



TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT

VLIEGTUIGBOUWKUNDE

Memorandum M 13

Aanvullende metingen van het kritieke getal van

Reynolds met een bol van 0,06 m diameter in

de lage-turbulentie windtunnel.

door

ir. J. Boeker

Delft - Nederland

Februari 1959

TECHNISCHE HOGESCHOOL DELFT
VLIEGTUIGBOUWKUNDE

Memorandum M 13

Aanvullende metingen van het kritieke getal van
Reynolds met een bol van 0,06 m diameter in
de lage-turbulentie windtunnel

door:

ir. J. Boeker

Opgesteld voorjaar 1957.

DELFT-NEDERLAND

Februari 1959

Samenvatting.

Als aanvulling op de metingen beschreven in Memorandum M 12 werd het kritieke getal van Reynolds opnieuw bepaald voor de bol van 0,06 m diameter met een gewijzigde ondersteuning. De vroeger gemeten hysteresis-verschijnselen in het drukverschil voor en achter de bol blijken sterk af te nemen naarmate de bol stijver wordt ondersteund. In dezelfde volgorde neemt het kritieke getal van Reynolds toe. Met de stijfste ondersteuning van de bol werd geen hysteresis meer gemeten. Hierbij werd voor het kritieke getal van Reynolds gevonden $4,59 \cdot 10^5$.

Summary.

Supplementary to the measurements described in Memorandum M 12 the critical Reynolds number was again determined in the low-turbulence wind-tunnel for a sphere of 0.06 m (2.36 in.) diameter with a modified supporting sting. The hysteresis of the pressure at the rear of the sphere with increasing or decreasing airspeed was found to decrease when the rigidity of the sting support was improved. In the same order the critical Reynolds number increases. With a very rigid support no hysteresis was obtained. The critical Reynolds number in this set-up was found to be as high as $4.59 \cdot 10^5$.

Inhoud:

blz.

1. Notaties	1
2. Doel en omvang van de metingen	1
3. Apparatuur en opstelling	2
4. Meetresultaten	3
Tabellen 1 t/m 3	5 t/m 7
Figuren 1 t/m 4	8 t/m 10

- 1 -

1. Notaties.

p_t	kg/m^2	totale druk
p	kg/m^2	statische druk
p_w	kg/m^2	wanddruk gemeten met een drukgaatje in de wand dwars van het middelpunt van de bol.
p_{atm}	kg/m^2	atmosferische druk
Δp	kg/m^2	$\Delta p = p_t - p$ achterste drukgaatjes bol
q	kg/m^2	stuwdruk gemeten als $q = p_t - p_w$
q_{kritiek}	kg/m^2	stuwdruk waarbij $\Delta p = 1,22 q$ is.
t	$^{\circ}\text{C}$	temperatuur
H	mm Hg	barometerstand
t^+		de index $^+$ geeft aan: op het instrument afgelezen, niet gecorrigeerde waarden.
q^+		
p^+		

2. Doel en omvang van de metingen.

Gedurende de metingen met bol no. 1 beschreven in Memorandum 12 werd een duidelijk hysteresis-verschijnsel waargenomen. Bij een zelfde stuwdruk bleek het drukverschil Δp verschillende waarden te hebben al naar gelang de metingen bij een opklimmende of een dalende reeks stuwdrukken werden uitgevoerd. Teneinde na te gaan of dit wellicht een gevolg was van de invloed van de onderdelen van de ophanging van de bol op de stroming, werd met dezelfde bol een meting uitgevoerd waarbij de ophanging van de bol gewijzigd was.

Aangezien in deze nieuwe opstelling de mogelijkheid van trillen van de bol niet geheel uitgesloten was, werd een tweede meting uitgevoerd waarbij de bol stijver werd ondersteund.

2. Apparatuur en opstelling.

2.1. Algemeen.

De metingen werden op 20 februari 1957 uitgevoerd in inzetstuk 3 van de laagerturbulentie windtunnel van de sub-afdeling Aer Vliegtuigbouwkunde van de Technische Hogeschool te Delft.

