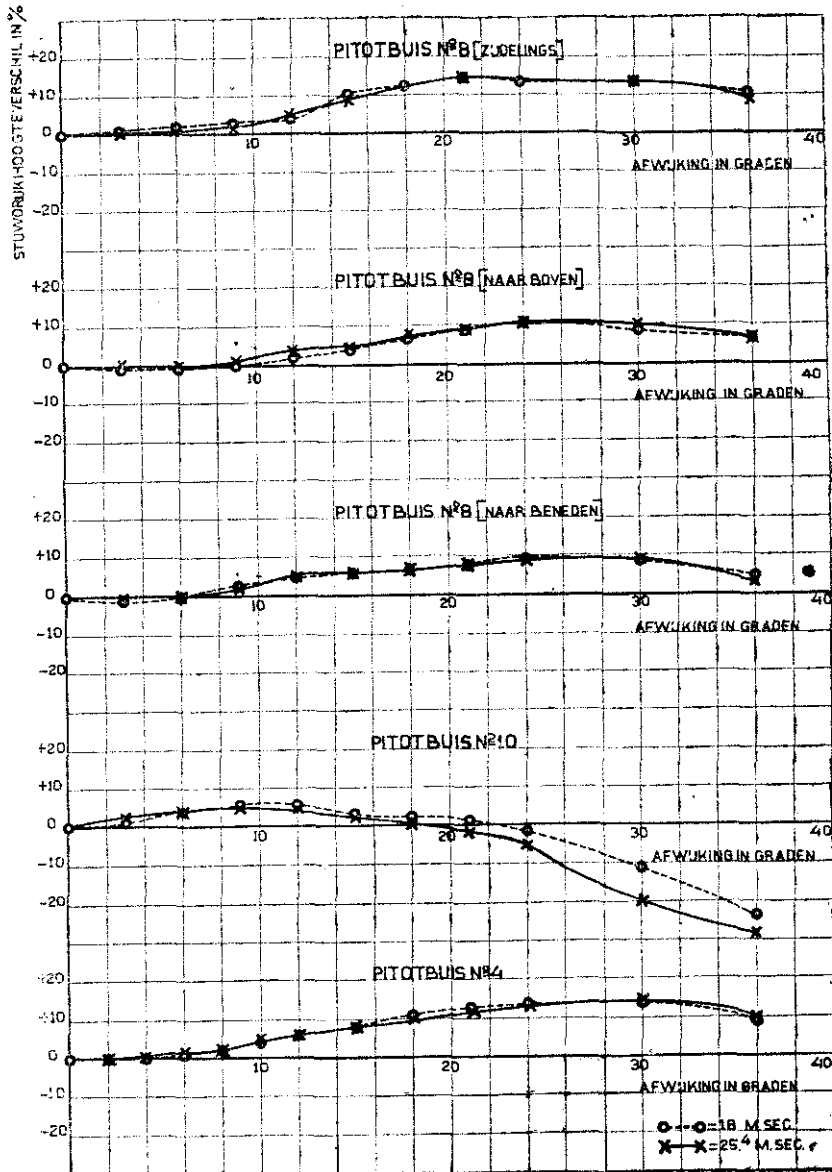
N^o 8N^o 4

Onderzochte Pitotbuizen.

Tubes de Pitot étudiés.

Pitottubes tested.

Untersuchte Stauröhren.



Invloed van de afwijking.

Influence de la déviation.

Effect of the deviation.

Einfluss der Abweichung.

RAPPORT A 24.

ONDERZOEK VAN EENIGE VORMEN VAN WINDVANEN.

OVERZICHT.

A. Doel van het onderzoek.

Voor de keuze van een windvaan voor een snelheidsmeter, welke zich in de windrichting moet instellen, was het gewenscht eenige vormen van vanen te vergelijken. Naar aanleiding van theoretische overwegingen, welke in punt 2 van het rapport gegeven worden, en uitgaande van een vereenvoudigde bewegingsvergelijking der vaan werd als vergelijkingswaarde een coëfficiënt aangenomen, welke verband houdt met het richtend moment.

B. Gebruikte apparaten en resultaten van het onderzoek.

Het gebezigde apparaat is afgebeeld in bijlage 2. Door verstellen van een verschuifbaar gewicht kon het moment om het draaipunt gewijzigd worden. In den windstroom stelde de vaan zich in een stand, welke afhankelijk was van de windsnelheid en van de verschuiving van het gewicht. Uit deze waarnemingen werd de boven bedoelde coëfficiënt afgeleid. De gevonden waarden voor de verschillende vanen, waarvan de profielen gegeven zijn in bijlage 3, zijn in bijlage 4 als functie van den hoek tusschen de windrichting en het symmetrievlak van de vaan uitgezet.

C. Conclusie.

Een groote waarde van den coëfficiënt bleek gewenscht te zijn; zoolang de uitwijkingen klein blijven, is bij de gegeven lengteverhoudingen een dubbelgewelfde vaan (No. 5) het gunstigste.

ETUDE DE QUELQUES FORMES DE GIROUETTES.

RÉSUMÉ.

A. But de la recherche.

Pour choisir une girouette pour un indicateur de vitesse, qui doit se placer dans le lit du vent, il fallait comparer quelques formes différentes. En vertu des considérations théoriques données dans le no. 2 du rapport, qui sont basées sur une équation de mouvement simplifiée de la girouette, on a adopté comme valeur comparative un coefficient lié au moment redresseur.

B. Appareils employés et résultats des expériences.

L'appareil employé est représenté pl. 2. En déplaçant un poids glissant on pouvait modifier le moment autour du point d'appui. Dans le courant

d'air la girouette prend une position dépendant de la position du poids et de la vitesse du vent. De ces observations on a déduit le coefficient déjà mentionné. Les profils des girouettes sont représentés pl. 3. Les valeurs observées sont représentées pl. 4 en fonction de l'angle d'attaque de la girouette.

C. Conclusion.

On a trouvé qu'une grande valeur du coefficient est désirable. Tant que l'amplitude des oscillations reste petite et avec les dimensions linéaires données, une girouette à double courbure (no. 5) est la meilleure.

EXPERIMENTS ON A NUMBER OF WINDVANES.

SUMMARY.

A. Reasons for inquiry.

It was desired to compare several forms of windvanes in order to get a basis for the choice of a suitable one for use with a speed indicator. This speed indicator has to adjust itself to the relative wind. In consequence of the theoretical considerations given in para 2 of the report, which are based on a simplified equation of motion, a coefficient which bears a relation to the righting moment was adopted as a comparative value.

B. Apparatus used and results of the tests.

The apparatus used is represented in app. 2. By adjusting a sliding weight the moment about the pivot could be varied. In the airflow, the vane adjusted itself to a position which depended on the windvelocity and the position of the sliding weight. From these observations the already mentioned coefficient was deducted. The values found for the vanes, the sections of which are given in app. 3, are plotted in app. 4 against angles of incidence.

C. Conclusion.

It was found that a high value of the coefficient was desirable. So long as the amplitude of the oscillations is small and with the linear dimensions given, a double cambered vane (nr. 5) is the best.

UNTERSUCHUNG EINIGER WINDFAHNEN.

ZUSAMMENFASSUNG.

A. Zweck der Untersuchung.

Für die Wahl einer Windfahne für einen Geschwindigkeitsmesser, der sich in der Windrichtung einstellen sollte, war es erwünscht einige Formen zu vergleichen.

Auf Grund theoretischer Erwägungen, welche in Par. 2 des Rapports gegeben werden, wurde als Vergleichswert ein mit dem richtenden Moment in Verbindung stehender Beiwert angenommen.

B. Benutzte Apparate und Ergebnisse der Messungen.

Der benutzte Apparat ist in Anlage 2 abgebildet. Mittels Verstellung eines verschiebbaren Gewichtes konnte der Moment um den Drehpunkt geändert werden. Im Windstrom stellte die Fahne sich in einen Stand, welche von der Windgeschwindigkeit und der Verschiebung des Gewichtes abhängig ist. Aus diesen Beobachtungen wurde der oben angedeutete Beiwert abgeleitet.

Für die in Anlage 3 wiedergegebenen Querschnitte sind die Beiwerte in Anlage 4 als Funktion des Anstellwinkels der Fahne eingetragen.

C. Schlussfolgerung.

Es ergab sich, dass ein grosser Wert des Beiwertes wünschenswert ist. Solange die Abweichungen klein bleiben, ist bei den vorliegenden Längenverhältnissen eine beiderseits gewölbte Fahne (Nr. 5) am günstigsten.

RAPPORT A 24.

ONDERZOEK VAN EENIGE VORMEN VAN WINDVANEN.

1. *Doel van het onderzoek.*

Bij het ontwerp van een snelheidsmeter, welke zich in de windrichting moet instellen, deed zich de vraag voor, welke van de gebruikelijke vormen van windvanen hiervoor het gunstigst was.

Daar het instrument gebruikt moest worden in een vliegtuig, dat een eenparige beweging heeft, zullen eventuele afwijkingen uit den evenwichtsstand klein zijn en werd het gedrag der vanen alleen voor dezen onderzocht.

Als karakteristieke eigenschap, op grond waarvan de beoordeeling moet geschieden, werd een coëfficiënt aangenomen, welke verband houdt met het richtend moment. De theoretische overwegingen, welke leidden tot deze aanname, worden in punt 2 behandeld.

2. *Theoretische beschouwingen.*

Als windvaan wordt een symmetrisch lichaam gebruikt, draaibaar om een in het symmetrievlak gelegen as. Het moment van het gewicht om de draaiingsas moet 0 zijn, dus moet deze as door het zwaartepunt gaan of verticaal geplaatst zijn. Wordt de windvaan in een luchtstroom geplaatst, dan moet zij zich met het symmetrievlak evenwijdig aan de windrichting instellen. Een eerste voorwaarde is, dat het evenwicht in dezen stand stabiel is. Aan deze voorwaarde kan voldaan worden, door de ligging der draaiingsas zóó te kiezen, dat de resultante der bij de afwijking optredende windkrachten achter deze aangrijpt.

In 't algemeen zal echter de terugkeer tot den evenwichtsstand niet onmiddellijk geschieden, doch de vaan een trillende beweging uitvoeren. Deze beweging zal hier nader beschouwd worden, waarbij, ter vereenvoudiging der behandeling, de volgende benaderingen aangenomen worden:

1. de afwijkingen uit den evenwichtsstand zijn klein,
2. de relatieve windrichting is voor alle punten van de vaan dezelfde,
3. de wrijving in het draaipunt wordt verwaarloosd.

Noemt men nu (zie bijlage 1, fig. 1):

Θ = hoek tusschen het symmetrievlak en den evenwichtsstand.

$\frac{d^2\Theta}{dt^2}$ = hoekversnelling om A.

$\frac{d\Theta}{dt}$ = hoeksnelheid om A.

B = traagheidsmoment van het bewegende gedeelte om A.

M = moment om A van de resultante der windkrachten,
dan is de bewegingsvergelijking der vaan:

$$M = B \frac{d^2\Theta}{dt^2} \quad (1).$$

Voor de berekening van M mag, daar Θ klein blijft, aangenomen worden, dat de grootte der windkrachtresultante evenredig is met:

1. den invalshoek i, d. w. z. den hoek tusschen het symmetrievlak van de vaan en de relatieve windrichting,
 2. het kwadraat van de relatieve windsnelheid V_1 ,
- en dat de afstand van het aangrijpingspunt dezer resultante tot aan het draaipunt constant blijft.

De invalshoek i is bij benadering:

$$i = \Theta + \text{bgtg} \frac{a \frac{d\Theta}{dt}}{V} \approx \Theta + \frac{a}{V} \frac{d\Theta}{dt}$$

en de relatieve windsnelheid:

$$V_1 = \sqrt{V^2 + \left(a \frac{d\Theta}{dt}\right)^2}$$

waarin V de snelheid der ongestoorde strooming en a de afstand van het midden der vaan tot aan het draaipunt is.

Daar $\left(\frac{d\Theta}{dt}\right)^2$ klein is t. o. v. V^2 , mag aangenomen worden:

$$V_1 = V.$$

Het moment der windkrachtresultante is dus:

$$M = -C \left(\Theta + \frac{a}{V} \frac{d\Theta}{dt} \right) V^2,$$

waarin C een constante is, afhankelijk van den vorm en de grootte der vaan.

Invoering van deze waarde in de vergelijking (1) geeft nu:

$$B \frac{d^2\Theta}{dt^2} + CaV \frac{d\Theta}{dt} + CV^2\Theta = 0 \quad (2).$$

Deze vergelijking is analoog met die voor de rechtlijnige gedempte trilling van een stoffelijk punt. 1).

Ter vereenvoudiging schrijvende:

$$p \frac{d^2\Theta}{dt^2} + q \frac{d\Theta}{dt} + r\Theta = 0 \quad (\text{met } p = B; q = CaV \text{ en } r = CV^2)$$

wordt de algemeene oplossing:

$$\Theta = e^{-\frac{q}{2p}t} \left(C_1 e^{\gamma t} + C_2 e^{-\gamma t} \right)$$

1) Zie: Föppl. Vorlesungen über technische Mechanik. Band IV, waaruit de hier gegeven oplossing der vergelijking overgenomen is.

Hierin is:

$$\gamma = \sqrt{\frac{q^2}{4p^2} - \frac{r}{p}} = \frac{V}{2B} \sqrt{C^2 a^2 - 4BC}$$

terwijl C_1 en C_2 constanten zijn, die van den bewegingstoestand ten tijde $t = 0$ afhangen.

Het karakter van de beweging is afhankelijk van de waarde van γ . Is deze reëel, dan is de beweging aperiodisch, is zij echter imaginair, dan treedt een gedempte trilling op. Het periodische trillingsgeval zal practisch meestal optreden, het logarithmische decrement is in dit geval:

$$L = \frac{\pi q}{\sqrt{4pr - q^2}} = \frac{\pi}{\sqrt{\frac{4B}{a^2 C} - 1}}$$

Ter verkrijging van een sterk gedempte beweging moet deze waarde zoo groot mogelijk zijn, hetgeen het geval zal zijn, wanneer C een groote waarde heeft. In het grensgeval, waarbij:

$$\frac{4B}{a^2 C} - 1 = 0 \text{ of } C = \frac{4B}{a^3}$$

gaat de periodische beweging over in een aperiodische.

Voor vergelijking van windvanen moet nu beoordeeld worden, in hoeverre een groote waarde van het logarithmisch decrement te verkrijgen is. Als maatstaf hiervoor kan de grootheid $\frac{4B}{a^2 C}$

dienen, welke zoo dicht mogelijk tot de eenheid moet naderen. Daar echter de waarde van het traagheidsmoment B en van den arm a voor alle onderzochte vanen vrijwel gelijk is, kan ook de constante C voor vergelijking worden aangenomen. Deze constante werd in de beschouwing als onafhankelijk van V en Θ aangenomen. Dit is niet geheel juist. De invloed van V op C kan tot gevolg hebben, dat een windvaan, welke bij hooge windsnelheid goed is, bij lagere windsnelheid minder gunstig blijkt te zijn of omgekeerd. De aanname, dat C onafhankelijk is van Θ , is slechts geldig voor kleine waarden der uitwijking. Uit de experimenteel verkregen waarden zal moeten blijken, binnen welk gebied deze aanname juist is en dus de bewegingsvergelijking (2) toegepast mag worden.

Om deze redenen werd de constante voor verschillende invalshoeken en windsnelheden bepaald.

3. Beschrijving der onderzoekingsmethode.

De experimenteele bepaling van C geschiedde door de vaan in een windstroom te plaatsen en het moment te bepalen, dat noodig was om haar in evenwicht te houden, wanneer het symmetrievlak een gegeven hoek Θ met de windrichting maakt. In dit geval is (zie fig. 2, bijlage 1):

$$V_1 = V \text{ en } i = \Theta$$

zoodat het moment om A is:

$$M = C i V^2$$

De constante C kan door het invoeren van de specifieke massa

van de lucht $\frac{\gamma}{g}$, het oppervlak van de vaan O en de afstand van het vlakje 1 omgevormd worden in een absolute constante C_m :

$$M = C_m \frac{\gamma}{g} O l i V^2$$

Het voor het onderzoek gebezigde apparaat is schematisch aangegeven in fig. 3 en 4 van bijlage 1, terwijl bijlage 2 een foto geeft.

De windvaan bestaat uit een staaf 2, welke in het punt 3 draaibaar is en waaraan aan het achtereinde het te onderzoeken vlak 1 bevestigd is. Het gewicht 4 is op staaf 2 verschuifbaar, waarbij de afstand tot het draaipunt op een verdeling afgelezen kan worden. De stand van het symmetrievlak van de vaan t.o.v. de windrichting kan bepaald worden met behulp van de schaal 5 met graadverdeling. Het vlak 1 kan losgeschroefd en door een ander vervangen worden.

Het apparaat werd zóó in de windtunnel opgesteld, dat de staaf 2 kon bewegen in een verticaal vlak, evenwijdig aan de windrichting. Door verschuiven van het gewicht 4 werd bij een windsnelheid 0 evenwicht gemaakt (zie bijlage 1, fig. 3). De evenwichtsvoorwaarde hiervoor is:

$$G_1 z = G_2 l_1 \quad (3)$$

waarin:

G_1 = gewicht van de windvaan, d. w. z. van de staaf 2 en het vlakje 1,

z = afstand van het zwaartepunt van de windvaan tot aan het draaipunt,

G_2 = gewicht van het verstelbare gewicht 4 = 0.058 K.G.,

l_1 = afstand van het zwaartepunt van 4 tot aan het draaipunt.

Dit evenwicht zal bewaard blijven voor iedere windsnelheid. Het gewicht 4 werd nu over een bekende lengte l_2 naar voren geschoven (zie bijlage 1, fig. 4) en bij verschillende windsnelheden de evenwichtsstand van de vaan waargenomen. De evenwichtsvoorwaarde hiervoor is:

$G_1 z \cos i + C i V^2 = G_2 (l_1 + l_2) \cos i + N_2 (l_1 + l_2 - c)$
of, rekening houdende met vergelijking (3):

$$C i V^2 = G_2 l_2 \cos i + N_2 (l_1 + l_2 - c) \quad (4)$$

Hierin is:

i = de hoek, welke het symmetrievlak der vaan in den evenwichtsstand maakt met de windrichting,

N_2 = de ontbondene, loodrecht op staaf 2 van de resultante der windkrachten, welke op het gewicht 4 werken,

$l_1 + l_2 - c$ = de afstand van het aangrijpingspunt dezer resultante tot aan het draaipunt.

Aannemende, dat N_2 klein is, vergeleken bij de overige optredende krachten en dat $\cos i$ weinig van de eenheid verschilt, is dus bij benadering: $G_2 l_2 = C i V^2 = M$.

Uit deze vergelijking kan de momentenconstante C berekend worden. Dit geeft: $C = \frac{G_2 l_2}{i V^2}$ of omgerekend in de bovenbedoelde

absolute coëfficiënten:

$$C_m = \frac{G_2 l_2}{\frac{\gamma}{g} 0.1 i V^2}$$

Hierin is:

$\frac{\gamma}{g}$ = specifieke massa van de lucht = 0.125 K.G. sec.²/M⁴,

l = afstand van het draaipunt tot aan den voorrand van het vlakje = 0.06 M.,

o = oppervlak van de projectie der vaan op het symmetrievlak (36.10⁻⁴ M² voor de nrs. 1 en 5, 33.66.10⁻⁴ M² voor de nrs. 2 en 3 en 32.4.10⁻⁴ M² voor de nrs. 4 en 6).

4. Resultaten van het onderzoek.

De profielen der verschillende plaatjes zijn met de hoofdafmetingen gegeven in bijlage 3. De projectie op het symmetrievlak was voor alle rechthoekig, de breedte was 120 mM. Het onderzoek werd uitgevoerd bij 7 verschillende windsnelheden van 7.4 tot 27.5 M/sec, terwijl de waarde van l_2 , welke het moment bepaalt, van 0 tot 70 mm. aangenomen werd.

In bijlage 4 zijn de bij het onderzoek verkregen waarden van C_m uitgezet als functie van i . In de figuren 1 en 2 zijn de waarden van C_m voor de vanen 5 en 6 voor de verschillende windsnelheden door verschillende teekens aangegeven. Een conclusie over den invloed der windsnelheid op de waarde van den momenten coëfficiënt blijkt hieruit niet getrokken te kunnen worden, daar de punten, tengevolge van de geringe nauwkeurigheid der metingen, te veel uiteenloopen. De in de figuren getrokken krommen stellen een gemiddelde der waarnemingen voor. In figuur 3 zijn dergelijke gemiddelde krommen voor alle onderzochte vanen gegeven. Uit deze krommen kan beoordeeld worden, tot welke waarde van i de aanname, dat C onafhankelijk is van i , bij benadering juist is en dus de bewegingsvergelijking (2) met de daaruit getrokken conclusies toegepast mag worden.

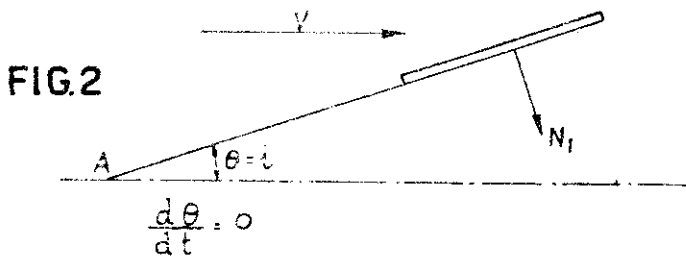
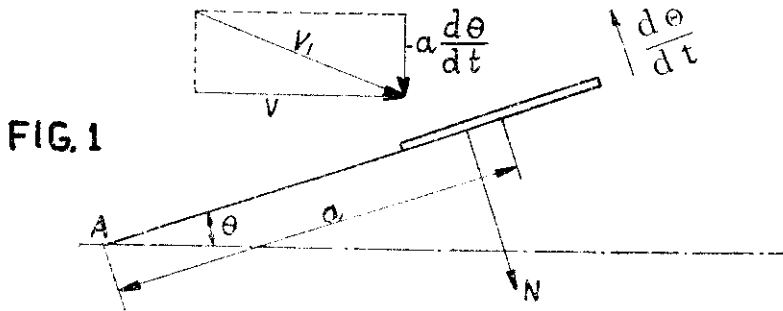
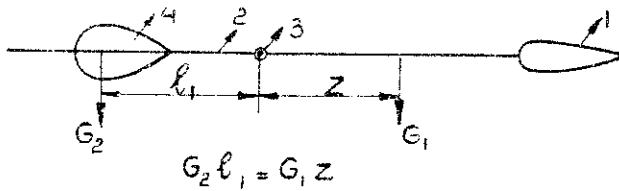
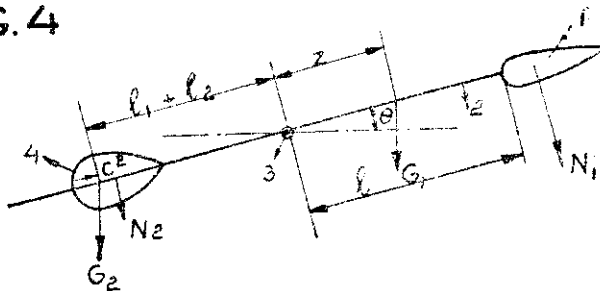
De vaan 5 vertoont een van de overige afwijkend gedrag, veroorzaakt door het optreden van een kritischen hoek tusschen 6° en 16°. In dit gebied werden geen waarnemingen verkregen.

Blijft de waarde van i klein, dan is de vaan 5, tengevolge van de hierbij behorende hoge waarden van C_m , veel gunstiger dan de overige. Wordt de waarde van i grooter dan 6°, dan mag de opgestelde bewegingsvergelijking niet meer toegepast worden en bestaat de mogelijkheid, dat een der overige vanen (b.v. nr. 4 of 6) gunstiger zal blijken te zijn.

5. Conclusie.

Zoolang de uitwijkingen uit den evenwichtsstand klein blijven, is, bij de gegeven lengteverhoudingen, de vaan no. 5 de gunstigste vorm, daar zij een hoge waarde van den momenten coëfficiënt heeft en dus een krachtige demping veroorzaakt.

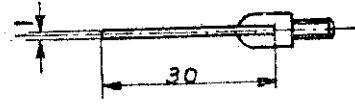
(Afgesloten Februari 1921).

**FIG. 3****FIG. 4**

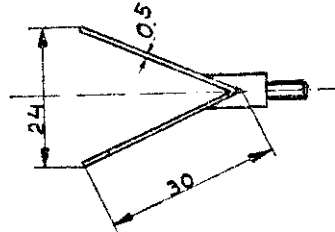
Op een windvaan werkende krachten.
 Forces agissant sur une girouette.
 Forces acting upon a windvane.
 Kräftespiel an einer Windfahne.

Rapport A 24.

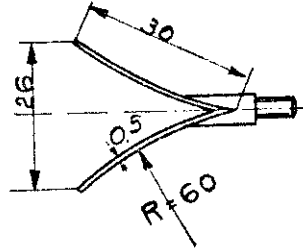
№ 1



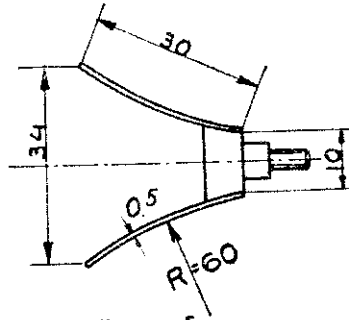
№ 2



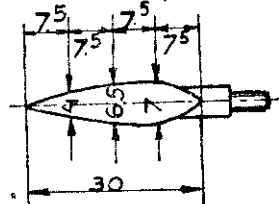
№ 3



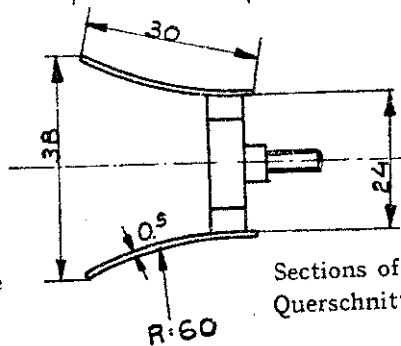
№ 4



№ 5

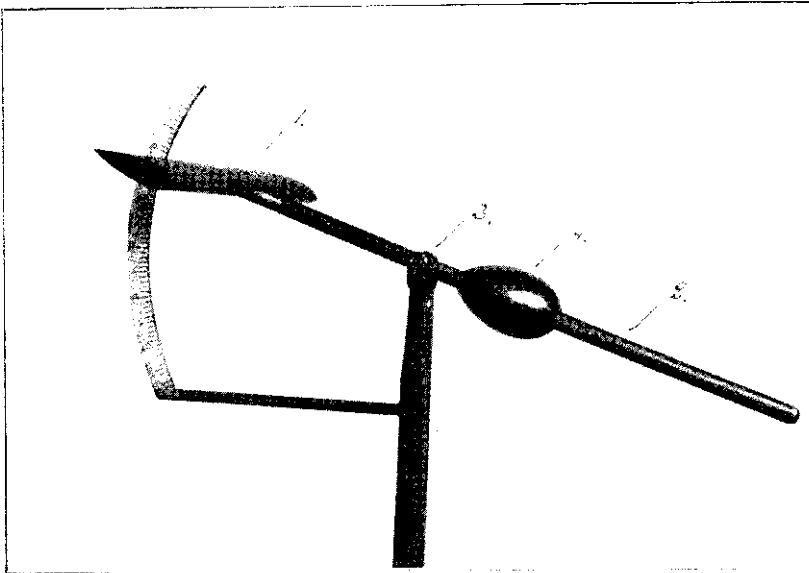


№ 6



Doorsneden der onderzochte
windvanen.
Profils des girouettes.

Sections of the windvanes.
Querschnitte der Windfahnen.

