

**KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

VERSLAGEN

V - 356

J. Wieringa

Het mysterie van de hikkende Dines-windmeter.

De Bilt 1980

Publikatienummer: K. N. M. I. V-356 (FM)

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut,
Fysisch Meteorologisch Onderzoek,
Postbus 201,
3730 AE De Bilt,
Nederland.

English abstract on page 23.

U. D. C. : 551. 508. 54

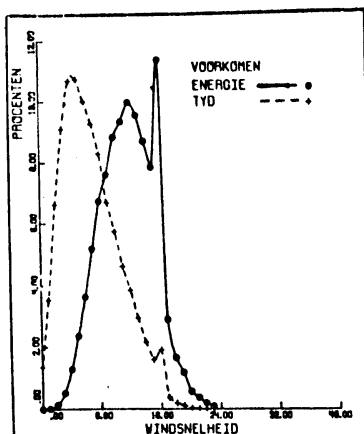
HET MYSTERIE VAN DE HIKKENDE DINES-WINDMETER.

J. Wieringa
(mei 1980)

1. Probleemstelling.

Voor 1960 waren op de meeste weerstations winddrukmeters van het type Dines geplaatst. Deze bestonden uit een grote windvaan met drukmeetopeningen, gekoppeld aan een schrijvende manometer welke speciaal ontworpen was om een lineaire relatie tussen windsnelheid en penuitslag te verkrijgen (Dines, 1892; Gold, 1936; Bleeker, 1942). Voor een goede werking van de windmeter moest de manometer dicht bij de windmeetmast worden geplaatst, en het instrument was slechts met moeite geschikt te maken voor afstandsaflezing (Vesseur, 1954). Dus zijn de Dines-windmeters langzamerhand afgeschaft naarmate de roterende cup-anemometers betrouwbaarder werden, in het bijzonder door de ontwikkeling van bruikbare frekwentiemeters tussen 1955 en 1960. Toch is in het tijdvak 1945 - 1977 nog een belangrijk deel der windmetingen in Nederland verricht met de Dines-meters : in het bijzonder te Den Helder (tot 1972) en op Schiphol (tot 1967), maar ook bijvoorbeeld te IJmuiden, op Vlieland en op Urk.

Systematische bewerking van het klimatologisch materiaal over het tijdvak 1950 - 1980 werd op het K.N.M.I. pas ter hand genomen in 1978, doch voordien waren reeds af en toe waarnemingsreeksen verstrekt aan belanghebbenden elders. Onder meer werden de windmetingen van Den Helder uit de periode 1961 - 1970 ter beschikking gesteld aan de Landelijke Stuurgroep voor Energie Onderzoek (LSEO) ten behoeve van een inleidende studie over het windenergie-potentieel in Nederland (Le Poole en Van Gool, 1974).



Bij deze studie bleek in de frekwentieverdeling van de windsnelheid een hik van onwaarschijnlijke grootte voor te komen bij ~16 m/s. In Fig.1 is deze enigszins gedramatiseerd omdat bij windenergieberekeningen de derde macht van de windsnelheid wordt gebruikt, maar ook de sprong in de tijdskromme is ongeloofwaardig voor een tien-jaren-meetreeks.

Fig.1. Ongecorrigeerde frekwentieverdeling van de windmetingen te Den Helder 1961-'70.

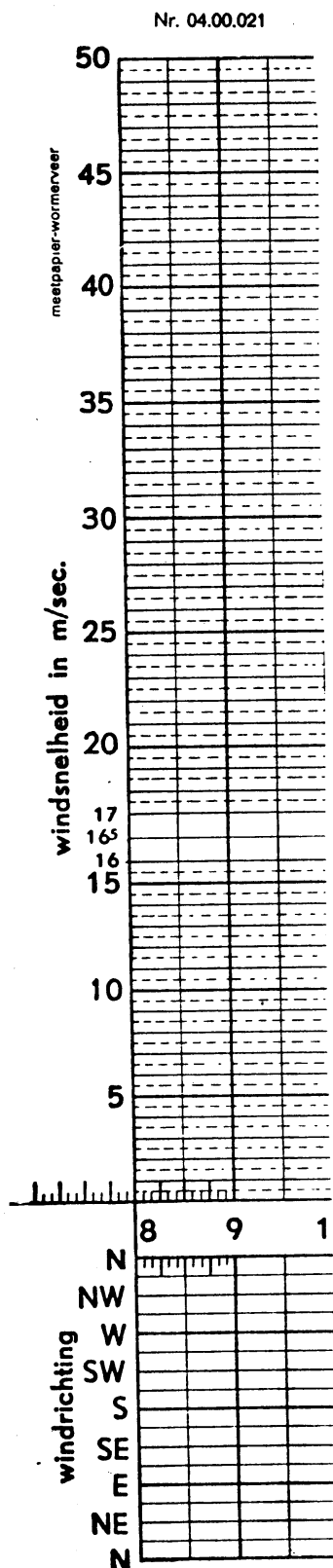


Fig.2. Gedeelte van de registreerstrook die sinds 1954 op alle Nederlandse Dines-windstations is gebruikt.

Bij het zoeken naar een verklaring voor deze singulariteit bleek dat de registratiestroken van de Dines-windmeter te Den Helder behept waren met een diskontinuiteit tussen 16 en 17 m/s (fig.2), waarbij tevens de schaalverdeling boven deze sprong ~ 9% wijder was dan de schaal tussen 0 en 16 m/s. Stroken met een dergelijke sprong waren voor 't eerst gebruikt in 1950, en in Den Helder waren ze sinds November 1954 in gebruik. Van de oudgedienden wist niemand de reden van die sprong, en ook de lijsten van naoorlogse KNMI-verslagen en -rapporten bevatten geen enkele rapportering van een Dines-ijkonderzoek. Aangezien de frekwentieverdeling van de Helderse meetwaarden overduidelijk toonde dat deze schaal-hik tot onrealistische gevolgen had geleid, werd voorlopig de volgende korrektie van de windsnelheid V voorgesteld:

$$\begin{aligned}
 V &\rightarrow 2V - 16 && \text{voor } 16 \text{ m/s} < V < 17 \text{ m/s} \\
 V &\rightarrow V + 1 && \text{voor } V \geq 17 \text{ m/s.}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Toepassing hiervan leverde in de definitieve windenergie-publicatie (Le Poole, 1977) een er aanvaardbaar uitziende Helderse windverdeling. Expliciet werd door Le Poole vermeld dat de voorlopige korrektie (1) was toegepast.

Thans is een algemene beschrijving van het Nederlands windklimaat in de afgelopen dertig jaar aan de orde, en daarvoor zijn de Dines-stations door ligging en reekslengte onmisbaar. Bij klimatologische studies gaat men er (te) vaak van uit dat de voorgangers betrouwbare metingen hebben verricht - tenzij er concrete aanwijzingen zijn van het tegendeel, en dergelijke aanwijzingen hebben we helaas voor Den Helder in Fig.1. Het gaat ook niet om een verwaarloosbaar mogelijk registratiefoutje: de mogelijke verandering in bv. de jaargemiddelde windsnelheid zou ~ 9% kunnen bedragen, leidend tot een drie maal zo grote korrektie in de geschatte windenergie-totalen.

De onregelmatigheid in de gebruikte Dines-ijking blijkt niet gebaseerd op een behoorlijke gerapporteerde argumentatie, en de frekwentieverdeling van Den Helder toont dat het niet uitgesloten is dat de onregelmatigheid ten onrechte is ingevoerd. Deze onzekerheid ondergraaft ook de waarde van reeds gepubliceerde windklimatologieën, bv. die van Schiphol (KNMI-Med.Verh. 87, 1966). Het is dus wenselijk om alsnog zo goed mogelijk na te gaan hoe dertig jaar geleden de Dines-windmeters functioneerden, opdat geargumenteed kan worden beslist of correcties aangebracht moeten worden in de gearchiveerde Dines-metingen.

2. Werking van de Dines-anemograaf.

De klassieke Dines-windvaan (fig.3) heeft in de kop een opening A om de stuwdruk p_s van de wind te meten. De verbreding achter de kop dient als contragewicht voor de vaan. De in fig.3 getoonde vorm van het vaanblad is ontworpen door G.I.Taylor in 1918; de oorspronkelijke vaanblad-vorm van Dines (1892) was aerodynamisch veel ongunstiger. Door deze goede bladvorm is efficiënte richting van drukmeetopening A verzekerd, en in dat geval blijkt bij een atmosferische statische druk p_o de stuwdruk p_s te voldoen aan

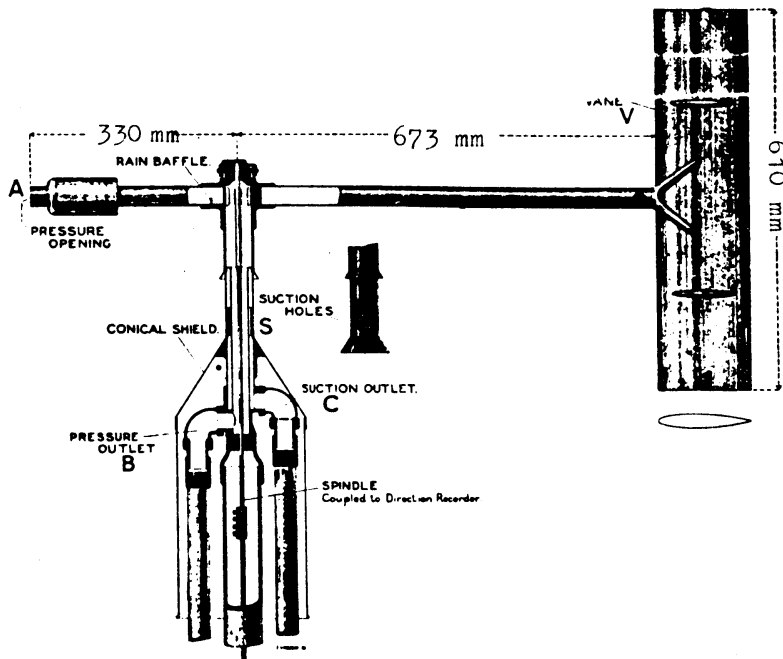


Fig. 3. Vaan van de Dines-anemograaf (Gold, 1936).

$$p_s - p_o = \frac{1}{2} f_1 \rho U^2 \quad (2a)$$

indien U de windsnelheid en ρ de luchtdichtheid is. De evenredigheidsconstante f_1 blijkt voor allerlei kopvormen de waarde 1.00 te hebben met een afwijking $< 1\%$ voor windsnelheden < 60 m/s (Noetzlin, 1941; Bryer en Pankhurst, 1971).

Ter eliminatie van p_o is het vertikale deel van de vaan op ongeveer 0.2 m beneden de horizontale vaanstang voorzien van een krans "zuiggaten" (S in fig.3). De langskomende luchtstroom produceert in de ringvormige ruimte binnen de gatenkrans een "zuigdruk" p_z , waarvan de samenhang met p_o omschreven wordt door

$$p_o - p_z = \frac{1}{2} f_2 \rho U^2 \quad (2b)$$

waarbij de "constante" f_2 afhankelijk is van de vorm van het vaanhuis beneden de zuiggaten, zo dat $0.2 \leq f_2 \leq 0.5$ (Veryard, 1925).

De drukken p_s en p_z worden overgebracht naar een vlottermanometer, hopelijk zonder drukverlies onderweg. Deze manometer (zie fig.1 van Appendix I) reageert op het verschil van p_s en p_z , en daardoor is de Dines-windmeting niet afhankelijk van de luchtdruk p_o . Het meetresultaat is wel afhankelijk van ρ (in de praktijk dus van T) omdat het ingangs-"signaal" van de recorder is

$$\delta p \equiv p_s - p_z = 0.5 \rho (f_1 + f_2) U^2 \quad (3)$$

De in berekeningen gebruikelijke standaard-dichtheid is $\rho = 1.225$ kg m⁻³. Voor het meetresultaat blijken de afzonderlijke waarden van f_1 en f_2 dus van ondergeschikt belang: alleen hun som telt.

In de literatuur vinden we slechts weinig authentieke meetseries van $(f_1 + f_2)$. In 1892 bepaalde Dines op een "whirling machine" voor zijn toenmalige vaan voor 4.5 m/s $< U < 17.9$ m/s de waarde $(f_1 + f_2) = 1.49$. In 1925 bepaalde Veryard op het National Physical Laboratory (NPL) in de windtunnel voor de huidige vaan (verspringende zuiggaten-rijen, kegelvormig vaanhuis) bij snelheden tussen 3 en 21 m/s dat $(f_1 + f_2) = 1.39 \pm 0.01$. Dit sluit aan bij de NPL-metingen van Giblett en Durst (1932) aan dezelfde vaan, waaruit volgde dat $f_1 = 1.00$ en $f_2 = 0.39$. Verder noemt Bilham (1927) nog een gemeten $f_2 = 0.49$ voor een ellipsoïdaal vaanhuis. De Duitse Steffens-Hedde vaan, waarvan de p_z -meetplaats een gatenkrans zonder huis eronder is, heeft $(f_1 + f_2) = 1.30 + 0.005 U$ (Noetzlin, 1941).

De standaard-vlotterrecorder van Dines is zo gebouwd dat de kwadratische windsnelheid - druk - relatie wordt omgezet tot een lineaire windsnelheid - schaalaanwijzing - relatie. Een goede analyse van de vereiste vlotter-vorm is voor het eerst gegeven door Gold (1936). Een samenvatting van deze analyse staat in het ongepubliceerde rapport van Rijkooort (~1951), dat als Appendix I aan

dit verslag is toegevoegd. De vlotteruitslag z blijkt te voldoen aan

$$z^2 = \frac{\delta p}{g q \rho_w} \quad (4)$$

waarbij q een geschikt gekozen constructieconstante is en ρ_w de dichtheid van de vloeistof in de vlotterbak. Gebruikelijk is dat $\rho_w = 10^3 \text{ kg m}^{-3}$, waarbij als vulvloeistof hetzij water, hetzij glycerine met methylalcohol in een volumeverhouding 100 : 128 wordt gebruikt. Bij berekeningen geeft men de zwaartekrachtsversnelling g de waarde 9.81 m s^{-2} .

