

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

De Bilt

Verslagen

V - 257

J. Wieringa

Bestaat representatieve grondwindmeting ?

De Bilt, 1974

Publikationsnummer: K.N.M.I. V-257 (M.O.)

U.D.C.: 551.501.75

BESTAAT REPRESENTATIEVE GRONDWINDMETING ?

J. Wieringa

(Augustus 1974)

1. INLEIDING.

Het K.N.M.I. beschikt in Nederland over ruim dertig stations waar windmetingen worden verricht. De Klimatologische Dienst acht de homogeniteit van deze metingen onvoldoende, zodat in de nu gepubliceerde klimatologische tabellen [9] slechts voor één station windgegevens worden vermeld, nl. voor Den Helder. De laatste studie over de kwaliteit van de stationswindmeting dateert uit 1964 [18], en de ontstaanswijze van de windklimaat-kaartjes in de Klimaatatlas van Nederland [Staatsdrukkerij, 1972] valt in geen enkel intern rapport te achterhalen. Vergelijkende windanalyses voor bv. de ontwikkeling van verwachtingsmethodieken of voor statistische studies hebben de laatste jaren uitsluitend betrekking op in zee gelegen stations (Katwijk-paal, IJmuiden, Goeree). Wél worden de gemeten windsnelheden zonder meer doorgegeven aan bv. verzekeringsmaatschappijen, en ter voorkoming van juridische geschillen voelt de Klimatologische Dienst zich moreel verplicht om in de genoteerde "kale" meetgegevens achteraf geen enkele correctie meer aan te brengen. Sinds de synoptische en klimatologische metingen in Januari 1971 werden gekombineerd, bestaat er bovendien nauwelijks nog enige mogelijkheid om de metingen te corrigeren vóórdat ze in bulletins terechtkomen. Aangezien in de Klimatologische Dienst de mening heerst dat de meeste stations niet "representatief" zijn, zou men geneigd zijn te konkluderen dat men sinds 1971, misschien al langer, waardeloze windgegevens aan het verzamelen is, slechts gedreven door de officiële verplichting om het publiek op aanvraag althans iets te kunnen aanbieden.

Reeds vele jaren voert de Directie van de Klimatologische Dienst een niet aflatende strijd om in deze toestand verbetering aan te brengen, en wel door het stichten van "ideale" windstations. Als verplichte norm voor windmeting is door de W.M.O. bepaald: "Measurements of wind for synoptic purposes should refer to a height of ten metres in an unobstructed area, and should consist of the means of values taken over a period of about ten minutes"

(WMO-No.49(1971) A.1.2.4.7.1). Niet verplichte, doch aanbevolen richtlijnen staan vermeld in WMO-No.8 (1973) VI.6.6 : "Open terrain is defined as an area where the distance between the anemometer and any obstruction is at least 10 times the height of the obstruction. Where a standard exposure is unobtainable, the anemometer should be installed at such a height that its indications are reasonably unaffected by local obstructions and represent as far as possible, what the wind at 10 m would be if there were no obstructions in the vicinity. This will usually necessitate placing the anemometer at a height exceeding 10 m by an amount depending on the extent, height and distance of the obstructions, but it is impracticable to give any general rule for determining this since local conditions differ so widely." Het is een geluk dat deze "recommended practice" niet verplicht is, want er valt niet veel mee te beginnen. Aan de lijzijde van een bomenrij is op 10 boomhoogten afstand de windsnelheid slechts 60% - 80% van de waarde die hij in een hypothetisch vrij veld aan de loefzijde van die bomenrij had [27]; en de "equivalente meethoogte", die hier voor 'non-standard exposure' wordt geïntroduceerd, wordt wijselijk niet nader omschreven. — Het K.N.M.I. heeft tot dusver zoveel mogelijk zijn windmeters op 10 m hoogte geplaatst, en het streven van de Klimatologische Dienst is om zoveel mogelijk de meters ook in open terrein geplaatst te krijgen, waarbij in het algemeen een grotere relatieve obstakelafstand wordt nagestreefd dan het 'verplichte' minimum van 10 obstakelhoogten. In landstreken welke gekarakteriseerd zijn door het ontbreken van open terrein bestaat bij de Klimatologische Dienst de neiging om de meethoogte groter dan 10 m te kiezen. Bij dit laatste voelt men zich gesteund door de traditie, want reeds Braak [2, 3] werkte met reductiefactoren: de metingen werden herleid tot een subjektief op $\frac{1}{2}$ m nauwkeurig geschat basisvlak. Eén van de bezwaren van deze methode is dat bij iedere merkbare wijziging in de obstakel-omgeving een nieuwe subjektieve schatting van het basisvlak (geldig voor alle windrichtingen !) nodig is, op straffe van discontinuïteiten in de waarnemingsreeks. Het algemeen gevoelen heerst evenwel (niet alleen bij de Nederlandse Klimatologische Dienst) dat windmeting op bv. 20 m hoogte onder alle omstandigheden tot een betrouwbaarder resultaat leidt — dit in weerwil van het feit dat uit de tekst der "recommended practice" (en uit literatuuronderzoek) blijkt dat betrouwbare objektieve methoden ter bepaling van hoogte-reductiefactoren in de gehele meteorologische literatuur schitteren door afwezigheid.

Deze laatste uitspraak lijkt te ver te gaan, aangezien er immers overal ter wereld uitgebreide profiel-onderzoekingen zijn en worden verricht. Doch ten eerste worden onderzoeksmetingen gewoonlijk in zo open mogelijk terrein verricht, en ten tweede is de interpretatie van de meetresultaten gebaseerd op grootheden welke op gewone synoptisch-klimatologische stations niet worden gemeten, zoals temperatuurprofielen [1,4]. De uit dergelijke onderzoekingen afgeleide reductiemethoden zijn meestal ongeschikt voor een gewoon meetstation in gewoon terrein.

Het doel van onderstaande studie is allereerst het verschaffen van diskussiemateriaal met betrekking tot de waarde van het nu bestaande windmeetnet in Nederland, en met betrekking tot de huidige methode ter verwerking van de verkregen gegevens. Dit materiaal is onder meer nodig ter bestrijding van de in operationele kringen veel verbreide misvatting, dat een optimaal meetnet identiek is aan een maximale meetnet-dichtheid — zie bv. de plannen voor het RIV-KNMI-net. De kwaliteit van metingen is nog altijd belangrijker dan de kwantiteit, en bij de huidige beperkte bezetting der Klimatologische Dienst gaat vermeandering van het meetprogramma onvermijdelijk ten koste van de kwaliteitscontrole. Daarom lijkt het wenselijk om te komen tot een schatting, hoeveel windmeting in Nederland nodig en voldoende is, zowel met betrekking tot aantal en ruimtelijke verdeling der stations als met betrekking tot de opzet der stations (mate van openheid, meethoogte, keuze van routinematig bepaalde windparameters). De laatste multilaterale KNMI-besprekingen over dit onderwerp vonden plaats in 1967.