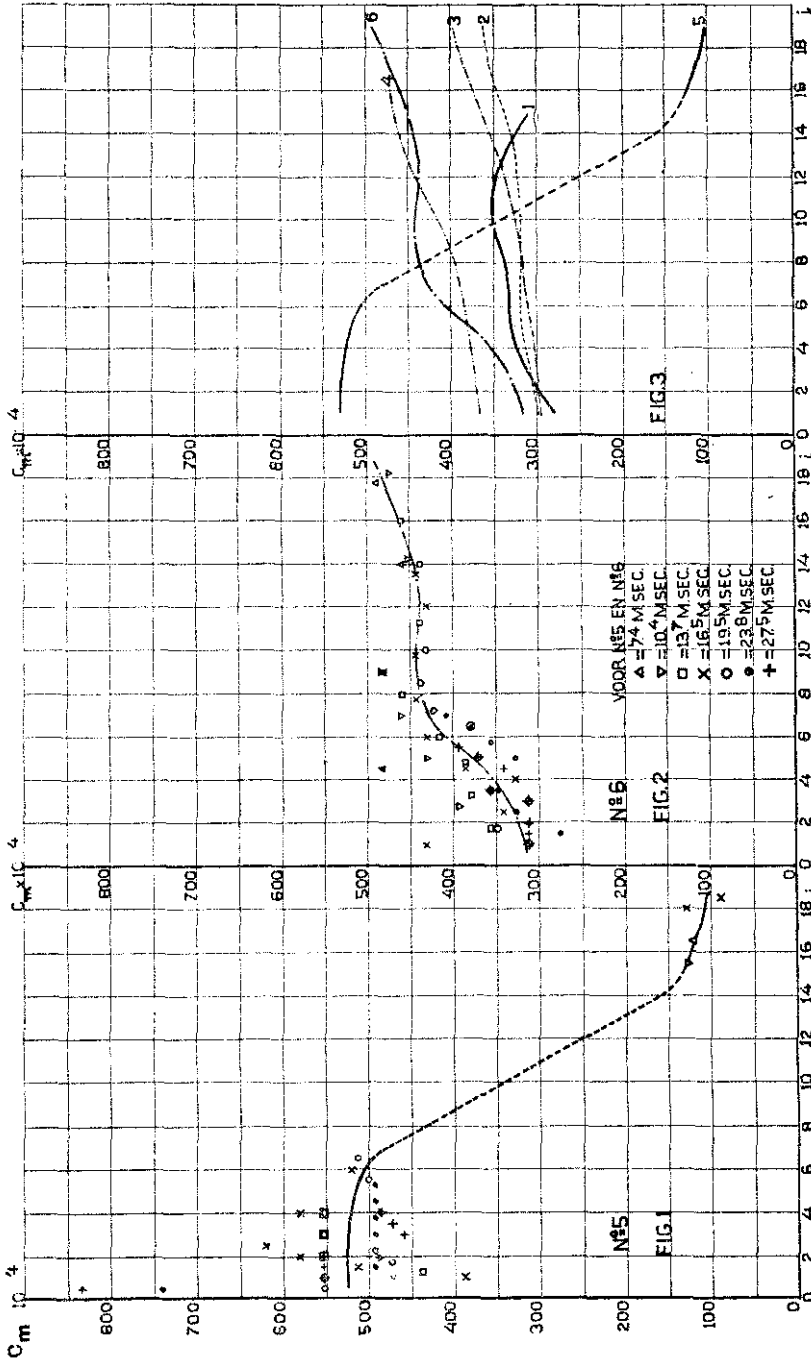


Apparaat voor het onderzoek van windvanen.

Appareil pour l'étude des girouettes.

Apparatus for testing windvanes.

Apparat für die Untersuchung von Windfahnen.



Moment coefficients of tested vanes.
Momentenbeiwerte der untersuchten Windfahnen.

Z.O.Z.
t. s.v.p.
p.t.o.
B. w.

$$M = C_m \frac{\rho}{g} 0.11 V^2$$

M	= Richtend moment in kgm. Righting moment in kgm.	Moment redresseur en kgm. Richtendes Moment in MKg.
C _m	= Absolute momenten coëfficient. Absolute moment coefficient.	Coëfficient absolu de moment. Absoluter Momentenbeiwert.
γ	= Dichtheid der lucht in kg./M ³ . Air density in kgs./M ³ .	Densité de l'air en kg./M ³ . Luftdichte in kg./M ³ .
g	= Versnelling der zwaartekracht. Acceleration of gravity.	Accélération de la pesanteur. Beschleunigung der Schwerkraft.
l	= Afstand van den voorrand der vaan tot aan het draaipunt in M. Distance du bord avant de la girouette au point d'appui en M. Distance from leading edge of vane to pivot in M. Entfernung der Vorderrandes der Fahne vom Drehpunkt in M.	
i	= Hoek tusschen het symmetrievlak der vaan en de relatieve wind- richting in graden. Angle du plan de symétrie de la girouette avec la direction du vent relatif en degrés. Angle between plane of symmetry of vane and direction of relative wind in degrees. Winkel zwischen die Symmetrieffläche der Fahne und die Richtung des relativen Windes in Grad.	
V	= Relatieve windsnelheid in M./sec. Relative windspeed in M./sec.	Vitesse du vent relatif en M./sec. Relative Windgeschwindigkeit in M./sek.

RAPPORT B 3.

ONDERZOEKINGEN, UITGEVOERD MET EEN 6-CYLINDER 185 P.K. OPEL B. M. W. MOTOR.

OVERZICHT.

- A. Onderzocht werd de invloed van de afmetingen der brandstof-sproeiers op het vermogen en verbruik van dezen motor. Hieruit bleek, dat binnen wijde grenzen deze afmetingen gewijzigd konden worden, zonder stoornis te veroorzaken, behoudens toe- of afname van het vermogen en het verbruik.
- B. Door gebruik te maken van twee van elkaar afwijkende nokken-assen en door verandering van den afstand tusschen tuimelaar en klepsteel, werd onderzocht de invloed van een veranderde kleppen-stelling op het vermogen en verbruik van den motor.
- C. Onderzocht werd de invloed van de compressieverhouding, welke achtereenvolgens gewijzigd werd van 6,55 tot 6,15, 5,96 en 5,61 : 1.
- D. Een reeks proefnemingen werd uitgevoerd met verschillende brand-stoffen, benzine, benzol, en mengsels van beide.

Verklaring bij de afbeeldingen No. 3 tot en met 10.

De bij de krommen geplaatste teekens hebben de navolgende beteekenis:
A = Vermogenskromme voor volle gasklepopening. B = Brandstofver-bruik overeenkomende met kromme A. C = gemiddelde effectieve druk overeenkomende met kromme A. D = regelingskromme. E = Brandstof-verbruik overeenkomende met kromme D.

REPORT OF EXPERIMENTS WITH A SIX-CYLINDER 185 H.P. OPEL B. M. W. ENGINE.

SUMMARY.

- A. Experiments were made in order to study the influence of the dimen-sions of carburetter jets on power and petrol consumption. It was found that between wide limits of jet dimensions the engine be-haved satisfactorily, except for changes in power and fuel consumption.
- B. The use of two different camshafts and changes of the distance be-tween rocking arms and valve stems allowed a study of the effects of changes in valve timing on power output and fuel consumption.
- C. Experiments were carried out to study the effect of the compres-sion ratio, which was altered from 6,55 : 1 to 6,15 : 1, 5,96 : 1 and 5,61 : 1.
- D. Experiments were made on the working of the B.M.W.-engine with petrol, benzene and mixtures of them.

Explication of the ill. 3—10.

The letters A—E, indicating the curves, have the following meaning:
A = Powercurve at full throttle. B = Fuel consumption corresponding with curve A. C = B.M.E.P. corresponding with curve A. D = Part throttle curve. E = Fuel consumption corresponding with curve D.

EXPÉRIENCES EFFECTUÉES AVEC UN MOTEUR B. M. W.-OPEL 6-CYLINDRES, 185 H. P.

RÉSUMÉ.

- A. Des expériences furent effectuées pour étudier l'influence des dimensions des gicleurs sur la puissance et sur la consommation de ce moteur. On trouvait qu'entre des limites assez éloignées, les dimensions des gicleurs n'avaient pas d'influence sur le fonctionnement du moteur, sous réserve, toutefois, d'une augmentation ou diminution de la consommation et de la puissance.
- B. En employant deux arbres de distribution différents, et en modifiant la distance entre les culbuteurs et les tiges de soupapes, on a étudié l'effet d'une modification dans le réglage sur la puissance et la consommation.
- C. Des expériences furent effectuées pour étudier l'influence du degré de compression, qui fut diminué successivement de 6.55 : 1 à 6.15, 5.96 et 5.61 : 1.
- D. On a étudié le fonctionnement du moteur B. M. W., en employant comme combustibles de l'essence, du benzol et des mélanges de ces deux.

Explication des figures 3—10.

Les lettres A—E, indiquant les courbes, ont la signification suivante:
 A = Courbe de puissance à plein gaz. B = Consommation de carburant correspondante à la courbe A. C = Pression moyenne effective correspondante à la courbe A. D = Courbe de puissance à admission réduite. E = Consommation de carburant correspondante à la courbe D.

VERSUCHE MIT EINEM 6-ZYLINDER 185 P. S. OPEL B. M. W.-MOTOR.

ZUSAMMENFASSUNG.

- A. Der Einfluss der Düsenabmessungen auf Leistung und Brennstoffverbrauch des Motors wurde untersucht. Es wurde gefunden, dass innerhalb sehr weiter Grenzen die Düsenabmessungen geändert werden konnten und der Motor doch fehlerfrei arbeitete, jedoch mit Ausnahme von Änderungen in der Leistung und dem Brennstoffverbrauch.
- B. Unter Benutzung zweier Steuerwellen und durch Änderung der Entfernung von Schwinghebel und Ventilspindel wurde der Einfluss geänderter Ventilstellung auf Leistung und Brennstoffverbrauch untersucht.
- C. Untersucht wurde der Einfluss des Verdichtungsgrades, der herabgesetzt wurde von 6,55 : 1 auf 6,15 : 1, 5,96 : 1 und schliesslich auf 5,61 : 1.
- D. Versuche wurden angestellt zur Bestimmung der Motorleistung bei Benutzung von Benzin, Benzol und Gemischen dieser Brennstoffe.

Erklärung der Abb. 3—10.

Die Buchstaben A—E bei den Kurven haben die nachstehende Bedeutung:
 A = Leistungskurve bei geöffneter Drosselklappe. B = Brennstoffverbrauch übereinstimmend mit Kurve A. C = Mittlerer effektiver Kolbendruck übereinstimmend mit Kurve A. D = Drosselkurve. E = Brennstoffverbrauch übereinstimmend mit Kurve D.

RAPPORT B 3.

ONDERZOEKINGEN, UITGEVOERD
MET EEN 6-CYLINDER 185 P.K. OPEL B. M. W. MOTOR.

INLEIDING.

Alle onderzoeken werden uitgevoerd in het motorenlaboratorium van den R. S. L. Hiertoe was de te onderzoeken Opel B. M. W. motor gemonteerd op een vast fundament, waarbij het vermogen afgeremd werd door een waterrem, type „Froude”. De uitwendige koeling van het bovendee van den motor geschiedde door een afzonderlijk opgestelde en aangedreven luchtschroef, die een windsnelheid van ca. 25 M sec. gaf, terwijl in dezen luchtstroom achter den motor tevens een normale, bij den motor behorende, radiator was opgesteld.

Gedurende de proefnemingen werden vensters en deuren van het laboratorium opengezet, teneinde zooveel mogelijk frissche lucht toe te laten stroomen.

Het benzineverbruik werd gemeten door middel van een glazen meetvat, boven en beneden in een nauwen hals uitlopend. Op beide vernauwingen bevindt zich een merkteeken, tusschen welke het vat gecalibreerd is. De tijd van doorstroming van het volume tusschen de beide merkteekens werd met een stophorloge gemeten.

Het bleek, dat deze opstelling in een beschutte ruimte, wat de temperatuur betreft, geen andere resultaten opleverde dan het werken in de open lucht. Metingen van de temperatuur van de lucht in het carter toonden, dat bij zeer uiteenlopende temperatuur van de lucht in het laboratorium de temperatuur van de aangezogen lucht zeer weinig uiteen liep. Metingen van de olie-temperatuur na afloop der proeven toonden aan, dat deze het toe te laten maximum van 40° C. niet overschreed.

A. ONDERZOEK NAAR DEN INVLOED VAN DE AFMETINGEN DER BRANDSTOFSPROEIERS OP HET VERMOGEN EN VERBRUIK VAN DEN MOTOR.

Naar aanleiding van de veelal verkondigde meening, dat de B. M. W. motor zeer nauw luistert naar de geringste variatie der sproeieropeningen 1) en dat slechts bij één bepaalde sproeiercombinatie een goed werken van den motor te bereiken zou zijn,

1) Zie bijlage 1.

werd dit onderzoek aangevangen met een uitgebreide reeks proeven bij de compressieverhouding ϵ van 6,55 : 1, waarbij achtereenvolgens de binnensproeier vergroot werd van $\phi = 1.14$ mM. tot $\phi = 1.25$ mM., terwijl de beide buitensproeiers hierbij veranderd werden van $\phi = 1.1$ mM. tot $\phi = 1.2$ mM.

De volgende combinaties werden beproefd.

TABEL 1.
Gebruikte sproeierafmetingen.

Binnensproeiers.	Buitensproeiers.
$\phi = 1.14$ mM.	$\phi = 1.10$ mM.
$= 1.14$ mM.	$= 1.18$ mM.
$= 1.18$ mM.	$= 1.14$ mM.
$= 1.20$ mM.	$= 1.14$ mM.
$= 1.22$ mM.	$= 1.18$ mM.
$= 1.25$ mM.	$= 1.20$ mM.

Teneinde de uitkomsten van alle proefnemingen met elkaar te kunnen vergelijken, werd allereerst steeds het afgelezen vermogen en het brandstofverbruik herleid tot den barometerstand van 760 mM. Hg. volgens de formule: 1)

$$\frac{PK_{.h}}{PK_{.760}} = \frac{h}{760 - 114}$$

waarin h de afgelezen druk is in mM. Hg. Een herleiding voor de temperatuur werd niet toegepast wegens het bovenvermelde feit, dat de temperatuur in het carter zeer weinig varieerde.

Vervolgens werden de waarnemingen, welke alle gedaan werden bij toerentallen, welke weinig verschilden van 1400, 1300 en 1200 omw./min., herleid tot nauwkeurig 1400, 1300 en 1200 omw./min. Het was nl. gebleken, dat bij een gering verschil in toerental men het vermogen evenredig aan het toerental kon stellen, zonder een fout van beteekenis te maken.

Het vermogen bij het toerental, weinig afwijkend van 1400, werd dus herleid tot het vermogen bij 1400 omw./min. door vermenigvuldiging van het afgelezen vermogen met den factor

$$\frac{1400}{\text{afgelezen toerental.}}$$

Daar bij een kleine verandering van het toerental het brandstofverbruik per PK/uur weinig of niet bleek te veranderen, werd bij het herleide toerental dit brandstofverbruik gelijk genomen aan het berekende verbruik per PK/uur bij het afgelezen toerental. Ook de hierbij maximaal optredende fout ligt, gezien de krommen voor het brandstofverbruik, steeds binnen de grootte der gemaakte meetfouten en is dus toelaatbaar.

1) Zie voor afleiding van deze formule: R. Devillers, Le moteur à explosions, pag. 678.

In het aan het einde bijgevoegde overzicht zijn de aldus herleide resultaten vereenigd. (Zie tabel XIII).

In het algemeen blijkt nu het volgende:

Binnen bepaalde, tamelijk ver uiteenliggende grenzen kan de diameter zoowel van binnen- als van buitensproeiers gevarieerd worden zonder dat de B. M. W. motor onregelmatiger gaat loopen.

Uit de opgegeven getallen voor de binnen- en buitensproeiers (zie tabel I) blijkt, dat de doorsnede van de binnensproeier-opening vergroot werd met 20 %, terwijl de opening der buitensproeiers met 19 % veranderd werd, zonder dat van eenige stoornis sprake was.

Intusschen neemt bij vergrooting der sproeieropening de rijkdom van het gasmengsel toe, zoodat in het algemeen verwijding der sproeiers een toename van het vermogen en tevens een toename van het verbruik veroorzaakt.

Het blijkt nu echter, dat, in tegenstelling met de hieromtrent heerschende meening, althans bij de beschouwde hoge toerentallen, de grootte van den buitensproeier een grooten invloed op het vermogen heeft, terwijl de invloed op het *verbruik* van deze sproeiers veel minder sterk blijkt te zijn. Omgekeerd blijkt uit de resultaten, dat de binnensproeier een sterkeren invloed op het verbruik dan op het vermogen uitoefent.

Vergelijken wij b.v. bij de compressieverhouding van 6,55 : 1 de proeven Nos. 2 en 26 met No. 40 (zie het tabellarisch overzicht), dan zien wij, ondanks de sterke vergrooting van den binnensproeier, een geringen vooruitgang van het vermogen, ten koste van een sterke stijging van het verbruik. Bij vergelijking van proeven 2 en 26 met Nos. 23 en 28 blijkt dit verschil nog sterker. Ondanks de vergrooting van den binnensproeier van 1.14 op 1.18 mM., gaat het vermogen bij alle toerentallen eenige P.K. terug, blijkbaar doordat de buitensproeiers in dezelfde mate verkleind werden, terwijl het verbruik, dat blijkbaar door de buitensproeiers minder sterk beïnvloed wordt, onder invloed van den vergrooten binnensproeier sterk steeg. Bij vergelijking van Nos. 23, 28 en 25 blijkt de vergrooting van den binnensproeier een geringen vooruitgang van het vermogen, echter een sterkere stijging van het verbruik te veroorzaken.

Ditzelfde verschijnsel blijkt even duidelijk bij de lagere compressieverhoudingen op te treden. Vergelijken wij slechts bij $\varepsilon = 5,96$ proef 69 met 71 (vergroote buitensproeiers), waarbij het verbruik constant blijft (zelfs bij 1300 en 1200 omw./min. iets afneemt, vermoedelijk doordat bij de zeer kleine sproeiers van proef 69 de verbranding ongunstig wordt), terwijl het vermogen met 7 tot 8 P.K. stijgt.

Een goede illustratie van dit verschijnsel levert ook vergelijking van proef 60 met 59 (vergrooting van de buitensproeiers) of van 59 met 58 (vergrooting van de binnensproeier), alle bij $\varepsilon = 5,61$. Een verklaring hiervan is moeilijk te geven, zoolang niet als functie van het toerental nauwkeurig voor iederen sproeier de uitstroombingskromme bekend is, bij de heerschende onderdrukken in de drie

aanzuigbuizen. Een inzicht in dit verschijnsel intusschen kan men verkrijgen door beschouwing van de betrekking, welke bij een bepaalden onderdruk bestaat tusschen de sproeieropening en de uitgestroomde vloeistofhoeveelheid. Immers bij de gebruikte, zeer kleine sproeieropeningen geschiedt de uitstrooming van de vloeistof niet evenredig aan de doorsnede, doch schijnt een andere betrekking te bestaan.

Volgens Rummel 1) volgt de wrijvingsweerstand in nauwe sproeieropeningen, een wet van den vorm:

$$\frac{P_r}{\gamma} = a_1 v + a_2 v^2.$$

Hierin is:

P_r = de totale wrijving, uitgedrukt in drukhoogte.

γ = de dichtheid van de vloeistof.

v = uitstroomingssnelheid.

a_1 en a_2 zijn constanten, afhankelijk van den diameter van de uitstroomingopening.

waaruit hij dan, in verband met de algemeene stroomings-vergelijking afleidt de formule:

$$c_1 Q^2 + c_2 Q = H$$

waarin:

$$c_1 = \frac{1}{F^2} - \frac{1}{2g} + a_2$$

$$c_2 = \frac{a_1}{F}$$

H = drukverschil voor en achter de sproeiers.

F = doorsnede.

Q = de uitgestroomde vloeistof in de eenheid van tijd.

Neemt men nu H constant en varieert men F , dan is Q te geven als functie van F .

Men vindt dan:

$$Q = F \left(\frac{\sqrt{g^2 a_1^2 + 2gH + 4a_2 g^2} + g a_1}{1 + 2a_2 g} \right)$$

(Zooals men ziet, wordt voor een wrijvinglooze uitstrooming, dus voor $a_1 = a_2 = 0$, $Q = F \sqrt{2gH}$; de bekende uitstroomingswet).

Q blijkt dus niet alleen een functie te zijn van den diameter van de opening, maar ook af te hangen van de constanten a_1 en a_2 , welke op hun beurt weer afhangen van den diameter.

Deze formule, die geen practische waarde heeft, zoolang men de constanten a_1 en a_2 niet uit vele proeven bepaald heeft, heeft slechts waarde om te demonstreeren, dat bij een bepaalden onderdruk, variatie van de sproeieropening de uitvloeijing in een niet van te voren aan te geven wijze doet verlopen, *althans niet evenredig aan den diameter*.

Anderzijds echter blijkt, dat de constanten a_1 en a_2 functies

1) Zie „Motorwagen” 1906, p.p. 709 e.v. en Heller, Motorwagenbau, p.p. 72 e.v.

zijn van de snelheid, dus van den onderdruk. Waar nu in de buiten- en binnensproeiers een geheel verschillende onderdruk optreedt, zal de verandering der sproeiergrootte in buiten- of binnensproeier een verschillenden invloed uitoefenen op het erdoorstroomende mengsel.

Als resultaat van de onderzoeken betreffende de vloeistofstrooming door nauwe openingen van de National Advisory Committee for Aeronautics (Zie Report No. 49 van 1918) werd voor deze strooming de volgende wet gevonden:

$$W = 60.2 \text{ Ca } \sqrt{\rho} \sqrt{h},$$

waarin:

W == doorgestroomd brandstofgewicht in lb. per min.

C == coëfficiënt.

ρ == S. G. van de vloeistof.

h == drukverschil.

C bevat alle wrijvingsverliezen, zoowel met den wand, als de inwendige wrijving. Deze coëfficiënt C is proefondervindelijk bepaald en bleek in een bepaalde, niet eenvoudige functie van den diameter en van de snelheid af te hangen.

Hoewel dus deze formule een anderen vorm heeft dan de formule van Rummel blijkt ook hieruit, dat de invloed van verandering van de sproeiergrootte bij verschillenden onderdruk een verschillende is.

Een andere mogelijke verklaring voor het bovengenoemde verschijnsel is misschien deze: In normaal bedrijf levert de middelste sproeier een zeer rijk mengsel, dat door het arme mengsel van de beide buitensproeiers verdund wordt. Het is nu mogelijk dat het mengsel van de binnenste sproeier reeds zóó rijk is, dat vergroting van dezen sproeier slechts het percentage onverdampst doorgaande benzine vergroot, dus het verbruik vergroot maar niet of weinig het vermogen ten goede komt, terwijl bij vergroting van de buitensproeiers het mengsel normaal verrijkt wordt, hetgeen dus het vermogen ten goede zal komen.

Intusschen, vóór een nauwkeurige bepaling der uitstroombingskrommen voor verschillende sproeievormen en -openingen geschied is, is een afdoende verklaring van het bovenbesproken verschijnsel, dat te regelmatig optreedt, om aan meetfouten geweten te worden, niet te geven.

Het bleek, bij gebruik van de sproeiercombinatie van 1,14 mM. $\varnothing$ binnen- en 1,10 mM. diameter van de buitensproeiers, niet mogelijk, op den grond den motor door openen van de hoogtegaskleppen, over te belasten. Bij deze buitensproeiers treedt onmiddellijk bij openen van de hoogtegaskleppen, knallen van den motor op, waarbij deze sterk in toerental terugloopt.

Wil men dus den motor voor vliegen op geringe hoogte overbelastbaar maken door de hoogtegasinrichting te gebruiken, dan kan men, in het algemeen de bedrijfsresultaten beschouwende, de conclusie trekken, dat het gebruik van de sproeiercombinatie binnen 1,14, buiten 1,18 mM. $\varnothing$ alleszins aan te bevelen is. Welis-

waar is het vermogen bij gebruik der grootste beproefde sproeiers, n.l. binnen 1,25 mM. en buiten 1,20 mM., 4 - 8 P.K. hoger, dit gaat echter ten koste van een brandstofverbruik dat ongeveer 12 gram P.K. uur hoger ligt, hetgeen per uur een meerder verbruik van ongeveer 3,5 L. beduidt. Dit verlies is o. i. niet evenredig aan de gemaakte winst.

Op grond van de genomen proeven is dus voor vliegtuigen, welke zich niet op groote hoogte bewegen moeten, met groote mate van waarschijnlijkheid het gebruik van de tweede sproeiercombinatie, n.l. van binnensproeier $\varnothing$ 1,14 mM. en buitensproeiers $\varnothing$ 1,18 mM. aan te bevelen.

Intusschen moet de verhouding der benzinesproeiers voor het gebruik van den B. M. W. motor als hoogtemotor een andere zijn dan die, welke door remproeven bepaald werd. Welke de verhouding dezer sproeiers in dat geval zou moeten zijn, kan echter niet op de rem, doch slechts door inbouw van den motor in een vliegtuig of door remproeven in een hoogtelaboratorium bepaald worden.

Slechts kan in het algemeen gezegd worden, dat de buitenste sproeiers in dat geval kleiner zullen moeten zijn dan op de rem gevonden werd. Het is immers bekend, dat bij vergassers zonder een compensatie-inrichting voor hoogtevluchten op grootere hoogte het gasmengsel te rijk wordt.

Blijkt dus bij de bovenbeschreven sproeiercombinatie de motor op den grond overbelastbaar te zijn, d. w. z. met een op den grond juist mengsel te werken, dan volgt daaruit, dat dit mengsel op grootere hoogte te rijk zal worden. De eenige remedie hiertegen is, verkleining van de buitenste sproeiers, daar de middelste sproeier een juist mengsel ook op den grond moet geven en niet verkleind kan worden.

Bij de bespreking van dezen carburateur dient erop gewezen te worden, dat vaak fouten in de carburateurwerking schijnen voort te komen uit het feit, dat de pijpansluitingen aan den carburateur niet voldoende dicht zijn. Het is gebleken, dat de 3 aaneenverbonden inlaatpijpen, gebruikt bij den B. M. W. motor, zóó stijf zijn, dat het alleen met groote voorzorgen mogelijk is, de drie pijpansluitingen gelijktijdig dicht te krijgen, daar deze niet in één vlak liggen. Lekkage van lucht en dientengevolge verarming van het mengsel kan hierdoor voorkomen.

Het was bekend, dat er bij den B. M. W. motor een bepaalde zuinigste stand van de gaskleppen bestaat.

Hiervoor moet het normale gashandle zóóver teruggezet worden, dat de motor c. a. 1200 toeren/min. maakte, tegenover 1400 normaal. Vervolgens wordt hoogtegas gegeven, waarbij het toerental, al naarmate meer of minder hoogtegas gegeven wordt, weer iets oploopt. Met de sproeiercombinaties binnen 1,14, buiten 1,18 mM. $\varnothing$ en met binnen 1,18 en buiten 1,14 mM. $\varnothing$ werden deze „spaarstellingen” onderzocht. (Zie Tabel II).

TABEL II.

Resultaten der zuinigste afstelling.

Proef No.	Com- pressie verhou- ding.	Sproeiers.		Brand- stof.	Omwen- telin- gen/ minuut.	Ver- mogen P.K.	Verbr. Gram P.K./ uur.	Ther- misch rende- ment.
		Binnen.	Buiten.					
29	6.55:1	1.14	1.18	Benzine.	1167	147.25	163,4	37
28	6.55:1	1.18	1.14	Benzine.	1290	173.7	170,5	35,5

Eerstgenoemde combinatie gaf het beste resultaat. Bij ongeveer 1160 toeren was het vermogen 147 P.K., terwijl het verbruik daalde tot 163,4 gram P.K. uur, (thermisch rendement 37%) terwijl bij de tweede combinatie bij 1290 toeren het vermogen terugliep tot 173,7 P.K. en het verbruik daalde tot 170,5 gram/P.K. uur. (thermisch rendement 35,5 %)

Het blijkt dus mogelijk te zijn, door een bepaald hanteeren der gashandles, het verbruik aan brandstof per P.K./uur beduidend te verminderen.

Een verklaring voor dit feit is vermoedelijk als volgt te geven.

Vergelijken wij de gevallen, dat een toerental van b.v. 1200 omw./min. bereikt wordt, ten eerste met het normaal gashandle, ten tweede door de bovenbeschreven stand der gaskleppen.

In het eerste geval heerscht in den binnensproeier een hooge onderdruk; er gaat dus een rijk mengsel doorheen, terwijl door de buitensproeiers dit mengsel verarmd wordt, daar hierdoor een veel armer mengsel stroomt. Door de buitensproeiers gaat echter slechts een klein deel van het geheele laadgewicht. Het geheel geeft dus een mengsel van een bepaalden rijkdom.

In het tweede geval nu wordt de binnensproeier sterk geknepen, zoodat hier de luchtsnelheid verkleind wordt, terwijl de buitensproeiers verder openen en hier de luchtsnelheden toenemen. De luchtstroom wordt dus meer gelijkmatig over de drie sproeiers verdeeld en het is mogelijk, dat nu door alle drie sproeiers tezamen een armer mengsel zal stroomen dan in het eerste geval, waardoor de motor een geringer brandstofverbruik P.K. uur zal bereiken. Of deze verklaring de juiste is, kan eerst vastgesteld worden, wanneer het mogelijk zal zijn, nauwkeurig het gedrag der sproeiers bij iederen onderdruk in een carburateurbeproevinginstallatie te bepalen.