De standaard-vlotter (Gold, 1936) is berekend met $q = 8.0 \text{ m}^{-1}$. Een aantal KNMI-Dines-meters is in Nederland tussen 1945 en 1950 gebouwd, en deze hebben een vlotterbak-doorsnede welke afwijkt van de Engelse standaard-doorsnede (zie Appendix I). De vorm van de toegepaste vlotter is nooit gemeld door de Nederlandse fabrikant, anders zou Rijkooft niet reeds in 1951 een poging hebben gedaan om de vlottervorm te bepalen in het laboratorium (Appendix I). Thans is het niet meer mogelijk om de vlotter opnieuw door te meten, omdat alle in Nederland gebouwde Dines-meters sindsdien zijn "afgevoerd" naar het buitenland, o.a. Irian. Experimenten uit 1951 en 1952 (zie paragraaf 6) toonden echter aan dat de Engelse Dines en zijn Nederlandse kopie geen significante verschillen vertoonden in meetgedrag. Voor alle KNMI-Dines-meters kan dus de waarde $q = 8.0 \text{ m}^{-1}$ worden toegepast.

De windsnelheidsaanwijzing V op de registratiestrook is ook nog afhankelijk van de schaalverdeling op die strook. Deze is gewoonlijk lineair, zodat kan worden gesteld dat

$$V = k_r z \quad (5)$$

Hierbij is het wenselijk om de schaalkonstante k_r zo te kiezen dat V gelijk wordt aan U . Uit (3), (4) en (5) volgt nu

$$U = \frac{V}{k_r} \sqrt{\frac{2 g q \rho_w}{(f_1 + f_2) \rho}} = \frac{358 V}{k_r \sqrt{f_1 + f_2}} \quad (6)$$

waarbij de eerder gespecificeerde basis-rekenwaarden zijn ingevuld.

Het klassieke Engelse Dines-registratiepapier is zo ontworpen dat $z = 0.6 \text{ inch}$ voor $V = 10 \text{ miles/uur}$ (Gold, 1936), dus $k_r = 293 \text{ s}^{-1}$. Nog steeds wordt dezelfde schaal gebruikt: bijv. in 1969 gaf Casella in zijn folders op: " $10 \text{ kt} = 17.3 \text{ mm}$, $10 \text{ km/h} = 9.5 \text{ mm}$ ", en ook Munro gebruikt hetzelfde registratiepapier (N.B.: zonder hik). Uit (6) volgt dan dat voor deze schaal $U = V$ als $(f_1 + f_2) = 1.49$. Om die reden pasten Giblett en Durst (1932) een korrektiefactor $\sqrt{1.49/1.39}$ toe bij uitwerking van Dines-registraties gemaakt op dit standaard-registratiepapier.

Van operationeel gebruikte Dines-apparatuur kan men de vlotter ter plaatse ijken door kunstmatig een drukverschil aan te brengen (bv. met een handpomp), zo de vlotter (met pen) "omhoog te pompen" tot een bepaalde schaal-aanwijzing V , en dan af te lezen op een watermanometer welk drukverschil δp daarvoor benodigd was. (N.B.: 1 mm water = $g \text{ N m}^{-2}$). Uit (4) en (5) volgt hiervoor dan

$$\delta p = (g \rho_w / k_r^2) v^2 = (280 / k_r)^2 v^2 \quad (7)$$

bij invulling van de gebruikelijke basis-rekenwaarden. Hier, zoals overall in dit verslag, is δp in mks-eenheden gegeven. Als gewenste standaard-uitkomst van een dergelijke ijking geeft het Observers Handbook (1926) :

$$\delta p (\text{mm water}) = 0.0931 v_{(m/s)}^2 \quad (8)$$

hetgeen samengevat is in een ijktabel :

$v =$	5	10	15	20	25	30	35	40 m/s
$\delta p =$	2.3	9	21	37	58	84	114	149 mm

Uit (6) volgt, dat deze ijking impliceert dat $k_r = 293 \text{ s}^{-1}$, de schaalfactorwaarde voor het Engelse standaard-registratiepapier.

Vermelding verdient nog dat het registratiepapier gewoonlijk tevens voorzien is van een schaal voor windrichtings-registratie. De anemograaf is dan uitgerust met een ingenieus tweepens-mechaniek (Gold, 1936), en het gecombineerde instrument wordt in de oudere Nederlandse literatuur aangeduid als 'anemobiagraaf'. Elders (b.v. Middleton, 1941) wordt daarentegen deze laatste term gebruikt ter aanduiding van een drukrecorder, die niet is uitgerust met een vlotter maar met een veermechanisme. Vermoedelijk is het verschil in woordgebruik ontstaan doordat men in Nederland het woord 'dubbelrecorder' heeft willen vertalen in potjeslatijn (bi = twee), terwijl het buitenlands gebruik een vertaling is van 'windkrachtrecorder' (bia = kracht).

3. De Dines-responsie op windvlagen.

Bij bovenvermelde standaard-opbouw van de Dines-windmeter blijkt de vlagresponsie voornamelijk bepaald te worden door lengte en doorsnede van de verbindingspijpen tussen vaan en recorder. De dempende werking hiervan is gunstig, omdat de Dines-vlotter een tweede-orde aanspreekgedrag heeft, d.i. gevoelig is voor de tijds-afgeleide van de signaalvariatie, en dus resonantieverschijnselen vertoont. De recorder-vlotter is onder normale omstandigheden maximaal gevoelig voor regelmatige fluctuaties met een periode van $\sim 1 \text{ s}$ (Giblett en Durst, 1932; Borges, 1968). Aangezien echter

de vlotter bij het reageren op een windvariatie veel lucht verplaatst, wordt de bijbehorende resonantiepiek reeds voldoende weggedempt door enige meters verbindingsbuis. De verbindingen dempen echter niet alleen de ongewenste resonantie bij ~ 1 Hz, maar ook de windvlagen, waarbij de demping afneemt met toenemende vlagduur.

Op stations is de typische verbindingsbuis-lengte tussen 10 en 15 m. Voor een Dines-opstelling met 15 m 1-inch-verbindingsbuis vinden Giblett en Durst (1932) bij $U = 9$ m/s voor sinusoidale 10-sec-variatië 96.3% responsie, voor 4-sec-variatië 70% en voor 2-sec-variatië 46.5% responsie. Hieruit volgt gemiddeld een 1^e-orde-responsietijd $t_R \approx 0.6$ s. Bij gebruik van nauwere buis neemt t_R toe: Jensen en Franck (1968) vinden voor (3/4)-inch- pijp bij een sprongvariatie na 4 tot 5 s een herstel van 98%, waaruit volgt dat $t_R \approx 1.1$ s. Baumbach (1953) vindt voor ongespecificeerde operationele opstellingen eveneens responsies die overeenkomen met $t_R \sim 1$ s.

Giblett en Durst (1932) citeren eveneens NPL-metingen welke zijn verricht met een langere verbindingsbuis (30 m) bij $U > 25$ m/s. Voor half-inch- pijp geeft dit responsies die ekwivalent zijn met $t_R \approx 3$ tot 4 s. Voor 1-inch- pijp echter zijn de resultaten zeer inconsistent: voor variatiefrekwenties $0.6 \text{ Hz} \leftrightarrow 0.9 \text{ Hz}$ krijgen we vrij normale resultaten ($0.6 \text{ s} < t_R < 1.3 \text{ s}$), maar voor $0.2 \text{ Hz} \leftrightarrow 0.4 \text{ Hz}$ is opeens de responsie $\sim 100\%$!! Dit sluit echter aan bij de recentere bevindingen van Borges (1968), die een tweede resonantiepiek vond met tegenfase-oscillatie van de vlotter bij een sinusoidale input van 0.2 Hz tot 0.5 Hz , mits slechts $U \geq 20$ m/s. Buiten de windtunnel is het echter onwaarschijnlijk dat bij stormomstandigheden de windvariatië optreden met een dergelijke regelmatigheid dat dit soort resonantie-effecten een kans maakt, en bij sprongsgewijze windvlagen kan dit soort oscillatie niet optreden omdat het een tegenfase-oscillatie is. Whittingham (1964) heeft op grond van de laatstgenoemde NPL-metingen (30 m buis, > 25 m/s) beweerd dat de Dines-anemometer op betrouwbare wijze vlagen van 2 tot 3 sec duur zou kunnen meten, maar deze stelling lijkt dus niet houdbaar.

Uitgaande van een responsietijd $t_R = 0.6$ s voor het totale Dines-systeem (de pitot-buis voegt geen extra demping toe) kan worden afgeleid dat de Dines-windmeter maximale vlagen waarneemt met een duur van 6 tot 8 s (Wieringa, 1976). Dit sluit aan bij de ervaring van Giblett en Durst (1932), die 5 s monsterduur het meest zinvol achtten.

In overeenstemming met de effectieve 1^e-orde-responsie van de combinatie Dines - verbindingsbuis - vlotter is het feit, dat de Dines in turbulente wind gemiddeld iets te hoog aanwijst. Rechtstreekse bepalingen van de overschatting $E \equiv U_{\text{gemeten}} / U_{\text{korrekt}}$ zijn voor de Dines door niemand gepubliceerd, maar verschillende onderzoekers hebben de Dines vergeleken met cupanemometers. Cups overschatten in het veld de gemiddelde wind met 3% - 10%, afhankelijk van de turbulentiegraad en de cup-constructie (Wieringa, 1980). Golding en Stodhart (1952) vonden bij windsnelheden tussen 8 en 22 m/s minder dan 1% verschil tussen de gemiddelde U-waarden gemeten door Dines- en cup-anemometers, maar specificeren helaas hun instrumenten onvoldoende. Rijkooft (1954, 1955) vond in het inhomogene windveld op de KNMI-toren dat bij lage windsnelheden gold $E_{\text{cup}} > E_{\text{Dines}}$ en bij hoge windsnelheden het omgekeerde, maar de invloed van de opstellingsplaats op deze meetresultaten is onzeker. Smith (1980) vond dezelfde windsnelheids-afhankelijkheid in E bij vergelijkingen van klimatologische gemiddelden op stations vóór en ná de vervanging van een Dines door een cup-anemometer.

Deze drie onvolkomen experimenten stemmen dus in zoverre overeen, dat gemiddeld E_{Dines} van dezelfde grootteorde zou zijn als E_{cup} , ongeveer 5%. Dit sluit wel aan bij een analyse van Sanuki (1952), die voor de Dines overschattingen van deze grootte berekent op basis van laboratorium-bepaalde aanspraakkonstanten. Sanuki concludeert verder dat E_{Dines} niet windsnelheidsafhankelijk is, terwijl E_{cup} afneemt met toenemende windsnelheid volgens Schrenk (1929) (zie ook Ramachandran, 1970, en Wieringa, 1980). Kwalitatief klopt dit met de experimenten van Rijkooft (1955) en Smith (1980). Tenslotte tonen Sanuki's proeven dat het overschattingspercentage voor de Dines kan variëren met een faktor twee, afhankelijk van de gebruikte verbindingsbuizen.

Samenvattend kan worden gesteld, dat het voor het meetresultaat weinig uitmaakt of een Dines-anemometer dan wel een cup-anemometer wordt gebruikt op een windstation. Voor beide instrumenten is de windoverschatting E bij de gebruikelijke wind-vlagerigheid van dezelfde grootteorde, ongeveer 5%; de onzekerheid in de grootte van dit percentage is vergelijkbaar met andere wind-meetonzekerheden (bv.random ijkfouten). Voor het geval dat men zou willen korrigeren voor deze overwaardering E, dan heeft het toch geen praktische zin om eventuele U-afhankelijkheid van E te overwegen : in dat geval is een constante correctie van 5% voldoende, ongeacht het gebruikte anemometertype.

4. Beschikbare informatie over de invoering van de Dines-hik.

Diskontinue Dines-registratiestroken zoals in fig.2 zijn alleen in Nederland ooit gebruikt. De eerste strookversie mét hik, type III-21-a, werd voor het eerst toegepast op station Vlieland in Mei 1950. De vanaf 1954 gebruikte strook (fig.2) heeft dezelfde schaal als type III-21-a, alleen zijn de halve m/s niet langer aangeduid door stippellijnen maar door dunnere lijnen. Op Vlieland waren zeer kort te voren, in October 1949, nieuwe Dines-stroken zónder hik (type III-21) in gebruik genomen. De beslissing tot invoering van de Dines-hik moet dus zijn genomen in de winter 1949/1950. Nadere precisering van deze datum is onmogelijk wegens het ontbreken van behoorlijke rapportering over dit onderwerp.

De laatstgenoemde uitspraak klinkt nogal zwartgallig en dient daarom verantwoord te worden. Om kort te gaan, in alle hoeken en gaten is gezocht naar ijkingen en andere bewijsstukken, doch dit heeft slechts drie documenten van waarde opgeleverd, en deze zijn als aanhangsels aan dit verslag toegevoegd omdat ze tot nu toe niet voorkwamen in de rapporten- en verslagen-series van het KNMI. Het is niet onmogelijk dat ander ongeregistreerd materiaal verloren is gegaan tijdens de verhuizing van de Instrumentele Afdeling in 1972 en daarna, aangezien op die afdeling overbodig geworden tabellen en grafieken niet routinematig worden overgedragen aan het klimatologisch archief. Ook correspondentie, of bv.rekeningen voor aanschaf van instrumenten, zijn niet meer te achterhalen omdat het algemeen KNMI-archief over de periode 1944 - 1953 is "afgevoerd". De Apparatenfabriek Van Doorn te De Bilt, die destijds de Nederlandse Dines-kopiën bouwde, heeft evenmin nog archieven uit die tijd. De in het klimatologisch archief aanwezige Dines-ijkingen zijn slecht interpreteerbaar omdat niet de verrichte metingen zijn genoteerd, doch slechts de einduitkomsten van een bewerking — en over de bewerkingsprocedure zijn geen gegevens in het archief aanwezig (waarschijnlijk werd die procedure destijds als vanzelfsprekend beschouwd). Geen enkel oud instrument is meer aanwezig ter ijking, en ook de ijkapparatuur met ijktabel is op de schroothoop terechtgekomen. Tenslotte is het een begrijpelijke zaak, dat de dertig jaar oude herinneringen van oudgedienden nogal vaag en soms tegenstrijdig zijn; mondelinge informatie zal daarom alleen worden aangehaald als de mededelingen van verschillende informanten overeenstemden. In dezen ben ik zeer erkentelijk voor de belangstelling en medewerking van E.P.F.H.Blokhuis, A.B.Buijense, H.C.Bijvoet, L.J.L.Deij, S.van Egten, J.den Heijer, M.P.D.Jansse, H. ten Kate, C.Leijnse (NLR), P.S.Oost (van Doorn), K.R.Postma, W.P.Reijerse,

C.Richel, P.J.Rijkoort, H.Schiks, H.J.A.Vesseur en C.M.Wierda.