Voorts wordt hieronder een methode voor verwerking van windgegevens gepresenteerd, gebaseerd op de transformatie van stationsmetingen naar vlak land (met een eenduidige definitie van "vlak"). Als uitgangsgegevens voor deze transformatie zijn vereist: windrichting, gemiddelde en maximale windsnelheid, en eventueel de tijd (bv. dag/nacht) als stabiliteitsparameter. Zowel de wetenschappelijke als de operationele waarde van een dergelijke transformatie staan ter discussie.

De wenselijkheid van kwaliteitsverbetering der windinformatie is voor windbelasting-toepassing kwantitatief geanalyseerd. Bij aannahme van een 20% fout in de windsnelheidsschatting voor een willekeurige plaats (voor de huidige praktijk bepaald geen pessimistische foutenschatting) komt van de uiteindelijke 60%-onzekerheid in de windbelasting driekwart voor rekening van de onzekerheid in de windsnelheid [26]. Reduktie van de windfout tot 10% zou dan de belasting-onzekerheid terugbrengen tot 35%.

2. PRAKTISCHE VEREISTEN VOOR "REPRESENTATIEVE" WINDMETING.

Voor de overzichtelijkheid volgen hieronder de eisen, welke de Klimatologische Dienst heeft met betrekking tot windmetingen:

- (A) De meting moet karakteristiek zijn voor de eigen omgeving, bv. voor bepalingen van Penman-verdamping.
- (B) De meting moet bruikbaar zijn voor bepaling van wind op een willekeurige plaats d.m.v. interpolatie met buurstations.
- (C) De meting moet voldoen aan WMO-eisen, d.w.z. gereduceerd zijn naar 10 m hoogte in een obstakelvrij gebied.
- (D) De tijdreeks der metingen van een bepaald station moet zo min mogelijk te lijden hebben van kleine veranderingen in de omgeving van de windmeetopstelling (toename obstakels, noodzakelijke verplaatsing meetopstelling over korte afstand).

Bovenstaande eisen volgen logisch uit de noodzakelijke toepassingen voor gegevensverstrekking en statistische bewerking. Hoewel ze bij uiterst strakke interpretatie onverenigbaar lijken, hoop ik hieronder aan te tonen dat er zeer wel aan te voldoen valt. Een voorwaarde hiertoe is evenwel, dat de Klimatologische Dienst een vijfde "eis", die in vele nota's met kracht naar voren is gebracht, laat vallen, nl. de "lazy-man"-eis, oftewel:

- (E) De ongekorrigeerde output van de anemometer moet voldoen aan de eisen (A) t/m (D). In het bijzonder moet de windsnelheidsmeting niet afhankelijk zijn van de windrichting.

Dit laatste deel van (E) is een te strakke interpretatie van een andere eis, die minder onverenigbaar is met (A) t/m (D), nl.:

- (F) De verhouding tussen gradientwind en grondwind moet in eerste benadering richtingsonafhankelijk zijn (konstantheid in eerste benadering van de geostrofische drag-coëfficiënt).

Handhaving van "eis" (E) is nl. gebaseerd op de vooronderstelling dat bij juiste keuze van de windmeethoogte tegelijkertijd en onder alle omstandigheden van bv. stabiliteit kan worden voldaan aan de WMO-eis én aan de representativiteits-eisen (A) en (B). Enig doordenken leidt tot de konklusie, dat zulks alleen het geval is in open steppe-achtige gebieden, en dat in dat geval de juiste meethoogte 10 m bedraagt. In alle andere landschapstypen is de "WMO-wind" niet representatief op kleine schaal, m.a.w. kan zonder een toepasselijke reductie niet tegelijkertijd aan (A) én (C) worden voldaan. Het meten op een bepaalde zg. equivalente hoogte is dus geen wondermiddel dat ons verlost van de noodzaak tot het aanbrengen van positieve of negatieve reducties voor bepaalde doeleinden, zelfs indien de meetplaats geen richtings-inhomogeniteiten

vertoont. Verandering van meethoogte verlost ons evenmin van de noodzaak om te korrigeren voor eventuele richtings-inhomogeniteiten, maar daarover later meer.

Ter vermindering van misverstanden is een strakke definitie van het begrip "representativiteit" wenselijk. In een nota uit 1965 definieert Rijkooft de "ware" wind in een gebied G als de gebieds-integraal over G van de windsnelheid op 10 m hoogte, gedeeld door het oppervlak van G. Deze benadering maakt duidelijk, dat voor een gegeven station de numerieke grootte van de representatieve windsnelheid varieert met oppervlakte en inhomogeniteit van het gekozen representatie-gebied. Uitgaande van de stelling, dat maximale interpolatie-accuratesse het hoofddoel van eventuele gegevens-reduktie is, wordt de volgende definitie van toepassing [11] : "Een representatief gegeven is een waarneming welke zoveel mogelijk is ontdaan van besmetting met toevalsfluctuaties en van bona fide fluctuaties welke een kleinere schaal hebben dan kan worden waargenomen met het gegeven meetnet." Met andere woorden : elimineer alle effecten, die bij de gegeven stationsdichtheid tóch niet in aanmerking kunnen komen voor bewijsbare interpretatie.

De schaal van het huidige KNMI-windmeetnet impliceert, dat de meeste stations representatief dienen te zijn voor een gebied met een straal van enkele tientallen kilometers. De toevalsfluctuaties over een dergelijke afstand worden in eerste benadering geëlimineerd door te middelen over een uurtijdvak. Daarnaast dienen echter systematische effecten eveneens geëlimineerd te worden, indien hun ruimtelijke schaalafmeting niet groter is dan enige kilometers. Voorbeelden van dit laatste zijn bv. vliegvelden in bosgebied (te weinig obstakels in alle richtingen) of het station De Bilt met het Sandwijck-bos aan de Westzijde (te veel obstakels in één richting). De methode waarmee dergelijke effecten worden geëlimineerd dient evenwel ongevoelig te zijn voor effecten op grotere schaal, en mag dus bv. niet leiden tot verdoezeling van het verschil in afremming van de grondwind boven land en zee [6].

Een methode ter eliminatie van ruwheidseffecten op te kleine schaal dient bij voorkeur objektief te zijn : het moet niet nodig zijn om van te voren met de natte vinger te bepalen tot welke "terrain class" (open gebied, cultuurgebied, parklandschap of zoiets) de omgeving van een station behoort, zoals bv. in Engeland gebruikelijk is [10,22]. Het resultaat van een optimale reduktie is niet een getal dat gedachtenloos kan worden verstrekt aan alle gebruikers, van synoptici tot mikroklimatologen, maar wel een windsnelheidswaarde waaruit gebruikers "hun" windparameter kunnen af-

leiden met universele reductiemethoden — met andere woorden, de gebruiker hoeft niet langer rekening te houden met de individuele mikroklimatologische eigenschappen van de meetstations.

Ter vermindering van praktische problemen is het mijns inziens aanbevelenswaardig om eventueel noodzakelijke reducties niet reeds in de originele stationsbulletins aan te brengen. De tijd om een transformatie op betrouwbare wijze te verrichten ontbreekt doorgaans in de synoptische praktijk, en het is nu eenmaal aan de weerdienstpraktijk inhaerent om rekening te houden met individuele fluktuaties van stations-grondwinden. Indien dergelijke gegevens aan derden verstrekt zouden worden vóóordat ze zijn omgerekend, kunnen juridische problemen vermeden worden door bij opgave te vermelden: "dit is de gemeten windsnelheid op het station". Later te verstrekken gegevens, gekorrigeerd voor storende mikro-effekten, zouden dan bv. genoemd kunnen worden "de representatieve wind van het station".