B. ONDERZOEK NAAR DEN INVLOED VAN DE KLEPPEN- STELLING.

Bij den aanvang van dit onderzoek was gebleken, dat de kleppenstellingen van den onderzochten Opel-B. M. W. motor sterke afwijking vertoonden van de waarden door Ingenieur O. Schwager, beschrijver van den B. M. W. motor (Zie: „Der Motorwagen” van 20 Augustus 1920) als normaal voor deze motoren opgegeven.

Schwager geeft de onderstaande waarden als normaal op:

TABEL III.

B. M. W. kleppenstelling volgens O. Schwager.

Inlaat	opent	6° vóór	B.D.P.
Inlaat	sluit	32° na	O.D.P.
Uitlaat	opent	45° vóór	O.D.P.
Uitlaat	sluit	12° na	B.D.P.

terwijl aan een origineele B. M. W. nokkenas werd opgemeten:

TABEL IV.

Opgemeten B. M. W.-kleppenstelling.

Inlaat	opent	1° vóór	B.D.P.
Inlaat	sluit	43° na	O.D.P.
Uitlaat	opent	55° vóór	O.D.P.
Uitlaat	sluit	22° na	B.D.P.

De in- en uitlaat, welke dus volgens opgave slechts gedurende 6° gezamenlijk geopend zijn, bleken bij de B. M. W.-nokkenas bij meting gedurende 23 graden gelijktijdig te openen.

Bij den Opel-B. M. W. bleken deze waarden echter nog veel sterker van de opgegeven waarden af te wijken. Het bleek n.l. dat de kleppenstellingen waren:

TABEL V.

Opgemeten Opel-B. M. W.-kleppenstelling.

Inlaat	opent	gemiddeld 18° vóór	B.D.P.
Inlaat	sluit	gemiddeld 65° na	O.D.P.
Uitlaat	opent	gemiddeld 55° vóór	O.D.P.
Uitlaat	sluit	gemiddeld 37° na	B.D.P.

zoodat dus hierbij de in- en uitlaatklep over een hoek van ongeveer 55° gelijktijdig openstaan. Deze waarden werden gemeten, door in kouden toestand den motor te tornen, terwijl een dun blaadje papier werd gestoken tusschen tuimelaar en klepsteel. Het moment nu, waarop dit blaadje vast ging zitten of losraakte, werd aangenomen als het moment van openen en sluiten van de klep. De hoek, waarover getornd was, werd dan afgelezen door middel van een op de as bevestigde gradenverdeling en een vastopgestelden wijzer. 1)

Zooals uit de voorgaande tabellen blijkt, bestaat er dus op vele punten een afwijking tusschen de kleppenstelling van den

1) Deze waarden werden gecontroleerd, door het moment te bepalen waarop de kleppen bij tornen op hun zitting gedraaid konden worden. Het bleek dat dit gemiddeld 4° eerder geschiedde dan het losraken van het papier bij de bovengenoemde metingen. De nauwkeurigheid van meting bedroeg in beide gevallen 1 à 2°.

Opel-B. M. W.-motor en die van den origineelen B. M. W.-motor. Teneinde den invloed na te gaan, welke deze verschillende kleppenstelling op vermogen en verbruik van den motor kon hebben, werden proeven genomen, waarbij afwisselend de Opel-B. M. W.-nokkenas en de origineele B. M. W.-nokkenas op den Opel-B. M. W.-motor gemonteerd werden.

Uit de proefnemingen met de B. M. W.-nokkenas bleek (zie proef 19, 7, 13 en 14), dat het brandstofverbruik bij gebruik van deze as een toename onderging. Bij de verschillende sproeiercombinaties bedroeg het verschil gemiddeld 9%. Echter ook het vermogen onderging in alle gevallen een toename, welke ongeveer 4 % bedroeg.

Daar het niet mogelijk is door indiceeren van de verschijnselen in den motorcylinder en vooral van die gedurende uitlaat en aanzuigslag, een inzicht te krijgen, moest op andere wijze getracht worden, een verklaring voor het bovenbeschreven verschil in werking te geven. Het verschil tusschen de beide nokkenassen bestaat zoowel voor de inlaat- als voor de uitlaatklep.

Teneinde nu den invloed van een veranderde uitlaatkleppenstelling te scheiden van dien van de inlaat, werd het volgende procédé toegepast. Er werden eenige proefnemingen gedaan, waarbij de afstand tusschen tuimelaar en klepsteel van de inlaatkleppen, welke volgens voorschrift 0,3 mm. moet bedragen, vergroot werd tot 4 mm. De gevolgen van deze verstelling op het openen en sluiten van deze klep blijken uit het klephefdiagram. (afbeelding 2^a).

Bij deze kleppenstelling opent de inlaat ongeveer 18° na B. D. P. en sluit 30° na O. D. P., hetgeen dus een sterke overeenkomst vertoont met de opgave van de B. M. W.-motoren.

Het bleek nu, zooals beschouwing van het overzicht zal toonen, dat hierbij het vermogen tegenover dat bij dezelfde sproeiers en Opel-kleppenstelling 2 à 3,5 P.K. toenam, terwijl het verbruik constant bleef of eenige (3 à 4) grammen /P.K./uur toenam.

Daar dus bij deze veranderde kleppenstelling tegenover de normale het verbruik niet toenam of althans in veel geringere mate dan bij de B. M. W.-nokkenas het geval was, moest aangenomen worden, dat deze sterke toename van het verbruik bij deze nokkenas voor een belangrijk deel veroorzaakt was geworden door de afwijking van de *uitlaat*kleppenstelling, daar immers deze bij de tweede reeks proeven onveranderd was gelaten. Om dit aan een nader onderzoek te onderwerpen, werd een proefneming gedaan, waarbij de inlaatkleppenstelling van de Opel-B. M. W. onveranderd was gelaten, echter de uitlaatkleppenstelling veranderd werd. Hiertoe werd de afstand tusschen klepstooter en klepsteel voor de uitlaatklep gebracht op 2 mm.. Zooals ook uit het klephefdiagram (zie afbeelding 2^b) blijkt, opende nu de uitlaat 31° vóór O. D. P., terwijl deze 14° na B. D. P. sloot. Deze proef, No. 87, werd uitgevoerd met binnen- en buitensproeiers gelijk en wel $\varnothing = 1,14$ mm. Het resultaat was nu, dat het verbruik, dat bij normale Opel-kleppenstelling bij 1400, 1300 en 1200 omw./min.

respectievelijk bedroeg ongeveer 181, $\pm$ 180 en $\pm$ 176 gram/-P.K. uur, bij deze sproeiers bij den veranderden uitlaat een zeer sterke stijging vertoonde en bedroeg:

bij 1400 omw./min.	ongeveer	196 gram	P.K. uur.
bij 1300 " "		197 "	
bij 1200 " "	i,	200 "	

Het vermogen bleef vrijwel constant in vergelijking met de normale kleppenstelling.

De conclusie is dus met vrij groote zekerheid uit deze proeven te trekken, dat, terwijl de stijging van het vermogen bij gebruik van de B. M. W.-nokkenas te danken is aan de verandering van de inlaatkleppenstelling, de verandering van de uitlaatkleppenstelling daarentegen de sterke stijging van het verbruik heeft veroorzaakt.

Een mogelijke verklaring dezer verschijnselen, hoewel steeds hypothetisch blijvend, zoelang geen goede indicator bestaat, is de onderstaande:

Het openhouden van de inlaatklep, na het passeeren van het O. D. P., geschiedt wegens de inertie der gassen, teneinde dus hiervan gebruik makend, een zoo goed mogelijke vulling van den cylinder te verkrijgen. Het toestroomen der gassen immers, na het passeeren van het O. D. P., wordt niet meer veroorzaakt door een onderdruk in den cylinder tengevolge van de uitgaande zuigerbeweging, maar berust op de inertie der gaskolom, welke nu door de inwaartsche beweging van den zuiger in steeds stijgende mate tegengewerkt wordt. Er zal dus een moment komen, waarop de uitdrijvende werking van den zuiger de inertie van het gas overtreft.

In verband hiermede geeft R. Devillers in zijn boek „Le moteur à explosions” voor snelloopende vliegtuigmotoren als maximum hoek, welke de inlaatklep na O. D. P., mag sluiten bij de grootste snelheden, 55° na O. D. P. aan, terwijl Judge 1) hiervoor 50° en Löffler-Riedler 2) in verband met hetzelfde slechts 45° wil toestaan.

Waar bij den Opel-B. M. W. motor de inlaat eerst 65° na O. D. P. blijkt te sluiten, bestaat de mogelijkheid, dat dit te laat is, dat dus aan het einde van de inlaatperiode een klein deel van de lading den cylinder weer verlaat, zoodat de explosie met een kleiner laadgewicht plaats heeft en dus de gemiddelde effectieve druk lager wordt.

Het is mogelijk, dat bij de proefneming met vergrooten afstand tusschen klepstooter en klepsteele de sluiting van den inlaat nu iets te vroeg geschiedde, hetgeen verklaren zou, waarom in dit geval de stijging van het vermogen minder bedroeg dan bij de origineele B. M. W.-nokkenas.

Wat de sterke stijging van het verbruik, tengevolge van vroegde sluiting van den uitlaat betreft, zoo is hiervoor een moge-

1) A. W. Judge. High speed internal combustion engines.

2) Löffler—Riedler. Ölmaschinen.

lijke verklaring misschien, dat hierdoor de verwijdering van de gasresten minder goed tot stand kon komen, zoodat dientengevolge het gasmengsel in den cylinder sterker met afgewerkte gassen werd vermengd, tengevolge waarvan het rendement van het proces slechter wordt door langzamer verbranding enz.

Dat hierbij toch het vermogen niet verlaagd werd, behoeft geen verwondering te baren. Immers de vulling van den cylinder behoeft niet slechter geworden te zijn, daar deze bij overgecomprimeerde motoren in de allereerste plaats afhangt van den weerstand van het aanzuigbuissysteem en niet van den toestand in den cylinder, daar immers de vulling toch slechts ongeveer 70 % bedraagt.

De voorloopige conclusies, uit deze proeven te trekken, zijn dus deze:

- 1e. de nasluiting van de inlaatklep heeft invloed op het vermogen van den motor. Voor iederen motor is afzonderlijk te bepalen, hoeveel graden nasluiting gegeven moet worden, in verband met carburateur en aanzuigbuissysteem en toerental.
- 2e. de uitlaat mag niet te vroeg sluiten, daar hierdoor de volledige verwijdering van de gasresten verhinderd wordt, hetgeen het brandstofverbruik doet stijgen.

C. ONDERZOEK NAAR DEN INVLOED DER COMPRESSIE-VERHOUDING.

Na het beëindigen der proefnemingen bij de compressieverhouding van $s = 6,55$ werd een onderzoek ingesteld naar de eigenschappen van den B. M. W.-motor bij lagere compressieverhoudingen. Terwijl het gebruik van overgecomprimeerde motoren voor oorlogsvliegtuigen noodzakelijk is, teneinde tot op groote hoogte met vol vermogen, althans met een groot deel van het vermogen te kunnen vliegen, hebben deze voor civiel gebruik veel minder nut en kan men volstaan met een motor met normale compressie. Dit klemmt des te meer, daar men dan de moeilijkheden, voortspruitende uit de te hooge compressie (kloppen van den motor, bougiestoringen, enz.) kan ontgaan. Er werd dus onderzocht, in hoever bij verlaagde compressie de B. M. W.-motor nog zijn goede eigenschappen behield, die hem bij de hooge compressie kenmerken.

Hiertoe werden proefnemingen gedaan met een compressieverhouding, verlaagd respectievelijk tot $6,15 : 1$, $5,96 : 1$ en $5,61 : 1$. Teneinde dit te bereiken, werden voor het eerste geval ringen van 3 mM. onder de cylinders gelegd, in het tweede geval werden zuigers gebruikt, welke 4 mM. lager dan de normale zijn, terwijl in het laatste geval zoowel de ringen onder de cylinders als de verlaagde zuigers gebruikt werden, waardoor dus de compressieruimte in totaal met 7 mM. verhoogd werd.

De resultaten van deze proefnemingen zijn, in tabellen vereenigd, in dit verslag opgenomen. Daaruit blijkt het volgende : Variatie

van de sproeierafmetingen heeft denzelfden invloed op het vermogen en het verbruik, als dit bij de hooge compressieverhouding het geval is en behoeft dus niet nader besproken te worden.

Verlaging der compressieverhouding heeft tot gevolg, dat zooals verwacht kon worden, het vermogen afneemt bij een toename van het verbruik per P.K. uur.

Beschouwen wij, ter vergelijking, de resultaten met dezelfde sproeiercombinatie (b.v. binnen 1,18, buiten 1,14 mM. ϕ) bij de vier verschillende compressieverhoudingen, dan zien wij een gestadige toename van het brandstofverbruik, dus een afname van het thermisch rendement bij verlaging der compressieverhouding.

Het verbruik in gram P.K. uur bij de verschillende compressieverhoudingen en bij toerentallen van 1400, 1300 en 1200 blijkt uit tabel VI.

TABEL VI.

Vergelijking der compressieverhoudingen.

ϵ	6.55	6.15	5.96	5.61
1400 omw./min.	184.3	190	200	206.5
1300 omw./min.	183.8	187.4	195.3	201
1200 omw./min.	174	188	192.5	199.5

Het verschil in het verbruik blijkt grooter te zijn dan men zou verwachten uit de afname van de compressieverhouding.

Vergelijkt men de resultaten van de hoogste met die bij de laagste compressieverhouding, zoo zien wij, dat het verbruik bijna steeds met meer dan 10 % (tot 13 % toe) toeneemt en dus het thermisch rendement in diezelfde mate afneemt. Beschouwen wij daartegenover het theoretisch thermisch nuttig effect, dan is dit van den vorm:

$$\eta = 1 - \left(\frac{1}{\epsilon} \right)^c.$$

Volgens de onderzoekingen, welke in den laatsten tijd door Ricardo, Tizard, Pye en anderen gedaan zijn en welke gepubliceerd zijn in „Engineering” van September en October 1920, benevens in „Aeronautics”, van December 1920 en Januari 1921, varieert de factor c tusschen 0,258 en 0,3, afhankelijk van den rijkdom van het mengsel.

Rekent men deze formule uit voor een compressieverhouding van 6,55 en 5,61, de twee uiterst gebruikte waarden, dan blijkt het theoretisch rendement in beide gevallen (zoowel voor $c = 0,258$ als voor $c = 0,3$) af te nemen met 6,5 % (n.l. resp. van 38,4 tot 35,9 en van 43,1 tot 40,4 %).

Het blijkt dus, dat bij verlaging van de compressieverhouding de afname van het nuttig effect grooter is dan in overeenstemming zou zijn met de beide compressieverhoudingen, waaruit dus zou volgen, dat bij verlaging van de compressie de verliezen door andere

oorzaken dan de compressie eveneens toenemen. Hierover zal echter eerst een nauwkeurig onderzoek van de warmtebalans uitsluitsel kunnen geven, waarvoor tot nu toe de zeer uitvoerige proeven niet uitgevoerd konden worden.

Intusschen blijken deze resultaten volkomen overeen te komen met die, welke Tizard en Pye bereikt hebben (zie „Engineering”, 3 September 1920, p. 325), waarbij eveneens bij verhooging van de compressie het rendement onevenredig sterk steeg.

Judge (zie: High speed internal combustion engines, page 134) verklaart dit feit hierdoor, dat de totaal blootgestelde wandoppervlakte gedurende verbranding bij hogere compressie kleiner is en hierdoor, ondanks de hogere eindtemperatuur, de wandverliezen eveneens geringer zijn, terwijl tevens door de snellere verbranding bij hogere compressie de explosietijd korter is, hetgeen eveneens den duur van de warmteverliezen verkort.

Het bedrijf bij de compressieverhouding van 6,55 : 1 met benzine leverde als resultaat op, dat zeer vele bougiestoringen voorkwamen. Het bleek bijna niet mogelijk, gedurende eenigen tijd den motor in bedrijf te houden, zonder dat één of meer bougies storingen vertoonden. Wel scheen het, of bij grootere sproeiers, dus wanneer de motor met een kleiner luchtoverschot werkte, de bougiestoringen minder optraden dan bij kleinere.

Dit verschijnsel kon echter nog niet voldoende onderzocht worden.

Het bleek, dat reeds bij de compressieverhouding van 6,15 : 1, de bougiestoringen verminderden en bij $\epsilon = 5,96 : 1$, echter alleen bij het gebruik van de beste soorten bougies, geheel ophielden. Dat bij de hogere compressie de bougiestoringen in veel ernstiger mate optreden dan bij lagere, moet hoofdzakelijk verklaard worden uit het feit, dat vrijwel alle bougiesoorten bij hooger druk niet gasdicht blijken te zijn. Hierdoor wordt de bougie overmatig verhit met alle gevolgen daarvan.

Als resultaat van de beproeving van vele gangbare soorten bougies bleek, dat de gasdichtheid van die met mica-isolatie beter is dan die van bougies met porselein-isolatie. Het bleek dan ook, dat de mica-bougies in het bedrijf minder aanleiding tot storingen gaven, waarbij echter in aanmerking genomen moet worden, dat mica eerder aanleiding geeft tot afzetting van kooldeeltjes bij een te rijk gasmengsel en daardoor tot overslaan. Het schijnt, dat dit euvel voorkomen kan worden door tusschenschakeling van een tweede elektrodenpaar in serie. Dit verschijnsel zal nog nader worden onderzocht.

Bovengenoemde resultaten komen overeen met de resultaten van onderzoekingen van het Amerikaansche National Advisory Committee for Aeronautics (zie N. A. C. A. Reports 51—54, 1919).

Uit deze proeven kan dus de conclusie getrokken worden, dat voor het gebruik van den B. M. W.-motor op geringe hoogte een verlaging van de compressieverhouding tot ongeveer 6,15 aanbeveling verdient, wanneer men bougiestoringen zooveel mogelijk wil beperken, dat een verdere verlaging van de compressiever-

houding, b.v. tot 5,96 aanbeveling kan verdienen, om een volkomen bedrijfszekeren motor te verkrijgen, maar dat men alleen ten koste van een grooter verbruik de compressieverhouding nog meer kan verlagen. Dit staat echter in nauw verband met de gebruikte brandstof, waarover in het onderstaande een nadere bespreking volgt.

D. ONDERZOEK DER VERSCHILLENDE BRANDSTOFFEN.

Tenslotte werden een onderzoek ingesteld naar de brandstoffen, welke voor gebruik in den B. M. W.-motor in aanmerking zouden komen, daar het bekend is, dat bij het gebruik van benzol een veel hogere compressie toegelaten kan worden dan bij het gebruik van benzine.

Alle onder C vermelde proeven werden gedaan met benzine (Aéroline) met een S. G. van 0.725 en met benzol (90 % handelsbenzol) met een S. G. van 0.875. Bij de eerste reeks benzol-proeven en een compressieverhouding van 6,55 : 1 bleek, dat de motor veel soepeler op benzol liep dan op benzine, terwijl ook met vrij groote zekerheid te zeggen valt, dat bougiestoringen in veel mindere mate optraden, hoewel ook hiervoor weer de bovengemaakte opmerking geldt, dat absolute zekerheid hiervoor niet bestaat, daar dit te zeer afhankelijk is van de soort der gebruikte bougies.

Vergelijken wij de bedrijfsresultaten van dezelfde sproeiers bij het gebruik van benzine en benzol, dan zien wij in de meeste gevallen een geringen vooruitgang van het vermogen, in de andere een constant-blijven hiervan, terwijl het verbruik, in gewichtseenheden, in alle gevallen met eenige grammen toeneemt. Bij de sproeiercombinatie binnen 1.22 en buiten 1.18 is deze toename het grootst en wel ongeveer 8,4 % in gewichtseenheden.

Rekenen wij echter het verbruik om in warmte-eenheden per P.K./uur, zoo blijkt dit onderscheid ten gunste van benzol uit te vallen.

Stellen wij de warmtewaarde van benzine op 10450 en van benzol op 9460 Cal./K.G., (hetgeen de gemiddelden zijn van de waarden in de literatuur opgegeven), dan blijkt de warmtewaarde voor benzine ongeveer $10\frac{1}{2}$ % grooter te zijn dan die van benzol.

Uit tabel VII is af te lezen het gebruik in Calorieën per P.K./uur bij gebruik van benzine en benzol, benevens het thermisch rendement in die gevallen.

TABEL VII.
Vergelijking van het thermisch rendement bij het gebruik van Benzine en Benzol

Brandstof.	Benzine.	Benzol.	Benzine.	Benzol.	Toename in procenten.
Omw./min.	Verbruik Cal./P.K./uur.	Verbruik Cal./P.K./uur.	Thermisch rendement.	Thermisch rendement.	
1400	2010	1985	31.4	31.8	1.26
1300	1990	1940	31.75	32.55	2.5
1200	1950	1920	32.4	32.9	1.6

In alle andere door ons onderzochte gevallen, waar de toename in verbruikt gewicht van benzol ten opzichte van benzine steeds minder bleek te bedragen, was deze verhouding voor benzol dus nog gunstiger.

Hetgeen over het gebruik van benzol gezegd is voor de hoogste compressieverhouding, geldt niet geheel voor de lagere compressieverhouding. Over het algemeen zien wij hier een, zij het ook geringen achteruitgang (tot ongeveer 5 P.K.) van het vermogen, terwijl het verbruik in bijna alle gevallen zóó sterk toeneemt, dat het thermisch nuttig effect lager wordt dan bij gebruik van benzine. Vergelijken wij b.v. de proeven 32 en 35 met Nos. 33 en 34, alle met sproeiers 1,22 mM. binnen, 1,18 mM. buiten, waarvan de beide eerste met benzine, de andere met benzol gedaan werden. We zien dan een achteruitgang van het vermogen met gemidd. 4,5 P.K.. Het verbruik echter neemt toe respectievelijk bij 1400, 1300 en 1200 omw./min. van 193,5 tot 218,3, van 189,2 tot 215,9 en van 187,3 tot 212,3 gram/P.K./uur. Als basis nemende de warmtewaarden van 10450 en 9460 voor benzine en benzol (zie boven) vinden wij achtereenvolgens bij 1400, 1300 en 1200 toeren voor benzine een thermisch rendement van 31,3, 31,9 en 32,25 %, terwijl voor benzol deze waarden bedroegen 30,5, 31 en 31,4 %. Een verklaring hiervoor is waarschijnlijk door het volgende te geven:

Benzol, gekenmerkt door zijn ringvormige binding der C-atomen wordt veel moeilijker tot explosie gebracht dan de open keten van de benzine. Benzol heeft een hogere compressie nodig, om de voor een volledige explosie noodzakelijke ontleding te verkrijgen dan benzine, die reeds bij een zeer lage compressie en verwarming ontleedt. Geschiedt de ontleding niet of in mindere mate, dan is de verbranding in de beschikbare zeer korte tijd minder volledig. Uit de proeven zou dus nu volgen, dat deze minimum compressieverhouding voor benzol bij ongeveer 6 : 1 ligt, zoodat bij lagere compressieverhoudingen de verbranding minder volledig wordt, dus het rendement slechter. Deze resultaten zijn geheel in overeenstemming met hetgeen uit proefnemingen van Löffler en Riedler gebleken was, welke onderzoekers eveneens een dergelijke minimum-compressiespanning voor gunstigste verbranding vonden. (Zie hun „Ölmaschinen”).

Het is echter niet mogelijk, de gewone 90 % handelsbenzol te gebruiken als motorenbrandstof, althans niet in den winter en voor vliegen op grootere hoogte, daar het stolpunt van benzol slechts weinig onder 0 graden C. ligt (voor de bij deze proeven gebruikte benzol lag het stolpunt bij -5 graden C.).

Ten einde aan de strengste eischen te kunnen voldoen, moet echter het stolpunt van de brandstof bij omstreeks -30° C. of nog lager liggen. Besloten werd daarom te onderzoeken, in hoeverre mengsels van benzine en benzol met een laag vriespunt de goede eigenschappen van benzol in den B. M. W. -motor vertoonden.

Bij onderzoek van de vriespunten van verschillende benzine- en benzol-mengsels werden de volgende waarden gevonden (zie tabel VIII).

TABEL VIII.

Eigenschappen van benzine-benzol mengsels.

Mengsel No.	Benzine.	Benzol.	S.G. v/h. mengsel.	Vriespunt.	Berekende warmtewaarde per KG.
1	100 %	0 %	0.725	onder -33°	10450
2	80	20	0.756	onder -33°	10252
3	70	30	0.771	Bij -33° nog geen stollen	10153
4	60	40	0.787	-33°	10054
5	50	50	0.802	-29°	9955
6	40	60	0.818	-28°	9856
7	30	70	0.834	-20°	9757
8	20	80	0.849	-15°	9658
9	0	100	0.880	-5°	9460

Het bleek hieruit dus reeds direct, dat mengsels meer dan 60 % benzol bevattende, te vroeg stollen, dus niet in aanmerking komen voor vluchten bij lage temperatuur. Een onderzoek toonde aan, dat de mengsels zeer homogeen waren en dit, ook na een rust van eenige weken, bleven. Het bewijs hiervoor werd geleverd, door na afloop van de rustperiode uit verschillende lagen van een mengsel van 60 % benzol en 40 % benzine monsters te nemen en hiervoor opnieuw de destillatiekromme te bepalen, welke volledig met die van het oorspronkelijke mengsel overeenkwam.

Zooals ook uit het overzicht aan het einde van dit rapport blijkt, werden al deze proeven genomen met dezelfde sproeiers en wel met een binnensproeier van 1.22 mM. ϕ en buitensproeiers van 1.18 mM. ϕ

TABEL IX.

Resultaten der proeven met benzine-benzol mengsels.

Mengsel.	1400 omwentel.		1300 omwentel.		1200 omwentel.	
	P.K.	Verbr. Gr./P.K./u.	P.K.	Verbr. Gr./P.K./u.	P.K.	Verbr. Gr./P.K./u.
1	200	192	189.5	190.5	181.6	186.3
2	199.2	197	192.2	191	183.5	186.8
3	198.3	200.5	191.9	195	180.7	191.1
4	196.6	203.2	189.3	196.2	180	192
5	201.9	195.6	191.8	191.1	180.5	191.3
6	200.5	196.3	192.5	195.1	179.8	193.6
7	200.6	198.5	188.5	198.8	179.4	194.6
8	199.2	203	190.2	199	178.8	196
9	199	209.5	189.4	204.6	180.3	202.5

Uit tabel IX blijkt duidelijk, dat in den aanvang bij toevoeging van benzol aan de benzine, het vermogen langzaam daalt en het verbruik toeneemt.

Daarna, bij mengsels van ongeveer 50 % benzine en 50 % benzol, treedt plotseling een verbetering op. Het vermogen stijgt tot het vermogen, bereikbaar met zuivere benzine, terwijl het verbruik weer afneemt tot slechts enkele grammen boven dat van benzine. Daarna, bij nog verdere toevoeging van benzol, neemt het vermogen weer regelmatig zeer langzaam af, terwijl het verbruik vrij sterk stijgt.

Het thermisch rendement blijkt bij de verhouding van 50 % benzine en 50 % benzol zeer gunstig te worden.

Uit tabel X blijkt het verbruik in calorieën en het thermisch rendement van de verbranding van zuivere benzine en van het mengsel met 50 % benzol.

TABEL X.

Vergelijking tusschen het thermisch rendement bij gebruik van benzine en een benzine-benzol mengsel.

Brandstof.	1400 omw./min.		1300 omw./min.		1200 omw./min.	
	Cal. PK. uur.	Therm. rende- ment.	Cal. PK./ uur.	Therm. rende- ment.	Cal. PK./ uur.	Therm. rende- ment.
100 % benzine	2005	31.4 %	1990	31.7 %	1950	32.4 %
50 % benzol + 50 % benzine	1950	32.4 %	1910	33.05 %	1905	33.15 %

Duidelijk is dus een vooruitgang van het thermisch rendement waar te nemen bij gebruik van het mengsel van 50 % benzol en 50 % benzine.

Reeds om deze reden, de toename van het thermisch rendement, is dus het gebruik van dit mengsel te verkiezen boven het gebruik van zuivere benzine.

Maar ook op theoretische gronden verdient het ten eerste aanbeveling, in hooggecomprimeerde motoren de brandstof met benzol te vermengen. Dit vindt zijn oorzaak in onderstaande eigenschappen der brandstoffen.

Voor iedere brandstof bestaat een bepaalde begrenzendende compressieverhouding, waarbij de motor begint te „kloppen”, een compressieverhouding dus, waarbij vroegtijdige zelfontsteking optreedt, doordat het mengsel explosief in plaats van langzaam verbrandt.