De centrale figuur in deze Dines-geschiedenis is de toenmalige directeur van de Instrumentele Afdeling, A.Hauer, overleden in 1963. Hij heeft destijds zonder veel overleg met de betrokkenen (daarover zijn alle informanten het eens) de volgende twee essentiële beslissingen genomen :

-- 1^o: De na 1945 noodzakelijke aanvulling van de KNMI-windmeters werd niet betrokken van een der traditionele fabrieken van meteorologische instrumenten (bv. Munro, Negretti + Zambra of Casella) maar van de lokale Apparatenfabriek Van Doorn (toenmalig directeur Van Dranen) waarmee het KNMI wel vaker samenwerkte.

-- 2^o: Op basis van een door Hauer zelf uitgevoerd ijkonderzoek werd een niet-lineaire diskontinue Dines-ijking ingevoerd voor alle Dines-windmeters van het KNMI — niet alleen de door Van Doorn gebouwde instrumenten, maar ook de instrumenten van Engels fabrikaat. Te Den Helder bv. zijn tot 1954 op de Engelse Dines tweezijdige lineaire registratiestroken gebruikt (type III-17, met $k_r = 293 \text{ s}^{-1}$), maar hiervan werden de metingen vanaf 1 Augustus 1950 gecorrigeerd met een ijktabel die grote overeenkomst vertoont met de schaal van fig.2.

Hauer's ijkonderzoek heet uitgevoerd te zijn in de windtunnel van het Nationaal Luchtvaartlaboratorium (NLL, tegenwoordig NLR) te Amsterdam. Inderdaad is in Februari 1948 aldaar een serie metingen door het KNMI uitgevoerd, waarbij het NLL-logboek vermeldt dat onder meer de statische gaatjes van de Dines werden afgedicht (eerst met kranenvet, toen met plakband en tenslotte met bijenwas). Nadien is er vóór 1951 door het KNMI op het NLL geen windtunnelonderzoek meer verricht.

Waarschijnlijk is een gedeelte van de in Februari 1948 gedane metingen samengevat in Tabel I van een ongeregistreerd en ongedateerd manuscript van A.Hauer, dat aan dit verslag is toegevoegd als Appendix II. Dit manuscript behandelt namelijk een windtunnelbeproeving op het NLL van een Dines-anemometer welke identiek was met de toen in Den Helder en Maastricht opgestelde instrumenten van Engelse origine. Vóór de veronderstelling, dat Tabel I van dit manuscript de metingen van Februari 1948 beschrijft en de experimentele basis is van Hauer's diskontinue ijking, pleit dat Rijkoort (1951) in een Dines-Robinson-anemometervergelijking refereert naar Hauer's ongepubliceerde manuscript als bewijs dat de Dines-ijking niet lineair zou zijn. Tégen die veronderstelling pleit, dat de manuscript-tabel I weliswaar diskontinu is, maar niet bij 16 m/s doch tussen 20 en 30 m/s ! Er zijn echter geen andere relevante

metingen voor 1950 teruggevonden, zodat dan zou moeten worden verondersteld dat Hauer in Februari 1948 nog andere metingen aan de Dines heeft verricht, die hij niet heeft verwerkt in zijn manuscript (Appendix II), maar wél heeft gebruikt bij het ontwikkelen van de diskontinue ijktabel met de hik bij 16 m/s. In dat geval echter zou Rijkooft (1951) dit waarschijnlijk hebben vermeld.

Wel is in oude mappen nog één verrassende ontdekking gedaan, namelijk de originele waarnemingsreeksen van een experiment, dat in Augustus 1952 (dus lang ná het invoeren van de "hik-ijking") is gedaan in de NLL-windtunnel met zowel Engelse als Van-Doorn-Dines windmeters. Volgens het NLL-logboek waren bij dit experiment aanwezig de heren Blokhuis, van Dranen, Hauer en Rijkooft. De originele waarnemingstabel is aan dit rapport toegevoegd (Appendix III). Het ontbreken van KNMI-rapportering over dit experiment is volgens de heer Blokhuis te verklaren uit het feit, dat dit experiment was georganiseerd en betaald door Van Doorn NV als test van de door Van Doorn ontwikkelde windmeetapparatuur (ook cupanemometers). In dat kader werd door Van Doorn uitgebreide verslaglegging over deze metingen niet noodzakelijk geacht, en het KNMI had geen organieke verplichting tot rapportering hierover.

Afgezien van enige losse opmerkingen in stations-ijkrappen, die verderop nog ter sprake komen, en een soortgelijke opmerking in een verslag over het Rottegatpolder-onderzoek (Deij et al., 1955), is later nog slechts éénmaal expliciet verwezen naar de onregelmatigheid in de Dines-ijking, en wel in een verslag van Rijkooft (1954) over anemometer-vergelijkingen op de KNMI-toren. Daarin staat bij een overzicht van eigenaardigheden van de Dines: "In de buurt van de snelheid 16 m/sec heeft de Dines-anemograaf een discontinuïteit in het drukverloop (veroorzaakt door een omslag in de grenslaag om de buis waar de onderdruk wordt ingevoerd). Op het diagram is een zeer onelegante brede strook met één windsnelheidswaarde hiervan het gevolg."

De hier genoemde verklaring van de Dines-hik werd ook vermeld door sommige informanten, zonder dat hierbij echter nadere uitleg kon worden gegeven. Anderen noemden andere veronderstelde redenen, zoals onregelmatig gedrag van de recorder-vlotter, of stelden dat niemand ooit hun de reden van deze schaalsprong had verteld. De hier aangehaalde opmerking uit het verslag van Rijkooft (1954) is in ieder geval niet gebaseerd op een gerapporteerde analyse, en de zinvolheid ervan kan alleen worden onderzocht via algemene beschouwingen over het gedrag van luchtstromingen rondom objecten.

5. Winddruk-meting door een Dines-vaan met kegelvormig huis.

De meest uitgebreide experimentele gegevens over de stuw- en zuig-drukken van de KNMI-vaantypen zijn de NLL-metingen van Augustus 1952, in Appendix III getabelleerd in Rijkooort's handschrift. In onderstaande Tabel 1 zijn deze metingen samengevat, waarbij herhaalde metingen zijn bijeengenomen en de gemiddelden zijn genormaliseerd met de druk "reg.man." $\equiv p_0$. Extra metingen "met draadjes" en "geschuurd" zijn daarbij niet meegemiddeld. De "oude Dines", niet nader geïdentificeerd, geeft uitsluitend stuw-drukken, niet significant afwijkend van de resultaten in Tabel 1.

In de NLR-windtunnel wordt bij ijkingsen de tunnelwindsnelheid met een alcohol-manometer ingesteld in stappen van hele m/s tot een maximum van 40 m/s (Wieringa, 1968). In Appendix III zijn echter alleen series standaardwaarden van "reg.man." vermeld; de tweede kolom van Tabel 1 maakt aannemelijk dat dit drukwaarden zijn, door Rijkooort omgerekend uit de opgegeven tunnelsnelheden naar mm water (g in omrekenformule Tabel 1). De metingen bij 2 en 5 m/s zullen verder buiten beschouwing gelaten worden wegens onnauwkeurigheid van de tunnel beneden 6 à 7 m/s (Driedonks, 1974; Wieringa, 1968).

Uit Tabel 1 blijken op 't eerste gezicht reeds twee gevolgtrekkingen te maken. Ten eerste, er is geen significant verschil in gedrag tussen de van-Doorn-Dines en de Engelse Dines: het stuw-zuig-drukverschil van beiden voldoet aan $\delta p/p_0 \equiv f_1 + f_2 = 1.36 \pm .03$. Ten tweede, geen van de ijkseries bevat discontinuïteiten die de toevallige meetfout-variatie te boven gaan: er is geen hik!

Tabel 1: Samenvatting NLL-metingen Augustus 1952 (Appendix III).

"reg. man." $\equiv p_0$	$\sqrt{\frac{p_0 g}{0.5 \rho}}$ (m/s)	genorm.stuwdr. $p_s / p_0 = f_1$		genorm.zuigdr. $p_z / p_0 = f_2$		$(f_1 + f_2)$	
		Engels	v.Doorn	Engels	v.Doorn	Engels	v.Doorn
0.25	2.00	0.96	1.08	.28	.20	1.24	1.28
1.56	5.00	0.99	1.00	.18	.19	1.17	1.19
6.25	10.01	1.027	1.040	.275	.280	1.302	1.320
9.0	12.01	1.032	1.033	.291	.289	1.323	1.322
12.25	14.01	1.034	1.041	.316	.302	1.350	1.343
16.0	16.01	1.033	1.038	.323	.309	1.356	1.347
20.25	18.01	1.032	1.042	.347	.321	1.379	1.363
25.0	20.01	1.036	1.040	.362	.340	1.398	1.380
39.06	25.01	1.042	1.041	.364	.356	1.406	1.397
56.25	30.02	1.033	1.033	.352	.341	1.385	1.374
76.56	35.02	1.033	1.031	.347	.337	1.380	1.368
90.25	38.02	1.036	1.037	.349	.338	1.385	1.375

De zwakke toename van de meetwaarden met toenemende windsnelheid, een paar procent over de gehele range, zal bij de eindconclusie nog ter sprake komen (zie blz.20).

Bezien we nu hiernaast de tunnelijkingen van Hauer (Februari 1948; Tabel I in Appendix II) dan is daarin de sprong tussen 20 en 30 m/s opvallend. Verwaarlozen we opnieuw de laagste meetsnelheid wegens tunnel-onnauwkeurigheid, dan zijn Hauer's metingen als volgt samen te vatten :

Rijen in Tabel I	Range windsnelheid(m/s)	f_1	$(1 - f_2)$	$(f_1 + f_2)$
2 t/m 6	6 - 21	$0.87 \pm .03$	$.640 \pm .007$	$1.23 \pm .03$
7, 8	30 - 40	$1.02 \pm .01$	$.51 \pm .02$	$1.51 \pm .02$
Relatieve grootte "sprong":		16 %	22 %	21 %

Hierbij is $(1 - f_2)$ genoteerd in plaats van f_2 , omdat uit Hauer's (weinig helder gestelde) omschrijving van zijn meetprocedure volgt dat hij het verschil tussen p_0 en p_z heeft gemeten.

Er zijn twee redenen om Hauer's tunnelmetingen te wantrouwen. Allereerst is de gevonden waarde van f_1 bij lage snelheden uitermate onwaarschijnlijk, omdat de vorm van de Dines-vaankop niet zó uitzonderlijk is dat de verwachte afwijking van $f_1 = 1$ meer dan een paar procent zou zijn (zie ook paragraaf 2). Voorts is de symmetrie van de sprongen in de verschillende genormaliseerde parameters hoogst verdacht, en schijnt te duiden op een meetfout die eerst in één van de metingen en later in een andere is gemaakt. Mogelijke fouten zijn een lek of een bel in de manometer, of verwisseling van een alcohol- met een water-manometer. Ook kan het gebruik van de statische-drukgaten der tunnel-pitotbuis als referentiedruk tot meetfouten leiden (Wood, 1978).

Aangezien bovendien Hauer's gegevens-uitwerking raadselachtig is — de "sprong" in zijn Tabel I ligt ongeveer 10 m/s hoger dan de door hem ingevoerde ijkings-"hik", zonder dat daarvoor aanvullend experimenteel materiaal is —, kan zijn Tabel I niet beschouwd worden als voldoende betrouwbare basis voor vaststelling van het gedrag der KNMI-Dines-windmeters. (Zier verder hierover op blz.18).

Beschikbaar zijn verder de metingen van Veryard (1925) en van Giblett en Durst (1932) op het Engelse NPL aan een vaan, die volgens de gepubliceerde informatie identiek moet zijn geweest met de Engelse Dines-vaanen van het KNMI, nl. eveneens met kegelvormig vaanhuis (Fig.3). Beide rapporteringen geven de indruk van grote experimentele zorgvuldigheid. Zowel Giblett en Durst als Veryard maten $(f_1 + f_2) = 1.39$, niet of nauwelijks variërend met de windsnelheid.

Voor de bepaling van de waarschijnlijkste waarde van $(f_1 + f_2)$ voor de KNMI-Dines-meters kunnen we dus alleen vertrouwen op de NLL-metingen uit 1952 van Rijkoort en Blokhuis, en op de oudere NPL-metingen van Veryard en Giblett. Bij het combineren van de meetresultaten moet men bedenken dat over de range van praktisch hoofdzakelijk voorkomende windsnelheden, beneden 20 m/s, de NLL-metingen uit 1952 gemiddeld $(f_1 + f_2) = 1.34$ geven. Als werkwaarde zal daarom hieronder een naar beneden afgerond gemiddelde van de NLL- en NPL-meetseries worden gebruikt, dus $(f_1 + f_2) = 1.37$.