3. WINDPROFIELSCHATTING UIT VLAAGFAKTOR.

De toename van de gemiddelde windsnelheid met de hoogte is afhankelijk van de windstructuur der atmosferische grenslaag. Gegevens over deze windstructuur kunnen verkregen worden uit profielmetingen aan masten of torens, maar ook uit metingen van de windvariabiliteit. Deze variabiliteit kan integraal omschreven worden als een standaarddeviatie $\sigma_u = \sqrt{(u - \bar{u}^T)^2}$, en uit de praktijk blijkt dat deze σ_u weinig varieert indien men middelt over een periode T van 10 minuten of langer. In de onderste tientallen meters der atmosfeer is σ_u verbonden met de schuifspanning τ en de daarvan afgeleide wrijvingsnelheid u_* door de empirische relatie $\sigma_u = 2.5 u_* \equiv 2.5 \sqrt{\tau / \rho}$. Laten we nu aannemen dat de atmosferische stabiliteit ongeveer neutraal is en dat de windfluktuaties een normaalverdeling om \bar{u} vertonen — beide aannamen zijn in eerste benadering korrekt voor $\bar{u} > 6$ m/s. Allereerst voldoet de windtoename met de hoogte dan ongeveer aan het log-profiel

$$\bar{u}_z = 2.5 u_* \ln(z/z_0) \quad (1)$$

en voorts is voor dit geval in een eerdere publikatie [30] een schatting afgeleid voor de mediaanwaarde (met 50% overschrijdingskans) van de maximale windvraag $u_{\max}(t)$ met vraagduur t , welke gedurende T wordt waargenomen. Normaliseren we deze vraag nl. tot een vraagfactor $G_T \equiv u_{\max} / \bar{u}^T$, dan voldoet voor $T = 10$ minuten de mediane vraagfactor aan :

$$G_{10} = 1 + [1.42 + 0.301 \ln(\frac{990}{\bar{u}T} - 4)] / \ln(z/z_0) \quad (2)$$

$$\text{en voor } T = 60 \text{ minuten aan : } G_{60} = 1.10 G_{10} \quad (3)$$

Men dient de mediane en niet de gemiddelde G-waarde te nemen, omdat bij sterke trends in de gemiddelde windsnelheid incidenteel zeer hoge niet-representatieve G-waarden kunnen optreden, welke bij rekenkundige middeling tot ongerechtvaardigde modificaties van het eindresultaat aanleiding kunnen geven.

De in (1) en (2) voorkomende parameter z_0 is een integratie-konstante met lengte-dimensies, de zg. ruweidslengte. Een grote oppervlakteruwheid leidt tot hoge waarden van u_x en van z_0 . Hoewel ertegen gewaakt moet worden om eer al te letterlijke betekenis aan z_0 toe te kennen, is een eerste afschatting van de waarde mogelijk voor een terrein dat voor B% bedekt is met obstakels ter hoogte H; hiervoor geldt dat $z_0 \approx HB/200$. De geldigheid van het vlagfactor-model (2) wordt onzeker indien $(z/z_0) \lesssim 25$.

Indien de mediane waarde van G, $\langle G \rangle$, bekend is evenals de vlaggolflengte $\bar{u}T$ (voor goede KNMI-stationswindmeters $\bar{u}T \approx 50$ m), kan men de formules (2) en (3) omkeren, en de ruweidslengte schatten uit de vlagfactor op een gegeven hoogte. Voor de twee meest gebruikelijke middelingsperiodes T leidt dit tot :

$$T=60: \ln z_0 = \ln z - (2.48 / [G_{60} - 1.10]) \quad (4)$$

$$T=10: \ln z_0 = \ln z - (2.25 / [G_{10} - 1.00]) \quad (5)$$

Hieruit volgt eveneens de lokale waarde van de windsnelheidstoename tussen twee hoogten z_1 en z_2 : volgens (1) is deze gegeven door $\bar{u}_{z_2} / \bar{u}_{z_1} = \ln(z_2/z_0) / \ln(z_1/z_0)$ (6)

In figuur 5, blz. 34, is voor verschillende waarden van z en T als functie van $\langle G \rangle$ de bijbehorende waarde gegeven van z_0 en van $R_{60} \equiv \bar{u}_{60} / \bar{u}_{10}$, waarbij de subscript hier de meethoogte in m aangeven terwijl de middelingsperiode T zowel 10 als 60 minuten kan zijn. Uit $\langle G \rangle$ kan rechtstreeks deze windsnelheidsverhouding (ook voor andere hoogten) worden bepaald m.b.v. figuur 5, zonder dat een tussentijdse bepaling van de rekenparameter z_0 nodig is.

Uit het bovenstaande blijkt, dat het mogelijk is om zonder gebruik van een meetmast een schatting te maken van de toename der windsnelheid met de hoogte m.b.v. vlagfactor-gegevens, althans bij voldoende windsterkte (Beaufort ≥ 4). Daaruit volgt weer, dat de routinematige bepaling van windmaxima op de KNMI-stations sinds 1-1-1971, bedoeld voor gegevensverstrekking en berekening van extreemstatistieken, tevens kan worden benut voor een waarde-analyse van de op die stations gemeten gemiddelde windsnelheden.

Ter illustratie van de hierna volgende beschouwingen zijn de windgegevens van de storm van 13 november 1972 als proefmateriaal bewerkt met de hand. De bewerkingswijze, en de behoefte om binnen redelijk korte tijd enig diskussiemateriaal te presenteren, stond een uitgebreider studie niet toe, en om statistische redenen kunnen de bereikte konklusies dan ook slechts kwalitatief van aard zijn. De keuze van deze stormperiode werd bepaald door een drietal overwegingen, in de eerste plaats de aanwezigheid van voldoende gepubliceerde dokumentatie [8, 23, 25]. Voorts bleek uit [8], dat het isobarenveld boven ZW-Nederland tijdens deze storm een redelijke mate van homogeniteit had — i.h.b.na de frontpassage op 13-11-1972 omstreeks 3 uur —, hetgeen de mogelijkheid opende om zelfs met dit beperkte materiaal nog enigszins consistente resultaten te bereiken. Tenslotte was het interessant, dat binnen één etmaal met veel wind twee nagenoeg gelijke perioden voorkwamen met windrichtingen, welke per periode ruimtelijk redelijk standvastig waren ($\sigma_{dd} < 30^\circ$) doch onderling ruim 80° verschilden. De heer C.G.Dekker ben ik zeer erkentelijk voor het in dezen verrichte rekenwerk. De basis-gegevens zijn vermeld in Tabel 1 a t/m c (blz.20-22), de afgeleide gegevens in Tabel 2 en Figuur 6.