Het is nu o. a. door uitvoerige proefnemingen van Ricardo, Tizard en Pye ¹⁾ gebleken, dat sommige brandstoffen een hogere compressie toelaten dan andere, zonder tot kloppen aanleiding te geven. Bij deze proefnemingen is het gelukt, voor de meeste brandstoffen dit vermogen om hogere of lagere compressie toe te laten uit te drukken in een waardegetal. Daartoe werd voor iedere brandstof nagegaan, hoeveel de maximum compressie-

¹⁾ Zie o.a. „Aeronautics”, December 1920 en Januari 1921 en „The Automobile Engineer”, Februari tot en met Juni 1921.

verhouding van een motor verhoogd kon worden door toevoeging van die brandstof aan zuivere benzine, zonder dat kloppen optrad. De maximum compressieverhouding voor de lichtste soort benzine bedraagt 4.85 : 1, toevoeging van benzol, toluol e. a. doet dit getal stijgen. Daar toluol dit vermogen in de sterkste mate bezit van alle aromatische brandstoffen, werd een tabel opgesteld, waarbij aan toluol de waarde 100 werd toegekend. Al naarmate een brandstof nu, bij toevoeging van benzine in meer of mindere mate de maximum compressieverhouding verhoogt, werd deze brandstof een ander waardecijfer toegekend, waarvan tabel XI een overzicht geeft.

TABEL XI.

Toluolwaarden.

Toluol	+ 100
Benzol	+ 66
Xylol	+ 83
Ethylalcohol	+ 166
Aceton	+ 74
Cyclohexaan	+ 30
Ether	— 60

In hoeverre de toluolwaarde van een brandstof de compressieverhouding beïnvloedt, blijkt uit onderstaande tabel.

TABEL XII.

Verband tusschen toluolwaarde en max. compressieverhouding.

Toluolwaarde.	Maximumcompressieverhouding.
0	4.85
10	5.20
20	5.57
30	5.94
40	6.32
50	6.67
60	7.05

Waar dus bij gebruik van benzine in den hooggecomprimeerden B. M. W. motor een neiging tot zelfontsteking bestaat, verdient het op grond van het bovenstaande ten zeerste aanbeveling, dit gevaar te ontgaan, door, althans bij de hoogste compressie, een zeker percentage benzol toe te voegen.

E. OVERZICHT DER MEETFOUTEN.

De installatie der proefnemingen en de wijze van experimenteren konden aanleiding geven tot het optreden van fouten in de resultaten. De conclusies uit de proefnemingen zijn daarom zooveel doenlijk alleen opgesteld, wanneer optredende verschillen in vermogen en verbruik niet aan meetfouten konden geweten worden. Hieronder volgt een overzicht der fouten, die op konden treden.

In de opgegeven toerentallen kan een onjuistheid voorkomen. Het aantal omwentelingen werd n.l. afwisselend met verschillende toerentellers gemeten.

De fout, welke dientengevolge in de resultaten kan optreden, bedraagt maximaal $1\frac{1}{2}$ pCt.

Bij de aflezing van het koppel konden eveneens fouten gemaakt worden, doordat de wijzer van de schaal niet steeds constant stond en hier dus een gemiddelde waarde moest worden afgelezen. De fout uit dezen hoofde gemaakt, kon bij eenigszins sterke schommeling van 0.2 tot hoogstens 0.5 K.G. bedragen, hetgeen bij circa 1400 omwentelingen per minuut een fout in de gevonden resultaten kan geven van hoogstens $\frac{1}{2}$ % of ongeveer 1 P.K.

Tenslotte kan bij het aflezen van het benzineverbruik een fout gemaakt zijn, welke maximaal kan geschat worden op $\frac{1}{10}$ sec. bij het passeeren van de bovenste en $\frac{1}{10}$ sec. bij het passeeren van de onderste streep. In het uiterste geval kan dus deze fout op $\frac{1}{5}$ sec. geschat worden of op ongeveer 0.3 % in het benzineverbruik (ongeveer 0.5 gram/P.K./uur).

De temperatuur van het koelwater werd zoo constant mogelijk gehouden en wel op 70° C. inlaat en 76° C. uitlaat. De variatie gedurende de verschillende proeven bedroeg niet meer dan ongeveer 5° C., zoodat fouten uit dezen hoofde niet in rekening gebracht behoeven te worden.

CONCLUSIES.

De conclusies, uit deze proefnemingen te trekken, zijn:

1. De diameter van de binnen-, zoowel als van de buitensproeiers van den B. M. W. motor kan binnen bepaalde, tamelijk ver uiteenliggende grenzen gevarieerd worden, zonder dat de motor onregelmatiger gaat loopen. Vergrooing van de sproeiers boven een bepaalde grens echter doet het gasmengsel te rijk worden en veroorzaakt diensgevolge toename van het brandstofverbruik. Binnen bepaalde grenzen hangt het vermogen sterker af van den diameter der buitensproeiers, het verbruik daarentegen van den binnensproeier.

Voor vliegen op geringe hoogte kan het gebruik van een binnensproeier van een diameter = 1.14 mM. en buitensproeiers van een diameter = 1.18 mM. aanbevolen worden. Voor vliegen op grootere hoogte, dus bij het gebruik van de hoogtegaskleppen, moet de buitensproeier verkleind worden.

2. Het aantal graden van den krukhoek, die de inlaatklep na Doode Punt geopend moet blijven, hangt af van de constructie van het aanzuigstelsel. Bij den B. M. W. motor mag de sluiting niet na ongeveer 50° na D. P. plaats hebben. Gebeurt dit toch, zooals bij den Opel-B. M. W. motor, dan heeft dit een geringer vermogen ten gevolge.

Het te vroeg sluiten van de uitlaatklep blijkt een stijging van het verbruik tengevolge te hebben. Vervroeging van de uitlaatsluiting van 32° na D. P. tot 14° na D. P. had toename van het verbruik met ongeveer 10 % tengevolge.

3. Bij verlaagde compressieverhouding heeft de sproeiergrootte bij den B. M. W.-motor denzelfden invloed op vermogen en verbruik als bij de hoogste compressieverhouding. Bij verlaging van de compressieverhouding is de afname van het rendement beduidend (50 tot 100 %) grooter dan uit de theoretische formule zou volgen.

Bij de compressieverhouding van 5.96 : 1 en bij gebruik van de beste bougies, houden de bougiestoringen, welke bij de compressieverhouding van 6.55 : 1 in zeer sterke mate optreden, op. Het heeft dus geen doel, de compressieverhouding nog verder te verlagen, daar dit slechts achteruitgang van het vermogen en toename van het verbruik veroorzaakt.

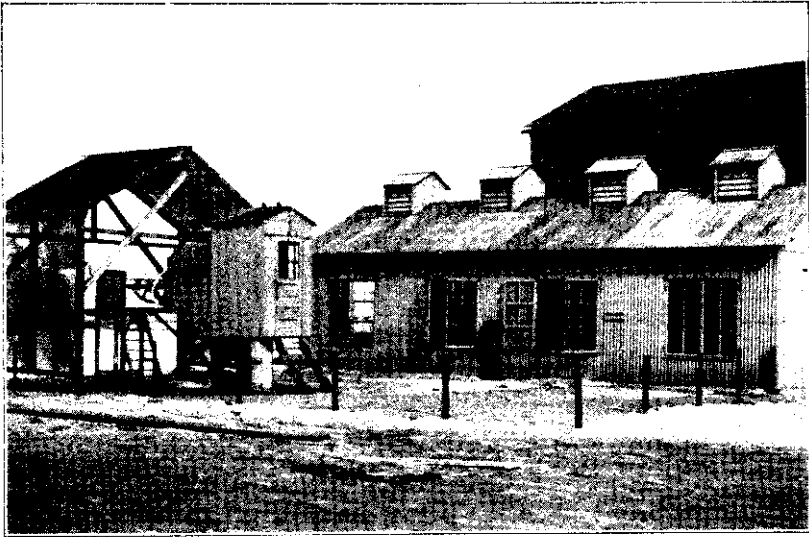
4. Het gebruik van mengsels van benzine en benzol in den B. M. W.-motor verdient ten zeerste aanbeveling. Bij gebruik van zuivere benzol is het rendement gunstiger dan bij gebruik van benzine, echter ligt het stolpunt van benzol te hoog, om dit onvermengd te gebruiken.

Gebruik van een mengsel van 50 % benzol en 50 % benzine verdient ten zeerste aanbeveling. Zonder gevaar voor bougiestoringen of „kloppen” kan hierbij de hoogste compressieverhouding gebruikt worden, terwijl het rendement gunstiger is dan bij gebruik van zuivere benzine en zelfs ook nog gunstiger dan voor zuivere benzol.

OVERZICHT DER RESULTATEN DER BESPROKEN PROEFNEMINGEN.

T A B E L XIII.

PROEFNUMMER.	COMPRESSIE- VERHOUDING.	SPROEIERS.		BRANDSTOF.	1400 omw./minuut.			1300 omw./minuut.			1200 omw./minuut.			OPMERKINGEN.
		Binnen. mM. o	Buiten. mM. o		Vermogen. P.K.	Verbruik gr./P.K. uur.	Therm. rendement.	Vermogen. P.K.	Verbruik gr./P.K. uur.	Therm. rendement.	Vermogen. P.K.	Verbruik G.R./P.K. uur.	Therm. rendement.	
16a	6.55 : 1	1.14	1.10	Aéroline, SG = 0,725	192.6	179.0	33.75	181.0	179.0	33.75	168.6	178.0	33.90	Opel BMW nokkenas.
2 en 26	"	1.14	1.18	" "	196.7	183.4	32.95	187.1	180.1	33.50	179.8	173.8	34.75	" " "
23 en 28	"	1.18	1.14	" "	193.5	184.3	32.80	182.1	183.8	32.90	171.3	174.0	34.70	" " "
25	"	1.20	1.14	" "				182.8	186.7	32.40	173.1	185.8	32.50	" " "
40	"	1.22	1.18	" "	200.0	192.0	31.50	189.5	190.5	31.70	181.6	186.3	32.45	" " "
11 en 7a	"	1.25	1.20	" "	204.9	195.0	31.00	195.3	192.5	31.40	182.3	190.0	31.80	" " "
16b	"	1.14	1.10	Benzol, SG = 0,860	191.0	185.5	36.00	182.8	192.5	34.70	170.6	194.5	34.40	" " "
20	"	1.18	1.14	" "	198.5	196.5	34.00	186.2	187.8	35.60	174.0	187.6	35.62	" " "
50	"	1.22	1.18	" "	199.0	209.5	31.90	189.4	204.6	32.70	180.3	202.5	33.00	" " "
41	"	1.22	1.18	20 % Benzol + 80 % Benzine	199.2	197.0	31.30	192.2	191.0	32.30	183.5	186.8	33.00	" " "
42	"	1.22	1.18	30 % + 70 %	198.3	200.5	31.00	191.9	195.0	31.90	180.7	191.1	32.50	" " "
43	"	1.22	1.18	40 % + 60 %	196.6	203.2	30.95	189.3	196.2	32.05	180.0	192.0	32.75	" " "
44	"	1.22	1.18	50 % + 50 %	201.9	195.6	32.50	191.8	191.1	33.25	180.5	191.3	33.20	" " "
46	"	1.22	1.18	60 % + 40 %	200.5	196.3	32.70	192.5	195.1	32.90	179.8	193.6	33.20	" " "
47	"	1.22	1.18	70 % + 30 %	200.6	198.5	32.65	188.5	198.8	32.60	179.4	194.6	33.30	" " "
48	"	1.22	1.18	80 % + 20 %	199.2	203.0	32.25	190.2	199.0	32.90	178.8	196.0	33.40	" " "
19	"	1.18	1.14	Benzine, SG = 0,725	202.8	206.3	29.30	192.1	197.0	30.70	180.4	192.0	31.50	Orig. " "
7	"	1.20	1.12	" "	208.8	204.2	29.60	190.2			179.5	194.2	31.10	" " "
13 en 14	"	1.25	1.20	" "	211.3	210.5	28.70	195.0	211.0	28.60	180.9	206.0	29.30	" " "
30a	"	1.22	1.18	" "	201.8	195.0	30.95	193.1	189.9	31.80	183.3	190.9	31.70	Opel BMW nokkenas en 4 mM. speling tuss. klepstooter en klepsteel van de inlaat.
87	"	1.14	1.14	" "	208.6	195.9	30.85	194.4	197.1	30.65	177.5	201.5	30.00	Opel BMW nokkenas en 2 mM. speling tuss. klepstooter en klepsteel van de uitlaat.
38	6.15 : 1	1.14	1.06	" "	179.8	188.2	32.10	171.0	186.2	32.45	160.5	186.8	32.35	Opel BMW nokkenas.
31 en 39	"	1.18	1.14	" "	189.1	190.0	31.80	179.4	187.4	32.20	170.6	188.0	32.10	" " "
32 en 35	"	1.22	1.18	" "	193.5	193.5	31.20	183.5	189.2	31.90	173.5	187.3	32.22	" " "
37	"	1.14	1.06	Benzol	178.9	207.4	32.30	165.8	213.3	31.35	159.0	206.8	32.30	" " "
36	"	1.18	1.14	"	188.4	214.2	31.20	179.8	213.5	31.30	170.3	208.0	32.10	" " "
33 en 34	"	1.22	1.18	"	188.0	218.3	30.60	179.4	215.9	31.00	169.7	212.3	31.45	" " "
69	5.96 : 1	1.08	1.00	Benzine	172.1	196.2	30.80	162.7	195.0	31.00	153.8	193.5	31.20	" " "
71	"	1.08	1.18	"	179.7	196.6	30.75	170.6	193.0	31.30	160.3	189.5	31.85	" " "
67	"	1.10	1.00	"	179.9	193.8	31.20	168.5	192.7	31.35	159.2	191.3	31.60	" " "
54	"	1.14	1.08	"	182.1	194.8	31.00	172.4	193.5	31.20	162.1	193.2	31.12	" " "
57	"	1.14	1.18	"	188.3	197.4	30.60	177.5	193.0	31.30	168.4	192.0	31.45	" " "
53	"	1.18	1.14	"	190.1	200.0	30.20	181.8	195.3	30.90	174.7	192.5	31.40	" " "
72	"	1.08	1.18	Benzol	175.5	216.5	30.85	165.7	218.5	30.60	157.0	210.5	31.72	" " "
55	"	1.14	1.08	"	177.1	205.0	32.60	168.2	213.0	31.38	158.5	212.0	31.50	" " "
64	5.61 : 1	1.14	1.00	Benzine	174.0	205.2	29.45	164.7	203.0	29.70	155.5	202.5	29.80	" " "
60	"	1.14	1.08	"	176.5	204.5	29.54	168.5	198.8	30.40	158.0	200.3	30.10	" " "
59	"	1.14	1.18	"	185.0	205.0	29.50	175.8	198.6	30.42	166.5	197.0	30.70	" " "
63	"	1.18	1.00	"	178.8	206.0	29.30	171.1	206.5	29.25	164.0	200.0	30.20	" " "
61	"	1.18	1.14	"	183.4	206.5	29.25	175.6	201.0	30.05	167.5	199.5	30.28	" " "
58	"	1.22	1.18	"	186.2	212.5	28.43	180.5	206.0	29.30	171.4	204.0	29.60	" " "

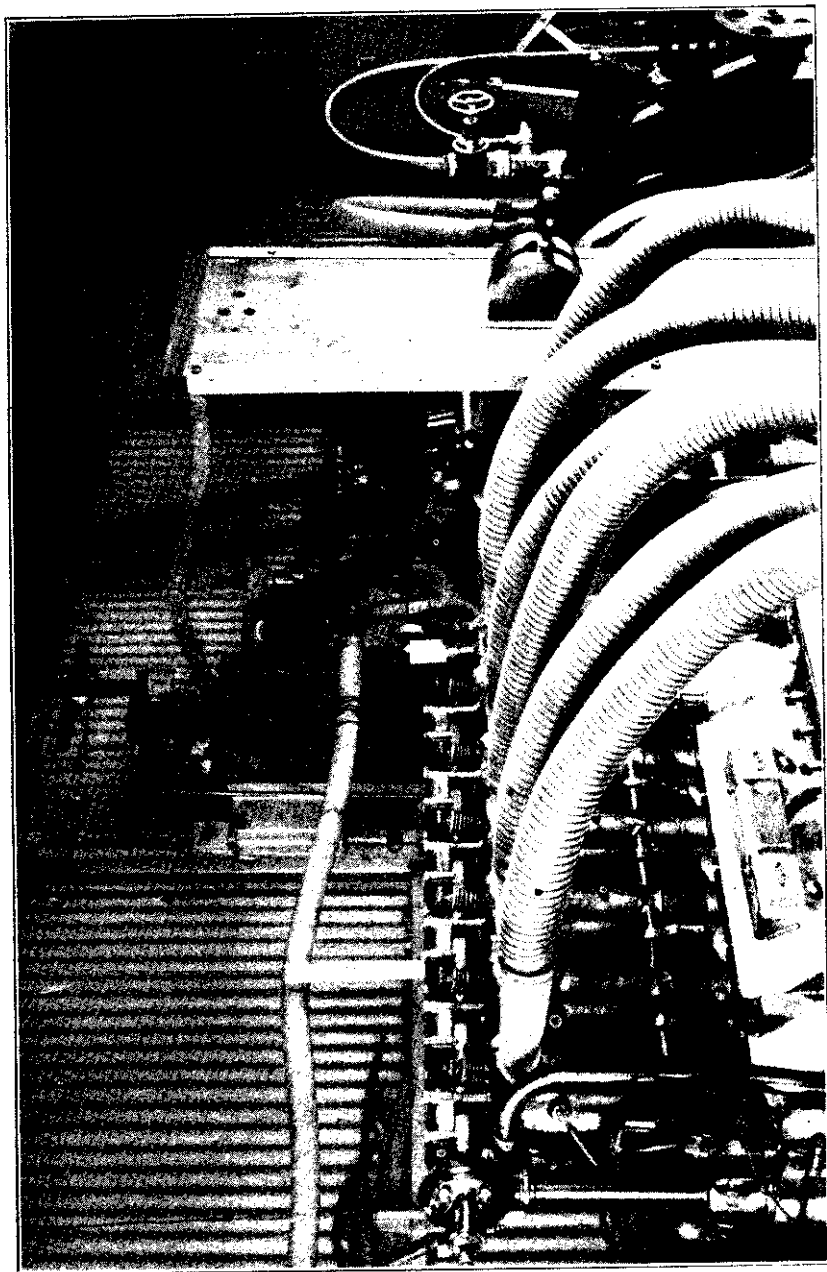


Het motorenlaboratorium met den balansbok.

Vue générale du laboratoire des moteurs à explosions avec banc-balance.

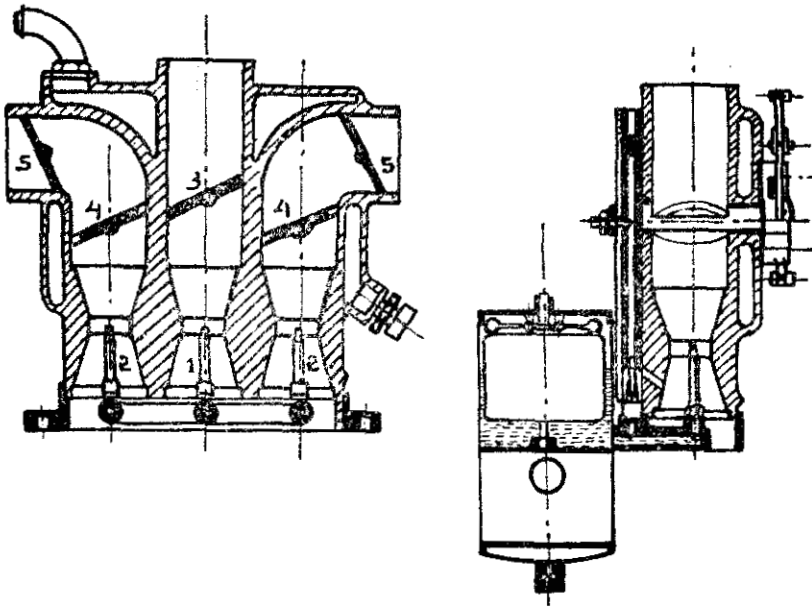
General view of the motor testhouse with balancing test bench.

Das Motorenlaboratium und Pendelwage.



Testing-bed with Froude dynamometer.
Prüfstand mit Froude-Wasserbremse.

Motorbeproevingsinrichting met Froude rem.
Dynamomètre hydraulique Froude.



Schematische afbeelding van den B.M.W. carburateur.

Coupe schématique du carburateur B.M.W.

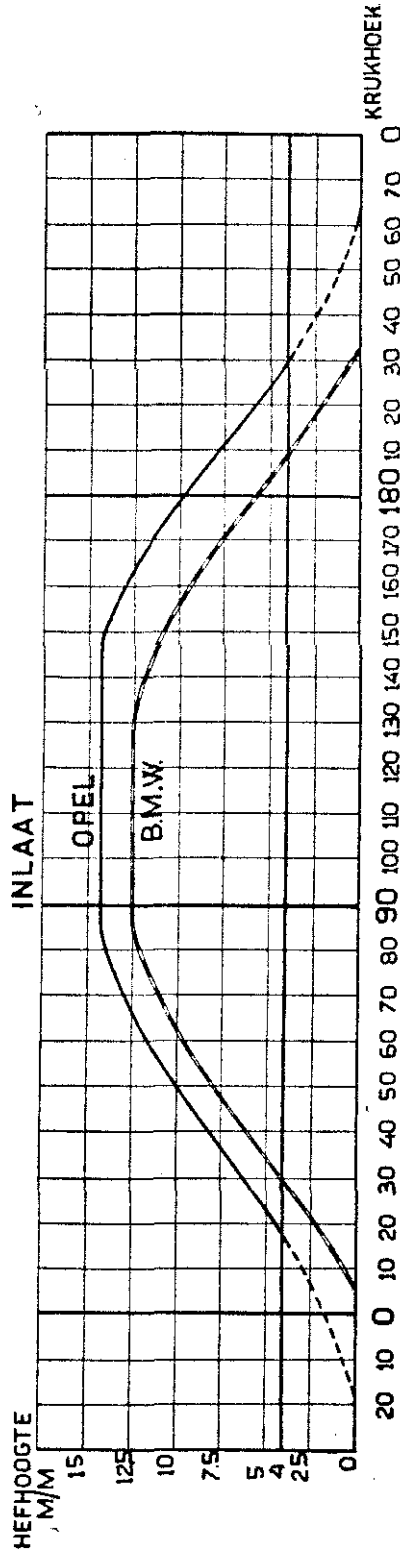
Sketch of the B.M.W. carburetter.

Schnitt durch den B.M.W. Vergaser.

- | | |
|---|---|
| 1. Binnensproeier.
Gicleur central.
Inner jet.
Mittlere Benzindüse. | 3 en 5. Normale gaskleppen.
Etrangleurs normaux.
Normal throttle valves.
Normale Drosselklappen. |
| 2. Buitensproeiers.
Gicleurs latéraux.
Outer jets.
Äussere Benzindüsen | 4. Hoogtegaskleppen.
Etrangleurs d'altitude.
Altitude control valves.
Höhengasdrosseln. |

De werking van den B.M.W. carburateur is uit bovenstaande afbeelding te zien. In normaal bedrijf zijn de kleppen 3 en 5 geopend, terwijl de kleppen 4, welke echter ieder 2 uitsparingen hebben, gesloten zijn.

Het grootste deel van het gasmengsel gaat dus door de middelste aanzuigbuis. Bij het vliegen op groote hoogte worden ook de kleppen 4 geheel geopend, hetgeen den vullingsgraad doet toenemen, daar nu het mengsel door de drie thans geheel geopende aanzuigbuizen kan toestroomen.

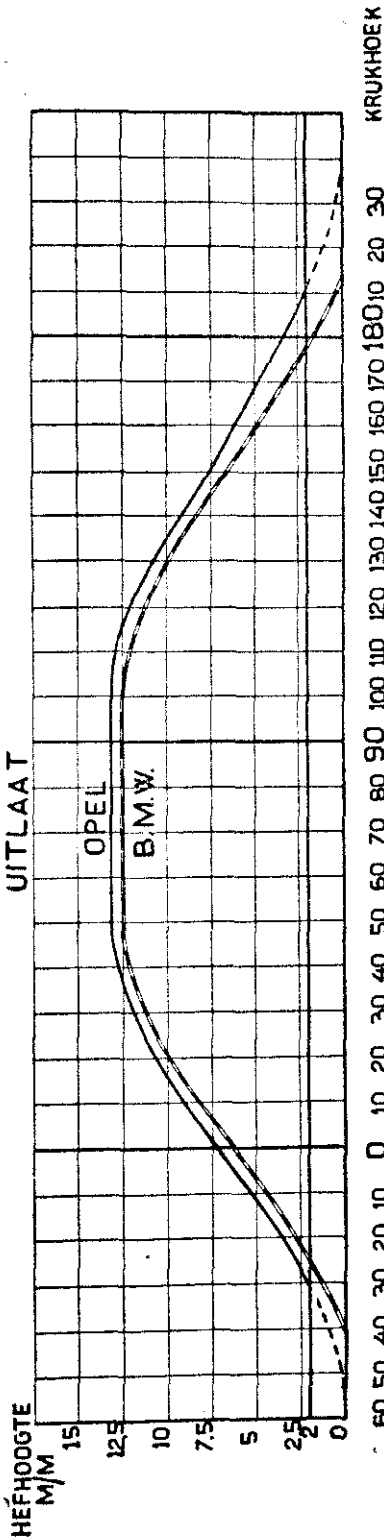


Klephefdiagram voor den inlaat van den origineelen en den Opel-B. M. W. motor.

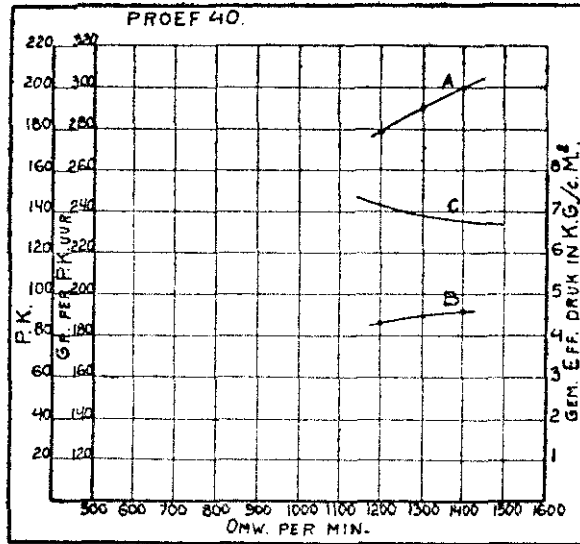
Diagramme de la levée de la soupape d'admission du moteur B. M. W. original et de l'Opel-B. M. W.

Valve lift diagram of the admission valve of the original B. M. W. and the Opel-B. M. W. engine.

Ventilerhebungsdiagramm des Einlassventils des originellen und Opel-B. M. W. Motors.



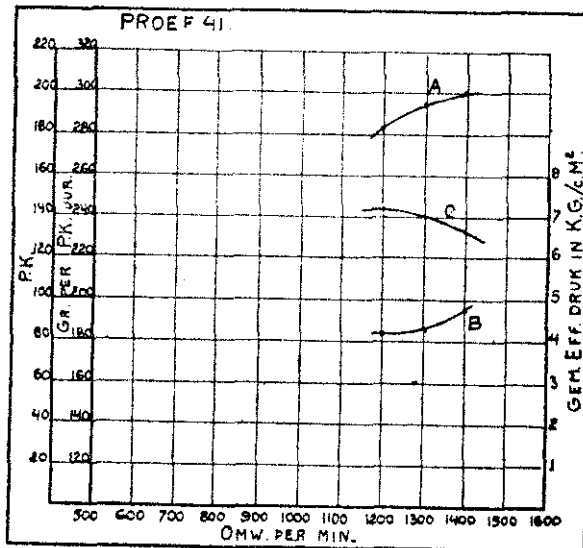
Klephefdiagram voor den uitlaat van den origineelen en den Opel-B. M. W.-motor.
Diagramme de la levée de la soupape d'échappement du moteur B. M. W. original et de l'Opel-B. M. W.
Valve lift diagram of the exhaust valve of the original B. M. W. and the Opel-B. M. W. engine.
Vertilerhebungsdiagramm des Auslassventils des originellen und Opel-B. M. W.-Motors.



Brandstof: Benzine S. G. 0.725.

Compressieverhouding 6.55 : 1.

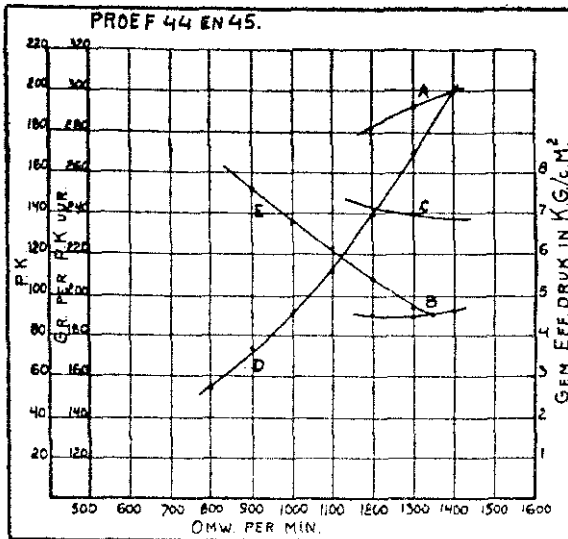
2 buitensproeiers 1.18 m.M. Ø. 1 binnensproeier 1.22 m.M. Ø.