2.2. Turbulentie - bol no. 1.

Deze bol (diameter 0,06 m) is dezelfde bol die beschreven is in het Memorandum M 12.

2.3. Opstelling.

De opstelling is in principe gelijk aan de opstelling van bol no. 2 beschreven in Memorandum M 12. Een tekening van de opstelling is gegeven in fig. 1. Het aansluitschema is getekend in fig. 2.

Er werd gemeten met twee opstellingen. In opstelling 2 werd t.o.v. opstelling 1 de bol met de daaraan bevestigde steel 200 mm verschoven t.o.v. de V-stijlen waar het geheel aan is opgehangen. In de opstelling 1 werd nl. een geringe trilling van de bol opgemerkt. Door de bol naar achteren te verschuiven werd bereikt dat de vrijdragende lengte van de steel werd verkort. Het geheel werd hierdoor stijver. In opstelling 2 kon geen trilling meer worden waargenomen.

2.4. Meting van de stuwdruk.

De stuwdruk werd gemeten als het verschil van de totale druk en de wanddruk. Deze laatste werd gemeten door een drukgaatje in de zijwand van het inzetstuk, dwars van de turbulentie-bol. Vooral was door een meting vastgesteld dat geen verschil kon worden gemeten tussen de wanddruk op deze wand en op de overige zijden op dezelfde hoogte. De gemeten stuwdruk werd gecorrigeerd voor de instrumentale fout van het gebruikte drukklokje VTH 8-008.

3.5. Meting van het drukverschil Δp .

Het drukverschil Δp tussen voor- en achterzijde van de bol werd bepaald als het verschil tussen de totale druk (gemeten met de vaste pitotbuis VTH 24-002) en de druk gemeten met de drukgaatjes aan de achterzijde van de bol. Vooraf was door metingen vastgesteld dat de totale druk, gemeten ter plaatse van de bol, gelijk was aan de totale druk gemeten met de vaste pitotbuis. Het aansluitschema is getekend in fig. 2.

3.6. Temperatuurmeting.

De temperatuur van de lucht in de suskamer van de tunnel werd gemeten met de elektrische weerstandsthermometer VTH 11-051/1-057. De gemeten suskamertemperatuur werd herleid tot de temperatuur in het inzetstuk met de formule

$$T_{\text{suskamer}} - T_{\text{inzetstuk}} = 0,008 q$$

(q = stuwdruk in de meetplaats in kg/m^2).

3.7. Meetresultaten.

De meetresultaten in opstelling 1 zijn gegeven in tabel 1 en fig. 3, de resultaten in opstelling 2 in tabel 2 en fig. 4. De kritieke getallen van Reynolds voor beide opstellingen zijn berekend in tabel 3. Ten aanzien van de resultaten kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt:

De hysteresis in Δp bij toenemende of afnemende stuwdruk is in beide opstellingen aanzienlijk minder dan in de opstelling beschreven in Memorandum M 12. In opstelling 2 is deze hysteresis zelfs nauwelijks merkbaar. Dit zou er op kunnen wijzen dat de stijfheid van de ondersteuning van invloed is op de grootte van de hysteresis. De ondersteuning van de bol gedurende de proeven beschreven in Memorandum M 12 was minder stijf dan gedurende deze proef in opstelling 1. Op zijn beurt was opstelling 1 minder stijf dan opstelling 2. In dezelfde volgorde neemt de gemeten hysteresis steeds af.