6. Winddruk-registratie door de vlotterrecorders van het KNMI.

In de KNMI-handleiding voor gebruik van Dines-windmeters (Insa, 1956) komen wel vele onderhoudswenken voor, maar geen aanwijzing over de procedure om de vlotter-recorder "in het veld" te ijken. Strikt bezien is dit ook nauwelijks nodig wanneer men het nulpunt goed instelt en de dichtheid en hoogte van de drijfvlloeistof regelmatig bijhoudt, omdat de ijking dan door de constructie bepaald is. Maar tóch moet van een vlotterrecorder tenminste éénmaal in zijn gebruikperiode die constructiebepaalde ijking zijn gemeten in combinatie met een registratiestrook van bekende schaalafmetingen, omdat zelfs in Engeland niet steeds de canonieke afmetingen van Dines en Gold zijn aangehouden. Veryard (1925) geeft bv. een vlotter-ijking die kleinst-kwadratisch kan worden samengevat als

$$\delta p = (0.0887 \pm .0007) v^2 \text{ mm water}$$

waaruit via formules (7) en (6) volgt dat hierbij $(f_1 + f_2) = 1.42$ behoort. Ook voor de KNMI-recorders is dus ondubbelzinnige ijking van drukverschil tegen schaalaanwijzing gewenst. Helaas is wegens het ontbreken van een goede verplichte standaard-ijkprocedure het merendeel der teruggevonden ijkings onbruikbaar omdat men (misschien ter vergemakkelijking van het uittrekken der registraties) uitsluitend de schaalcorrecties bij gegeven schaalaanwijzing heeft gerapporteerd, zónder daarbij de oorspronkelijk gemeten drukverschillen te vermelden of zelfs maar te zeggen hóe de correcties zijn bepaald uit die drukverschil-metingen. In één geval (Den Helder, Sept. 1950) zijn die drukverschillen wel getabelleerd en daar blijkt uit, dat het verband tussen druk en snelheid niet goed met een formule zoals (8) kan worden beschreven. Er moet dus een inhomogene ijktabel of ijkgrafiek zijn gebruikt, en de vorm daarvan kan niet voldoende nauwkeurig worden bepaald uit één met fouten behepte tabel van veld-ijkings. Inzake resterend gebruiksnut van de stations-correctietabellen wordt in paragraaf 7 de discussie voortgezet.

Voor de twee KNMI-vlotterrecordertypen is er van elk gelukkig nog een ijking bruikbaar. Voor de alhier gebruikte Engelse instrumenten is dat een stationsijking, te IJmuiden tweemaal verricht in 1951, waarbij de notatie van het Observers Handbook (1926) van schaal-windsnelheden tegen drukken wél is gevolgd. Bovendien staat expliciet in het ijkrapport vermeld : "Dines geijkt volgens oude normen, daar het volgens de nieuwe ijking onmogelijk was. De drijver moest te veel verzwaard worden en de vloeistof moest op een te hoog peil gebracht worden, waardoor het peilglas zou overlopen."

Voor de Van Doorn-recorder is het vrij waarschijnlijk dat de door Rijkooort in 1951 verrichte vlotter-ijking (Appendix I) geldt, omdat bij hetzelfde onderzoek ook de vlotter-afmeting is beschreven en niet geheel gelijk blijkt te zijn aan Gold's vlottervorm. Bovendien is een lineaire registratiestrook gebruikt, aangezien aan het eind van het rapport wordt opgemerkt "dan moet de schaal op de strook veranderd worden; deze kan dan niet meer lineair zijn." Bovendien wordt op de eerste bladzijde van Rijkooort's rapport de strookschaal gespecificeerd ($k_r = 293 \text{ s}^{-1}$) zonder vermelding van niet-lineariteit in de schaal.

Beide ijkingen zijn hieronder in Tabel 2 gegeven resp. samengevat. Het is duidelijk dat de met deze ijkingen bepaalde snelheden voor gegeven drukverschil minder dan 2% afwijken van de officiële Observers-Handbook-schaal, welke hoort bij $(f_1 + f_2) = 1.49$. Met andere woorden, er is geen reden om aan te nemen dat de KNMI-vlotterrecorders significant afwijken van het Engelse standaardmodel, wanneer men tenminste zijn aandacht richt op de vlotterconstructie ongeacht de schaal van de op de recorder gebruikte registreerstrook.

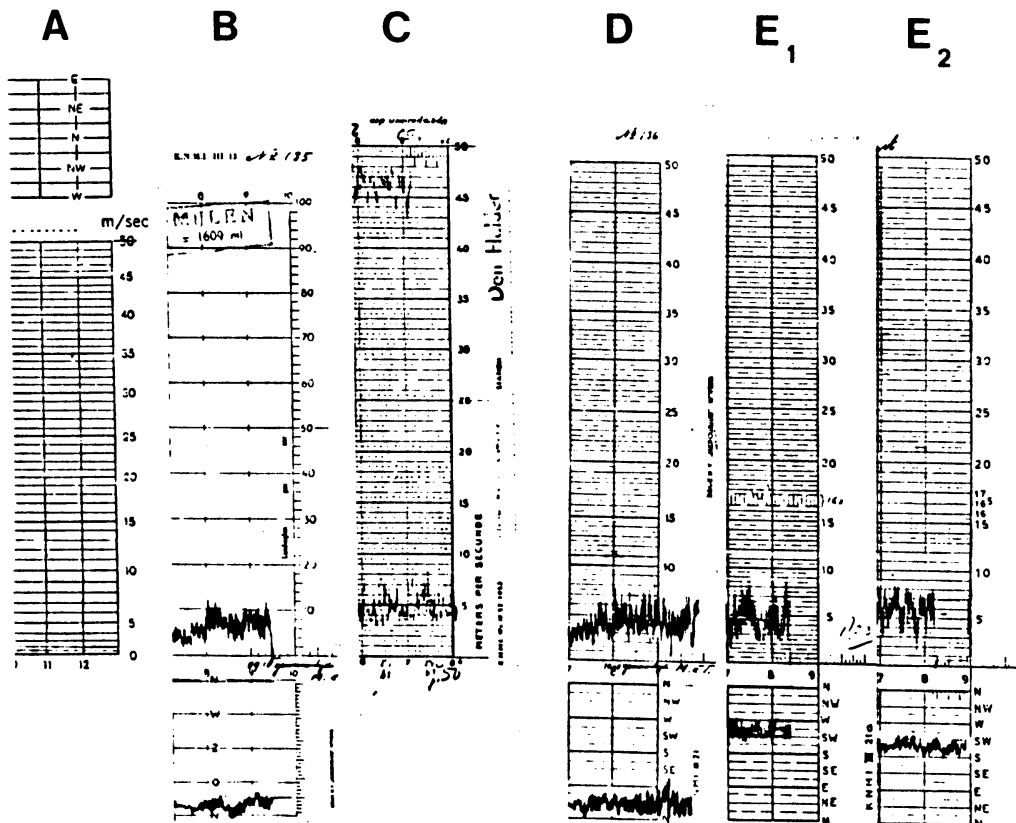
Tabel 2 : Samenvatting bruikbare Nederlandse vlotter-ijkingen.

Aan- wijzing strook (m/s)	Gemeten benodigd drukverschil (mm water)			
	Observers Handbook (1926)	Rijkooort('51) v Doorn-Dines (Appendix I, p.4)	IJmuiden, ijking <u>Engelse Dines</u> Juni '51 Oct. '51	
5	2.3	2.5 ± 0.2	2.3	2.7
10	9.3	9.5 ± 0.5	9.1	9.6
15	21	21.3 ± 0.8	21.2	21.5
20	37	37.9 ± 1.2	37.1	37.8
25	58	- - -	58.3	59
30	84	87.1 ± 1.8	84	85
40	149	157.0 ± 2.3	149.5	151
$v^2 - \delta p$ - ijkfactor		1.034	1.008	
Ijkfactor Obs.Hdb.				voor $V \leq 30 \text{ m/s}$

Op het KNMI zijn sinds 1945 vele typen Dines-registratiestroken gebruikt. Als we de typen bijeen nemen die alleen verschillen in drukuitvoering of kleur, dan ontstaat de volgende indeling :

Type-code	Administratieve aanduidingen	$k_r(s^{-1})$	Plaats en periode van gebruik, andere eigenaardigheden
A	III-12	niet lineair	De Bilt tot 31 Januari 1951. Lijkt op strook Fuess 82 a (schaalcompressie voor $V < 5$ m/s)
B	III-13; stroken in Engelse druk	293	Op vele stations tot zomer 1950. Schaal in landmijlen/uur.
C	III-17; 807, W-52	293	Den Helder tot 22 November 1954. Tweezijdig, alleen windsnelheid.
D	III-21	293	Vanaf zomer 1949 hier en daar korte tijd. Schaal in meters/s.
E	III-21a tot 1954 Fig.2 vanaf 1954	314 ($V < 16$ m/s) 293 ($V \geq 17$ m/s)	met hik. Vrijwel overal na zomer 1950.

Deze strook-schalen zijn hieronder ter illustratie in verkleinde vorm gereproduceerd.



In de bovenstaande analyses is aangetoond dat de KNMI-vanen een drukverschil δp leveren zó dat in (3) de constante $(f_1 + f_2)$ de waarde 1.37 ± 0.02 heeft. Voorts is gesteld dat op basis van de beschikbare bruikbare vlotter-ijkingen te verwachten valt dat de vlotter-recorders zich allen gedragen als het Engelse standaard-type met $q = 8 \text{ m}^{-1}$. Dan volgt uit (6), dat de schaalkonstante van het registratiepapier de waarde

$$k_r = 358 / \sqrt{f_1 + f_2} = 306 \text{ s}^{-1}$$

zou moeten hebben om de afgelezen snelheid V gelijk te maken aan de te meten windsnelheid U .

Hieruit volgen de benodigde korrektieformules voor windgegevens welke rechtstreeks afgelezen zijn via bovenstaande registratieschalen, typen B t/m E (A blijft buiten beschouwing, omdat de gestoord opgestelde Biltse torenwind geen korrektie waard is). Voor typen B, C en D moet na zomer 1950 er rekening mee worden gehouden dat mogelijkerwijze op de schaalaflezing een korrektie is toegepast om het resultaat aan te passen bij het Hauer-schaaltype E ; dit moet van geval tot geval worden nagegaan.

Voor typen B, C en D, en voor type E indien $V \geq 17 \text{ m/s}$, volgt :

$$U = (306/293) V = 1.044 V \quad (9)$$

Voor type E indien $V \leq 16 \text{ m/s}$ volgt :

$$U = (306/314) V = 0.975 V \quad (10)$$

Voor type E indien $16 < V < 17 \text{ m/s}$ volgt door interpolatie :

$$U = 2.10 V - 18.0 \text{ m/s} \quad (11)$$

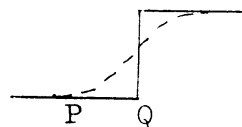
Deze korrektieformules (9) - (11) zijn dus de definitieve versies van de in 1974 ad-hoc voorgestelde korrektieformules (1) voor Den Helder. De door Le Poole (1977) m.b.v. (1) berekende windwaarden dienen derhalve met ongeveer 3% te worden verminderd.

Essentiëel is deze herziening van de sinds 1950 gebruikte Dines-ijking gebaseerd op de ongepubliceerde laboratorium- en windtunnel-ijkingen van Rijkoort uit 1951 en 1952 (Appendices I en III). Als definitie van de Hauer-ijking uit 1950 is gebruik gemaakt van de schaalverdeling op de registratiestroken type E wegens ontbreken van een desbetreffende ijktabel of publicatie. Op de vóór zomer 1950 gedane metingen is alleen korrektieformule (9) van toepassing, een vermeerdering van de bestandswaarden met een faktor $\sqrt{1.49/1.37}$. Hiermee wordt gecorrigeerd, dat de "officiële" Dines-ijking (Gold, 1936) ten onrechte gebruik maakt van de overdrachtscoëfficiënten van de originele Dines-vaan uit 1892, zonder rekening te houden met de toevoeging van een kegelvormige mantel om de buizen onder de vaan (fig.3). Eenzelfde korrektie werd reeds toegepast door Giblett en Durst (1932).

7. Enige speculaties over het ontstaan van de Hauer-ijking.

Reeds eerder, in paragraaf 5, is vermeld dat het onduidelijk blijft waarom Hauer tot de overtuiging kwam dat er bij 16 m/s een discontinuïteit in het Dines-gedrag moest zijn. Zelfs gegeven de sprong in zijn tunnelmetingen van Februari 1948 — en niets lijkt zozeer op een ontdekking als een meetfout — blijft het een feit dat die sprong bóven 20 m/s optrad.

Een aanwijzing is te vinden op blz.2 van Hauer's rapport, waar blijkt dat hij in dit geval zijn meetgegevens grafisch verwerkte, niettegenstaande dat numerieke uitwerking betrekkelijk eenvoudig zou zijn. Alleen door de afvlakkende werking van een grafische aanpak kan uit de sprong-tabel II de vloeiend veranderende Tabel III zijn afgeleid — en wanneer men zover is (zie nevenstaande schets) dan is het denkbaar dat men gaat speculeren dat de overgang bij P inplaats van bij Q ligt.



Na toevoeging van overspeeding aan Tabel III probeert Hauer om het anemometeronderzoek van Braak (1942) in overeenstemming te brengen met zijn eigen metingen. Na enig schuiven met adhoc-nulpuntskorrekties komt Hauer op zijn blz.5 tot een eindtabel die volgens hem bevredigend is, ondanks een forse afwijking bij 20 m/s.

Aangaande de metingen van Braak ziet Hauer dit over 't hoofd :

(1): Braak's cup-anemometer was een groot en zwaar instrument met vier cups, een molentje met een buitendiameter van 0.23 m. Het is waarschijnlijk dat dit een overspeeding van 10% of meer had, dus Braak's conclusie dat de cups ~5% meer wind maten dan de Dines lijkt zonder meer aanvaardbaar.

(2) Op de oude toren van het KNMI waren windverschillen van ~5% aanwezig tussen de verschillende anemometerstandplaatsen (Rijkoort, 1953). Braak zelf is zich zeer wel bewust van de beperkte waarde van zijn vergelijking, want uiteindelijk acht hij de berekende ijkingscorrectie onbewezen. — We kunnen hier in ieder geval de ongebruikelijke stap van Hauer om een overspeedingscorrectie in zijn ijking in te bouwen (Tabel III → Tabel IV) beter even laten rusten, omdat dit irrelevant is ten opzichte van ons hoofdprobleem, de verschuiving van de "sprong" van ~25 m/s naar 16 m/s.

Naast de grafische afvlakking kan ook de verwarring van absolute en relatieve fout tot de sprongverschuiving hebben geleid. Ter illustratie van dit argument volgt hier een mogelijke uitwerking van het drukverschil $\delta p (= "q")$ bij 15° in Hauer's Tabel II.

De door Hauer opgegeven getallen zijn :

Windsnelheid V (m/s)	5	10	15	20	30	40
δp (mm water)	1.96	7.55	16.8	30.6	83.3	152
"oude oorspr. ijkingsget."	2.3	9.3	21	37	84	149

De laatste rij bevat de bekende ijktafel uit het Observers Hand-book; de "fout" in deze tabel (aannemend dat Hauer's meting goed is) is in termen van windsnelheid af te leiden door de wortel te trekken uit het quotiënt van derde en tweede rij van bovenstaand tabelletje. We zullen deze fout eerst relatief geven, in %, en dan absoluut maken door vermenigvuldiging met de bijbehorende windsnelheid.