Brandstof: 20 % benzol S. G. 0.88 + 80 % benzine S. G. 0.725.

Compressieverhouding 6.55 : 1.

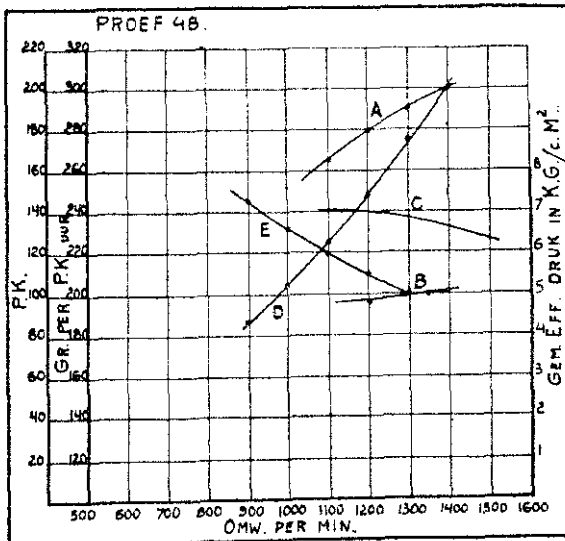
2 buitensproeiers 1.18 m.M. Ø. 1 binnensproeier 1.22 m.M. Ø.



Brandstof: 50 % benzol + 50 % benzine.

Compressieverhouding 6.55:1.

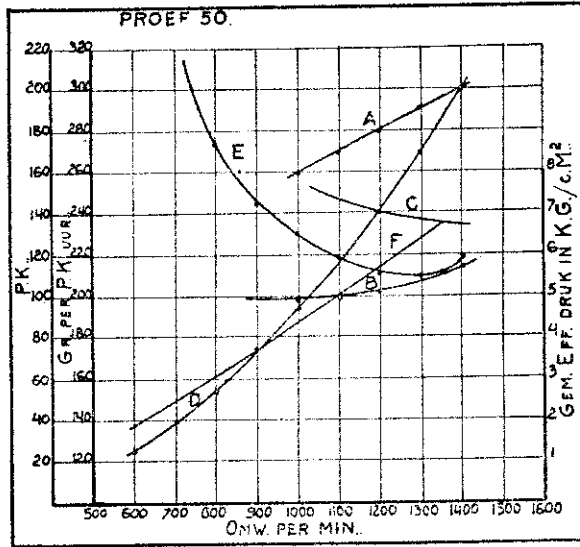
2 buitensproeiers 1.18 m.M. ø. 1 binnensproeier 1.22 m.M. ø.



Brandstof: 80 % benzol + 20 % benzine.

Compressieverhouding 6.55:1.

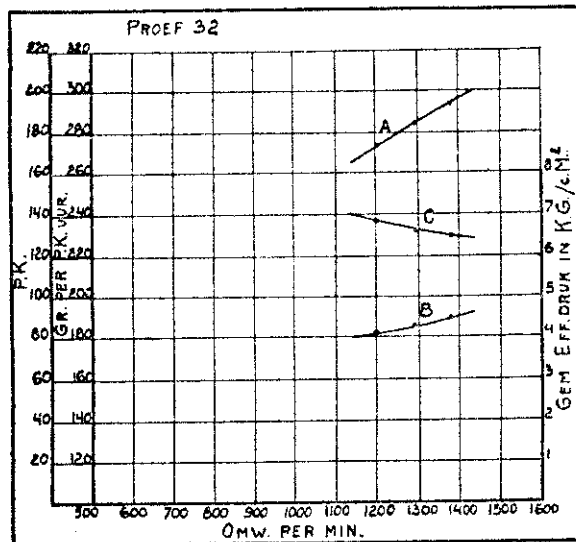
2 buitensproeiers 1.18 m.M. ø. 1 binnensproeier 1.22 m.M. ø.



Brandstof: Benzol.

Compressieverhouding 6.55:1.

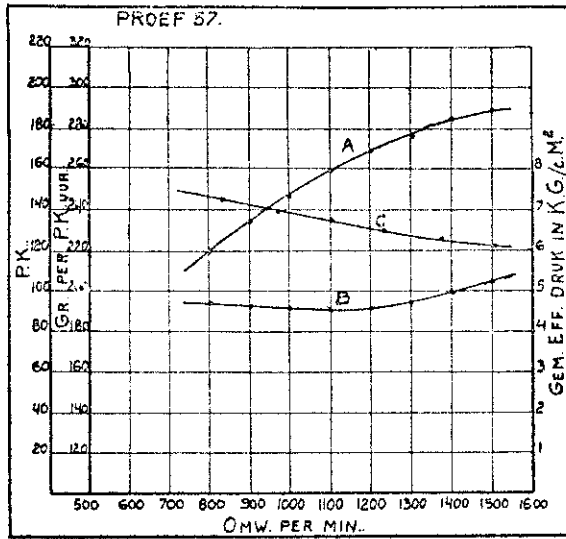
2 buitensproeiers 1.18 m.M. ø. 1 binnensproeier 1.22 m.M. ø.



Brandstof: Benzine S. G. 0.725.

Compressieverhouding 6.15:1.

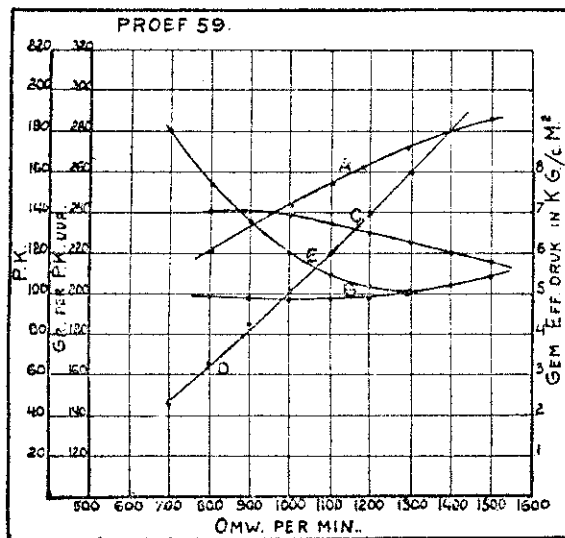
2 buitensproeiers 1.18 m.M. ø. 1 binnensproeier 1.22 m.M. ø.



Brandstof: Benzine S. G. 0.725.

Compressieverhouding 5.96 : 1.

2 buitensproeiers 1.18 m.M. Ø. 1 binnensproeier 1.14 m.M. Ø.



Brandstof: Benzine S. G. 0.725.

Compressieverhouding 5.61 : 1.

2 buitensproeiers 1.18 m.M. Ø. 1 binnensproeier 1.14 m.M. Ø.

RAPPORT M 17A.

RAPPORT BETREFFENDE PROEVEN OVER DEN WEERSTAND VAN DURALUMIN TEGEN WISSELSpanNINGEN.

OVERZICHT.

Het optreden van wisselspanningen, welke in het leven van metalen vliegtuigonderdeelen een groote rol spelen, is nog niet voldoende methodisch bestudeerd. De hierna beschreven proeven met het lichte metaal „Duralumin”, waarbij proefstaafjes aan eene zijde ingeklemd en aan de andere zijde belast, worden rondgedraaid (draaibuiging), openen nog geen nieuwe gezichtspunten, maar moeten worden beschouwd als de inleiding van een vooropgesteld programma. Van de beide onderzochte Duraluminmonsters, merk 681 B en Z, welke door de Dürener Metallwerke voor deze proeven werden vervaardigd, bleken de gevonden waarden zóódanig overeen te stemmen dat zij in één kromme konden worden opgenomen. Deze kromme heeft het normale verloop. Het vlakke deel van de kromme (veilige belastingsgrens) werd bereikt bij een belasting, beneden ongeveer 0,4 van de strekgrens gelegen, hetgeen aanmerkelijk lager is dan voor eenige staalsoorten werd gevonden (ongeveer 0.8).

De afmetingen der proefstaven werden bij deze proeven zóó gekozen, dat uit een $\frac{1}{4}$ " boutje, lang ± 5 c.M., één proefstaafje kan worden genomen.

RECHERCHES SUR LA RÉSISTANCE A LA FATIGUE DU DURALUMIN.

RÉSUMÉ.

On a fait des essais préliminaires sur deux sortes du métal „Duralumin”, fabriqué par les Dürener Metallwerke (681 B et Z).

Les valeurs trouvées sont réunies dans un diagramme donnant le nombre de révolutions jusqu'à la rupture d'une éprouvette cylindrique — encastree d'une côté et chargée de l'autre d'un poids — en rapport à la tension maximum. Les machines d'essai étaient de fabrication „Amsler” et „Aktiebolaget Alpha”.

La limite inférieure pour les deux sortes fut déterminée à environ 15,5 K.G./mm² ou à environ 0,4 de la limite élastique, tandis que par des essais identiques sur un acier doux la limite inférieure fut fixée à 0,8 de la limite élastique.

ON THE FATIGUE-RESISTANCE OF DURALUMIN.

SUMMARY.

Two kinds of Duralumin brand 681 B and Z, made by the Dürerer Metallwerke, were tested in alternating bending-testing machines, built by Gebr. Amsler, Schaffhausen and by the Aktiebolaget Alpha, Stockholm. The limiting range of stress for both brands has been fixed at 15,5 K.G./mm² being approx. 4/10 of the elastic limit in tension. Tests on a mild steel, that have not yet been finished, point to a relative far higher range (± 0.8 of the elastic limit).

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DAUERBEANSPRUCHUNG VON DURALUMIN.

ZUSAMMENFASSUNG.

Zwei Sorten Duralumin, Marke 681 B und Z, hergestellt von den Dürerer Metallwerken, wurden auf Dauerbeanspruchung in Dauerbiege-maschinen, Bauart „Gebr. Amsler“ und „Aktie-bolaget Alpha“, geprüft. Es stellte sich heraus, dass die untere Spannungsgrenze, wo die Probestücke von beiden Sorten nach einer sehr grossen Zahl Umdrehungen (bis zu 30 Millionen) zerbrachen auf ungefähr 4/10 der Streckgrenze angenommen werden kann, indem diese Grenze bei einem weichen Flussstahl aus analogen Versuchen auf rund 8/10 festgestellt wurde.

RAPPORT M 17A.

RAPPORT BETREFFENDE PROEVEN OVER DEN WEERSTAND VAN DURALUMIN TEGEN WISSELSpanNINGEN.

INLEIDING.

Waar in het volgende rapport gesproken wordt over vermoeiing, zal steeds worden bedoeld het optreden van een snel wisselende materiaalspanning onder de elasticiteitsgrens, tengevolge waarvan het materiaal tenslotte bezwijkt.

Voor de luchtvaarttechniek is de bestudeering van dit verschijnsel van bijzonder groot belang, omdat de trilling, waarin een vliegtuig tijdens de vlucht verkeert, dergelijke wisselspanningen in het leven roept, die den levensduur van verschillende onderdeelen gevaarlijk kunnen bekorten.

Het is bekend, dat de cijfers, met de meest gebruikelijke proeven verkregen, (trekproef, schokproef, drukproef, Brinell- of Shore-proef, heen- en weerbuigproef, enz.) geen basis leveren tot het vaststellen van afmetingen, die voldoende waarborg geven tegen vermoeidheid. Zelfs door het invoeren van de gebruikelijke veiligheidscoëfficiënten wordt de toegelaten spanning dikwijls niet buiten het gevaarlijke vermoeiingsgebied gehouden 1).

In de voor deze proeven gebruikte machines (zie fig. 1) fabrikaat Gebr. Amsler-Schaffhausen en Aktiebolaget Alpha, Stockholm, wordt de wisselspanning verkregen, door een proefstaafje, dat aan één zijde als ingeklemd kan worden beschouwd, aan een draaibuiging te onderwerpen. In een klembus A (zie fig. 1), loopende op kogellagers en gedreven door motor M, wordt houder B vastgezet, die ter linkerzijde de proefstaaf C draagt. Deze proefstaaf draagt aan het linkeruiteinde een zelfinstellend kogellager met strop D, veer E en gewichten F (zie ook fig. 2). Door den motor M worden aan het proefstaafje 1100 omwentelingen per minuut gegeven. (Amsler) De machine van de Aktiebolaget Alpha biedt plaats voor twee proefstaafjes, die tegelijk worden belast en waarvan het oogenblik van breken voor ieder afzonderlijk wordt aangegeekend. Deze machine loopt met 2800 omwente-

1) Het belang van dergelijke proeven voor de techniek blijkt o.m. uit het feit dat volgens het Journal of the Institute of Metals (1920) in Amerika een systematisch onderzoek van deze „fatigue phenomena” werd begonnen door de Nat. Research Council in samenwerking met de Un. of Illinois U.S.A., waarvoor \$ 51000 per jaar voor twee jaar werd beschikbaar gesteld.

lingen per minuut. In de uiterste vezel der gevaarlijke doorsnede (f), die bepaald wordt door de afronding r (zie fig. 3), ontstaat een snel wisselende trek- en drukspanning, waarvan de grootte op eenvoudige wijze te berekenen is ($\sigma = M:W$) en die een sinussoëdaal verloop heeft. Deze spanning is steeds gehouden onder de strekgrens. Er treden derhalve geen blijvende vormveranderingen op, zooals die bekend zijn bij het overschrijden van deze grens. Het aantal omwentelingen tot het optreden van de breuk is een maat voor den weerstand tegen de in dit geval gegeven wisselspanning van het onderzochte materiaal.

Voor het goede verloop van de proef is rustig loopen van de machine een eerste vereischte. Door stooten of bijkomstige trillingen kan de spanning veel grooter worden dan de berekende, waardoor het resultaat waardeloos worden kan. Hoewel een absoluut trilvrij loopen van de machines niet werd bereikt, waren de trillingen zoo gering, dat de invloed waarschijnlijk verwaarloosd kan worden. Verschillende veranderingen van de oorspronkelijke Amsler machine bleken hiervoor noodig.

Omtrent het breken van een staaf, die aan een te hooge vermoeiingsbelasting is onderworpen, kan het volgende worden opgemerkt. Door de te groote wisselspanning wordt na een bepaald aantal omwentelingen de samenhang van het materiaal verstoord. In de buitenzône, die in dit geval het zwaarst belast wordt, ontstaan in of tusschen de kristalliten of kristalcomplexen mikroskopisch fijne scheurtjes, die bij voortgezette belasting in aantal toenemen en zich vereenigen.

Bij den bodem van de scheur neemt de spanning plaatselijk snel toe en de scheur wordt dieper. Zoodra in het overblijvende gave deel, de spanning te groot is geworden, breekt het staafje door. In de afgebeelde machine (Amsler) vallen de gewichten F eenige c.M. naar beneden en drukken pal P los, waardoor de stroom verbroken en de motor stopgezet wordt.

Houder B beweegt aan de rechterzijde telwerk T, dat dus eveneens automatisch wordt stopgezet.

Aan breukouterlijk is het verloop van het breken bij deze proeven steeds te onderscheiden. Het eerste deel der breuk, door het geleidelijk verder gaan der scheurtjes, heeft een glad, soms zijdeachtig breukvlak, zooals dit bij gebroken sneldraaistaal aangetroffen wordt. Het gedeelte van de staaf, dat het laatste bezwijkt, dus sneller breekt, vertoont een grovere structuur als van door schok gebroken staven.

In fig. 4 zijn de breuken van twee vermoeiingsproefstaven weergegeven en is tevens een staaf afgebeeld, waarbij de proef onderbroken werd, toen de scheur was ontstaan, doch het overblijvende deel nog sterk genoeg was, om de belasting te dragen. Bij de twee afgebroken proefstaven, ziet men duidelijk de fijnere en de grovere zône scherp gescheiden naast elkander. Dat ook zulke breuken in de practijk voorkomen, toonen fig. 5, 6 en 7.

Fig. 5 werd genomen van een drijfstaangbout van een zwaren zuigasmotor, die dus kennelijk door vermoeidheid was bezweken.

Fig. 6 geeft de breuk weer van een bout uit een koppeling uit het motorenlaboratorium van den R. S. L. Deze koppeling stond aan trillingen bloot. Ook hier is de vermoeidheidsscheur zeer duidelijk waar te nemen.

Fig. 7 toont een boutje voor de bevestiging van spandraden in den romp van een Spyker-vliegtuig. Dit boutje werd bij een inspectie na de eerste 100 vliegunten afgebroken gevonden.

Behalve de grootte van de spanning spelen nog 2 andere factoren een grooten rol bij vermoeiingsverschijnselen, n.l.: *de vorm en de afwerking* van het constructiedeel.

Wat betreft den *vorm* kan gezegd worden, dat (evenals voor schok) scherpe overgangen uit den boeze zijn en den weerstand tegen vermoeiing van het onderdeel aanmerkelijk verkleinen. Zoo is b.v. de overgang van lijf naar kop bij den bevestigingsbout in fig. 8 veel te scherp. Ook de bout uit fig. 7 vertoonde een dergelijke scherpe indraaiing, waaraan ongetwijfeld het breken van dezen bout na een zoo klein aantal bedrijfsuren moet worden toegeschreven. Vandaar dat ook de afronding r in fig. 2 niet te klein genomen mag worden. De invloed van de grootte van r kan gevonden worden, door staven met eenzelfde belasting in de gevaarlijke doorsnede met verschillende afrondingen te laten loopen. Men vindt dan, dat boven een bepaalde r , de afronding geen invloed meer heeft. In de hierna besproken proeven werd r steeds nauwkeurig even groot gehouden.

De *afwerking* van onderdeelen, die aan vermoeiing bloot staan, moet zijn glad en krasvrij. Door scherpe krasjes wordt de vorming van kleine scheurtjes zéér vergemakkelijkt, wat het gevaar van breken vergroot.

Als voorbeeld diene fig. 9, waar een proefstaaf is afgebeeld, die buiten de gevaarlijke doorsnede, een kleine draaigroef had overgehouden, feitelijk niet meer dan een kras. Hoewel de spanning in die doorsnede lager was, (arm van het buigend moment kleiner), brak de staaf dáár door vermoeidheid bij een te laag aantal omwentelingen voor de gegeven belasting. Ten bewijze dat dit in het buitenland voor den vliegtuigbouw van groot belang wordt geacht, diene, dat in de uitgebreide Engelsche Materiaalvoorschriften (British Standard Aircraft Material Specifications No. M 10) er in dit verband uitdrukkelijk op gewezen wordt, dat bij holle onderdeelen de draaigroeven aan de binnenzijde zorgvuldig verwijderd moeten worden.

Vorm en afmeting der proefstaafjes geeft fig. 3. Bij de eerste proeven werden veel grootere staven gebruikt, zooals aangegeven in fig. 9. De kleinere afmetingen werden gekozen, om het mogelijk te maken ook uit kleine vliegtuig-onderdeelen proefstukken te nemen. Ook kan de vervaardiging van deze kleine staafjes sneller geschieden. Bij het afdraaien, waarbij het staafje in de betreffende houder was bevestigd, werd er steeds op gelet, dat met scherp gereedschap en kleinen beiteldruk werd gewerkt, om beschadiging van het materiaal zooveel mogelijk te voorkomen.

De afronding bij *A*, werd met een profielbeitel gedraaid, waarvan de snijkant nauwkeurig op straal gehouden werd. Na het draaien werden de staafjes zorgvuldig krasvrij gemaakt. Waar de vorm en grootte van deze afronding invloed heeft op de uitkomst van de proef, gelden de gevonden cijfers alleen voor staafjes met de aangegeven afronding. In het voortgezet onderzoek zal worden nagegaan welken invloed verandering van de afrondingsstraal op de uitkomsten heeft.

De volgende punten komen als van belang voor de practijk o.m. in aanmerking voor een methodisch onderzoek:

1. Het verband, dat er voor verschillende metalen bestaat, tusschen de grootte van de wisselspanning en den levensduur van het onderdeel of de proefstaaf. Hierdoor kunnen omtrent de toelaatbare belasting gegevens worden verzameld.
2. Het verband tusschen weerstand tegen vermoeiing en de behandeling, die het materiaal heeft ondergaan: koudbewerken, uitgloeien, harden, veredelen enz.
3. Het verband tusschen vermoeiingsweerstand en de verschillende physische en chemische eigenschappen van het materiaal.
4. Het constateeren, of een materiaal meer of minder vermoeid is en of een breuk door wisselspanningen is ontstaan.
5. Het nagaan van middelen, om ingetreden en geconstateerde vermoeidheid weg te nemen.
6. Het bestudeeren van den invloed, die de rusttijd tusschen de belastingsstadia heeft op de vermoeidheid.
7. Het bestudeeren van vermoeiingsverschijnselen bij verschillende verbindingen, als klinken, lasschen enz.
8. De invloed van vorm en afwerking van verschillende onderdeelen op den weerstand tegen wisselspanningen.

Al deze punten moeten worden bestudeerd bij wisselende trek en druk, afschuiving, torsie en combinaties van meer dan één belastingswijze, terwijl de wisseling der spanning, zoowel van max. naar minimum, als van 0 naar max, of min. zal moeten plaats vinden.

Hoewel tot nu toe slechts van proeven op metalen gesproken werd, kan dit programma ook gelden voor hout, doek, lijmsorten, lakken, vernissen, enz.

Van wetenschappelijk belang is het verder nog na te gaan:

9. Den invloed van de wisselspanning op den inwendigen samenhang van de stof.
10. Het verband tusschen vermoeiing en de elasticiteitsverschijnselen.

Verschiedende onderzoekers hebben proeven op dit gebied gedaan.

Na de fundamenteele proeven van *Wöhler*: „Versuche zum Messen der Biegung und Verdrehung von Eisenbahnwagen-Achsen während der Fahrt” Zeitschr. f. Bauwesen 1858. 642 en „Über

die Festigkeitsversuche mit Eisen und Stahl". (Z. f. Bauwesen 1870) en Spangenberg: „Über das Verhalten der Metalle bei wiederholten Anstrengungen" 1875, hebben Bauschinger, Martens en andere onderzoekers, deze proeven voortgezet. In lateren tijd zijn vooral van Engelschen kant zeer waardevolle proefnemingen geschied, waarbij de proef op verschillende manier werd gewijzigd en tevens, met behulp van het microscopisch onderzoek, het ontstaan der scheuren werd bestudeerd. Voor de literatuur tot 1912 kan verwezen worden naar Boeke. „Over breuk na herhaalde belasting", Brusse Rotterdam 1914

Een opgave van na dien tijd uitgekomen verhandelingen, vindt men in Bijlage II van dit rapport.

De bij den Rijks-Studiedienst gedane voorloopige proeven hadden ten doel gegevens te verschaffen:

- a. Over het verloop der vermoeiingskromme van eenige Duralumin-monsters naar aanleiding van het voortdurend toenemende gebruik van dit metaal in den vliegtuigbouw.
- b. Over den invloed van verschillende warmte-behandelingen op den weerstand tegen wisselspanningen van een bepaald soort vloeij-ijzer.

Het materiaal voor de proeven op Duralumin van twee verschillende samenstellingen, gemerkt 681 B en Z, werd door de Dürener Metallwerke voor den Rijks-Studiedienst vervaardigd.

Onder Duralumin — een legering, die uitgevonden werd door Alfred Wilm bij zijne onderzoekingen in de „Centralstelle für wissenschaftlich-technische Untersuchungen" te Neubabelsberg (1903-1911) en waarvan de Dürener Metallwerke te Düren de patenthouders en eerste vervaardigers zijn — wordt verstaan materiaal van de volgende samenstelling:

Koper 3.5—5.5 %
Mangaan 0.5—0.8 %
Magnesium 0.5 %
Aluminium rest.

terwijl bovendien kleine hoeveelheden ijzer, silicium en lood steeds als bijmengselen voorkomen.

De voornaamste eigenschappen van dit lichte metaal zijn de volgende:

S.G. 2.78—2.83 (afhankelijk van de samenstelling).

Smeltpunt ongeveer 665°.

trekvastheid van gegoten materiaal 18—20 KG./mM². met een rek van 10—7%; trekvastheid van gegoten en daarna veredeld materiaal 28—30 KG./mM². met een rek van 20—15 %; trekvastheid van bewerkt en daarna veredeld materiaal 35—50 KG./mM². met een rek van 22—12 % 1). Deze cijfers geven de grenswaarden slechts bij benadering weer.

Het materiaal dat voor onze proeven gebruikt is, was door

1) Zie o.m. Alfred Wilm. Physikalisch-technische Untersuchungen über Magnesiumhaltige Aluminiumlegierungen. Metallurgie 1911. 225.

de Dürener Metallwerke geleverd in den vorm van ronde stangen van 20 mm. doorsnede. Overwogen is of het niet beter zou zijn de proeven te nemen met dunne stukken plaat, daar deze voornamelijk in de praktijk worden gebruikt. Besloten werd echter, daar het voorloopig te doen was om gegevens te krijgen over het materiaal in het algemeen, te beginnen met ronde proefstaven en eerst als daarmede fundamenteele cijfers zouden zijn bepaald, over te gaan tot staven van anderen vorm.

Teneinde mogelijke onregelmatigheden in de kern der staven uit te schakelen en tevens trekstaafjes te krijgen van dezelfde afmetingen en uit hetzelfde deel der stof als de vermoeiingsstaafjes, werden de staven overlans in vier gelijke segmenten gezaagd en uit deze segmenten de proefstaafjes met groote zorg gedraaid.

De trekstaafjes hadden als afmetingen; diameter 5 mm., meetlengte 5 diameters = 25 mm.

De uitkomsten van deze trekproeven waren:

	Trekvastheid K.G./mm. ²	Strekgrens K.G./mm. ²	Rek % op 5 diameters.	Contractie %.
Legeering Z Härte 1 . . .	45.8	34.4	14.6	33
	45.8	35.4	13.3	33
	43.4	32.7	14.-	28.5
	43.5	34.6	13.-	31.4
Legeering 681 B Härte 1	50.-	42.5	15.-	33
	48.4	42.7	14.3	29.4
	49.6	44.-	13.5	37.5
	49.3	41.8	15.1	35
	49.6	42.7	17.4	33.9

Door chemische analyse werd de samenstelling van de beide legeringen als volgt vastgesteld:

	Z.	681 B.
Koper	4.5	3.8
Mangaan	0.95	0.54
IJzer	0.47	0.46
Magnesium	0.51	0.45
Silicium	0.2	0.42
Aluminium	rest	rest

Bij het mikroskopisch onderzoek bleken beide legeringen te bestaan uit mengkristallen van Cu en Al, waartusschen zich Cu Al₂ in wisselende hoeveelheid bevond. Duidelijk werd de walsrichting aangegeven door de ligging der koperrijke deelen, terwijl de kristallieten zelf op de langsdoorsnede in de walsrichting gerekt bleken (zie fig. 10, 11 en 12).

Opgemerkt kan worden dat prepareren en etsen van deze legeringen niet gemakkelijk is en een uitvoerig onderzoek naar de beste wijze van behandelen voor het mikroskopisch onderzoek begonnen is.

Om de kristallieten zichtbaar te maken werden de preparaten geëtsd in een mengsel van:

Alcohol (96 %)	85 vol. dln.
Nitrobenzol	10 „ „
Fluorwaterstofzuur (50 %)	5 „ „

terwijl als middel voor het zichtbaar maken van Cu Al_2 een 20 % oplossing van salpeterzuur (25 %) in water bij 70° C. werd gebruikt. 1)

De resultaten der vermoeilingsproeven werden uitgezet in den klassieken vorm in diagram 13.

Hierbij kan worden opgemerkt, dat de in Amerika door sommige auteurs gebruikte logarithmische verdeling van de abscissenschaal niet werd toegepast, daar er naar onze meening nog niet voldoende gronden zijn om te verwachten, dat daardoor een beter overzicht over de uitkomsten kan worden verkregen. Het bleek, dat de gevonden punten van de B en Z legeringen door dezelfde lijn konden worden aangegeven zooals blijkt door vergelijking van de in de tabel I opgenomen waarden met diagram 13.

Opgemerkt kan worden, dat de meeste staafjes braken met de normale karakteristieke vermoeilingsbreuk en vrijwel op de plaats van de grootste materiaalspanning. Bij eenige was de breuk onregelmatig, terwijl bij andere de breuk normaal maar verder van de plaats van het gewicht verwijderd was dan met den vorm van de proefstaaf overeenkwam. Waar in deze laatste gevallen de staaf brak in een dikker deel van de afronding, kon worden aangenomen, dat een of andere onregelmatigheid in het materiaal aanwezig was. Teneinde alleen met goede uitkomsten rekening te houden, werden de gevonden cijfers van staven, die verder dan 0.3 mm. van het begin van de afronding braken, niet in de grafische voorstelling opgenomen.