In deze volgorde neemt het kritieke getal van Reynolds toe. Werd gedurende de metingen beschreven in Memorandum M 12 voor het kritieke getal van Reynolds gevonden $4,33 \cdot 10^5$, bij deze meting bedroeg dit $4,55 \cdot 10^5$ met de bol in opstelling 1 en $4,6 \cdot 10^5$ met de bol in opstelling 2. De veronderstelling ligt voor de hand, dat het kritieke getal van Reynolds wordt verlaagd door het trillen van de bol. Dit zou betekenen dat tengevolge van de op zichzelf geringe trilling van de bol, de grenslaag eerder geneigd is van laminair in turbulent om te slaan. Hiermee is niet gezegd dat de grenslaag rechtstreeks wordt beïnvloed door het trillen van de bol. De mogelijkheid is niet uitgesloten dat de drukverdeling om de bol door de trilling wordt gewijzigd en dat deze wijziging een verplaatsing van het omslagpunt teweeg brengt. In ieder geval is het van belang om er voor te zorgen dat modellen en instrumenten, waarvan de eigenschappen worden beïnvloed door de ligging van de omslaglijn, zo stijf mogelijk worden ondersteund.

Tabel 3 Berekening van $R_{kritiek}$

Meting	bijz.:	$q_{krit.}$	t^+	t	H	$p_w - p_{atm}$	p_w	ρ	$\rho \cdot 10^4$	V^2 $V^2_{krit.}$	$V_{krit.}$	$R_{krit.} \cdot 10^{-5}$
no			temp. in suskamer	temp. in in- zetstuk $t =$ $t^+ - 0,008q$	baro- meter stand	fig. 9 memo- randum M 12	druk in inzet- stuk	fig. 22 memo- randum M 12	fig. 23 memo- randum M 12	$V^2 = \frac{2 \cdot q_{kr.}}{\rho}$		$R_{krit.} = \frac{V_{krit.}}{V} \cdot 0,06$
		$\frac{kg}{m^2}$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	mm Hg	mm Hg	mm Hg	$\frac{kg}{m^3} \cdot sec^2$	$\frac{m^2}{sec}$	$(\frac{m}{sec})^2$	m/sec	-
1	$q_{toen.}$	676	10,7	5,3	754,6	1,07	755,7	0,1282	0,136	10546	102,7	4,52
1	$q_{afn.}$	690	12,3	6,8	754,6	1,08	755,7	0,1275	0,137 ⁵	10823	104,0	4,53
2	$q_{toen.}$	710	12,9	7,2	754,2	1,1	755,3	0,1273	0,1378	11163	105,7	4,59
2	$q_{afn.}$	716	13,2	7,5	754,2	1,1	755,3	0,1271	0,1382	11275	106,2	4,60