Relatieve "fout"	8%	11%	12%	10%	0.4%	-1%
Absolute "fout" (m/s)	+0.4	+1.1	+1.8	+2.0	+0.1	-0.4

Opvallend is nu dat in de absolute reeks de tweedeling van de reeks in een +10%-gebied beneden 25 m/s en een 0%-gebied daarboven lijkt vervangen te zijn door een driedeling : lage fouten voor $V \leq 10$ m/s en voor $V > 20$ m/s, en daartussen een gebied met maximale afwijking. Dit is het geniepige effect van de vermenigvuldiging met V.

Grafische afvlakking van de relatieve "fout" zou nu zeer wel hebben kunnen leiden tot de volgende continu verloopende foutenkromme, met 3% foutenvariatie per 5 m/s beneden 30 m/s :

Windsnelheid (m/s)	5	10	15	20	30	40
Afgevlakte relatieve fout	16%	13%	10%	7%	1%	-1%

De bijbehorende reeks absolute fouten is nu :

(m/s)	+0.8	+1.3	+1.5	+1.4	+0.3	-0.4
-------	------	------	------	------	------	------

en dit lijkt verdacht veel op Hauer's Tabel III :

"correctie (m/s)"	+0.8	+1.0	+1.6	+1.3	+0.2	-0.5
-------------------	------	------	------	------	------	------

zoeer zelfs, dat het zeer wel mogelijk is dat we het resultaat van Tabel III zouden hebben bereikt wanneer we de omrekening grafisch inplaats van numeriek zouden hebben uitgevoerd.

De reeks absolute fouten in Hauer's Tabel III vertoont duidelijk een maximum omstreeks 15 m/s, en het toevoegen van een overspeedingscorrectie brengt daarin geen verandering. Zowel uit de in paragraaf 4 aangehaalde opmerking van Rijkooft (1954) als uit losse mededelingen van informanten blijkt nu, dat Hauer tijdens zijn metingen in de zuigdruk een "omslag" heeft waargenomen bij 16 m/s, reproduceerbaar bij die snelheid volgens de informanten. Op grond daarvan zou het discontinuïteitspunt bij 16 m/s zijn gekozen.

Een "omslag in de grenslaag" duidt gewoonlijk op het bereiken van een kritisch Reynolds-getal bij een bepaalde windsnelheid : dan gaan de druk- en drag-coëfficiënten veranderen, vaak met een factor van de grootteorde 2. In de windtunnel, in pseudolaminaire stroming, kan dit omslagpunt scherp bepaald zijn en ook aanleiding

geven tot een sprongsgewijze variatie in de overdrachtscoëfficiënt. Zetten we de Dines-vaan van Fig.3 in een windtunnel, dan is het daarbij van belang dat achter de vaankop A zich een turbulent zog zal opbouwen, ongeveer in de vorm van een kegel met een halve top-hoek van $\sim 30^\circ$. Wanneer de dragcoëfficiënt C_d afneemt met toenemende windsnelheid, dan zal ook het zog iets smaller worden (Hughes en Brighton, 1967). Aangezien de "zuiggaten" S op $\sim 30^\circ$ achter de Dineskop liggen, kan het gebeuren dat bij lage windsnelheden de gaten nog in het turbulente zoggebied liggen, maar dat ze boven een bepaalde windsnelheid daarbuiten in de pseudolaminaire tunnelstroming zijn. Hierdoor zouden variaties in de verhouding tussen zuigdruk en statische druk mogelijk zijn. Dit effect lijkt de enige mogelijke verklaring van Hauer's waarneming, die overigens kennelijk niet zó significant was dat hij een vermelding waard was in het rapport over Hauer's ijkingen (Appendix II).

Afgezien van het feit dat het effect dus niet groot was en waarschijnlijk pas achteraf herinnerd ter verklaring van het maximum in Tabel III bij 15 m/s, geldt bovendien dat het in natuurlijke meetomstandigheden niet zal optreden omdat dan ook buiten het zog van de Dines-kop de luchtstroom turbulent is. In turbulente lucht variëren de overdrachtscoëfficiënten wel met toenemende stroomsnelheid, doch zij doen dit langzaam en niet sprongsgewijze, laat staan dat er nog een reproduceerbaar omslagpunt te vinden zou zijn bij één bepaalde windsnelheid (Prandtl en Tietjens, 1934). Met een dergelijk argument kan men dus wel de zwakke variatie van $(f_1 + f_2)$ met V verklaren, maar niet het optreden van een sprong in de ijking rechtvaardigen.

Hauer's Tabel IV, dus Tabel III met 5% overspeeding ingebouwd, verloopt met V analoog aan de oninterpreteerbare series "correcties" die bij Dines-vlotterijkingen na zomer 1950 werden gerapporteerd. Een gemiddelde van enige ijkingen (Hoek van Holland 1953, Beek 1954 en Den Helder 1950) geeft met een variatie van ± 0.3 m/s de volgende gemiddelde correctietabel :

V van schaal (m/s)	5	10	15	20	25	30	35	40
gemidd. correctie (m/s)	+0.4	0	-0.4	0	+0.3	+0.6	+0.9	+1.2
Hauer's Tabel IV :	+0.5	+0.5	+0.8	+0.3		-1.3		-2.5

is hiermee sterk negatief gecorreleerd (significantiegrens 1%). Waarschijnlijk is dus uit Tabel IV de verloren gegane ijktabel gemaakt die tijdens de stationsijkingen werd gebruikt. Na 1954 werd op alle Dines-stations geregistreerd met stroken van het E-type, waar de Hauer-ijking reeds was ingebouwd zodat bovenstaande verschillen met Hauer's ijktabel niet meer voorkwamen.

Het heeft weinig zin om te trachten de ijktabel alsnog te reconstrueren. Uit de sterke overeenkomst van de genoemde stationsijkingen blijkt eens te meer dat de KNMI-Dinesmeters een overeenkomstig meetgedrag hadden, en dit onderschrijft de conclusies van paragraaf 6. Het enige extra nut van de bestudering van deze oude ijkingen is het feit dat de grootte van de fout, die in de meting te Den Helder omstreeks 1953 optrad door een lek in de verbindingsbuis, kan worden geschat uit een vergelijking van bovenstaande gemiddelde correctietabel met de ijking, die te Den Helder in November 1954 werd uitgevoerd. Dan blijkt, dat op dat tijdstip de Dines over de gehele meetrange ongeveer 0.6 m/s te laag aanwees.

8. Naschrift.

Berekende frequentieverdelingen van Den Helder vóór 1950 en ná 1954 tonen aan, dat de frequenties boven 17 m/s elkaar goed dekken, terwijl beneden 16 m/s de frequenties ná 1954 ongeveer overeenkomen met de frequenties vóór 1950 bij een knoop minder windsnelheid. Dit kan worden gezien als een "klimatologisch bewijs" van de juistheid der in paragraaf 6 voorgestelde correcties, aangezien de opstelling en omgeving van de windmeter te Den Helder in die tijd niet noemenswaard is veranderd.

De voornaamste reden waarom deze merkwaardige hik-ijking ruim twintig jaar onbekritiseerd heeft standgehouden is, dat nooit een behoorlijk rapport was gepubliceerd over zijn ontwikkeling. Zoiets kan makkelijk voorkomen in een instrumentele (en in het algemeen in een operationele) afdeling, waar het beschrijven van het afgedane werk gewoonlijk minder urgentie heeft dan het volgende karwei (Tucker, 1976). Bovendien echter was het achteraf nagaan van deze Dines-zaak een onnodig tijdrovend en welhaast onmogelijk speurwerk omdat zeer veel relevant materiaal was verdwenen bij opruiming en dergelijke (zie blz.9).

Wil men het op het KNMI voor de toekomst serieus mogelijk maken dat de kwaliteit van verrichte metingen achteraf wordt getoetst door derden, dan móet er een instrumenteel archief komen waarheen afgedankte ijktabellen, oude instrumententekeningen, laatste exemplaren van instrumenten zelf e.d. kunnen worden afgeschoven tijdens opruiming en verhuizingen. Het beheer van een dergelijk archief dient door de instrumentele afdeling en de klimatologische dienst gezamenlijk te worden verricht.

Referenties :

- Baumbach, S.(1953): Die instrumentelle Seite der Windmessung. Techn.Mitt.D.Wetterd.Zentralamt NW-Deutschland(Hamburg)22, 1-13.
- Bilham, E.G.(1927): On the calibration of pressure tube anemometers. Qu.J.Roy.Meteor.Soc.53, 315-316.
- Bleeker, W.(1942): Meten en schatten van meteorologische grootheden. Uitg. Thieme, Zutphen.
- Borges, A.R.J.(1968): On the frequency response of floater-type anemographs (velocity fluctuations in the direction of mean speed). Lab.Nac.Engenh.Civ.(Lisboa) Mem.314.
- Braak, C.(1942): Het klimaat van Nederland. D.: Wind. Kon.Nederl. Meteor.Inst.Med.Verh. 46.
- Bryer, D.W. en Pankhurst, R.C.(1971): Pressure-probe methods for determining wind speed and flow direction. Uitg.HMSO, London.
- Deij, L.J.L., Hooghoudt, S.B., Latour, J.H.M., Peerlkamp, P.K. en Stam, A.H.(1955): Het verdampingsonderzoek in de Rottegatspolder. Versl.Med.Comm.Hydrol.Ond.TNO 2, 209-253.
- Dines, W.H.(1892): Anemometer comparisons. Qu.J.Roy.Meteor.Soc. 18, 165-183.
- Driedonks, A.G.M.(1974): Windsnelheidsijking in de KNMI-windtunnel. KNMI-V-253.
- Giblett, M.A. en Durst, C.S.(1932): The structure of wind over level country. Meteor.Off.Geophys.Mem. 54.
- Gold, E.(1936): Wind in Britain. The Dines anemometer and some notable records during the last 40 years. Q.J.R.M.S.62, 167-206
- Golding, E.W. en Stodhart, A.H.(1952): The selection and characteristics of wind-power sites. Electr.Res.Ass.Techn.Rep C/T 108.
- Hughes, W.F. en Brighton, J.A.(1967): Theory and problems of fluid dynamics. Uitg.McGrawHill, New York.
- Insa (1956): Instructie Dines-anemometer. Interne handl.KNMI.
- Jensen, M. en Franck, N.(1968): Maximum wind velocities in Denmark. 2nd Conf.Wind Eff.on Build. and Struct., Ottawa, I 279-295.
- Le Poole, R. en Van Gool, W.(1974): Analyse windgegevens Den Helder in de periode 1961 t/m 1970. Land.Stuurgr.Energ.Ond.12.038.
- Le Poole, R.(1977): On the possible use of wind energy in the Netherlands. Proefschr.Univ.Utrecht.
- Middleton, W.E.K.(1941): Meteorological instruments. Univ.Toronto Press, Canada.
- Noetzlin, U.(1941): Beiträge zur Frage der Windmessung am Boden unter besonderer Berücksichtigung der Böenmessung. Wiss.Abh. Deutsches Reichsamt für Wetterd.(Luftwaffe) VIII, nr.5.
- Observers Handbook, The Meteorological (1926). Meteor.Off.191, uitg.HMSO, London.
- Prandtl, L. en Tietjens, O.G.(1934): Applied hydro- and aerodynamics. Uitg.Dover, New York.
- Ramachandran, S.(1970): A theoretical study of cup and vane anemometers. Qu.J.Roy.Meteor.Soc.96, 115-123.
- Rijkoort, P.J.(1951): Een vergelijking van de Robinson-anemometers in gebruik bij het verdampingsonderzoek in de Rottegatspolder met de Dines-anemograaf te De Bilt. KNMI-R-III-87.
- Rijkoort, P.J.(1953): Onderlinge vergelijking van de Robinson-anemometers op de oude toren van het Instituut. KNMI-R-III-107.
- Rijkoort, P.J.(1954): Anemometeronderzoek op de nieuwe toren van het KNMI. KNMI-R-III-128.
- Rijkoort, P.J.(1955): Comparison of wind speeds measured simultaneously by a Dines anemograph and a Robinson cup anemometer in fluctuating winds. Meteor.Mag.84, 137-140.
- Sanuki, M.(1952): A new development of the theoretical and experimental treatment of the lag of Dines pressure tube exposed in fluctuating winds. Pap.Meteor.Geoph.2, 115-124.

- Schrenk, O.(1929): Trägheitsfehler des Schalenkreuz-Anemometers. Zeitschr.f.techn.Phys.10, 57-66.
- Smith, S.G.(1980): Comparison of mean wind speeds recorded by Dines pressure tube and electrical cup generator anemographs. Pers.comm., Meteor.Off.Bracknell.
- Tucker, G.B.(1976): Research and services: differing attitudes within the science of meteorology. Weather 31, 104-113.
- Veryard, R.G.(1925): On the calibration of pressure tube anemometers. Qu.J.Roy.Meteor.Soc.51, 413-416.
- Vesseur, H.J.A.(1954): Twee verbeteringen in de registratie van windsnelheden met elektrische hulpmiddelen. KNMI Med.Verh.59, 271-281.
- Whittingham, H.E.(1964): Extreme wind gusts in Australia. Austr. Bur.Meteor.Bull.46.
- Wieringa, J.(1968): Nauwkeurigheid van anemometerrijkingen in de KNMI-windtunnel. KNMI-V-211.
- Wieringa, J.(1976): An objective exposure correction method for average wind speeds measured at a sheltered location. Qu.J. Roy.Meteor.Soc.102, 241-253.
- Wieringa, J.(1980): A revaluation of the Kansas mast influence on measurements of stress and cup anemometer overspeeding. Bound. Layer Meteor.18, 411-430.
- Wood, C.J.(1978): On the use of static tubes in architectural aerodynamics. J.Industr.Aerodyn.3, 374-378.

ABSTRACT: The mystery of the hiccuping Dines anemometer.