Het is begrijpelijk dat, zoodra men het gebied nadert, waar in de grafische voorstelling de lijn ongeveer horizontaal gaat loopen, het aantal omwentelingen voor eenzelfde belasting sterk kan varieeren. Zoo liggen de punten 3, 25, 9, 7, en 20 op dezelfde spanningslijn; bij deze spanning zal een kleine afwijking in het materiaal, of van de afwerking van de proefstaaf, grooten invloed hebben op het oogenblik dat de eerste scheur ontstaat en dus ook op het totaal aantal omwentelingen. Bij nauwkeurig werken, zal men altijd in deze zône een groot aantal punten moeten vinden. Men zal dus i. h. a. als onderste grens niet een nauwkeurig te bepalen lijn, maar een zeker grensgebied vinden, uitgebreider naarmate de proef minder

1) Omtrent de samenstelling van etsmiddelen voor lichte legeringen zal in een volgende publicatie worden bericht.

nauwgezet uitgevoerd wordt, of het materiaal onregelmatiger is.

Het punt 20 behoort nog veel verder naar rechts op het diagram te liggen, dan het geteekend is, daar bij deze proef na 30 miljoen wisselingen het staafje niet gebroken was. Evenzoo was dit het geval met No. 6, welk staafje 15 miljoen wisselingen heeft doorstaan. Opvallend is van de onderzochte Duralumin-soorten de lage ligging van de onderste, vrijwel horizontale, lijn, die in dit geval voor de staven van de soort 681 B ligt op $\frac{30}{100}$ van de breekbelasting

en op $\frac{35}{100}$ van de strekgrens, terwijl deze getallen voor de alliage Z zijn resp. $\frac{33}{100}$ en $\frac{44}{100}$.

Bij de op dezelfde wijze onderzochte vloeijzerstaafjes, die in onbehandelden, uitgegloeiden, geharden en veredelden toestand werden beproefd, lag deze grens veel hoger (op $\frac{8}{10}$ van de betreffende strekgrens).

De series proeven met vloeijzer konden niet tijdig worden afgemaakt, zoodat de resultaten voor dit materiaal eerst later kunnen worden meegedeeld.

Het ligt in de bedoeling de proeven voort te zetten met Duralumin en andere lichte legeringen in anderen vorm (plaat) en met andere samenstelling en ook den invloed van verschillende thermische behandelingen op den weerstand tegen vermoeidheid na te gaan.

Belasting K.G./mm ² .	Proef- staaf No.	Aantal om- wentelingen tot breuk.	Leg- ring- merk.	Afstand breuk van normale plaats in mm.	OPMERKINGEN.
37.2	1	3.670	Z	0.1	Niet in grafiek op- genomen.
29.8	2	12.730	Z	0.1	Breuk sterk bescha- digd, niet in grafiek opgenomen.
27.5	19	21.700	Z	—	
24.2	39	49.800	B	—	Breuk onregelmatig.
22.5	15	152.700	Z	0.5	
22.5	17	587.400	Z	0.5	Breuk licht bescha- digd.
22.5	18	152.500	Z	0.5	
22.4	38	59.700	B	0.4	Breuk beschadigd.
22	4	177.130	Z	—	
22	37	259.320	B	—	Onduidelijke breuk, niet in grafiek op- genomen.
20.6	22	122.300	Z	—	
19.8	34	419.850	B	—	Breuk normaal.
19.2	24	178.660	B	0.6	
19.1	13	297.600	Z	0.4	Breuk onregelmatig.
18.9	12	222.610	Z	0.2	
18.7	11	232.490	Z	—	Breuk normaal.
18.2	40	618.180	B	—	
18.1	32	2.904.000	B	0.6	Breuk vrijwel nor- maal.
17.7	23	707.100	Z	0.8	
17.6	31	762.240	B	—	Onregelmatige breuk.
17.6	33	336.200	B	—	
17.2	36	570.900	B	0.2	Breuk normaal.
17	29	3.036.000	B	—	
16.7	10	1.423.250	Z	0.3	Onregelmatige breuk.
16.5	3	825.860	Z	—	
16.5	7	7.456.090	Z	—	Breuk normaal.
16.5	9	1.638.140	Z	—	
16.5	20	27.500.000	Z	—	Breuk normaal.
16.5	25	1.003.680	B	—	
16.4	28	1.403.540	B	0.6	Breuk normaal.
16.1	26	976.260	B	0.2	
16	27	8.568.000	B	0.1	Breuk gaaf.
15.7	14	957.220	Z	0.5	
15.4	6	15.000.000	Z	—	Niet gebroken.
15.4	16	11.000.000	Z	—	
14.4	5	10.000.000	Z	0.1	Niet gebroken.

LITERATUUROPGAVE VAN AF 1912.

ROGERS. So-called crystallisation through fatigue J. Ir. St. Inst. 1913. II. 392.

NUSSBAUMER. Etude comparative sur les essais au choc simple, les essais aux chocs répétés, les essais de flexion rotative et les essais de flexion alternée. Rev. Met. Mém. XI. 1914. 1133.

MARTENS. Mitt. Kgl. Marter. Prüf. amt I. 1914.

PREUSZ. Kerbwirkung bei Dauerbeanspruchung. Zeitsch. Ver. d. Ing. 1914. I. 701.

ROWETT. Elastic hysteresis of steel. Proc. Royal Soc. (J. Ir. St. Inst. 1914. II. 366).

STROMEIJER. Fatigue of metals. Proc. Royal Soc. (J. Ir. St. Inst. 1914. II. 366).

SMITH & WEDGWOOD. Stress-strain loops for steel in the cyclic state. J. Ir. St. Inst. 1915. I. 365.

MOORE & SEELY. Am. Soc. test. Mat. (St. u. E. 1915. II. 1233).

STANTON & BATSON. On the fatigue resistance of mild steel under various conditions of stress distribution. Enging. 1916. 15 Sept. 269.

POPPELWELL. The influence of speed on endurance tests. Enging. 1916. 20 Oct. 339.

HAIGH. Endurance of metals under alternating stresses. J. Ir. St. Inst. 1916. I. 373.

MASON. Speed effect and recovery in slow speed alternating stress tests. Proc. Roy. Soc. (J. Ir. St. Inst. 1916 I. 373).

LUDWIK. Ueber die Ermüdung der Metalle. Z. d. Oest. Ing. u. Arch. Ver. 1916. Heft 42.

MASON. On the hysteresis of steel under repeated torsion. Enging. 15 Sept. 1916. 269.

RUDELOFF. Der heutige Stand der Dauerversuche mit Metallen. Verh. Gewerbfl. 1916. VII. (St. u. E. 1917. I. 334.)

LEON. Ueber die Ermüdung von Maschinenteilen. Zeitschr. Ver. d. Ing. 1917. 196 en 214.

Mc. ADAM. Alternating torsion tests. Am. Soc. Test. Mat. (J. Ir. St. Inst. 1917. II. 437).

BAILEY. Ductile materials under variable shear stress with special reference to shafts subjected to bending and twisting. Enging. 1917. July 27. 81.

PARKER HAIGH. Experiments on the fatigue of brasses. Enging. 1917. Sept. 21. 315.

MASON. Alternating stress experiments. Proc. Inst. Mech. Eng. 1917. (J. Ir. St. Inst. 1918. I. 537).

MOORE & PUTNAM. Effect of cold working on fatigue due to reversed stress. Bull. Am. Inst. Min. Eng. 1919. (J. Ir. St. Inst. 1919. I. 686).

A. STODOLA & F. SCHÜLE. Hohlkehlschärfe und Dauerbiegung. Schweiz. Bauz. 1918. (St. E. 1918. I. 596).

MOORE & GEHRIG. Some fatigue tests of nickel steel and chrome-nickel steel. Proc. Am. Soc. test. Mat. 1919. II. 206.

GIBSON. Fatigue and impact tests of aluminium alloys. Proc. Am. Soc. Test. Mat. XX. 1920. II. 115.

JENKIN. Report on materials of construction used in aircraft and aircraft engines. 1920. Stationary office.

MOORE & KOMMERS. Fatigue of metals under repeated stresses. J. Ir. St. Inst. 1920.

E. P. & E. K. STENGER. Fatigue strength of carbon spring steel. Chem. and Met. Eng. 29/9/20 p. 635.

GIBSON. Fatigue and impact fatigue tests of aluminium alloys. Proc. Am. Soc. Test. Mat. (J. Ir. St. Inst. 1921. I. 442).

Mc. ADAM. A high speed alternating torsion testing machine. Proc. Am. Soc. Test. Mat. (J. Ir. St. Inst. 1921. I. 448).

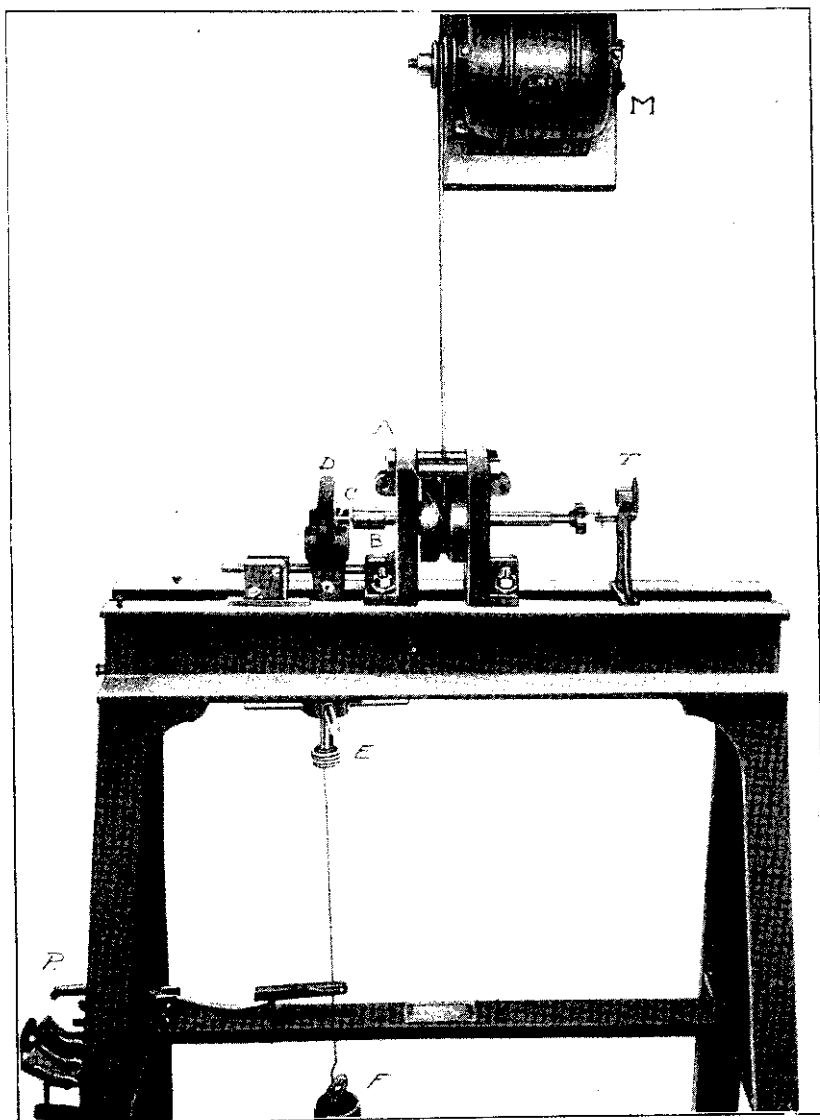


Fig. 1.

Vermoeingsmachine, fabriikaat Gebr. Amsler, Schaffhausen, (1100 omw/min.). Door den R. S. L. werden eenige wijzigingen in deze machine aangebracht.

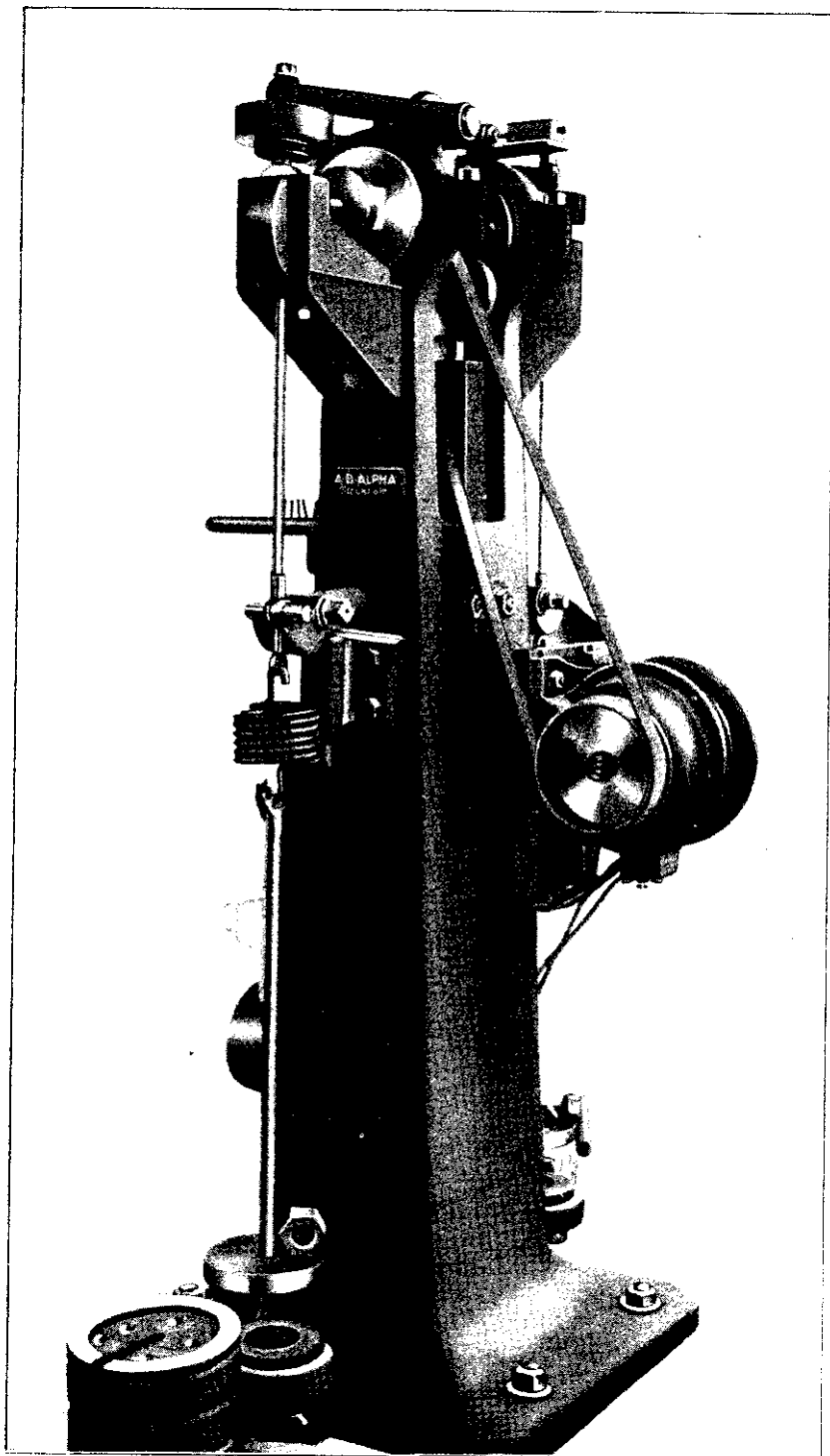


Fig. 2. Vermoeiingsmachine, fabriikaat A. B. Alpha, Stockholm
(2800 omw/min.).

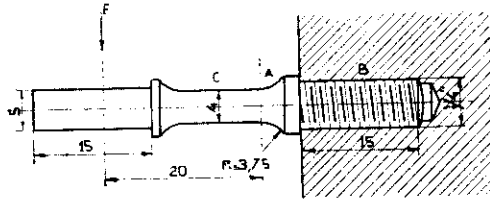


Fig. 3.

Klein model proefstaafje, dat voor de proeven, beschreven in dit rapport, werd gebruikt.

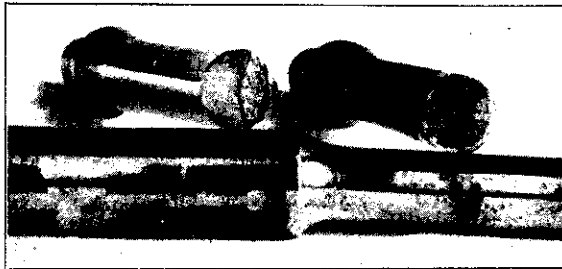


Fig. 4.

Eenige gebroken proefstaven, welke op de Amsler-machine werden beproefd.

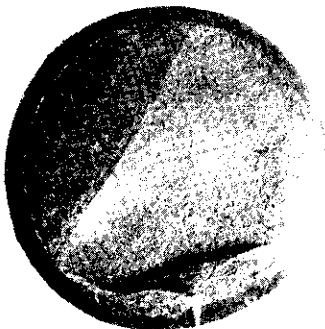


Fig. 5.

Vermoeingsbreuk van een 1 1/4" drijfstaangbout van een zwaren zuiggasmotor. De donkere linker bovenhoek tot aan de scherpe afscheiding geeft aan, hoever de vermoeiingsscheur was voortgegaan, vóór de bout afknapte.

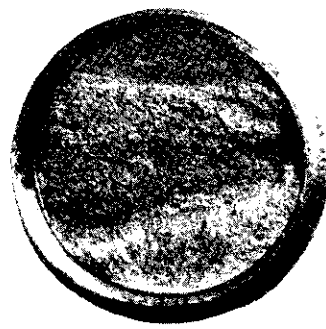


Fig. 6.

Vermoeingsbreuk van een 1 1/4" bout uit een motorkoppeling. Het donkere segmentje boven begrenst de vermoeiingsscheur.

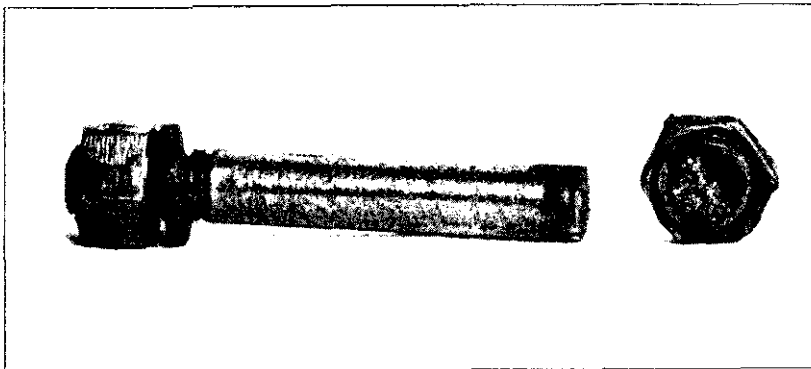


Fig. 7.

Spandraad-bevestigingsboutje $\frac{1}{2}$ " (uit een Spijkervliegtuig), dat na 100 vliegreuren door vermoeiing gebroken was. De vermoeiingsscheur wordt begrensd door het donkere segment in de breuk.

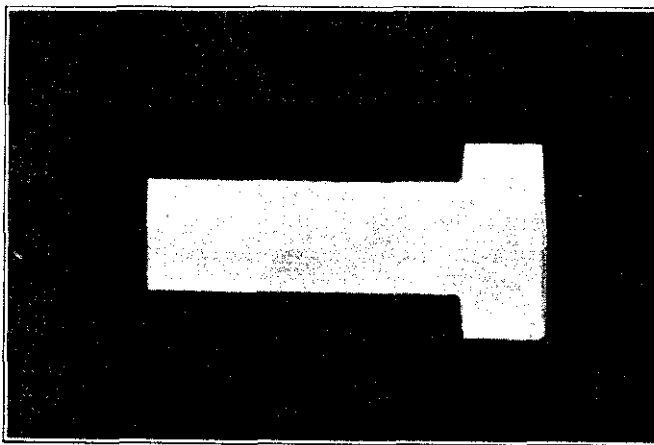


Fig. 8.

Spijker-boutje als fig. 7, sterker vergroot. Doorgezaagd, om den scherpen overgang van lijf naar kop beter zichtbaar te maken.



Fig. 9.

Vermoeiingsproefstaaf, welke buiten de gevaarlijke doorsnede een draaikras had overgehouden en op die plaats is gebroken (de breuk is in de figuur aangegeven).

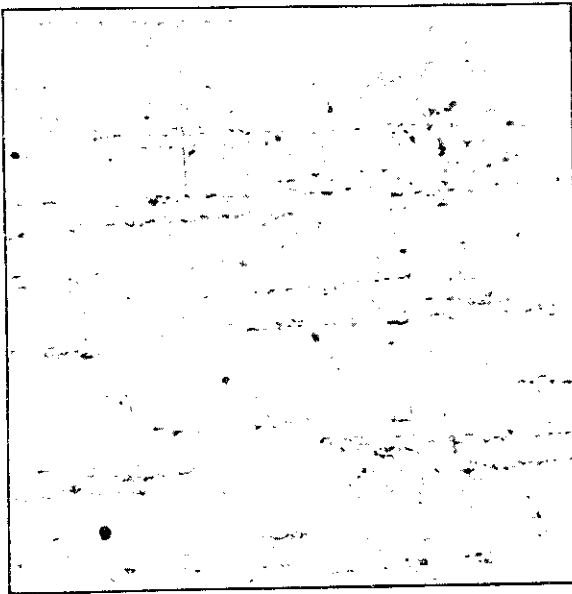


Fig. 10.

Duralumin-legeering 681 B, 100 × vergroot. Geëts met 10 % HNO₃ in water bij 70° gedurende 5 seconden. Door deze etsing zijn de koper-aluminaten (CuAl₂) zwart gekleurd. Wals-richting duidelijk zichtbaar.

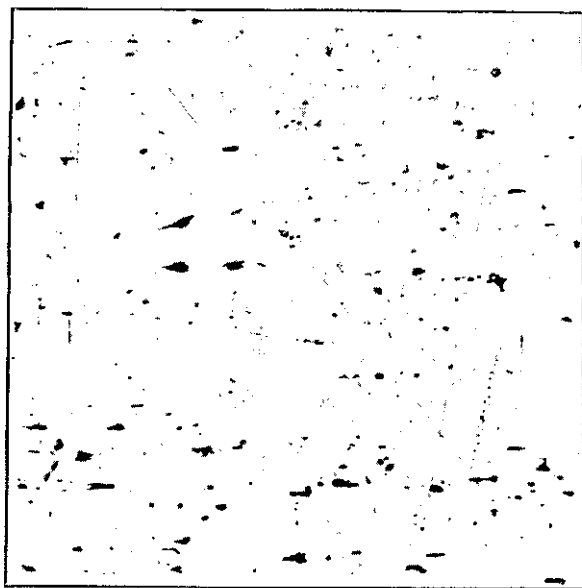


Fig. 11.
Duralumin-legceering Z, 100 $\times$ vergroot. Geëtst als fig. 10.
De structuur der aluminaten is iets grover.



Fig. 12.

Dwarsdoorsnede over een Duraluminstaaf, legering Z. De aluminium-mengkristalliten zijn zichtbaar gemaakt door een etsing gedurende $\pm$ 60 sec. in alcohol 85 + fluorwaterstofzuur 5 + nitro-benzol 10 vol. dln. 200 $\times$ vergroot.

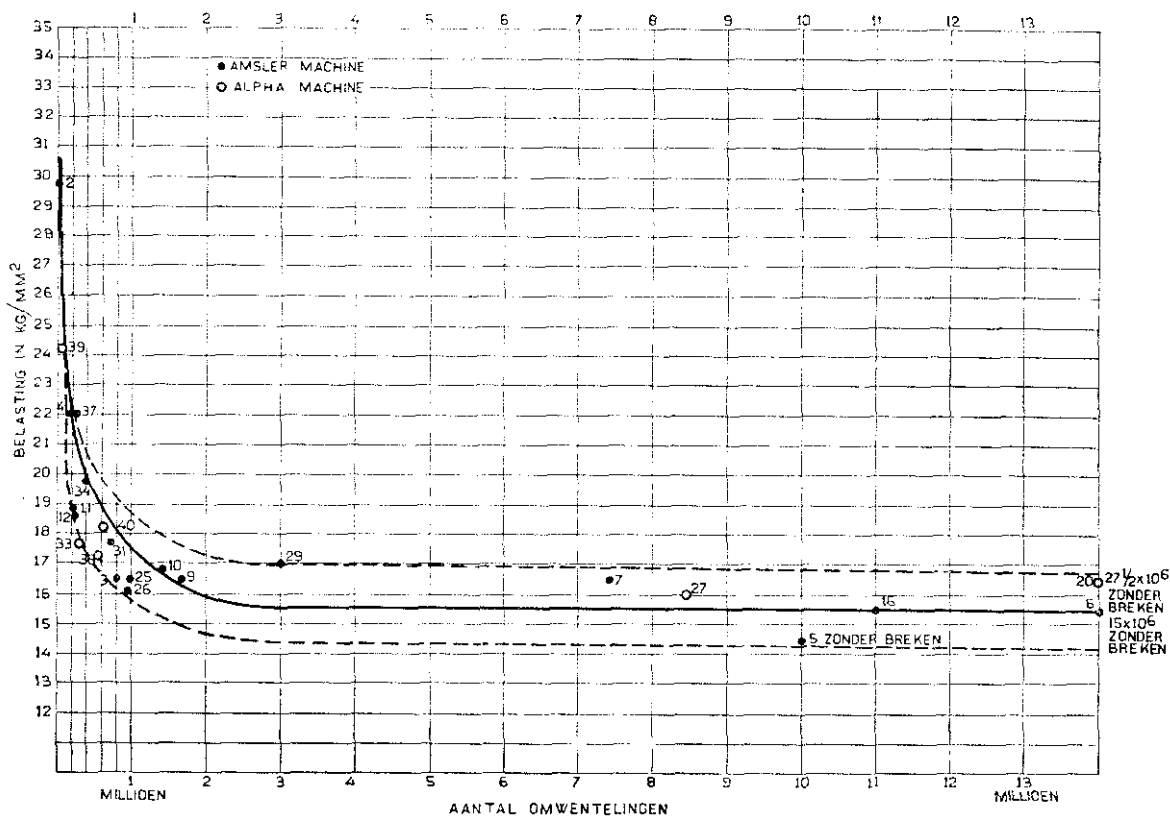


Fig. 13.

Vermoeiingsdiagram der Duralumin-legeringen Z en 681 B. Hoewel de strekgrans dezer beide legeringen resp. ± 34 — en ± 43 KG/mm² bleek te zijn, vallen de krommen samen.

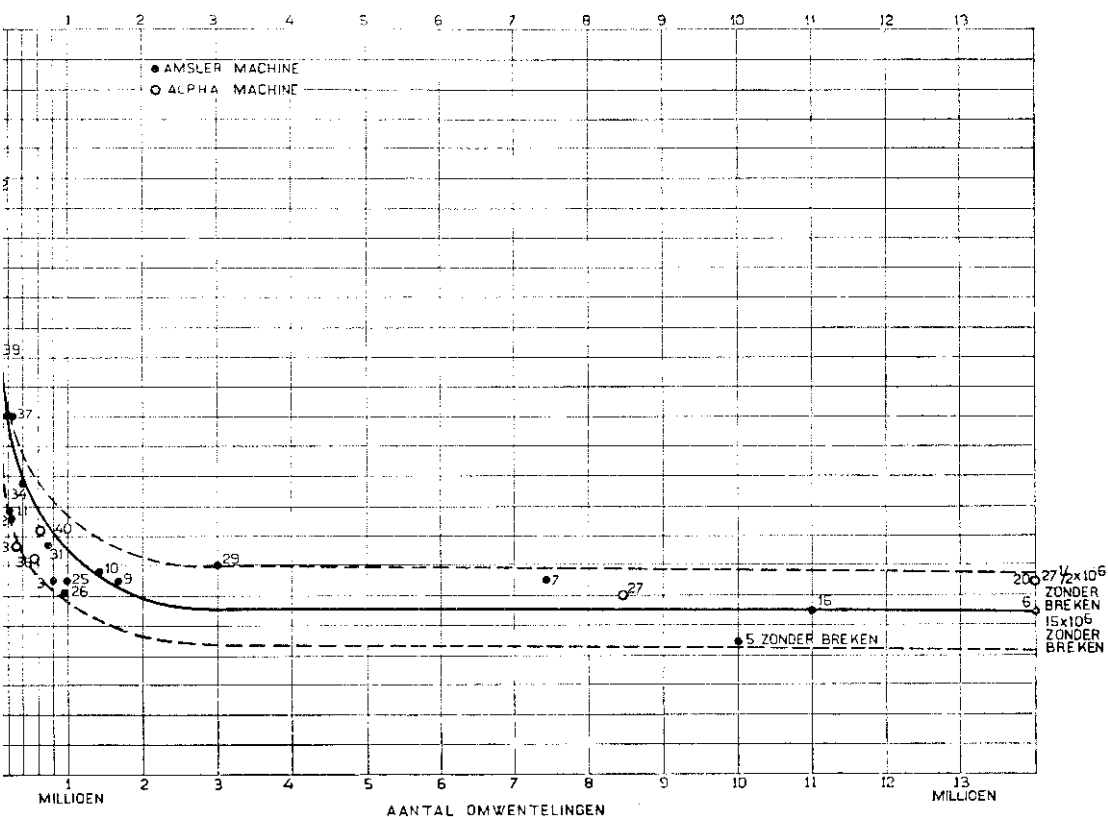


Fig. 13.

moeiingsdiagram der Duralumin-legeringen Z en 681 B. Hoewel de strekgrans dezer beide legeringen resp. 34 en 43 KG/mm² bleek te zijn, vallen de krommen samen.