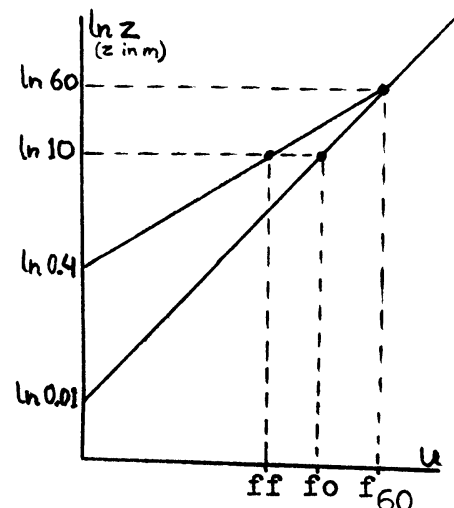
Bij de keuze van stations zijn in ZW-Nederland slechts drie genomen waarvoor de windgegevens compleet en betrouwbaar leken vanaf 12-11-1972 18 uur t/m 13-11-1972 15 uur. De enige uitzondering op deze werkregel was, dat Urk meebewerkt is voor de eerste helft van de bestudeerde periode, omdat een vergelijking met Lelystad wenselijk leek, te meer daar het verschil tussen de windmetingen van deze beide stations door de Klimatologische Dienst als een ernstig probleem wordt beschouwd (zie verslag SPGM-bespr.d.d. 22-6-1967) en het belang van deze windstations is toegenomen door het recente voorstel tot vestiging van een luchthaven in de toekomstige Markerwaard. Voorts is er van uitgegaan, dat alle stations beschikten over zodanige instrumentatie, dat een windsnelheidsmaximum met een vlagduur van omstreeks 5 seconden nog voor ruim 90% werd geregistreerd. Het ontbreken van een eenvoudig toegankelijk overzicht van de instrumentatie welke op verschillende stations is geplaatst dwong tot deze aanname: het leek niet mogelijk om binnen afzienbare tijd de hypothese van gelijkwaardige instrumentatie te toetsen. Desondanks is er één station geschrapt op grond van vermoede onvolwaardigheden in de instrumentatie, nl. Valkenburg, aangezien de aldaar gemeten vlagfactoren een gemiddelde waarde 1.36 hadden: dit impliceert dat het station óf midden op zee ligt, óf op 100 m hoogte meet, óf zand in de lagere heeft.

4. TRANSFORMATIE VAN WINDSNELHEDEN NAAR OPEN TERREIN.

Met behulp van de getabelleerde windgegevens kan allereerst worden nagegaan wat de karakteristieke ruwheidslengte is van een "goed station op open terrein", dat tevens in een vlakke omgeving ligt zodat aan de WMO-eis in alle opzichten is voldaan. Hiertoe zijn uit tabel 2 de stations Schiphol, Zestienhoven en Herwijnen gekozen : voor hen geldt $\langle G \rangle = 1.46 \rightarrow z_0 = 0.01 \text{ m}$. Interessant is dat juist bij deze z_0 de windsnelheid nabij de grond ongeveer evenredig met $z^{0.14}$ toeneemt, en dat alle handboeken beweren dat in open terrein de wind toeneemt met de $\frac{1}{7}$ -macht van de hoogte. Het lijkt dus aanvaardbaar om "open terrein" verder te definiëren als terrein met een ruwheidslengte van 1 cm.

Eerder in deze studie is gewezen op de wenselijkheid om de invloed van ruwheidsinhomogeniteiten met horizontale schaal $< 1 \text{ km}$ te elimineren uit stationsmetingen. Als werkhypothese wordt nu aangenomen, dat op een zeker "vrij niveau" de wind nog wel in hoofdzaak bepaald wordt door de oppervlakteruwheid (en bv. Coriolis-effecten nog weinig invloed hebben), doch niet meer afzonderlijk reageert op individuele ruwheidselementen zoals boomgroepjes en huizen. Vooruitlopend op latere argumentatie wordt de hoogte van dit vrije niveau op 60 m gesteld. Aannemend dus, dat de 60 m-wind boven een station dezelfde is als de 60 m-wind, die zou waaien boven een hypothetisch "open" terrein in de onmiddellijke nabijheid van het station, kan bij geldigheid van het logprofiel boven open terrein met $z_0 = 1 \text{ cm}$ uit relatie (6) worden afgeleid, dat de 60 m-wind een faktor 1.26 groter is dan de open-terrein-wind in de omgeving van het station. Is nu voor het station zelf bij de gegeven windrichting $(z/z_0) \geq 25$, dan geldt daar onder dezelfde omstandigheden óók het logprofiel en kan de 60 m-wind worden bepaald door de gemeten stationswind te vermenigvuldigen met de R_{60} -waarde welke behoort bij de oppervlakteruwheid bovenwinds van het station. De procedure is hiernaast geschetst in $\ln z$ -u-koordinaten voor een station met een bovenwindse ruwheid $z_0 = 0.4 \text{ m}$, waarbij de op het station gemeten wind is genoteerd als f_f , de 60 m-wind als f_{60} , en de windsnelheid op het hypothetische open terrein in de nabije omgeving als f_o .

Gesteld dat deze transformatie



met enig recht omschreven zou kunnen worden als een transformatie van de stationswind naar open terrein, en gesteld dat deze transformatie ten naastenbij korrekkt blijft hetzij voor het merendeel der tijd, hetzij althans voor die tijdvakken dat de kennis der wind van groot praktisch belang is — dan is het duidelijk dat de getransformeerde windsnelheid voldoen kan aan de eisen, welke de Klimatologische Dienst gerechtigd is te stellen, en die in sektion 2 van deze studie met (A) t/m (D) aangeduid werden.

Allereerst is zonder meer voldaan aan de WMO-eis (C), dat de windmeting "should refer to 10 m height in an unobstructed area". Aan de eis van representativiteit op kleine schaal (A) kan worden voldaan, doordat fo op overeenkomstige wijze zonder meer getransformeerd kan worden naar een z_0 -waarde welke karakteristiek is voor de omgeving, en daarbij boven ff het voordeel heeft dat tijdens de transformatie naar open terrein eventuele richtingsinhomogeniteiten rondom het station zijn geëlimineerd. Op de geschiktheid van fo voor interpolatie op grote schaal — eis (B) — wordt in een volgende sektion nog nader ingegaan. Tenslotte is het mogelijk om wijziging der ruwheid rondom het station niet te doen leiden tot tijdreeks-diskontinuiteiten — eis (D) — door vanaf het tijdstip der ruwheidswijziging de transformatie voor de betreffende richtingssektor uit te voeren met een andere R_{60} -waarde. Aan de toepasbaarheid van dit laatste is natuurlijk een grens gesteld door de voorwaarde dat $(z/z_0) \geq 25$.