The operation of Dines-type pressure tube anemometers with linearizing floater-recorder is analyzed from first principles, using all available published calibrations and comparisons and some unpublished laboratory calibrations. It is concluded that the classical Dines-calibration (Gold, 1936) underestimates measured wind speeds by $\sim 4\% = \sqrt{1.49/1.37}$. The response time of pressure tube and floater combined is ~ 0.6 sec with 1-inch connecting tubes, allowing good representation of 5-sec gusts. The overspeeding of a Dines anemometer is about 5%, comparable to that of a standard cup anemometer.

The reason for this investigation was a lack of archival information on the development of an uncommon Dines calibration, which is used at Dutch stations since 1950 and has a large discontinuity at 16 m/s. No valid reasons were found to uphold this discontinuous calibration, and correction formulas are given for the archived Dutch wind data.

Dines-druk-anemograaf te De Bilt.

T. J. Rykoort (1951 ?)

De theorie van de Dines-druk-anemograaf en de afleiding van de klok-
vorm is te vinden in een artikel van E. Gold in het quarterly Journal
Royal Meteorological Society. 62 (1936), 167 getiteld: "Wind in Britain".

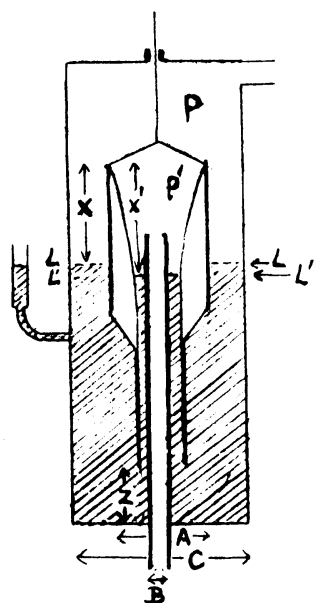


Fig. 1.

LL: waterniveau buiten vlotter
L'L': waterniveau binnen vlotter
p : buitendruk - onderdruk
p' : binnendruk - stuwdruk
z: hoogte boven de nulstand
x'-x: verschil waterniveaux
A, B en C resp. opp. projectie van
drijver, stuwbuis en houder op hori-
zontaal vlak.
Y: opp. dooranede binnenzijde klok
De vorm der klok is dus bekend als Y
als functie van x' bekend is.

$$\text{Uitgaande van } p' - p = g \rho_w (x' - x) \quad (1)$$

(g swaartekracht veranelling, ρ_w dichtheid van water) wordt, met be-
hulp van de eis

$$x' - x = qz^2 \quad (2)$$

(om het kwadratische verband tussen winddruk en snelheid te compen-
seren en de uitwijking der pen, z, lineair van v te doen afhangen)
als formule gevonden:

$$Y = \frac{AB}{C} + \frac{A(C-B)}{C \sqrt{1 + \frac{4gC}{C-B} x'}} \quad (3)$$

De waarde van q is afhankelijk van de eisen die aan de registra-
tieschaal gesteld worden. Uit het artikel van Gold blijkt dat als eis
gesteld is: een windsnelheid verschil van 10 miles p.uur moet overeen-
komen met 0,6 inch op het papier of 447 cm/sec \leftrightarrow 1,52 cm. Dit klopt
met de streken zoals die in gebruik zijn.

Voor de stuwdruk van de windstroom hebben we de bekende formule

$$P = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (4)$$

Ondersteld is verder steeds dat zowel p als p' evenredig zijn met P

$$p' = f_1 P \text{ en } p = -f_2 P \quad (5)$$

dus

$$p' - p = (f_1 + f_2) P. \quad (6)$$

Over de waarden van f_1 en f_2 is in de literatuur enige onzekerheid. In het algemeen is voor f_1 de waarde 1 genomen. Voor f_2 zijn verschillende waarden aangegeven, variërend van 0,24 tot 0,49. Volgens het onderzoek van A. Hauer zijn deze waarden echter niet constant maar van de windsnelheid afhankelijk.

Nemen we voor f_2 de waarde 0,49 dan is

$$p' - p = 0,745 \rho v^2 \quad (7)$$

Geven we het druk-verschil aan in cm water (w) en v in cm/sec., en nemen we 0,001225 (15,5°, 76 mm) voor ρ , dan:

$$\begin{aligned} 981 w &= 0,745 \times 0,001225 v^2 \\ w &= 0,0000009,3 v^2 \quad \text{of} \end{aligned} \quad (8)$$

als we in mm en v in cm/sec wordt genomen:

$$w = 0,093 v^2 \quad (9) \quad \text{de formule van Dines waar-}$$

uit de bekende ijkgetallen volgen.

De waarde van q die hierbij behoort is

$$q = \frac{p' - p}{g \rho_w z^2} = \frac{0,00000093 (447)^2}{(1,54)^2} = 0,08 \quad (10)$$

Op 8 juni 1951 is de Dines te De Bilt ter controle nagemeten. Bepaald werden de waarden van A, B en C, de hoogte van de drijver en de afstand van het peilglas-punt tot de bodem van de houder. Deze laatste afstand is 47,2 cm, wat gelijk is aan de hoogte van de houder tot het punt P. De drijver steunt in de nul-stand op drie punten ter lengte 0,5 cm (begrepen in de 47,2 cm)

A = 184,35 cm² (Gold: 184.85 cm²)
 B = 3,98 cm² (Gold: 5.07 cm²)
 C = 516,33 cm² (Gold: 332.29 cm²)

Het gewicht van de drijver is 2100 gr. Verder werd de drijver in omgekeerde stand met verschillende hoeveelheden water gevuld en de afstand van waterniveau tot bovenrand gemeten teneinde de binnenvorm te bepalen. Zie fig. 2. Drijver met standaard en water werd gewogen.

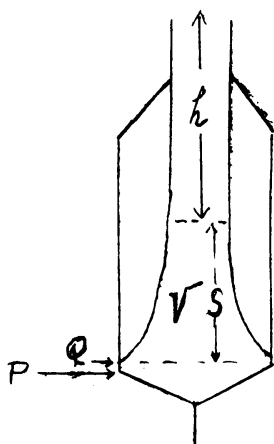


Fig. 2

Resultaat

h	gewicht
45,4	4564 gr.
43,6	4816 "
37,1	5503 "
31,1	6000 "
24,2	6476 "

In de beginstand als h = 45,4, valt het waterniveau niet precies samen met het P niveau maar Q ligt 47,2-0,5-45,4 cm = 1,3 cm boven P.

Gebleken is n.l. dat het punt waar het gebogen oppervlak de binnenzijde van de mantel raakt (Q) zich niet op dezelfde hoogte bevindt als het punt aan de buitenszijde waar de mantel overgaat in het conusvormige dak (P). Rekenen we S de hoogte van het waterniveau en V het watervolume vanaf Q dan is het resultaat der metingen:

S	V	dS	dV	r _{kegel}	r _{Gold}
0	0	(1.3)	0	7.66	7.67 (=√A)
1,8	252	1.8	252	5.69	6.61
8,3	939	6.5	687	5.91	5.48
14.3	1436	6.0	497	4.36	4.98
21.2	1912	6.9	476	5.01	4.61

[Opmerking J.W., 1980 : Bij benadering van de vlottervorm door een serie afgeknotte kegels met volume dV_i en hoogte dS_i geldt voor de straal van boven- en ondervlak: $r_i = (dV_i / \pi dS_i)^{\frac{1}{2}} - r_{i-1}$. Zie aanvulling bovenstaande meettabel.

Vergeleken wordt met Gold's r-waarden bij x' = S + 0.8 cm, omdat bij Gold het punt Q (fig.2) 0.8 cm boven het punt P ligt.

De zo afgeleide r-schattingen spreiden sterk, doch rondom, rondom de "officiële" r-waarden van Gold. De spreiding is zo groot dat een nauwkeuriger benadering vrij zinloos lijkt (6 cm hoogteverschil kan ook nauwelijks meer dan een ruwe benadering geven). Uit deze metingen kan dus niet worden afgeleid of de bĳmeten vlotter een profiel-afwijking heeft vergeleken met Gold's vlotter.]

Substitueren we in (3) de waarden die we voor A, B en C gevonden hebben en voor q 0,08 en $x' = s + 1,3$ dan

$$Y = 1,42 + 322,0 \frac{1}{\sqrt{4,4+s}} \quad (11)$$

waaruit

$$V = 1.42 S + 643,9 \left(\sqrt{4,4 + S} - 2,10 \right) \quad (12)$$

Het blijkt niet mogelijk om deze formule uit de gevonden waarden van S en V weer af te leiden.

Uit de theorie volgt dat het bij de instelling essentieel van belang is, dat in de nulstand het waterniveau binnen en buiten de drijver samen valt met het punt. Immers voor $x' = 0$ (dus ook $x = 0$) is in (3)

$$Y = \frac{AB}{C} + \frac{A(C-B)}{C} = A$$

Het was in 't verleden gebruikelijk zo nu en dan de Dines met behulp van een watermanometer te ijken gebruik makende van de ijkgetallen van Dines. Afwijkingen werden door vermeerdering of vermindering van het aantal kogeltjes hersteld.

Het blijkt echter dat dit geen zin heeft. Op 8-6-'51 werd na de metingen van houder en drijver de anemograaf opnieuw ingesteld. Aanvankelijk door de drijver dusdanig te verswaren dat juist het vereiste samenvallen van P met de waterniveaux en het peilglas punt plaats vindt. De drijver staat dan juist op de bodem. Theoretisch moet het dan zo zijn dat reeds de kleinste overdruk in staat is de drijver omhoog te brengen. In de praktijk blijkt dat er toch nog sprake is van kleven aan de bodem. Derhalve is door toevoeging van enig water het geheel iets omhoog gebracht, zodat de drijver juist los van de bodem is.

Op 19-6-'51 is opnieuw ingesteld en vervolgens werd op verschillende tijdstippen in de maanden hierna ter controle met de watermanometer bepaald welke waterdruk waarden bij 5, 10, 15, 20, 30 en 40 m/sec. van de strook voorkomen. Het resultaat is als volgt:

m/sec	Dines waarden	19/6	29/6	16/7	30/7	22/8	4/9	4/9	14/9	17/10
5	2.3	2.3	2.7	2.6	2.8	2.5	2.6	2.3	2.4	2.2
10	9.3	9.4	9.7	10.1	10.1	9.7	9.7	9.3	9.1	8.7
15	21	21.1	21.7	22.1	22.3	21.4	22.0	20.9	20.3	20.2
20	37	37.4	38.8	39.0	39.0	38.1	38.9	37.0	36.1	36.4
30	84	86.0	88.7	89.0	88.9	87.5	88.4	86.0	84.7	84.8
40	149	156.0	158.4	160.0	159.3	157.8	158.7	155.2	153.9	154.0

We zien dat aanvankelijk op 19/6 de aangewezen waterdrukwaarden vrij dicht bij de ijkwaarden van Dines liggen althans tot 20 m/sec. Bij de volgende metingen nemen ze iets toe en daarna weer af. Aangezien van 29/6 tot 4/9 de waterdrukwaarden steeds hoger dan de ijkwaarden van Dines waren is op 4/9 de drijver iets verswaard zodat weer betere aansluiting bij de Dines getallen werd verkregen. Bij de volgende controle metingen zijn de waarden nu iets kleiner geworden. Men krijgt het vermoeden dat pas geruime tijd na een nieuwe instelling een zekere stabiliteit wordt verkregen. Bij de resultaten treedt van 19/6 - 29/6 en 4/9 - 14/9 een vrij grote verandering op, terwijl daarna de veranderingen kleiner zijn.

We hebben in de navolgende tabel de procentuele veranderingen aangegeven.

	19/6	29/6	16/7	30/7	22/8	4/9	
5	17.4 (1)	3.7 (5)	7.7 (3)	10.7 (2)	4.0 (4)		Achter de percentages staat tussen haakjes het rangnummer in de rij. We kunnen hier de methode der rangschikkingen toepassen. De verandering van
10	3.2 (3)	4.1 (1)	0.0 (4)	4.0 (2)	0.0 (5)		
15	2.8 ⁵ (2)	1.8 (4)	0.9 (5)	4.0 (1)	2.8 ⁰ (3)		
20	3.7 (1)	0.5 (4)	0.0 (5)	2.3 (2)	2.1 (3)		
30	2.0 (1)	0.3 (4)	0.1 (5)	1.6 (2)	1.0 (3)		
40	1.5 (1)	1.0 (2)	0.4 (5)	0.9 (3)	0.6 (4)		
S.	9	20	27	12	22		

$$S = \sum (s_i - \bar{s})^2 = 218. \quad P < 0,01.$$

19/6 - 29/6 is in de meeste gevallen het grootste en daar de waarschijnlijkheid dat per toeval $S \geq 218$ zal zijn kleiner dan 0,01 is, is de verandering van 19/6 - 29/6 inderdaad significant groter dan daarna.

De moeilijkheid zit waarschijnlijk in de onmogelijkheid om een goed reproduceerbare nulstand te krijgen. Bij het gebruik in de praktijk blijkt dat de drijver na afsluiting der toevoerbuizen vrij snel in de nulstand terug komt. Bij het ijken wordt de drijver echter vrij ver uit het water omhooggebracht. Het blijkt dat hierna het bereiken van de nulstand zeer lang duurt. De laatste meters sakt de drijver zeer traag (zie fig. 3a) en blijft tenslotte iets boven de nullijn staat. Drukt men de drijver op de bodem en laat men hem dan los dan blijft hij iets onder de nullijn staan. De capilariteit van het water speelt hier blijkbaar een rol. Drukt men de drijver geheel op de bodem dan wordt de drijverwand

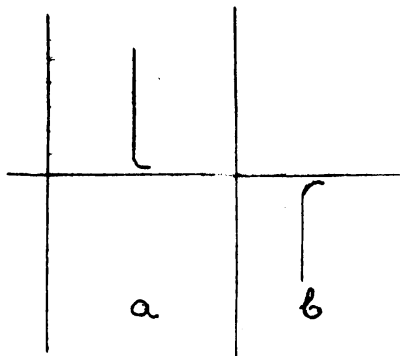


Fig. 3.

boven P nat en blijft hierop enig water achter bij het omhoog komen, waardoor de drijver iets verzwaard is. Omgekeerd zal bij het ver omhoog brengen de drijverwand opdrogen en bij het zakken het opnieuw bevochtigen van de wand meer tijd kosten. Het is blijkbaar niet mogelijk deze onnauwkeurigheid in de nulstand te verwijderen, het heeft dus geen zin afwijkingen in de waterdrukwaarden van enkele tienden met be-

hulp van kogeltjes op de drijver te gaan corrigeren.