RAPPORT M 40A.

OVER DE BETROUWBAARHEID VAN LASCHVERBINDINGEN VAN DUNNE NAADLOOZE STALEN BUIZEN.

OVERZICHT.

In den vliegtuigbouw geeft het gebruik maken van laschwerk voor verbinding van stalen onderdeelen groote voordeelen.

Door vele constructeurs en technici wordt de laschverbinding als minder betrouwbaar verworpen. Ten einde deze betrouwbaarheid te bestudeeren, werden honderden gelaschte naadloze buizen onderzocht. Deze lasschen waren ten deele afkomstig van den romp van een nieuwe Fokker Cr-machine en ten deele van onderdeelen van vliegmachines, beschadigd tijdens het bedrijf. Ook werd het werk van ervaren en minder ervaren lasschers met elkaar vergeleken. Naast het mikroskopische onderzoek werden trek-, druk- en vernielingsproeven genomen. Naar aanleiding van dit onderzoek is de volgende conclusie getrokken:

Conclusie.

Laschverbindingen van naadloze buizen, door middel van de acetyleen-zuurstofvlam, staan in betrouwbaarheid niet bij andere materiaalverbindingen achter, mits behoorlijk uitgevoerd. Onder behoorlijke uitvoering wordt verstaan, het werk van een normaal geschoolden lasscher, gewend aan het lasschen van dunne buis. Metallografisch kan de eisch gesteld worden, dat de kristalliten over den laschnaad doorloopen, de metalen in elkaar gekristalliseerd zijn. Plaatselijke verontreinigingen van den naad door slakken en losse plaatsen, zooals deze ook in het werk van zeer goede lasschers worden aangetroffen, zijn binnen grenzen toelaatbaar. Door overvloed van materiaal wordt de verbindingsplaats veelal sterker dan de oorspronkelijke buis. In de omgeving van de lasch wordt het buismateriaal uitgegloeid, zoodat de vastheidseigenschappen veranderen, waarmede bij het vaststellen der afmetingen rekening dient gehouden te worden, daar op die plaatsen meestal de eerste blijvende vormveranderingen optreden.

RECHERCHES SUR LA SOLIDITÉ DE FUSELAGES D'AVIONS COMPOSÉS DE TUBES D'ACIER SANS SOUDURE JOINTS PAR LA SOUDURE AUTOGÈNE.

RÉSUMÉ.

Pour se former une opinion sur la solidité de fuselages fabriqués de tubes d'acier, on a fait un grand nombre d'essais sur des parties d'un fuselage d'avion Fokker et sur des pièces soudées par des mécaniciens d'habileté diverse.

On a déterminé la résistance à la traction, à la pression et à la fatigue et on a étudié la structure à l'aide du microscope. Diverses essais de déformation de pièces soudées ont été faits. On a trouvé qu'en général cette méthode de joint donne des résultats excellents ce qui est prouvé en outre par les déformations de plusieurs avions détruits par des chutes, sans qu'il y a eu rupture des parties principales.

En inspectant des échantillons des parties soudées on trouve toujours des scories et des endroits où la réunion des deux métaux n'est pas parfaite. Quand ces parties ne dépassent pas un certain pourcentage du joint et que la structure microscopique montre que la cristallisation n'est pas interrompue ces défauts n'ont pas d'influence sur les résultats.

Par le chauffage la partie des tubes à côté du joint est recuite de manière à abaisser la limite élastique. Les déformations des parties soudées commencent généralement à ces endroits, lesquels sont plus faibles que les joints.

TESTS ON THE STRENGTH OF FUSELAGES, COMPOSED OF SEAMLESS STEEL PIPES, JOINED BY AUTOGENEOUS WELDING.

SUMMARY.

A great number of tests on parts of a Fokker fuselage and on special test-pieces have been made with a view to form an idea of the reliability of these structures. The experiments included tensile-, compression-, fatigue- and destruction-tests, complemented by microscopical examination.

It has been found that in general excellent results have been achieved. This has been confirmed by the examination of several planes that were crashed without any rupture of the principal parts.

When inspecting a cut through a joint little defects are always found. When these are not in too large extent and the cristallisation of the two parts that meet in the joint is continual, these defects have no appreciable influence on the strength.

The parts of the tube next to the joint are annealed by the heat of the flame. The elastic limit in these parts is lowered so that deformation begins there.

VERSUCHE ÜBER DIE FESTIGKEIT VON FLUGZEUG-RUMPFEN AUS AUTOGEN-GESCHWEISZTEN NAHTLOS GEZOGENEN STAHLRÖHREN.

ZUSAMMENFASSUNG.

Es wurden eine grosse Zahl Versuche gemacht mit Teilen aus einem Fokker-Flugzeugrumpf und mit speziell angefertigten Versuchs-objekten mit dem Zweck, die Zuverlässigkeit dieser geschweissten Verbindungen zu prüfen.

Zug- und Druckfestigkeit wurden bestimmt, Ermüdungsversuche mit der „Wöhlerschen“ Anordnung, Zerstörungsversuche und mikroskopische Untersuchung fanden statt.

Im Allgemeinen zeigte es sich durch die verschiedenen Versuche, dass die Zuverlässigkeit autogener Schweißverbindungen von stählernen Flugzeugröhren genügend gross ist, welche Meinung durch Untersuchung vieler geschweißten Unterteile aus gestürzten Flugzeugen, wobei durchaus nur verbogene Hauptteile gefunden wurden, bestätigt wurde.

Bei der Untersuchung von Schnitten über die Schweißstelle fand man immer Verunreinigungen und Stellen, wo die Materiale nicht zusammen geschweiszt waren. Falls die Abmessung dieser Stellen nicht zu gross ist und die Kristallisation im Allgemeinen kontinuierlich ineinander übergeht, wird die Festigkeit nur wenig erniedrigt.

Durch die Hitze der Schweißflamme wird das Metall in der Nähe der Schweißstelle ausgeglüht, wodurch die Streckgrenze erniedrigt wird. Knicken und Biegen der geschweißten Röhrrverbindungen fängt im Allgemeinen an diesen Stellen an.

RAPPORT M 40A.

OVER DE BETROUWBAARHEID VAN LASCHVERBINDINGEN VAN DUNNE NAADLOOZE STALEN BUIZEN.

De in het volgende rapport besproken laschverbindingen werden alle vervaardigd door middel van de acetyleen-zuurstofvlam met behulp van laschdraad. Andere laschmethoden werden niet onderzocht.

Verschillende vliegtuigonderdeelen kunnen gemakkelijk en goedkoop uit gelaschte stalen buizen worden vervaardigd (romp, landingsgestel, staartvlakken, enz.). Niet alleen de montage wordt hierdoor zeer eenvoudig, maar ook het wijzigen van het model tijdens of na den bouw, het herstellen van beschadigingen enz., biedt weinig moeilijkheid. Ondanks deze voordeelen, wordt de laschverbinding door vele constructeurs en technici als minder betrouwbaar verworpen.

Juist omdat het zoo eenvoudig gaat, vreest men voor minder deugdelijk werk, voor lapwerk, terwijl ook het feit, dat door een inspectie van het uiterlijk de kwaliteit zoo moeilijk kan worden beoordeeld, een bezwaar wordt geacht. Bovendien meent men voor goed werk afhankelijk te zijn van buitengewone vaardigheid bij den werkman.

Teneinde over de betrouwbaarheid gegevens te verzamelen, werd een zeer groot aantal laschverbindingen onderzocht.

Als materiaal voor deze proeven heeft gediend:

1. de romp van een vliegtuig, uit aan elkaar gelaschte, naadlooze stalen buizen opgebouwd.
2. een groot aantal gelaschte onderdeelen van vliegtuigen afkomstig, die door bedrijfsongevallen beschadigd waren.
3. een aantal gelaschte proefstukken, door lasschers van opklimmende geschooldheid vervaardigd.

Het onderzoek geschiedde op de volgende wijze:

A. Macro- en Mikroskopisch.

Na een inspectie van het uiterlijk, werd de laschplaats op verschillende manieren doorgezaagd, zoodat een goed overzicht over de verbinding verkregen kon worden.

Uit de schijfjes werden preparaten vervaardigd. Figuren 1 en 2 geven hiervan een voorbeeld.

Een inspectie met het bloote oog, of met een eenvoudige loupe van de gepolijste stukken, geeft reeds eenig idee van de deugdelijkheid der lasch. Daarna werden deze preparaten ongeëtst en geëtst mikroskopisch onderzocht. Op een ongeëtst preparaat is de lasch in de meeste gevallen gemakkelijk te volgen door de kleine slakjes en blaasjes, die zich vrijwel altijd bij den naad bevinden. Men kan zich dan een oordeel vormen omtrent de hechting en het aantal losse plaatsen, omtrent de zuiverheid en de hoeveelheid slakken, terwijl ook eventueel verbranden van het materiaal op de laschplaats te herkennen is aan kleine scheurtjes, hier en daar gevuld met oxyden. (Zie figuur 3 en 4.) Meer gegevens krijgt men door het mikroskoperen der geëtste preparaten.

Het Perlitgehalte maakt een schatting van het koolstofgehalte mogelijk van buis- en laschmateriaal; ook onzuivere plekken komen beter aan het licht. Is de verbinding goed tot stand gekomen, dan vindt men, dat de verbonden deelen in elkaar gekristalliseerd zijn, zoodat op de plaatsen, waar de lasch niet door onzuiverheden is aangegeven, geen scherpe afscheidingen meer worden gevonden. (Fig. 5, 6 en 7). Uit de vorm der kristallieten kan ten slotte nog beoordeeld worden, over welk gedeelte het buismateriaal door de laschvlam uitgegloeid is. Dit is dikwijls ook met het bloote oog of een loupe reeds duidelijk te zien.

B. Mechanisch.

Voor het controleeren van de mechanische eigenschappen der proefstukken werden de volgende proeven genomen:

1. Drukproeven.

Voor deze proeven werden korte stukken gelaschte buis, 4 à 5 cm. lang, recht afgedraaid en overlans op een hydraulische beproevingsmachine op druk belast. Nagegaan werd in de eerste plaats, of de proefstukken aan de Engelsche eischen voor naadlooze buis voldeden. Volgens deze voorschriften moet bij belasting in langsrichting, een diameter-vergrooting van 25 % of een complete vouw bereikt kunnen worden, zonder dat scheurtjes optreden. (Zie figuur 8).

Voldeden de stukken aan deze voorschriften, dan werd de proef voortgezet, tot de grootst mogelijke vervorming was bereikt.

2. Trekproeven.

Deze werden genomen op gelaschte ronde staafjes, gelaschte platte staafjes en gelaschte stukken buis. De ronde staafjes werden op de gebruikelijke wijze gelascht, d.w.z. nadat de te lasschen einden eenigszins waren bijgeslepen. (Zie figuur 9).

Daarna werden er normale proefstaafjes uit gedraaid, zóódanig, dat de lasch ongeveer in het midden van de meet-lengte

kwam te liggen. Door etsing met koper-ammonium-chloride werd de plaats van de lasch zichtbaar gemaakt. Met de vlakke proefstaafjes werd op overeenkomstige wijze gehandeld, (Zie fig. 10), met het verschil, dat deze niet werden bijgeslepen.

Het trekken van gelaschte buizen geeft eenige moeilijkheid, doordat indrukken bij de klemming dient vermeden te worden. Dit werd bereikt door het inbrengen van een vulstuk en het ombrengen van een lossen ring, die aan de bovenzijde door de laschvlam aan elkaar werden gehecht. (Zie fig. 11).

De proefstukken uit gelaschte buis werden op drie manieren vervaardigd, nl.:

- a. door 2 stukken bot tegen elkaar te lasschen. (Fig. 11).
- b. dito nadat een passend stuk buis van ongeveer 6—10 cM. lengte erin was geschoven. (Fig. 24).
- c. als b, maar behalve de lassching van de buizen tegen elkaar werd ook nog het inzetstuk door eenige puntlasschingen gehecht. (Fig. 25).

Bij de trekproeven werden de gewone waarnemingen gedaan.

3. Vernielingsproeven.

Op een groot aantal proefstukken werd getracht de laschhechting met geweld te verbreken. Hiervoor werden laschplaatsen soms gedeeltelijk doorgezaagd, om het hechtingsoppervlak te verkleinen en daarna gehamerd, geknepen, gebogen, gewrongen enz. terwijl hierbij de lasch steeds zoo ongunstig mogelijk werd belast. Zie verder onder Resultaten.

4. Vermoeiingsproeven.

Voor de vermoeiingsproeven werden een aantal staafjes op dezelfde wijze gelascht als voor de trekproeven.

Hierna werden er proefstaafjes uit vervaardigd, als in figuur 12 aangegeven, die in de Amsler-vermoeiingsmachine, op draaibuiging werden belast.

Ook hier werden de laschplaatsen door etsing vóór het afdraaien zichtbaar gemaakt, zoodat ervoor gezorgd kon worden, dat de gevaarlijke doorsnede ongeveer in het midden van den laschnaad terecht kwam.

RESULTATEN DER PROEVEN.

Macro- en Microscopisch onderzoek.

Over het algemeen kan worden gezegd, dat groote fouten die met het bloote oog zichtbaar waren, zeer zelden voorkwamen, zelfs bij lasschen, door minder geschoolde lasschers vervaardigd. Opgemerkt kan echter worden, dat bij de onderzochte gelaschte buizen, losse plaatsen geregeld werden aangetroffen, hoewel slechts een klein percentage van het gehechte oppervlak bedragende.

Bij het microscopisch onderzoek van den stalen romp waaruit honderden preparaten werden vervaardigd, bleek de laschnaad altijd gedeeltelijk zichtbaar te zijn op de ongeëtste preparaten door de aanwezigheid van slakjes en gaatjes. Door de etsing werd evenwel aangetoond, dat het in elkaar kristalliseeren van buis- en laschmateriaal steeds goed was.

Slechts in één geval werd een scherpe afscheiding gevonden, en dan nog slechts over een klein deel van den laschnaad.

Men vergelijke verder de onderschriften onder de foto's 13—17. Geheel in overeenstemming hiermede zijn de waarnemingen, gedaan op preparaten uit laschplaatsen van bedrijfsongevallen afkomstig, echter met eenige uitzonderingen. De eerste uitzondering maakte een stijl-buis uit een stijlknooppunt van een 5-persoons-verkeersvliegtuig. Deze stijl scheurde tijdens het bedrijf bij een laschnaad in.

Het microscopisch onderzoek bracht aan het licht, dat het materiaal bij den laschnaad verbrand was en er zich vele kleine scheurtjes in bevonden. (Zie figuren 4, 18 en 19).

De tweede uitzondering werd gevormd door een stijlknooppunt van een jager. In dit stuk werd onder de verf een scheur ontdekt van eenige centimeters lang. Hier bleek in de eerste plaats de bevestiging van een in een stijl ingelascht buisje buitengewoon slecht gelukt te zijn. De hechting was over een groot gedeelte van den naad niet tot stand gekomen, terwijl microscopisch verder in de buurt van den laschnaad verbrandingsscheurtjes als in figuur 18 en 19 werden gevonden.

Bij het onderzoeken van laschwerk door lasschers van verschillende geschooldheid vervaardigd, bleek, dat over het algemeen de hechting wel goed was, doch de verontreiniging van den laschnaad toeneemt bij afnemende geschooldheid. Verbrandingsscheurtjes kwamen in het werk van weinig geschoolde werklieden meermalen voor. (Zie fig. 20, 21 en 22).

1. Drukproeven.

De gelaschte stukken voor de drukproeven werden vervaardigd:

- a. door een bekwaam lasscher, die gewend was aan het lasschen van dunne buis, doch niet als een eerste kracht kan worden aangemerkt.
- b. door een bekwaam lasscher, niet gewend aan het lasschen van dunne buis.
- c. door verschillende leerling-lasschers.

De proeven op het werk van den lasscher sub a, gaven zeer regelmatige resultaten. Deze buizen voldeden niet alleen aan de Engelsche voorschriften voor drukproeven op ongelaschte buizen, doch konden alle volkomen in elkaar geperst worden zonder dat breuk optrad, zelfs wanneer alle overvloedige materiaal op de laschplaats van te voren werd weggedraaid.

Het werk van den lasscher sub b, bleek onbetrouwbaar in

zooverre, dat $\pm 50\%$ van de proefstukken door hem vervaardigd niet aan de Engelsche voorschriften voldeed en slechts weinige stukken het volkomen in elkaar persen verdroegen zonder breken. Bij het werk van de lasschers sub *c* kwamen verschillende zeer goede stukken voor, doch de betrouwbaarheid was nog geringer.

In fig. 23 is een in elkaar gedrukt proefstuk van den lasscher sub *a* afgebeeld.

2. Trekproeven.

Bij deze proeven bleek, dat in de meeste gevallen de trekvastheid in de lasch hooger is dan in de nabijheid er van en de proefstukken dus meestal buiten de laschplaats braken. Bij proeven van deze soort is de gevonden trekvastheid van het gelaschte stuk niet zonder meer met die van het oorspronkelijk materiaal te vergelijken. Wel is de in alle gevallen gevonden afname van de breekvastheid een maat voor hetgeen een gelascht stuk t. o. van een onglascht kon dragen, doch in aanmerking moet worden genomen, dat het oorspronkelijke materiaal in de nabijheid van de lasch door de bewerking verandert, een verandering, het meest overeenkomende met die, veroorzaakt door een korte gloeiing gevolgd door een vrij snelle afkoeling. Dit zal uit den aard der zaak het meest van invloed zijn bij die materialen, die zich niet in uitgegloeiden toestand bevinden.

Zoo zal het voor deze proeven gebruikte buismateriaal, dat een vastheid heeft van ongeveer 55 K.G./mM.² bij een strekgrens van ongeveer 48 K.G./mM.² bij uitgloeien een lagere vastheid bij een veel lagere strekgrens krijgen.

Door het lasschen verandert het materiaal naast de lasch en dit heeft tot gevolg dat de vastheid van dit veranderde materiaal i. h. a. ligt beneden de sterkte van den lasch, zoodat de eerste blijvende vervorming en ook de breuk niet in de lasch voorkomt, maar in het materiaal er naast. Bij vervormingen van gelaschte deelen in de praktijk ziet men ook steeds dat buigen en knikken van gelaschte buizen geschiedt naast de lasch.

Bij de trekproeven komt dit ook duidelijk tot uiting. In bijlage I en II van dit rapport zijn de uitkomsten dezer proeven opgenomen.

Het grootste deel der proefstukken brak naast de lasch, zelfs als, zooals bij sommige van de platte en bij de ronde staafjes geschied is, het overtollige materiaal op de laschplaats werd verwijderd. Bij de zeer dunne platte staafjes, die gelascht werden liggend op een steen, is het op deze wijze verkregen vastheids-cijfer hooger, dan dat van het oorspronkelijke materiaal, waarschijnlijk als gevolg van het snelle afkoelen van het door den brander verhitte metaal naast de lasch. Bij de trekproeven op stukken aan elkaar gelaschte buis, waarbij een versterking door een stuk binnenbuis was aangebracht braken de stukken op den rand van het inzetstuk, waaruit blijkt dat op deze wijze gelaschte buis sterker is dan de oorspronkelijke. De proeven waarbij het

inzetstuk door puntlasschen was verbonden aan de buitenbuis, braken bij lagere vastheidscijfers. Dit zal waarschijnlijk toe te schrijven zijn aan de uitgloeiende werking van de laschvlam op de omgeving van de puntlasch.

In het algemeen zal een inzetstuk dus de lasch meer betrouwbaar maken. Wil men door puntlassching deze betrouwbaarheid nog meer verhoogen dan moet de plaats van de puntlassching op voldoende afstand liggen van het eind van het inzetstuk, zoodat het oorspronkelijk materiaal op die plaats onveranderd blijft.

De rek van eenige proefstaven is uitgezet in fig. 24, waaruit duidelijk de door het lasschen veroorzaakte onregelmatigheid te zien is.

3. Vernielingsproeven.

Over deze proeven kan gezegd worden, dat het nooit is gelukt de hechting te verbreken bij laschwerk, door ervaren lasschers vervaardigd. Bij lasschers van gemiddelde geschooldheid gelukte dit een enkele maal op stukken, waarin door het microscopisch onderzoek haarscheurtjes en veel onzuiverheden waren aangetoond. Fig. 25 geeft de vervorming van een aantal proefstukjes weer, welke uit den onderzochten stalen romp genomen zijn. Van dezen romp verdroegen alle proefstukken de hierop genomen vernielingsproeven.

Ook de resultaten, bij belastingsproeven op gelaschte stalen rompen verkregen, wijzen uit, dat door het werk van normaal geschoolde lasschers een groote sterkte te bereiken valt. Bij een dergelijke belastingsproef op een romp, door prima lasschers vervaardigd, werd ongeveer 1,7 maal de voor de afname geëischte belasting opgebracht, zonder dat van eenige vervorming sprake was. Bij een soortgelijke beproeving op een anderen romp 1), welke als proef werd gebouwd door bekwame, doch in het lasschen van zeer dunne stalen buizen weinig ervaren lasschers, trad de eerste blijvende vervorming in bij $\pm 1,5$ maal de voorgeschreven belasting en breuk, nadat 2 maal de geëischte zandbelasting was overschreden.

In fig. 26 en 27 is dit breukgeval weergegeven. Hierbij ziet men de typeerende wijze van bezwijken van laschconstructies, zooals die steeds ook bij machines, welke door bedrijfsongevallen beschadigd zijn, wordt aangetroffen.

Nadat van het materiaal dicht bij de lasschen op sommige plaatsen de strekgrens overschreden is, treden in de constructie vormveranderingen op, des te grooter, naarmate de krachten, die erop werken grooter zijn. Door het meegeven van het door de

1) Proefneming, uitgevoerd door den Marine Luchtvaartdienst op het vliegveld „De Kooij” op den eersten, aldaar als proef gebouwd, Fokkerromp.

Bij de volgende constructies werd van laschijzer van beter kwaliteit en van meer geperfectioneerde laschbranders gebruikt gemaakt. Met opzet werd echter de zwakste romp als proefobject aangewezen.

laschvlam uitgegloeid buismateriaal, wordt afbreken in vele gevallen voorkomen. Slechts zelden ziet men een breuk in het laschmateriaal zelf.

4. Vermoeiingsproeven.

De vermoeiingsproeven op gelaschte staafjes zijn pas begonnen. Door het in gebruik zijn van de vermoeiingsmachines van den R. S. L. voor andere proeven kon slechts een klein aantal staafjes worden onderzocht. Voor deze staafjes werd hetzelfde materiaal genomen dat terzelfder tijd voor uitgebreide systematische proeven over den invloed van verschillende warmtebehandelingen op den vermoeiingsweerstand van vloeijzer gebruikt werd. Dit materiaal had een koolstofgehalte van $\pm 0,15\%$ en bezat de volgende mechanische eigenschappen.

Materiaal.	Trekvastheid.	Strekgrens.
Gewalst	43.5	38.5
Gegloeid $\frac{1}{2}$ uur bij 900° daarna langzaam afgekoeld	40.3	22.-
Gehard in olie na een gloeiing van $\frac{1}{2}$ uur bij 900°	60.-	37.6
Veredeld door $5 \times$ de temperatuur te wisselen tusschen 650 en 750°	42.5	24.4

Uit de vermoeiingsproeven bleek dat bij een belasting van $\pm 0,7$ maal de strekgrens de onglaschte staafjes ook na een groot aantal omwentelingen niet meer braken. (Voor de uitvoering van de proef zie bij het Rapport betreffende proeven over den Weerstand van Duralumin tegen Wisselspanning). De proeven op gelaschte staafjes brachten aan het licht dat:

1. Voor staafjes, door een zeer ervaren lasscher vervaardigd, de uitkomsten zeer regelmatig waren en deze grens hoger ligt dan bij het veredelde en uitgegloeide, doch lager dan bij het geharde materiaal. Zoo is bijv. een veredeld staafje belast met 21.4 K.G./mm^2 , gebroken na 1.282.000 omwentelingen, terwijl een gelascht staafje bij een belasting van 21.3 K.G./mm^2 , 4.829.390 omwentelingen heeft uitgehouden. Voor het geharde materiaal bleek deze belasting te klein om het staafje te breken. Een ander gelascht staafje, belast met 27 K.G./mm^2 , brak na 243.650 omwentelingen, een belasting die boven de strekgrens van het veredelde materiaal ligt, doch nog ongevaarlijk is voor het geharde materiaal. Een belasting van 29 K.G./mm^2 deed een derde staafje breken na 96.810 omwentelingen, terwijl voor het geharde materiaal een belasting van $30,2 \text{ K.G./mm}^2$ na 270.660 omwentelingen tot breuk voerde.

2. Het werk van een minder ervaren lasscher veel onregelmatiger resultaten opleverde. Van drie staafjes, ieder belast met 20 K.G./mM². brak er een na 6.440 een tweede na 118.510 en een derde na 948.720 omwentelingen.

Conclusies.

De resultaten der proeven, welke in dit rapport zijn beschreven, bevestigden de meening, bij het bestudeeren van talloze beschadigingsgevallen uit de practijk ontstaan, dat laschverbindingen van naadlooze stalen buizen door middel van de acetyleen-zuurstofvlam gemaakt, in betrouwbaarheid niet bij andere materiaalverbindingen achter staan. Hoewel goede uitvoering een vereischte is, kan voldoende betrouwbaarheid worden bereikt, door het werk van normaal geschoolde lasschers, die ervaring bezitten in het lasschen van dunne buis.

Uit het microscopisch onderzoek is gebleken, dat bij de laschverbindingen, die bij de mechanische proeven voldoende uitkomsten hebben gegeven, plaatselijke afwijkingen, als slakken in den naad en losse plaatsen, steeds voorkwamen.

De invloed hiervan op de sterkte van de verbinding is gering. Gegevens omtrent den invloed van dergelijke onregelmatigheden op den weerstand van de verbinding tegen wisselspanningen (vermoeidheid) zullen door verdere proefnemingen verkregen dienen te worden.

De breukgevallen uit de practijk, welke tot nu toe werden onderzocht, gaven hieromtrent geen aanwijzingen.

Meer gevaar voor het verminderen van den levensduur van een constructie-onderdeel, tengevolge van een kleineren weerstand tegen wisselspanning, geven haarscheurtjes, zooals deze bij plaatselijk verbrande lasschen zijn aangetroffen. Bij het microscopisch onderzoek zal hierop gelet moeten worden.

Van de mechanische proeven ter contrôle der betrouwbaarheid van laschverbindingen, verdient de drukproef als beschreven op blz. 2 de voorkeur. Deze is het gemakkelijkste en vlugste uitvoerbaar en geeft de wijze, waarop vliegtuigonderdeelen in de practijk gewoonlijk worden beschadigd, het beste weer. Bij het vaststellen der afmetingen van constructies welke uit gelaschte naadlooze buis worden opgebouwd, dient rekening gehouden te worden met het feit, dat op de plaatsen vlak bij de lasschen, het materiaal zich in uitgegloeiden toestand bevindt, en dus de trekvastheid en strek grens veelal lager zullen zijn dan van het oorspronkelijk materiaal, terwijl de rek zal zijn toegenomen.

TABEL VAN TREKPROEVEN OP GELASCHTE TREKSTAAFJES.