Bij een onderzoek naar de korrektheid van de transformatie is de eerste vraag, in hoeverre 60 m een juiste keuze is voor de hoogte van het "vrije niveau". Een eerste argument is, dat de invloed van obstakels met hoogte H op de horizontale stroming leidt tot gelokaliseerde versnellingen of vertragingen voor $z < 2H$ (zie [27] in Appendix I). Aangezien bomen of huizen vaak hoogten van 20 tot 25 m bereiken, dient het vrije niveau niet lager gekozen te worden dan 50 m. Een tweede argument betreft de hoogte, tot welke de toepassing van oppervlaktelaag-modellering nog aanvaardbaar is; een vuistregel zegt, dat dit maximaal mag tot $0.2 \times$ de hoogte van de planetaire grenslaag, maar bij gebrek aan voldoende gegevens over die hoogte valt dit criterium moeilijk te hanteren. Een aanwijzing kan gevonden worden in Rijkoort's metingen aan de oude TV-mast in Lopik [19]: daarbij blijkt voor bv. de dagelijkse gang de korrelatie tussen grondwind en wind op 53 m hoogte nog redelijk te zijn, terwijl de wind op 100 m zich duidelijk anders gedraagt. De geldigheid van het vlagfaktor-model blijkt in open

terrein zich niet uit te strekken boven 60 tot 80 m, terwijl in ruw terrein te Cape Kennedy door Fichtl [pers.comm.] nog tot 150 m hoogte de geldigheid van dit model kon worden aangetoond. Al met al lijkt het beter om een in velerlei omstandigheden aanvaardbare vrije-niveau-hoogte niet hoger te kiezen dan 80 m. Tenslotte is er het feit, dat de toepasbaarheid van het logprofiel bij niet-neutrale stabiliteit afneemt met toenemende hoogte. Ook al zou een profielkromming slechts een beperkte invloed hebben op de transformatie, doordat het profiel tweemaal in tegengestelde richting wordt doorlopen (zie schets blz.9), dan nog lijkt het wenselijk om het vrije niveau zo laag mogelijk te kiezen ter vermindering van overmatige invloed der stabiliteit. De keuze van $z = 60$ m voor het vrije niveau lijkt dus een voorlopig aanvaardbaar kompromis.

In dit verband is het interessant om na te gaan, welke invloed de keuze van vrij niveau heeft op de transformatie-rekenfactoren voor verschillende ruwheidslengten. De waarde van de factor F_{10} , waarmee de gemeten stationswind ff_{10} moet worden vermenigvuldigd om de open-terrein-wind f_0 te verkrijgen ($F_{10} \equiv f_0/ff$) bedraagt voor een willekeurige vrije-niveau-hoogte z_v :

$$F_{10} = \frac{\ln(z_v/z_0) \ln(10/0.01)}{\ln(10/z_0) \ln(z_v/0.01)} \quad (7)$$

Voor vijf z_v -keuzen en drie z_0 -keuzen zijn dan de F_{10} -waarden:

	$z_v=20$ m	$z_v=40$ m	$z_v=60$ m	$z_v=80$ m	$z_v=100$ m
$z_0 = 0.002$ m	0.983	0.968	0.961	0.956	0.953
$z_0 = 0.05$ m	1.028	1.050	1.063	1.070	1.076
$z_0 = 0.25$ m	1.080	1.146	1.180	1.202	1.218

Het is duidelijk, dat bij niet ál te grote ruwheid de relatieve toename van de windsnelheid boven 50 m slechts beperkt is, zodat het in eerste benadering niet zoveel uitmaakt of men $z_v = 60$ m dan wel $z_v = 100$ m kiest. Tevens blijkt bij de ruwheidslengtewaarde 0.25 m, welke in de praktijk vaak overschreden wordt (in Tabel 2 door alle gevallen met $G > 1.65$), de keuze $z_v = 40$ m minder aanvaardbaar te zijn.

De F_{10} -waarden, welke gegeven zijn in Figuur 5 en Tabel 2, hebben betrekking op $z_v = 60$ m. De variatie van de waarden dezer transformatiefactoren met de richting kan worden beschouwd als een maat voor de homogeniteit van de stations-omgeving, en in dit opzicht zijn de standaard-deviaties van F_{10} , welke in Tabel 2 per station zijn vermeld, interessant, ook al moet hierbij wel worden bedacht dat slechts Zuidelijke en Westelijke windrichtingen zijn doorgerekend. De grootte van $\sigma_{F_{10}}$ bij middeling over alle richtin-

gen kan worden beschouwd als een absolute maat van de bruikbaarheid der ongetransformeerde stations-windmetingen. Tevens zijn onderlinge vergelijkingen van stations zó mogelijk op een andere basis dan de gebruikelijke statistische vergelijkingen [12 t/m 18], welke het bezwaar hebben dat een betrouwbaar resultaat slechts verkregen kan worden uit lange parallel-waarnemingsreeksen: minstens een jaar [24], liefst meerdere jaren [16]. Daarentegen geven de F_{10} -waarden in Tabel 2 op basis van minder dan een etmaal waarnemingen reeds enig inzicht in de stations-situaties op basis van objektieve gegevens, bv. de aanwezigheid van sterk gestoorde richtingssectoren in Lelystad, Hellevoetsluis, De Bilt, Soesterberg, Gilze-Rijen en Volkel.

Bij de evaluatie van de transformatie naar open terrein is een tweede vraag, hoe groot de terreinruwheid mag zijn om nog korrigeerbaar te zijn m.b.v. een dergelijke transformatie. Allereerst dient bezien te worden, wanneer het niet langer zinvol is om terreinruwheid slechts met één parameter, z_0 , te beschrijven. In een eerdere studie [29] is in dezen aangetoond, dat een homogene ruwheid met individuele obstakels voldoende wordt omschreven m.b.v. z_0 , zolang de individuele obstakels niet meer dan 4% van de oppervlakte bedekken; volgens de op blz.7 genoemde vuistregel zou een 4%-bedekking met 20 m hoge obstakels overeenkomen met $z_0 \approx 0.4$ m. Voor grótere ruwheden is het noodzakelijk om bv. een displacement-length (verhoogd effectief grondvlak) in te voeren. Deze displacement-length bedraagt bij een zeer dichte obstakelbezetting (bv. een bos) 60% tot 80% van de obstakelhoogte — niet 100%, zoals eertijds door Braak [3] werd beweerd — doch de literatuur bevat onvoldoende gegevens om bij een matige obstakelbezetting of een obstakelbezetting van beperkte horizontale afmetingen (zoals het Sandwijckbos) een objektieve schatting van de displacement-length te maken [10, 20]. De experimentele bepaling van displacement-lengths is zeer moeilijk m.b.v. profielmetingen en onuitvoerbaar op basis van vlagfactoren.

Voor een situatie met inhomogene ruwheden of met ruwheidsovergangen, zoals een bosrand of windsingel op enige afstand, is er eveneens weinig gepubliceerd, en het gepubliceerde materiaal [27] heeft twee bezwaren. Allereerst is het hetzij op windtunnelstudies, hetzij op agrometeorologische studies ($z < 10$ m) gebaseerd, zodat bv. stabiliteitsinvloeden nauwelijks kwantitatief zijn bestudeerd. Voorts is alle aan mij bekende materiaal geredigeerd in windsnelheidsverminderingstermen, en zijn nergens bv. schattingen

van ekwivalente z_0 -waarden gemaakt, hetgeen de interpretatie zeer bemoeilijkt. Een zelf gemaakte ruwe schatting op basis van enig materiaal uit De Bilt en uit Cabauw (waarvoor zowel z_0 -schattingen als de verhoudingen van obstakelhoogte h en obstakelafstand x bekend zijn) leidde tot de conclusie dat in ieder geval $z_0 < 10 h/x$ (in meters), maar dat de mate van ongelijkheid sterk afhankelijk is van bv. de dichtheid of porositeit van de storende windsingel.