Aangesien de vorm der drijver zo is gemaakt dat bij de onderstelling $f_1 + f_2 = 1,49$ wordt aangesloten, is 't niet mogelijk door verandering van drijvergewicht rekening te houden met het door Hauer gevonden resultaat dan $f_1 + f_2$ veranderlijk is.

Meet men voor q de waarden bij 15° :

1,96; 7,55; 16,8; 30,6; 83,3; 15,2 i.p.v. de oude Dines ijkwaarden ijkwaarden gebruikt dan moet de schaal op de strook veranderd worden. Deze kan dan niet meer lineair zijn.

Voor al tussen 5 en 25 m/sec geeft deze verandering der q waarden aanzienlijk verschil. De uitvoerige vergelijking van Rottegatspolder-Robinson anemometers met de Dines gecombineerd met windtunnelingen van de Robinson anemometers bewijzen echter de juistheid van resultaten van Hauer. (Zie: P.J.Rijkoort, KNMI-R-III-87, 1952).

A. Hauer.

(1949 ?)

Anemometeronderzoek.

In Mededelingen en Verhandelingen van het Ned. Met. Instituut No. 46 wijdt Braak een paragraaf (No. 29 op bldz. 73) aan de vergelijking van de beide in de Bilt gebruikte anemometers, nl. de Robinson-anemometer en de Dines-drukanemometer. Als resultaat van deze vergelijking komt een betrekking naar voren, die de gevonden verschillen in windsnelheid op een zeer klein bedrag na, bevredigend weergeeft (verg. 4 op bldz. 75). De gevonden vergelijking heeft echter een speculatief karakter en er is geen enkel theoretisch argument voor het bestaan van een dergelijke betrekking; bovendien is, zoals door Braak wordt toegegeven, de betrouwbaarheid van de gegevens, waarop de afleiding van deze formule berust, niet zo groot als men gaarne zou wensen. Weliswaar zijn de ijkingsconstanten van het molentje bij constante wind in de windtunnel (dus bij vrijwel laminaire stroming) bepaald, maar van de eventuele fouten, die bij de Dines-drukanemometer kunnen optreden, is weinig bekend.

Wij hebben naar de betrouwbaarheid van de door dit laatste instrument gegeven waarden een nader onderzoek ingesteld.

Van een in het Instituut aanwezige Dines-anemometer, die identiek is met degenen, die in den Helder, de Bilt en Maastricht zijn opgesteld, werd de "kop" met stuw- en zuigbuis in een van de windtunnels van het Nationaal Luchtvaartlaboratorium te Amsterdam voor verschillende snelheden vergeleken met een gelijke standaard Pitot-buis. De twee instrumenten waren naast elkaar in de luchtstroom opgesteld. Met behulp van micromanometers werden de volgende drukverschillen bepaald:

- 1°. Het verschil tussen de druk in de stuw- en de zuigbuis van de Dinesdrukanemometer,
- 2°. Het verschil tussen de onderdruk van de Dines-anemometer en de statische druk, gemeten aan de standaardpitotbuis, en
- 3°. Het verschil tussen de stuw- en de statische druk, gemeten aan de Pitotbuis.

Met behulp van dit laatste drukverschil werd de windsnelheid in de tunnel geregeld en op de verschillende waarden ingesteld. Noemen we de stuw- en onderdruk van de windstroom q_0 (in kg/m^2); dan is deze, behalve voor zeer lage waarden, gelijk aan de stuw- en onderdruk aangewezen door de

standaard Pitotbuis. Verder noemen we de stuwdruk van de Dines: q_d en de onderdruk van deze anemometer p_d . Nu gelden de volgende betrekkingen: $q_0 = \frac{\rho}{2} \int v^2$, waarin ρ de dichtheid van de lucht is en v de windsnelheid. Nu wordt voorlopig aangenomen dat q_d evenredig is met q_0 , dus: $q_d = f_1 q_0$. Eveneens zal dan gelden $p_d = f_2 q_0$.

Het drukverschil gemeten tussen druk- en zuigbuis van de Dines-druk-anemometer is dan:

$$q = q_d + p_d = (f_1 + f_2) q_0.$$

De ijking geschiedde nu als volgt: q_0 (3^o) werd op een bepaalde waarde ingesteld en dan werden $q = (q_d + p_d)$ (1^o) en p_d (2^o) afgelezen. Deze laatste waarde volgt direct uit het afgelezen drukverschil tussen de zuigbuis en de statische druk gemeten aan de pitotbuis, want deze laatste is voor de gebruikte standaardbuis gelijk aan de luchtdruk. Tabel I geeft een overzicht van de op deze wijze gevonden getallen. Alle drukken zijn gegeven in mm water.

Tabel I

q_0	$q = q_d + p_d$	$f_1 + f_2 = \frac{q}{q_0}$	p_d	$\frac{p_d}{q_0} = f_2$	$(f_1 + f_2) - f_2 = f_1$
0.29	0.37	1.275	0.195	0.67	0.6
2.08	2.60	1.25	0.727	0.35	0.9
4.62	5.62	1.22	1.65	0.358	0.86
8.78	10.69	1.22	3.14	0.358	0.86
16.28	19.12	1.18	5.95	0.365	0.82
27.25	34.54	1.26	10.05	0.369	0.89
58.00	86.6	1.49	27.65	0.477	1.01
99.8	152.7	1.53	50.0	0.50	1.03

Met de waarden uit deze tabel werd een grafiek gemaakt van $(f_1 + f_2)$ als functie van q_0 en de uit deze grafiek afgelezen waarden voor $(f_1 + f_2)$ werden gebruikt om bij bepaalde gegeven waarden van q_0 , q te berekenen.

Vervolgens werden voor een aantal windsnelheden de waarden van q bepaald bij verschillende temperaturen; alles bij een luchtdruk van 760 mm Hg. De gevonden waarden zijn samengevat in tabel II. Als laatste ko-

len vindt men hierin de tot nu toe gebruikte ijkingswaarden, welke ontleend zijn aan Observer's Handbook.

Tabel II

v m/sec	$f_1 + f_2$	0° C		10° C		15° C		20° C		oude oorspronkelijke ijkingsgetallen
		q_0	q	q_0	q	q_0	q	q_0	q	
5	1.255	1.65	2.07	1.59	2.0	1.56	1.96	1.53	1.92	2.3
10	1.215	6.58	8.0	6.36	7.73	6.22	7.55	6.12	7.44	9.3
15	1.20	14.8	17.75	14.3	17.15	14.0	16.8	13.76	16.5	21
20	1.235	26.4	32.6	25.4	31.4	24.8	30.6	24.45	30.2	37
30	1.49	59.3	88.5	57.2	85.2	55.9	83.3	55.1	82.0	84
40	1.53	105.4	161	101.6	155	99.5	152	97.9	150	149

Wanneer de Dines-anemometer met behulp van deze "oude" waarden gebruikt is, geeft tabel III de correctie, die op de aflezing moet worden toegepast om bij 15° C de goede waarden te verkrijgen.

Tabel III

v. (m/sec)	correctie (in m/sec)
5	+ 0.8
10	+ 1.0
15	+ 1.6
20	+ 1.3
30	+ 0.2
40	- 0.5

Wanneer de Dines-drukanemometer in een constante wind de juiste windsnelheid geeft, is het niet vanzelfsprekend, dat dit ook het geval zal zijn in de natuurlijke wind. kwalitatief kunnen we dit op de volgende manier insien: Tussen de windsnelheid en het drukverschil dat door de manometer wordt gemeten bestaat het verband: $p = a v^2$. De windsnelheid v nu is niet constant maar is op een grillige manier ver-

anderlijk. We nemen aan, dat $v = v_1 + v_2 \sin b t$.

De gemiddelde windsnelheid is dan $\bar{v} = v_1$.

Een manometer, die zo traag is, dat hij de pulsaties van de windsnelheid niet kan volgen, zal zich op een gemiddelde drukwaarde instellen. Bij de snelheid v behoort dan de druk: $p = a (v_1 + v_2 \sin b t)^2 = a v_1^2 + a v_2^2 \sin^2 b t + 2 a v_1 v_2 \sin b t$. De gemiddelde druk is dan:

$$\bar{p} = a v_1^2 + \frac{b}{217} \int_0^{\frac{2\pi}{b}} a v_2^2 \sin^2 b t dt + \frac{2 b}{217} \int_0^{\frac{2\pi}{b}} a v_1 v_2 \sin b t dt.$$

$$\bar{p} = a v_1^2 + \frac{1}{2} a v_2^2 = a (v_1^2 + \frac{1}{2} v_2^2).$$

De aanwijzen van de anemometer stelt zich dus in op een waarde $v_3 = \sqrt{v_1^2 + \frac{1}{2} v_2^2}$. Voor een waarde voor $v_2 = \frac{1}{2} v_1$ is de aangewezen gemiddelde windsnelheid 6 % te hoog en voor $v_2 = \frac{1}{3} v_1$ ongeveer 3 % te hoog.

De Dines-anemometer is echter geen volkomen trage manometer; de gevonden correctie-formules gelden dus niet exact. Toch wijzen experimenten met snelregistrerende instrumenten erop dat de pulsaties van de natuurlijke wind van dusdanige amplitudines en frequenties zijn, dat rekening houdend met de traagheid van de Dines-anemometer, een fout in de aanwijzing van 5 % als waarschijnlijk kan worden aangenomen. Tabel IV geeft de veranderde waarde van tabel III, nadat een fout van 5 % is aangenomen.

Tabel IV

v.	correctie
5	+ 0.5
10	+ 0.5
15	+ 0.8
20	+ 0.3
30	- 1.3
40	- 2.5

Dese correcties kunnen nu toegepast worden op de door Braak gevonden verschillen in aanwijzing van Robinson en Dines. Na een correctie voor het gemiddeld iets te laag staan van de schrijfen van de Dines aangebracht te hebben, vindt hij voor het verschil: Robinson-

Dines, bij de verschillende snelheden, onderstaande waarden:

v =	5	10	15	20 m/sec
R-D =	0.1	0.4	1.3	2.5

Na correctie met de waarden uit tabel IV wordt dit:

R-D =	-0.4	-0.1	+0.5	+2.2
-------	------	------	------	------

Op deze waarden moeten nu de correcties in de windtunnel voor de Robinson gevonden, nog worden toegepast. Het gevolg is:

R-D =	-0.3	0	-0.2	+0.7
-------	------	---	------	------

Neemt men verder aan dat de correctie voor de schrijfen ten onrechte is aangebracht en maakt men deze weer ongedaan, dan wordt het:

R-D =	-0.1	+0.2	0	0.9
-------	------	------	---	-----

De meetnauwkeurigheid in aanmerking genomen, is dit een bevredigende overeenstemming tussen de aanwijzingen van Robinson en Dines. (De waarde bij 20 m/sec is een geëxtrapolerde waarde).

In de literatuur is de oorsprong nagegaan van de oude ijkwaarden van de Dines. Het blijkt, dat deze waarden identiek zijn met de getallen, die Dines met behulp van een molen in 1891 heeft gevonden. Voor zover er bijzonderheden over de methode van ijking te vinden zijn, mag wel als vaststaand worden aangenomen, dat de precisie niet zo groot was, als Dines voorgeeft; Dines ging er van uit, dat $(f_1 + f_2)$ een constante waarde zou hebben, hetgeen volgens onze metingen niet het geval blijkt te zijn. Uit een publicatie van Giblett in 1932 blijkt, dat voor de Dines-drukanemometer wordt aangenomen, dat $f_1 = \text{constant} = 1$ is en $f_2 = 0.49$. Dit klopt met de waarden, die volgen uit de oorspronkelijke ijking van Dines. Het is niet onwaarschijnlijk, dat de nieuwste vorm van de anemometers vrijwel aan deze getallen voldoet, maar zeker is, dat men hiervoor de oorspronkelijke vorm grondig heeft moeten wijzigen. De in De Bilt gebruikte anemometers zijn van oude constructie en daarvoor geldt zeker niet dat $(f_1 + f_2) = 1.49$. Vervard vindt in 1925 een waarde voor $(f_1 + f_2)$, die voor een wind variërend van 10 tot 50 m/h, varieert tussen 1,24 en 1,38. Giblett geeft voor een aantal door hem gebruikte instrumenten voor $(f_1 + f_2) = 1.39$.

Ook Fergusson vond niet geheel te verwaarlozen verschillen tussen de aanwijzingen van geijkte pitotbuizen en een anemobiograaf, wanneer

voor de ijking van laatstgenoemd instrument de oude Dines-ijkingsgetallen werden gebruikt.

Over de fouten, die in de registratie van druk-anemometers ontstaan is vrij veel gepubliceerd; correctiefactoren worden vrijwel nergens gegeven, wel worden getallen voor vereiste buisdiameters gegeven, die onder verschillende omstandigheden nodig zijn, maar ook deze liggen in het geheel niet vast. Behalve door Braak, zijn ook door enkele andere vergelijkende metingen gedaan tussen een drukanemometer en een Robinsonanemometer. De oudste vergelijking is van Dines zelf (1892), hij vindt voor de drukanemometer gemiddeld 14 % hogere aanwijzingen dan voor de Robinson.

K. Schmidt vindt uit een groot aantal zorgvuldig bewerkte waarnemingen een te hoge aanwijzing voor een Steffens-Hedde-Boönschreiber. Mattice vindt voor de gemiddelde wind de aanwijzingen van de drukanemometer te laag, hij heeft de instrumenten echter in de natuurlijke wind op elkaar geijkt, zodat zijn waarnemingen niet met onze metingen vergelijkbaar zijn. Trouwens zelf zegt hij, dat er geen conclusies uit de waarnemingen te trekken zijn, omdat ze daarvoor te onnauwkeurig zijn. Uit metingen van Goldschmidt en Fergusson zijn, wat betreft de vergelijking van de twee anemometers geen bepaalde conclusies te trekken.

Omtrent de bruikbaarheid van de drukanemometers valt na de bovenstaande beschouwingen het volgende te zeggen: De drukanemometers blijken voor de bepaling van de gemiddelde windanelheid zeer bruikbaar te zijn en in nauwkeurigheid niet veel voor de Robinson onder te doen, voor structuuronderzoek zijn ze echter minder geschikt dan in het algemeen wordt aangenomen.