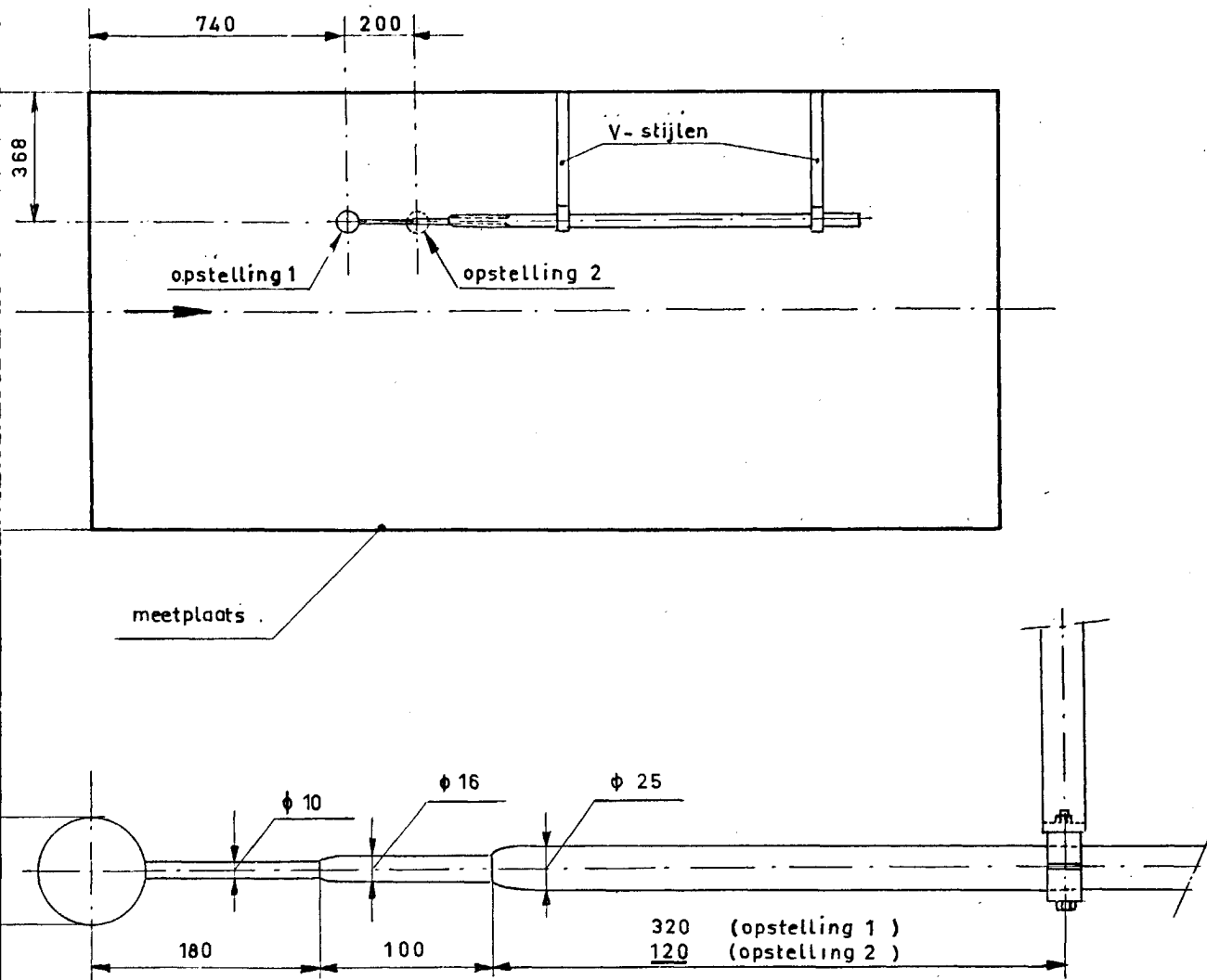


Fig. 1. OPSTELLING TURBULENTIE BOL NO.1 (ϕ 0,06 m)