Aangezien het gebruikte grenslaagmodel onbetrouwbaar wordt voor $(z/z_0) < 25$, volgt uit bovenstaande twee argumenten dat er bij meethoogte: $z = 10\text{m}$ nog correctie mogelijk is zolang z_0 niet veel groter is dan een halve meter, en zolang windsingels e.d. niet veel dichterbij staan dan een twintigtal obstakelhoogten. Bij een bijv. dubbel zo grote ruwheid zou men wellicht denken, dat verdubbeling van z tot 20 m opnieuw tot een korrigeerbare situatie zou leiden, doch bij $z_0 \geq 1\text{m}$ mag een homogene profielkromming niet meer voorondersteld worden, en geldt dus het model niet meer [29].

Dit laatste brengt ons tot een discussie van het controversiële begrip "effektieve hoogte", door Shellard [21,22] gedefinieerd als "an estimate of the height over open level ground in the vicinity of the anemograph, at which the mean wind speeds would be the same as those actually recorded." Het praktijkgebruik van dit begrip houdt doorgaans in, dat men de anemometer opstelt op een dusdanige hoogte, dat de geschatte effectieve hoogte 10m bedraagt. [5,7]; deze hoogte zou ik "equivalente hoogte" z_q willen noemen. Noteren we de effectieve hoogte als z_{eff} , dan zijn voor een plaatselijke ruwheid z_0 en een open-terrein-ruwheid z_{00} ($= 1\text{ or}$) de definitievergelijkingen voor een akuele meethoogte z_m :

$u(z_m, z_0) \equiv u(z_{\text{eff}}, z_{00})$ en $u(z_q, z_0) \equiv u(10\text{ m}, z_{00})$.
 In het praktijkgebruik wordt hierbij de verzwegen aanname gemaakt dat z_{eff} en z_q onafhankelijk zijn van windrichting en stabiliteit. In Shellard's tabel van Engelse stations [22] komen (z_m/z_{eff}) -verhoudingen van 2 à 3 regelmatig voor.

Bij gegeven terreinruwheid en neutrale stabiliteit kan z_q gemakkelijk berekend worden, indien we de verzwegen werkhypothese zo specificeren, dat de windtoename met de hoogte de afremming t.g.v. de ruwheid moet opheffen. Geformuleerd:

$$\ln(z_v/z_0) / \ln(z_q/z_0) = \ln(z_v/z_{00}) / \ln(10/z_{00}) = 1.26$$

Hieruit volgt: $z_q = (z_v \times z_0^{0.26})^{0.794}$ (8)

Uitgewerkt:

$z_q =$	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	40 m
$z_0 =$	0.01 m	0.07 m	0.3 m	0.9 m	2.1 m	8.4 m

Boven zee ($z_0 = 0.002\text{ m}$) zou gelden $z_q = 4.2\text{ m}$. Voor $z_q > 25\text{ m}$ is

het in ieder geval duidelijk, dat een korrekcie m.b.v. een hanteerbaar grenslaagmodel niet langer tot de mogelijkheden behoort, en alleen al op deze basis lijkt het onverantwoord, om voor stationswindmeters de meethoogte groter dan 25 m te kiezen. Er is dan nog niet eens gewezen op de stabiliteitsafhankelijkheid van dergelijke éénrichtings-hoogtekorrekties. Voor de te Vlaardingen verrichte "open" metingen bv. behoeg bij Beaufort 3 de windsnelheids-toename tussen 10 en 20 m een faktor 1.09 voor de gekombineerde Pasquillklassen A+B+C, en 1.22 voor klassen E+F. Derhalve kan men — zelfs in een omgeving met een homogene ruwheid in alle richtingen — niet aan de "lazy-man eis" (zie blz.4) voldoen door te meten op de equivalente hoogte z_q : korrekcie achteraf blijft nodig, zij het niet naar hoogte dan wel naar stabiliteit.

Een andere rechtvaardiging voor hoge meetopstellingen wordt vaak gezocht in de stelling, dat een hoge windmeter richtingsonafhankelijk meet, omdat hij minder wordt gestoord door individuele obstakels. Men combineert dus in gedachten de equivalente meethoogte z_q met de op blz.9 gedefiniëerde vrije hoogte z_v . Voor lage obstakels (struiken, schuurtjes) is de meting op 20 m à 25 m hoogte al enigszins "vrij", en kan men dus deze zienswijze verdedigen met voorbijgaan van de in de vorige alinea genoemde stabiliteitsproblemen. Gaat het echter om bomen en huizen, dan is $z_v \sim 50$ m of hoger (zie blz.10); ten eerste wordt dan de stabiliteitskorrekcie onhanteerbaar groot, en ten tweede valt er bijna niet meer te ontkomen aan de invoering van een displacement-length, welke nauwelijks of niet objektief kan worden geschat, en welke bovendien in een inhomogene omgeving sterk richtingsafhankelijk zal zijn. In De Bilt bv. valt er wel een hoogte te gokken, op welke bij neutrale stabiliteit en wind uit Westelijke richtingen een windsnelheid waait die ten naastenbij gelijk is aan de wind op open terrein en 10 m hoogte in de nabije omgeving (hetgeen niet hetzelfde is als de wind van Schiphol of Herwijnen), doch bij Oostelijke winden zal op diezelfde hoogte een windsnelheid heersen die véél hoger is dan de bijbehorende snelheid op open terrein. Met andere woorden, richtingsinhomogeniteiten van fors allooi kunnen niet worden weggewerkt door eenvoudigweg op grotere hoogte te gaan meten.

Er zij nog op gewezen, dat de op blz.9/10 omschreven transformatie naar open terrein veel minder stabiliteitsafhankelijk is dan een hoogtekorrekcie, omdat de betreffende transformatie een eventuele stabiliteitsfout in de schatting van f_{60} uit f_f weer grotendeels verliest bij de schatting van f_0 uit f_{60} .

5. EFPEKT VAN TERREINTRANSFORMATIE OP WINDKLIMATOLOGIE.

Op blz.10 is gesteld, dat een naar open terrein getransformeerde stationswindmeting zou voldoen aan de representativiteits-eisen voor een gebied met een straal van 10 tot 20 km; m.a.w. dat fo wél ontiaan zou zijn van stooreffekten op mikroschaal, doch niet van afremmings-effekten op mesoschaal. Ter toetsing van deze hypothese zijn in Tabel 1 de fo-waarden voor alle ff-waarden berekend; de tussen haakjes geplaatste waarden zijn berekend m.b.v. de "eigen" vlagfaktor (omdat er geen andere gegevens uit de betreffende richtingssektor waren voor het betreffende station) en zijn niet gebruikt voor verdere berekeningen.