Literatuuropgave

- E. Kleinschmidt. Handbuch der meteor. Instrumente. 1935. p. 370.
W.H. Dines. On the variations of Pressure caused by the wind blowing across the mouth of a tube. Quart. Journ. 16, 1890, p. 208.
W.H. Dines. Anemometer Comparisons. Quart. Journ. 18, 1892, O. 165.

- A.V. Düký. Mathematische Untersuchung und verbesserung der Winddruckregistrierapparate system "Dines". Phys. Z. 10, 1909, p. 1008.
- W. Schmidt. Beschreibung des Pressure-tube-anemometers von W.H. Dines. Meteor. Zs. 29, 1912. O. 201.
- R.G. Voryard. On the Calibration of Pressure Tube Anemometers. Quart. Journ. 51, 1925, p. 413.
- J. Pircher. Apparat sur Registrierung der Böigkeit des Windes. Festschrift. Zentr. Anst. für Meteor. Geod. Wien, 1926, p. 143.
- E. Bilham. On the Calibration of pressure-tube-anemometers. Quart. Journ. 53, 1927, p. 315.
- P. Duckert. Zur Problem der Windmessung. Beitr. z. Phys. d. fr. Atm. 15, 1929, p. 95.
- K. Schmidt. Vergleichende Untersuchung der Windregistrierung mit Schalenkreuz und Böenschreiber. Zs. f. Angew. Met. 46, 1929, p. 33.
- M. Harnisch. Bemerkungen zu Schalenkreuz und Böenschreiber. Zs. f. Angew. Met. 46, 1929, p. 253.
- H. Wörner. Über Fehler bei der messung der Windgeschwindigkeit mit einem Böenschreiber. Zs. f. Angew. Met. 48, 1931, p. 149.
- M.A. Giblett. The structure of Wind over level country. Geophys. Memoirs. Meteor. Off. No. 54, London 1932.
- The Observer's Handbook. Meteor. Office London 1934, p. 118.
- W.A. Mattice. Comparison between wind velocities as recorded by the Dines and Robinson anemometers. Monthly Review 66, 1938, p. 238.
- Sterling Price Fergusson. Experimental studies of anemometers. Harvard Meteorological Studies No. 4. Cambridge 1939.
- C. Braak. Ned. Met. Inst. Meded. en Verh. 46, 1942, p. 73.
- H. Goldschmidt. Vergleichs messungen mit Schalenanemometern. Met. Zs. 1939. p. 62.

Aerometer of Jüngner in de wind tunnel N.L. 6 Aug. '52.

Dines Storm		vent. 21.6 hor. 310.8		12.5 310.8		met-stations		speelmaas		Ruyter Dunes 7.0.8		21.5 7.0.8		23.1 310.8		kruis Dunes 24.0 310.9	
leg. wind	stom. Dmg	19.00	Blief	19.00	Dmg	19.00	Dmg	19.00	Dmg	19.00	stom. Dmg	stom. Dmg	19.00	stom. Dmg	19.00	stom. Dmg	19.00
0.25	0.07	0.15	0.08	0.15	0.05	0.15	0.05	0.15	0.05	0.15	0.15	0.05	0.15	0.05	0.15	0.05	0.15
0.56	0.30	0.16	0.10	0.16	0.05	0.16	0.05	0.16	0.05	0.16	0.16	0.05	0.16	0.05	0.16	0.05	0.16
0.25	0.15	1.0	0.18	0.25	0.08	0.25	0.08	0.25	0.08	0.25	0.15	0.08	0.25	0.08	0.25	0.08	0.25
0.0	0.2	1.56	0.22	0.0	0.07	0.0	0.07	0.0	0.07	0.0	0.15	0.07	0.0	0.07	0.0	0.07	0.0
0.25	0.3	2.25	0.24	0.25	0.09	0.25	0.09	0.25	0.09	0.25	0.15	0.09	0.25	0.09	0.25	0.09	0.25
0.0	0.45	1.66	0.25	0.0	0.05	0.0	0.05	0.0	0.05	0.0	0.15	0.05	0.0	0.05	0.0	0.05	0.0
0.25	0.5	2.1	0.27	0.25	0.08	0.25	0.08	0.25	0.08	0.25	0.15	0.08	0.25	0.08	0.25	0.08	0.25
0.0	0.8	1.0	0.28	0.0	0.06	0.0	0.06	0.0	0.06	0.0	0.15	0.06	0.0	0.06	0.0	0.06	0.0
0.25	1.0	1.56	0.29	0.25	0.07	0.25	0.07	0.25	0.07	0.25	0.15	0.07	0.25	0.07	0.25	0.07	0.25
0.0	1.5	2.25	0.3	0.0	0.05	0.0	0.05	0.0	0.05	0.0	0.15	0.05	0.0	0.05	0.0	0.05	0.0
0.25	2.0	3.0	0.31	0.25	0.09	0.25	0.09	0.25	0.09	0.25	0.15	0.09	0.25	0.09	0.25	0.09	0.25
0.0	2.5	4.0	0.32	0.0	0.07	0.0	0.07	0.0	0.07	0.0	0.15	0.07	0.0	0.07	0.0	0.07	0.0
0.25	3.0	5.0	0.33	0.25	0.10	0.25	0.10	0.25	0.10	0.25	0.15	0.10	0.25	0.10	0.25	0.10	0.25
0.0	3.5	6.25	0.34	0.0	0.08	0.0	0.08	0.0	0.08	0.0	0.15	0.08	0.0	0.08	0.0	0.08	0.0
0.25	4.0	8.0	0.35	0.25	0.11	0.25	0.11	0.25	0.11	0.25	0.15	0.11	0.25	0.11	0.25	0.11	0.25
0.0	4.5	10.0	0.36	0.0	0.09	0.0	0.09	0.0	0.09	0.0	0.15	0.09	0.0	0.09	0.0	0.09	0.0
0.25	5.0	12.25	0.37	0.25	0.12	0.25	0.12	0.25	0.12	0.25	0.15	0.12	0.25	0.12	0.25	0.12	0.25
0.0	5.5	15.0	0.38	0.0	0.10	0.0	0.10	0.0	0.10	0.0	0.15	0.10	0.0	0.10	0.0	0.10	0.0
0.25	6.0	18.0	0.39	0.25	0.13	0.25	0.13	0.25	0.13	0.25	0.15	0.13	0.25	0.13	0.25	0.13	0.25
0.0	6.5	21.0	0.40	0.0	0.11	0.0	0.11	0.0	0.11	0.0	0.15	0.11	0.0	0.11	0.0	0.11	0.0
0.25	7.0	24.0	0.41	0.25	0.14	0.25	0.14	0.25	0.14	0.25	0.15	0.14	0.25	0.14	0.25	0.14	0.25
0.0	7.5	27.0	0.42	0.0	0.12	0.0	0.12	0.0	0.12	0.0	0.15	0.12	0.0	0.12	0.0	0.12	0.0
0.25	8.0	30.0	0.43	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.15	0.25	0.15	0.25	0.15	0.25
0.0	8.5	33.0	0.44	0.0	0.13	0.0	0.13	0.0	0.13	0.0	0.15	0.13	0.0	0.13	0.0	0.13	0.0
0.25	9.0	36.0	0.45	0.25	0.16	0.25	0.16	0.25	0.16	0.25	0.15	0.16	0.25	0.16	0.25	0.16	0.25
0.0	9.5	39.0	0.46	0.0	0.14	0.0	0.14	0.0	0.14	0.0	0.15	0.14	0.0	0.14	0.0	0.14	0.0
0.25	10.0	42.0	0.47	0.25	0.17	0.25	0.17	0.25	0.17	0.25	0.15	0.17	0.25	0.17	0.25	0.17	0.25
0.0	10.5	45.0	0.48	0.0	0.15	0.0	0.15	0.0	0.15	0.0	0.15	0.15	0.0	0.15	0.0	0.15	0.0
0.25	11.0	48.0	0.49	0.25	0.18	0.25	0.18	0.25	0.18	0.25	0.15	0.18	0.25	0.18	0.25	0.18	0.25
0.0	11.5	51.0	0.50	0.0	0.16	0.0	0.16	0.0	0.16	0.0	0.15	0.16	0.0	0.16	0.0	0.16	0.0
0.25	12.0	54.0	0.51	0.25	0.19	0.25	0.19	0.25	0.19	0.25	0.15	0.19	0.25	0.19	0.25	0.19	0.25
0.0	12.5	57.0	0.52	0.0	0.17	0.0	0.17	0.0	0.17	0.0	0.15	0.17	0.0	0.17	0.0	0.17	0.0
0.25	13.0	60.0	0.53	0.25	0.20	0.25	0.20	0.25	0.20	0.25	0.15	0.20	0.25	0.20	0.25	0.20	0.25
0.0	13.5	63.0	0.54	0.0	0.18	0.0	0.18	0.0	0.18	0.0	0.15	0.18	0.0	0.18	0.0	0.18	0.0
0.25	14.0	66.0	0.55	0.25	0.21	0.25	0.21	0.25	0.21	0.25	0.15	0.21	0.25	0.21	0.25	0.21	0.25
0.0	14.5	69.0	0.56	0.0	0.19	0.0	0.19	0.0	0.19	0.0	0.15	0.19	0.0	0.19	0.0	0.19	0.0
0.25	15.0	72.0	0.57	0.25	0.22	0.25	0.22	0.25	0.22	0.25	0.15	0.22	0.25	0.22	0.25	0.22	0.25
0.0	15.5	75.0	0.58	0.0	0.20	0.0	0.20	0.0	0.20	0.0	0.15	0.20	0.0	0.20	0.0	0.20	0.0
0.25	16.0	78.0	0.59	0.25	0.23	0.25	0.23	0.25	0.23	0.25	0.15	0.23	0.25	0.23	0.25	0.23	0.25
0.0	16.5	81.0	0.60	0.0	0.21	0.0	0.21	0.0	0.21	0.0	0.15	0.21	0.0	0.21	0.0	0.21	0.0
0.25	17.0	84.0	0.61	0.25	0.24	0.25	0.24	0.25	0.24	0.25	0.15	0.24	0.25	0.24	0.25	0.24	0.25
0.0	17.5	87.0	0.62	0.0	0.22	0.0	0.22	0.0	0.22	0.0	0.15	0.22	0.0	0.22	0.0	0.22	0.0
0.25	18.0	90.0	0.63	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.15	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
0.0	18.5	93.0	0.64	0.0	0.23	0.0	0.23	0.0	0.23	0.0	0.15	0.23	0.0	0.23	0.0	0.23	0.0
0.25	19.0	96.0	0.65	0.25	0.26	0.25	0.26	0.25	0.26	0.25	0.15	0.26	0.25	0.26	0.25	0.26	0.25
0.0	19.5	99.0	0.66	0.0	0.24	0.0	0.24	0.0	0.24	0.0	0.15	0.24	0.0	0.24	0.0	0.24	0.0
0.25	20.0	102.0	0.67	0.25	0.27	0.25	0.27	0.25	0.27	0.25	0.15	0.27	0.25	0.27	0.25	0.27	0.25
0.0	20.5	105.0	0.68	0.0	0.25	0.0	0.25	0.0	0.25	0.0	0.15	0.25	0.0	0.25	0.0	0.25	0.0
0.25	21.0	108.0	0.69	0.25	0.28	0.25	0.28	0.25	0.28	0.25	0.15	0.28	0.25	0.28	0.25	0.28	0.25
0.0	21.5	111.0	0.70	0.0	0.26	0.0	0.26	0.0	0.26	0.0	0.15	0.26	0.0	0.26	0.0	0.26	0.0
0.25	22.0	114.0	0.71	0.25	0.29	0.25	0.29	0.25	0.29	0.25	0.15	0.29	0.25	0.29	0.25	0.29	0.25
0.0	22.5	117.0	0.72	0.0	0.27	0.0	0.27	0.0	0.27	0.0	0.15	0.27	0.0	0.27	0.0	0.27	0.0
0.25	23.0	120.0	0.73	0.25	0.30	0.25	0.30	0.25	0.30	0.25	0.15	0.30	0.25	0.30	0.25	0.30	0.25
0.0	23.5	123.0	0.74	0.0	0.28	0.0	0.28	0.0	0.28	0.0	0.15	0.28	0.0	0.28	0.0	0.28	0.0
0.25	24.0	126.0	0.75	0.25	0.31	0.25	0.31	0.25	0.31	0.25	0.15	0.31	0.25	0.31	0.25	0.31	0.25
0.0	24.5	129.0	0.76	0.0	0.29	0.0	0.29	0.0	0.29	0.0	0.15	0.29	0.0	0.29	0.0	0.29	0.0
0.25	25.0	132.0	0.77	0.25	0.32	0.25	0.32	0.25	0.32	0.25	0.15	0.32	0.25	0.32	0.25	0.32	0.25
0.0	25.5	135.0	0.78	0.0	0.30	0.0	0.30	0.0	0.30	0.0	0.15	0.30	0.0	0.30	0.0	0.30	0.0
0.25	26.0	138.0	0.79	0.25	0.33	0.25	0.33	0.25	0.33	0.25	0.15	0.33	0.25	0.33	0.25	0.33	0.25
0.0	26.5	141.0	0.80	0.0	0.31	0.0	0.31	0.0	0.31	0.0	0.15	0.31	0.0	0.31	0.0	0.31	0.0
0.25	27.0	144.0	0.81	0.25	0.34	0.25	0.34	0.25	0.34	0.25	0.15	0.34	0.25	0.34	0.25	0.34	0.25
0.0	27.5	147.0	0.82	0.0	0.32	0.0	0.32	0.0	0.32	0.0	0.15	0.32	0.0	0.32	0.0	0.32	0.0
0.25	28.0	150.0	0.83	0.25	0.35	0.25	0.35	0.25	0.35	0.25	0.15	0.35	0.25	0.35	0.25	0.35	0.25
0.0	28.5	153.0	0.84	0.0	0.33	0.0	0.33	0.0	0.33	0.0	0.15	0.33	0.0	0.33	0.0	0.33	0.0
0.25	29.0	156.0	0.85	0.25	0.36	0.25	0.36	0.25	0.36	0.25	0.15	0.36	0.25	0.36	0.25	0.	