	Vastheid in K.G. per mm ² .	Strek- grens in K.G. per mm ² .	Rek in %.	Opmerkingen.
Platte proefstaafjes.	43.5	32.5	13.8	Overvloedig lasch-materiaal weggevijsd. Gebroken 30 mm buiten de lasch.
	44.5	27.5	18.7	Overvloedig lasch-materiaal weggevijsd. Gebroken 30 mm buiten de lasch.
	42.5	27	18.5	Overvloedig lasch-materiaal niet weggevijsd. Gebroken 32 mm buiten de lasch.
	43.5	28.5	17.5	Overvloedig lasch-materiaal niet weggevijsd. Gebroken 28 mm buiten de lasch.
	42.5	27	17.1	Overvloedig lasch-materiaal weggevijsd. Gebroken 25 mm buiten de lasch.
	42	31.5	8.7	Overvloedig lasch-materiaal weggevijsd. In de lasch gebroken.
Ronde proefstaafjes.	38.5	24.8	25	Niet gelaschte proefstaaf uit hetzelfde ma- teriaal.
	39.25	25	27.3	Niet gelaschte proefstaaf uit hetzelfde ma- terieel. Buiten de breuk nog één flauwe insnoering binnen de meetlengte.
	43	38.5	17.8	Ongelascht materiaal, gemiddelde waarde.
	42.2	26.7	26.4	Gelascht staafje, gebroken 10 mm buiten de lasch.
	42.6	28	31.2	Gelascht staafje, gebroken 10 mm buiten de lasch.

N.B. De doorsnede der platte proefstaafjes was steeds 10 × 2 mm. De meetlengte voor bepaling van den rek bedroeg 55 mm. De dikte der ronde proefstaafjes bedroeg 5 mm., de meetlengte 25 mm. Door de snelle afkoeling dezer staafjes na de verhitting door de laschvlam is een merkbare harding ingetreden waardoor de vastheid is verhoogd.

TREKPROEVEN OP GELASCHTE BUIZEN.

Buis- dia- meter in mM.	Wand- dikte in mM.	Aard van de inlassching	Trek- vastheid totaal K.G.	Trek- vastheid K.G./ mM. ²	Afstand breuk tot lasch in mM.	Opmerkingen.
25	1.15	ongelascht	4770	54.8		
"	"	"	4710	54.3		
"	"	bot gelascht zonder inzet- stuk	3480	40.-	0	gebroken in de lasch.
"	"	"	3255	37.4	0	"
"	"	"	3580	41.2	0	"
"	"	"	3412	39.1	17-24	
"	"	"	3475	39.9	10-18	
"	"	"	3230	37.1	15-20	
"	"	"	3420	39.3	10-16	
"	"	met inzetstuk 60 mM. lang	4400	50.6	30	gebroken op rand inzetstuk.
"	"	met inzetstuk 100 mM. lang	4538	52.2	108-115	gebroken in buis.
"	"	"	3920	45.-	25-28	± 23 mM. vanaf rand inzet- stuk.
"	"	"	4725	54.3	126-141	gebroken in buis.
"	"	"	4730	54.4	51-64	
"	"	"	4440	51.-	97-116	
"	"	"	4690	53.8	97-118	
"	"	met inzetstuk hetwelk door puntlассchen verbonden was	3250	37.3	35	inzetstuk 60 mM. lang.
"	"	"	4050	46.6	50	inzetstuk 100 mM. lang.
"	"	"	3675	42.2	50	"
"	"	"	4100	47.2	50	"
"	"	"	3785	43.5	48	"
"	"	"	4150	47.7	49	"
"	"	"	4175	48.-	50	"
"	"	ingezaagd in- zetstuk lang 100 mM.	4625	53.2	48	gebroken op rand vulstuk.
"	"	"	3980	45.8	22-24	25 mM. van rand vulstuk.
"	"	"	3975	45.7	22-25	9 mM. van rand vulstuk.
"	"	"	3925	45.1	25	gebroken op rand, inzetstuk korter.

Buis- dia- meter in mM.	Wand- dikte in mM.	Aard van de inlassching.	Trek- vastheid totaal K.G.	Trek- vastheid K.G./ mM ² .	Afstand breuk tot lasch in mM.	Opmerkingen.
25	1.15		3875	44.5	13-20	30 mM. van rand vulstuk.
"	"		4625	34.7	48	gebroken op rand.
"	"	ingezaagd inzet- stuk lang 100 mM. met punt- lasschen	3575	41.-	39-45	"
"	"	"	3755	43.4	38-52	"
"	"	"	3610	41.5	43-50	"
"	"	"	3350	38.5	33-42	
"	"	"	3620	41.6	38-47	bovenkant gelijk met vulstuk.
"	"	"	3620	41.6	38-42	8 mM. vanaf rand vulstuk.
22	"	ongelascht	3750	49.7		
"	"		3660	48.5		
"	"	zonder inzet- stuk	2960	39.3		gebroken in lasch.
"	"	met inzetstuk	3540	47.-	25	gebroken op den rand van het in- zetstuk.
"	"	inzetstuk met puntlasch	2500	33.1	30	"
20	1.—	ongelascht	3550	59.5		
"	"	ongelascht	3500	58.7		
"	"	zonder inzet- stuk	2540	42.5	15-25	
"	"	met inzetstuk	3250	54.5	35	op rand van het inzetstuk.
"	"	inzetstuk met puntlasch	2600	43.5	38-43	5 mM. buiten in- zetstuk.
18	1.1	ongelascht	3390	58.1		
"	"		3290	56.4		
"	"	zonder inzet- stuk	2850	48.7	10-15	
"	"	met inzetstuk	2490	42.6	30	op den rand van het inzetstuk.
"	"	inzetstuk met puntlasch	2480	42.5	37-47	2-10 mM. buiten rand van het in- zetstuk.

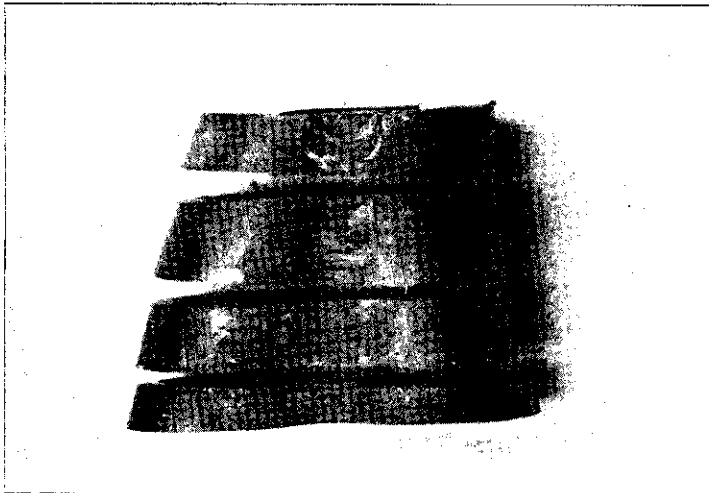


Fig. 1.

Wijze, waarop laschverbindingen werden stukgezaagd voor
de vervaardiging van microscopische preparaten.

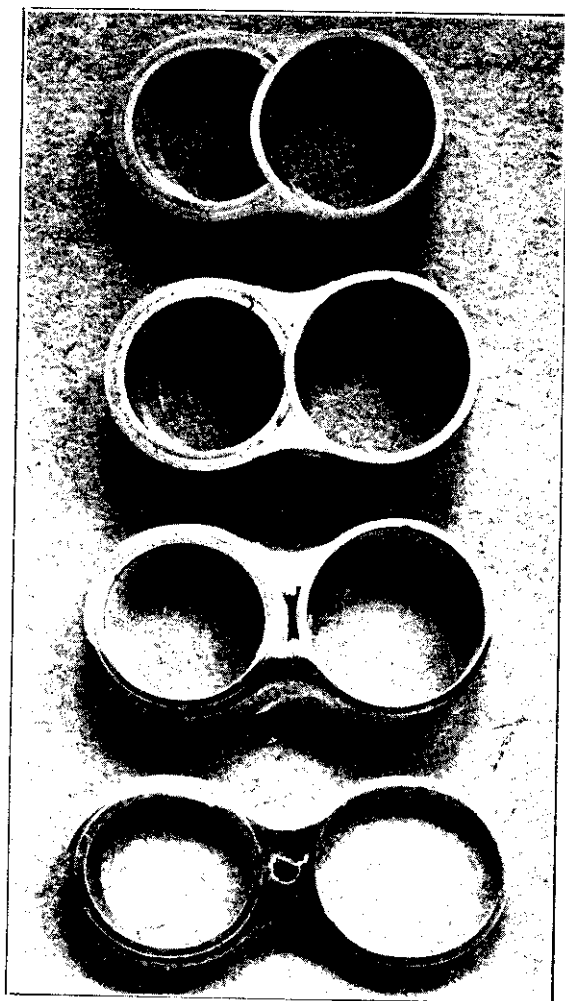


Fig. 2.
Microscopische preparaten uit fig. 1. Losse
plaatsen zijn zichtbaar.



Fig. 3.

Laschplaats ongeëtst. 100 $\times$ vergroot. Op dit gedeelte van de overigens goede lasch zijn losse plaatsen en slakken zichtbaar. Gelaschte vliegtuigbuis uit een romp, welke de voorgeschreven belastingsproef en ook een 70 % hogere belasting zonder beschadiging doorstond.

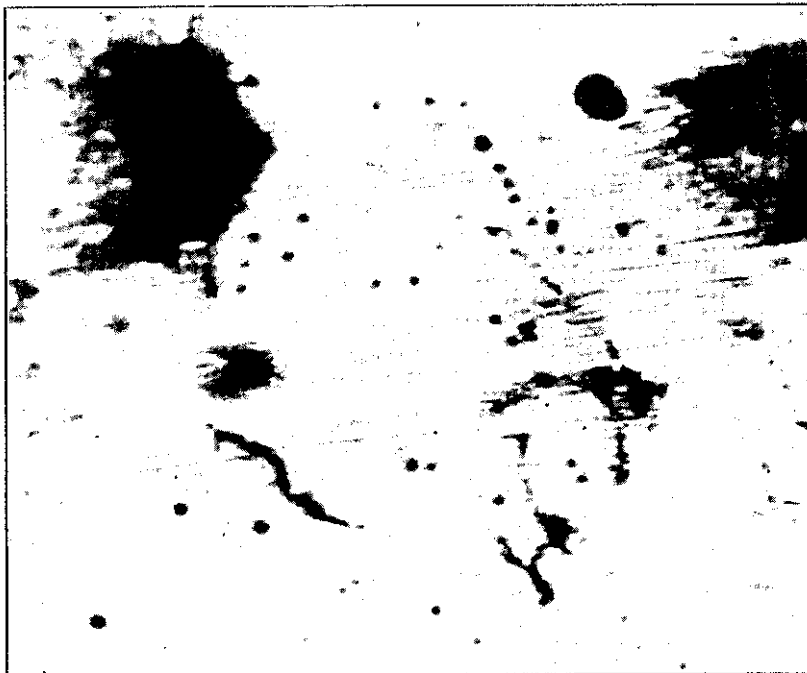


Fig. 4.

Laschplaats ongeëtst. 600 $\times$ vergroot. Voorbeeld van een slechte lasch. In de foto zijn losse plaatsen, vele slakjes en ook haarscheuren zichtbaar. Dit preparaat werd genomen uit een gelascht stylknooppunt, waarin na korten bedrijfstijd een scheur ontstond.



Fig. 5.

Laschplaats geëtst met 4 % HNO_3 in alcohol. 100 $\times$ vergroot. Voorbeeld van een minder goede lassching. Het materiaal beneden de afscheiding vertoont sporen van oververhitting. Preparaat genomen uit denzelfden romp als fig. 3.

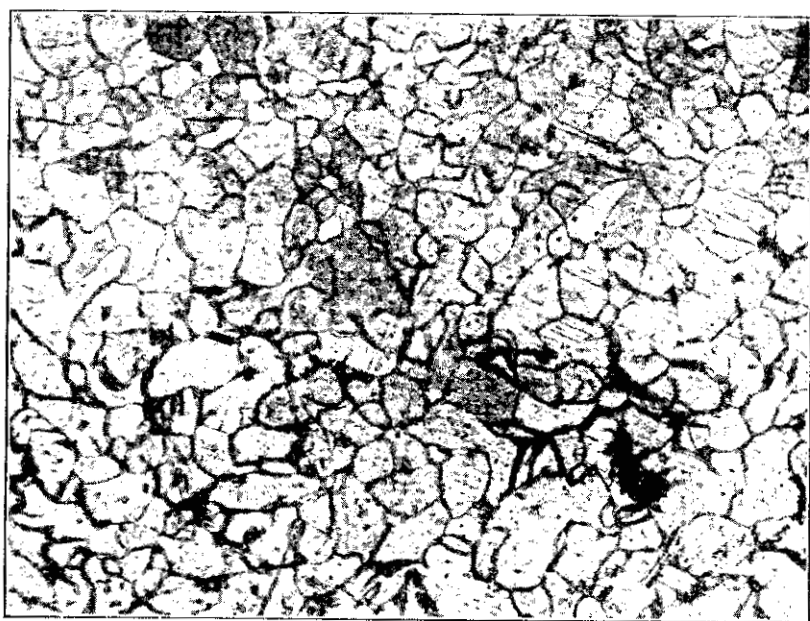


Fig. 6.
Laschplaats geëetst met 4 % HNO_3 in alcohol. 200 $\times$ vergroot. Voor-
beeld van een buitengewoon goede lasch, genomen uit denzelfden
romp als fig. 3. Geen afscheiding zichtbaar.

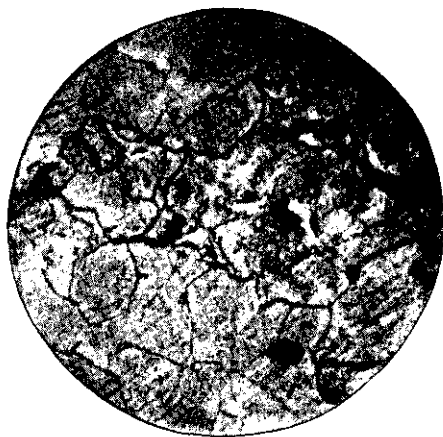


Fig. 7.

Laschplaats geëetst met 4 % HNO_3 in alcohol. 200 $\times$ vergroot. Proeflasch op dunne buis door een goeden lasscher met weinig ervaring in het lasschen van dunne buis. Haarscheuren om de omtrekken der kristalliten

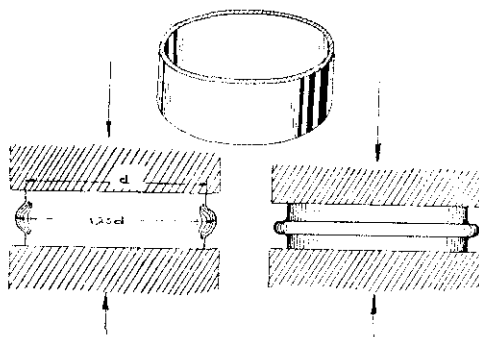


Fig. 8.

Figuur geeft aan de wijze, waarop de drukproeven werden genomen. Volgens de Engelsche voorschriften moet naadlooze buis een vervorming zonder scheuren kunnen verdragen, tot de diameter 25 % is toegenomen (onderste figuur links) of tot één complete vouw is gevormd (onderste figuur rechts).



Fig. 9.

Wijze, waarop de ronde gelaschte trekproefstaafjes werden vervaardigd.

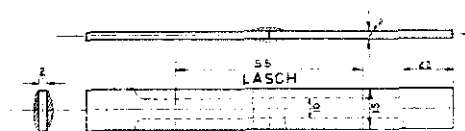


Fig. 10.

Wijze, waarop de platte gelaschte trekproefstaafjes werden vervaardigd.

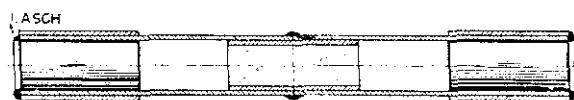
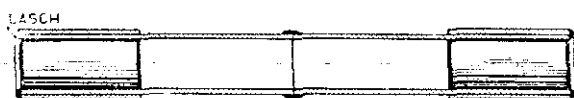


Fig. 11.

Proefstukken uit gelaschte buis voor het nemen van trekproeven.

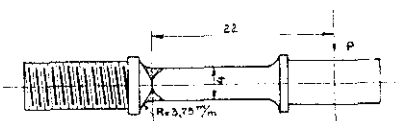


Fig. 12.

Gelascht vermoeiingsproefstaafje.

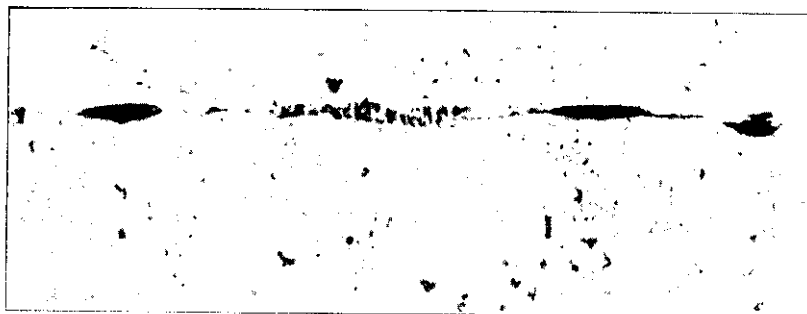


Fig. 13 en 14.

Laschplaats ongeëtst en geëtst. Goede hechting, ondanks slakken en losse plaatsen. Vergroting 100 $\times$. Etsing 4 % HNO_3 in alcohol.



Fig. 15.

Voorbeeld van een goede hechting vlak naast een groote verontreiniging. Vergroting 100 $\times$. Etsing 4 % HNO_3 in alcohol.



Fig. 16 en 17.

Laschplaats ongeëtst en geëtst. Deze foto's toonen aan, dat, ondanks de vele verontreinigingen, zichtbaar op het ongeëtste preparaat, de hechting toch goed is. Vergrooting 100 ×. Etsing 4 % HNO_3 in alcohol.

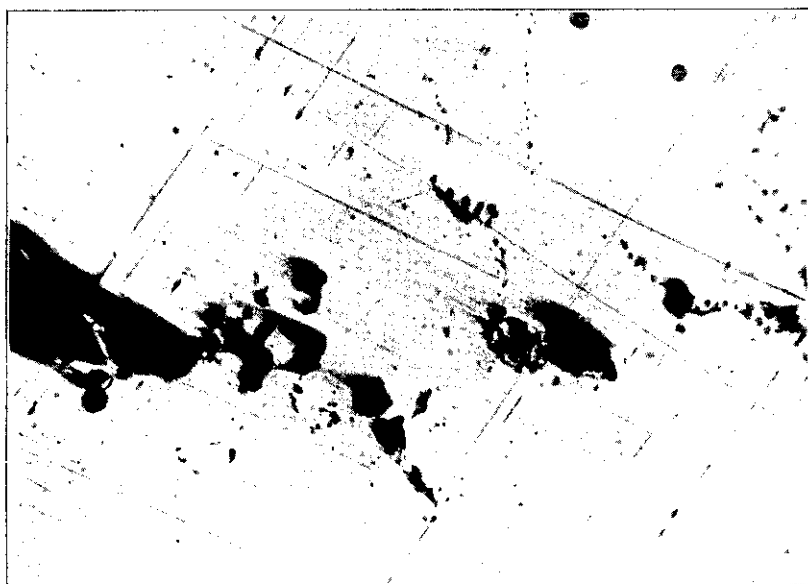


Fig. 18 en 19.

Laschplaatsen uit een gelascht stijlknooppunt, dat tijdens het bedrijf inscheurde. Op beide foto's zijn losse plaatsen, slakken, en ook haarscheurtjes zichtbaar. 100 $\times$ vergroot, ongeëts. Zie ook figuur 4.

Rapport M 40 A.

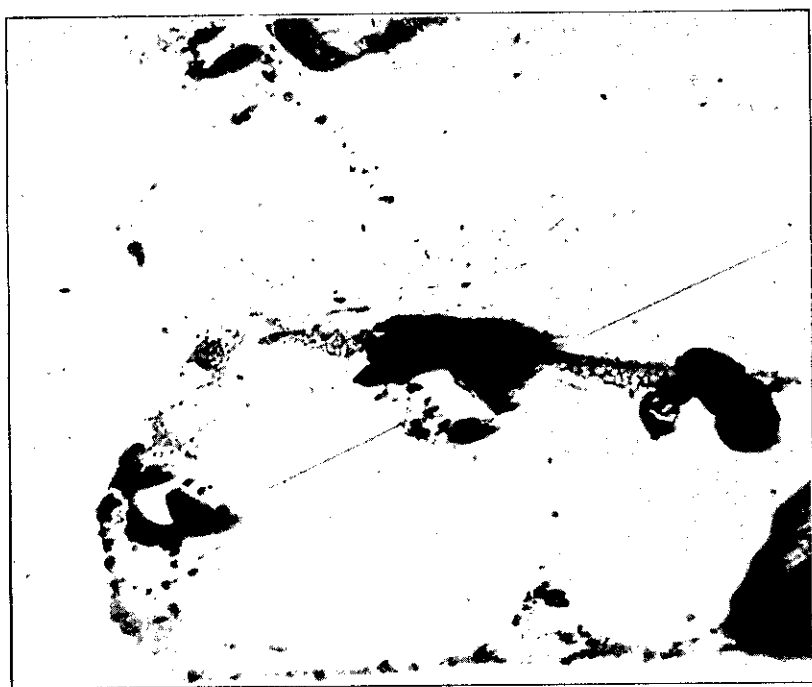
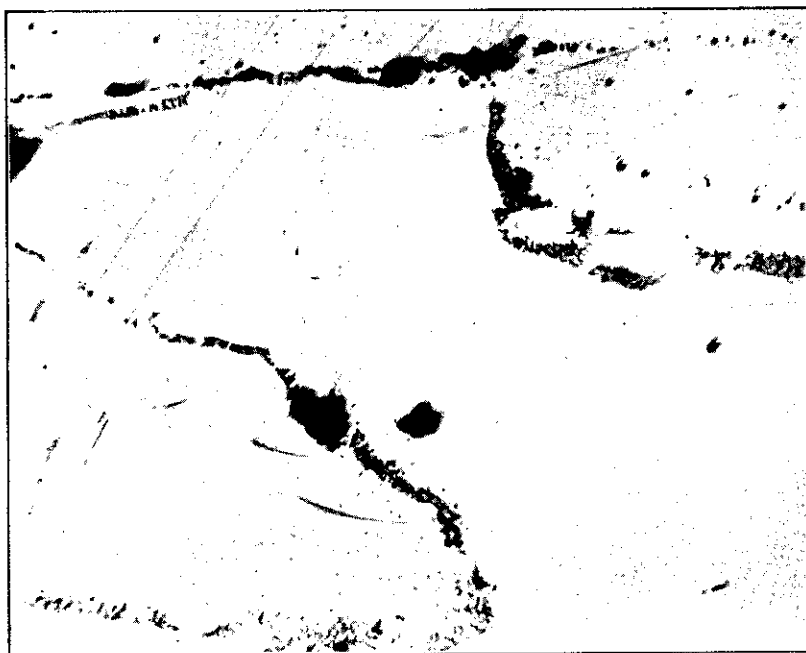


Fig. 20 en 21.
Slechte lasch van een minder geoefend lasscher. Ongeëts.
100 × vergroot (proeflasch).



Fig. 22.
Goede lasch van een meer geoefend lasscher. Geëts met picrine-
zuur. 100 $\times$ vergroot.



Fig. 23.
Proefstukken van bot-gelaschte buis, die de drukproef, afgebeeld in
fig. 8 met glans doorstonden. Bij het doorgezaagde stuk in het midden
was het overtollige laschmateriaal van te voren weggedraaid. De
lasch bevindt zich hier aan de binnenzijde van de vouw.

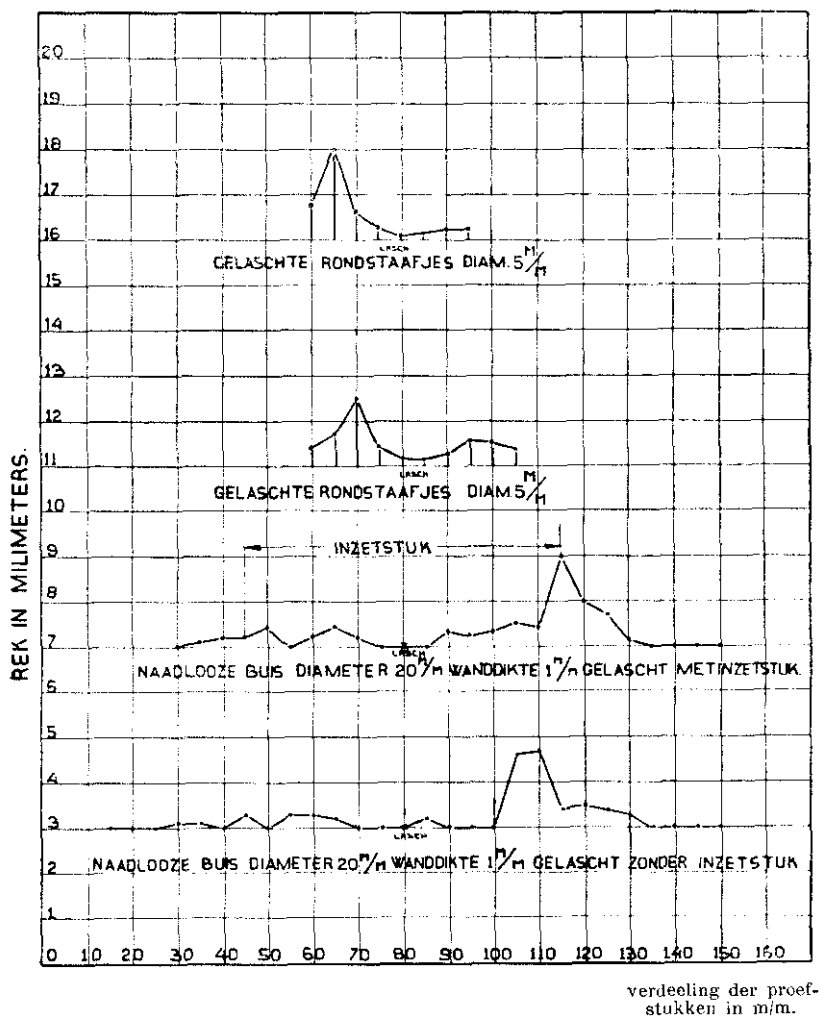


Fig. 24.
 Rekdiagrammen van 2 gelaschte rondstaafjes en 2 gelaschte naadloze buizen.

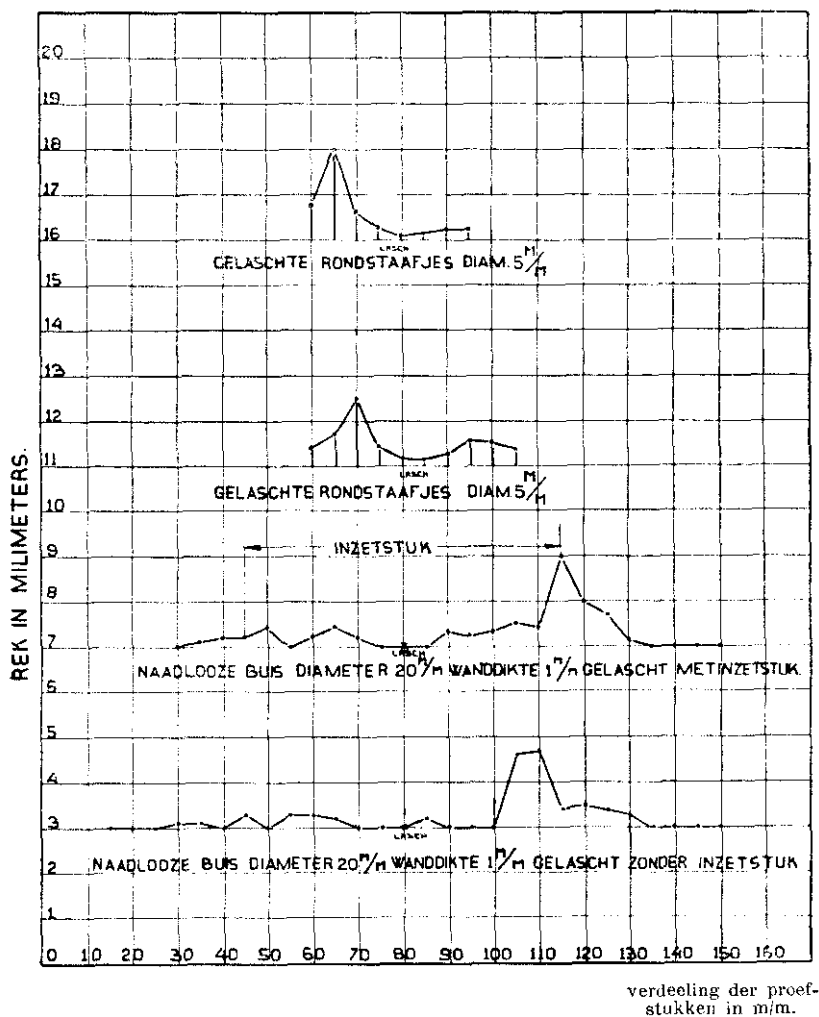


Fig. 24.
Rekdiagrammen van 2 gelaschte rondstaafjes en 2 gelaschte naadloze buizen.