Vervolgens zijn de gegevens van de eerste elf uur (met hoofdzakelijk Zuidwinden) en die van de tweede elf uur (met hoofdzakelijk Westwinden) afzonderlijk samengevat, en genormaliseerd m.b.v. de gelijktijdige gegevens van Zestienhoven — een station waarvoor $F_{10} \approx 1.0$ voor alle richtingen. De waarden van $(\overline{ff_{st}/ff_z})$ ("origineel") en $(\overline{fo_{station}/fo_{Zestienhoven}})$ ("getransformeerd") zijn verwerkt in de kaartjes van Figuur 6 (blz.35).

Met het voorbehoud van de statistische onzekerheid, veroorzaakt door de uiterst geringe hoeveelheid materiaal, kan uit deze kaartjes allereerst zonder meer worden gekonkludeerd dat de vergelijkbaarheid van naburige stations voor fo beter is dan voor ff, en dat tevens richtingseffekten (Volkel, Lelystad) enigermate zijn geëlimineerd. Het fo-eindresultaat ziet er acceptabel uit, en meer valt er op basis hiervan eigenlijk niet te zeggen. Een verdere studie op basis van meer gegevens lijkt bepaald de moeite waard.

Inzake De Bilt en omgeving is het materiaal nog iets verder onderzocht. Allereerst zijn van de betrokken Novemberstorm de maximale uurgemiddelden van fo vergeleken met de ff-waarden, gegeven in fig.4 van [8] voor De Bilt, De Bilt-toren, Soesterberg. De ff-waarden in [8] waren 15, 21 en 17 m/s, en de maximale fo-waarden : 19, 19 en 19 m/s. De weg-sanering van terrein-mikroëffekten is dus kennelijk effectief geweest.

Voorts zijn over de gehele 24 uur voor De Bilt, Soesterberg en Herwijnen determinatiecoëfficiënten $(1 - [\sigma_x / \sigma_y]^2)$ berekend, d.i. de fraktie van de variatie in het ene gegeven welke verklaard kan worden door de variatie in het andere gegeven. Uit deze coëfficiënten volgt onder meer, dat ná de terreintransformatie er geen effectief verschil meer bestaat tussen weiland en toren te De Bilt.

De konklusie ligt voor de hand dat het niet bijzonder zinvol lijkt om twee stations in De Bilt aan te houden, indien ze na geschikte transformatie tóch allebei hetzelfde resultaat geven.

Determinatie-koefficientwaarden:		De Bilt weiland	Soesterberg	Herwijnen
De Bilt-weiland <	ff	x	.70	.92
	fo		.86	.96
De Bilt-toren <	ff	.91	.84	.95
	fo	.97	.87	.96

Tenslotte kan uit Figuur 6 worden afgeleid, dat voor Zuidelijke en Westelijke winden de originele "lazy-man"-winden van De Bilt-weiland weliswaar 20% te laag zijn, doch die van de "kopspijker"-toren reeds 15% hoger dan representatief is voor vlak terrein in de nabije omgeving. Voor Oostelijke winden zal de overschatting van de Biltse wind door de "kopspijker"-opstelling ongetwijfeld nog groter zijn. Het lijkt dan ook een illusie om te verwachten dat het ooit mogelijk zal zijn om op de "kopspijker" in De Bilt windmetingen te verrichten, welke representatief zijn voor de omgeving zónder korrektie achteraf. Terzijde kan nog vermeld worden dat de huidige opstelling sterk beïnvloed wordt door de toren zelf [12], en dat een eventuele verbetering van de opstelling aldaar voorafgegaan zou moeten worden door een schatting van de grootte van deze storing, hoe summier ook. Een dergelijke schatting is bv. gemaakt voor de de meetopstelling op het Lichteiland Goeree [28], en daarbij bleek dat niet alleen de torenkop maar ook de omringende bouwsels de wind sterk beïnvloedden.

Aangezien eventuele korrekties van de toren-wind in De Bilt noodzakelijkerwijze gebaseerd zullen moeten worden op stabiliteitsgegevens, is een routinematige temperatuurmeting op de toren van belang indien men ooit iets nuttigs met de toren-wind wil doen. Uit het bovenstaande lijkt echter te volgen, dat de windmeetopstelling De Bilt-weiland na geschikte korrektie beter bruikbaar is als lokaal windgegeven. Interessant is nog, dat voor de onderzochte richtingssektor de windmeting te Soesterberg slechter is dan die in De Bilt, ofschoon bij de Operationele Dienst de mening heerst dat Soesterberg altijd beter zou zijn.

6. KONKLUSIES.

Allereerst dient een antwoord gegeven te worden op de titelvraag: bestaat representatieve windmeting? Aangehouden is, dat het antwoord voor enigszins in cultuur gebrachte landstreken ontkennend moet zijn in die zin, dat het niet mogelijk is om op enige hoogte een windmeting te verrichten die zonder korrektie

in alle omstandigheden representatief is voor de door de WMO gewenste windsnelheid op 10 m hoogte in open terrein.

Wél is het mogelijk om een dergelijke representatieve windsnelheid af te leiden uit de stationsmetingen van windrichting en van gemiddelde en maximale windsnelheid. De nauwkeurigheid, welke inherent is aan de in deze studie daartoe ontwikkelde transformatie, vereist nog nader onderzoek, in het bijzonder inzake :

- de optimale keuze van het op blz. 9 gedefiniëerde "vrije" niveau (te onderzoeken m.b.v. theoretische afschattingen, mogelijk ook m.b.v. Vlaardingen-mastmetingen);
- de onderlinge relatie tussen obstakelsituatie, windstructuur en windafremming (te onderzoeken door een literatuurstudie, waarvoor reeds een honderdtal publikaties de revue zijn gepasseerd zonder veel resultaat, zodat wellicht een experimentele studie zal moeten volgen);
- de uitkomsten van de toepassing van een dergelijke transformatie op de windgegevens van de Nederlandse windstations sinds januari 1971.

Van de drie in ieder geval te onderzoeken problemen valt op korte termijn weinig resultaat te verwachten inzake het tweede, de kwantificering van obstakel-effecten. Het eerste en derde probleem zijn van beperkter aard, en het zou eventueel mogelijk zijn ze op korte termijn beter uit te werken dan hierboven is gebeurd.

De praktische waarde van de ontwikkelde transformatie lijkt voldoende groot om te streven naar een openbare publikatie op zo kort mogelijke termijn.

Erre naar "operationele" conclusies zijn :

- (A) Er bestaat behoefte aan een toegankelijk en bruikbaar overzicht van de KNMI-stationsinstrumentatie, omdat het huidige documentatiesysteem uitsluitend t.b.v. financieel-administratieve verantwoording ontworpen lijkt te zijn. Er kan bv. niet met zekerheid worden vastgesteld welke instrumenten nú op de stations in werking zijn, engezien eventuele vervangings-instrumenten moeten worden geboekt vóórdat ze geplaatst zijn. Bovendien valt uit de instrumenten-nummers alléén niet op te gaan wat de aanloop-, responsie- en ijk-karakteristieken zijn. Bovendien is het benodigde ijkwerk nauwelijks uitvoerbaar door een tekort aan reserve-instrumenten.
- (B) Voor alle bestaande, geplande of op te heffen windstations dienen inzake obstakleffecten voldoende analyseerbare gegevens beschikbaar te komen voor alle windrichtingen. Meting van windsnelheidsmaxima of -standaarddeviaties gedurende een proefperiode is een geschikte methode om dit doel te bereiken.