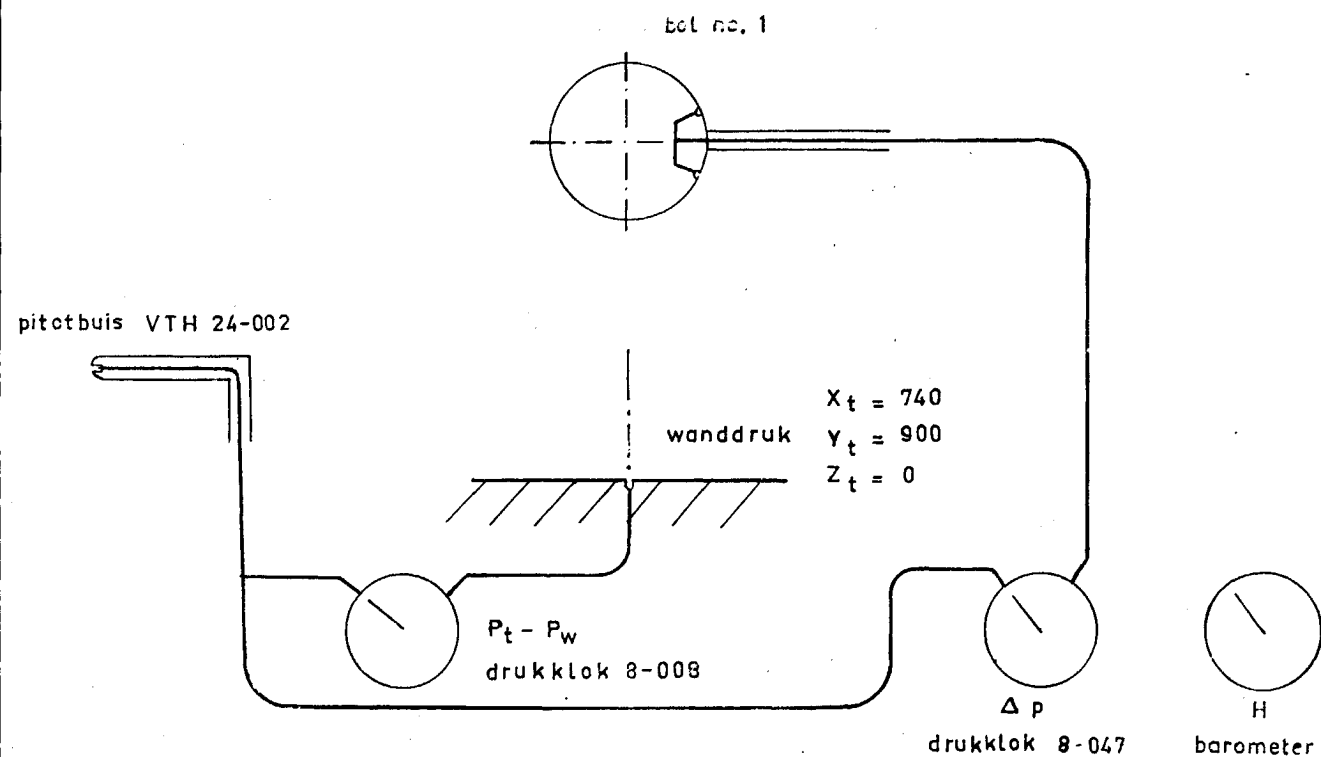
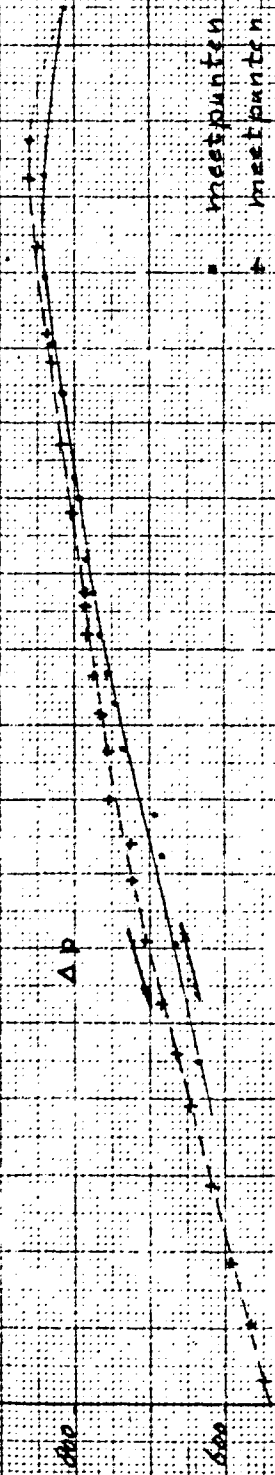


FIG. 2 AANSLUITSCHEMA

OPSTELLING 1

Δp $\Delta p/q$
kg/m² ↑
↑



$\Delta p/q$

400/14

t^+

12

10

400

$q_{m1} = 676$ ($t^+ = 10.70$)
 $q_{m2} = 690$ ($t^+ = 12.2$)

t^+

600

800

→ q kg/m²

• meetpunten bij toenemende stuwdruk
+ meetpunten bij afnemende stuwdruk

t^+ = afgelezen temp. gedurende de meting

°C

22

11

10

Fig. 3. Δp , $\Delta p/q$ en t^+ als functie van de stuwdruk q Meting no 1 datum: 20 febr 1967

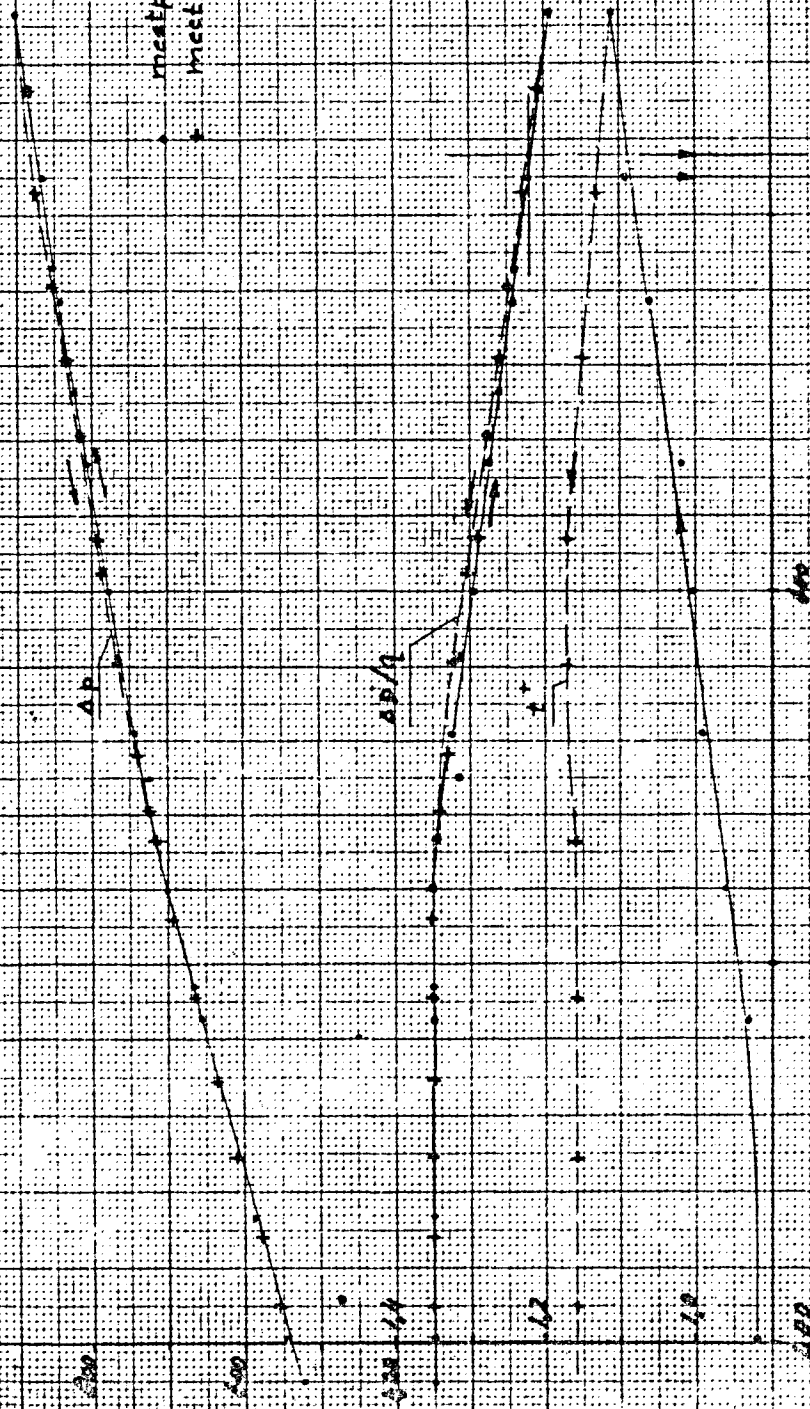
Bol no 1 (diam. 0.06 m)

$H = 754.6$ mm Hg

betreft bij tabel no 1

OPSTELLING 2

Δp
mm Hg



Δp en $\Delta p/q$ als functie van de stuwdruk Q
Bol no 1 (diam. 0,06 m)
meting 2 datum: 20 feb 1957

Beoordelt bij tabel 2

Fig 4

Memorandum 13



60142010872