REFERENTIES:

- [1] Blackadar A.K., Panofsky H.A., Fiedler F.(1974): Investigation of the turbulent wind field below 500 feet altitude at the Eastern Test Range, Florida. NASA-CR-2438.
- [2] Braak C.(1929): Het klimaat van Nederland. C.Luchtdrukking. D.Wind. KNMI-Med.Verh.32.
- [3] Braak C.(1942): Het klimaat van Nederland D (vervolg). Wind. KNMI-Med.Verh.46.
- [4] Hanna S.R., Panofsky H.A.(1969): Estimation of the 90 m wind from low-level observations. WMO Techn.Note 93, 219-250.
- [5] Helliwell N.C.(1971): Wind over London. Int.Conf.Wind Effects on Buildings and Structures, Tokyo, paper I-3.
- [6] van der Hoeven P.C.T.(1974): Beaufortschattingen als referentie bij windonderzoek. Ongepubliceerd manuscript.
- [7] Hounam C.E.(1958): Treatment of extreme surface winds. Austr.Meteor.Mag,No.20, 1-15.
- [8] ten Kate H., Zwart B.(1973): De storm van 13 november 1972. KNMI-V-248.
- [9] Kon.Ned.Meteor.Inst.(1969): Klimatologische gegevens van Nederlandse stations. No.2: Gemiddelden voor het tijdvak 1951-1960.
- [10] Oliver H.R.(1973): Wind-speed modification by a very rough surface. Meteor.Mag.103, 141-145
- [11] Petersen D.P., Middleton D.(1963): On representative observations. Tellus 15, 387-405.
- [12] Rijkooft P.J.(1954): Anemometeronderzoek op de nieuwe toren van het K.N.M.I. KNMI-R-III-128.
- [13] Rijkooft P.J.(1955): Anemometer-onderzoek op de nieuwe toren. KNMI-R-III-159.
- [14] Rijkooft P.J.(1956): Een vergelijking tussen de gelijktijdige registraties van de anemometers te Vlieland en Den Helder. KNMI-R-III-163.
- [15] Rijkooft P.J.(1960): Metingen van windsnelheid en windrichting te Vlissingen. KNMI-V-76.
- [16] Rijkooft P.J.(1961): Vergelijking van anemometeropstellingen op de hoofdstations. KNMI-V-86.
- [17] Rijkooft P.J.(1964): Vergelijking van de resultaten van gelijktijdige waarnemingen met anemometeropstellingen op het vliegveld Beek op 10 m en 12.5 m hoogte. KNMI-V-149.
- [18] Rijkooft P.J.(1964): Reductie van windsnelheidsgemiddelden van de anemometer op de toren te De Bilt in verband met de bepaling van windnormalen. KNMI-V-159.
- [19] Rijkooft P.J.(1970): Wind, een meteorologische grootheid. De Ingenieur 82, B 93-B 101.
- [20] Seguin B.(1973): Rugosité du paysage et évapotranspiration potentielle à l'échelle régionale. Agric.Meteor.11, 79-98.
- [21] Shellard H.C., Davenport A.G.(1965): The estimation of design wind speeds. Proc.Conf.Wind Effects on Buildings and Structures, Teddington 1963, Vol.I, 29-51 en disc.op p.106-111.

- [22] Shellard H.C.(1967): Wind records and their application to structural design. Meteor.Mag. 96, 235-243.
- [23] Sibenius Trip B.(1973): Report on two identical storms with winds of hurricane force over the Netherlands. Hydrographic Newsletter 2, 467-485.
- [24] Smith I.R.(1973): The assessment of winds at Loch Leven, Kinross. Weather 28, 202-210.
- [25] Ver.Weer- en Sterrenkunde(1972): De orkaan van 13 november 1972. Med.blad Werkgr.Meteorologie 1, no.8.
- [26] Waller R.A., Dukes T.P., Dalley E.J.(1968): A comparison between the quality of the techniques and the data available to the environmental engineer with regard to wind loading. Proc.Symp.Wind Effects on Buildings and Structures, Loughborough, Paper 4.
- [27] Wieringa J.(1968): Voorlopig onderzoek naar de bruikbaarheid van een terrein, gelegen tussen Lopik en Cabauw, voor meteorologisch onderzoek met een 200m-mast. Ongeregistreerd KNMI-rapport, gedeeltelijk gereproduceerd als APPENDIX I.
- [28] Wieringa J.(1970): Windsnelheden rondom de vuurtorenkop van het Lichteiland Goeree. Ongeregistreerd KNMI-rapport, gereproduceerd als APPENDIX II.
- [29] Wieringa J.(1973): Ruwheidseffecten in de oppervlaktelaag. Inleiding t.b.v.turb-disc. r.MC, versl.gerepr. als APPENDIX III.
- [30] Wieringa J.(1973): Gust factors over open water and built-up country. Boundary-Layer Meteor. 3, 424-441.

REFERENTIES, BEHORENDE BIJ APPENDIX I :

- Baltaxe R.(1967): Air flow patterns in the lee of model windbreaks. Arch.Meteor.Geoph.Biokl. B 15, 287-312.
- Brooks F.A.(1961): Need for measuring horizontal gradients in determining vertical eddy transfers of heat and moisture. J.Meteor. 18, 589-596.
- Caborn J.M.(1957): Shelterbelts and microclimate. Forestry Comm. Bull. 29.
- Dyer A.J.(1963): The adjustment of profiles and eddy fluxes. Quart.J.Roy.Meteor.Soc. 89, 276-280.
- Kaiser H.(1959): Die Strömung an Windschutzstreifen. Ber.Deutsche Wetterd. 53, Band 7.
- Konstantinov A.R.(1963): Evaporation in nature. [Leningrad Hidrometeoizdat; vert. IPST, Jerusalem 1965].
- Tanner C.B.(1963): Basic instrumentation and measurements for plant environment and micrometeorology. Soils Bulletin 6.
-

TABEL 1 a. Uurwaarden voor elf KNMI-windstations van windrichting \bar{d} ($\times 10^0$), windsnelheid \bar{f} (m/s), de uit de maximale windsnelheid f_{\max} berekende vkaagfactoren $G = f_{\max} / \bar{f}$, alsmede de afgeleide getransformeerde open-terrein-windsnelheid f_0 (m/s)..

		12 november 1972							13 november 1972			
uur		18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4
Station												
Lely	dd	22	22	18	16	16	15	15	17	22	22	23
(008)	ff	5.5	5.5	7.0	7.0	9.5	11.0	15.0	14.5	10.5	13.0	13.0
	fo	6.7	6.7	7.2	7.4	10.1	11.7	15.9	15.4	12.7	15.7	15.7
	G	2.36	1.91	1.50	1.50	1.63	1.50	1.60	1.55	1.76	1.81	1.65
Hvsl	dd	20	19	18	18	15	18	21	22	23	23	27
(108)	ff	7.5	8.5	7.5	8.0	11.0	12.0	14.0	16.5	18.0	20.0	22.0
	fo	8.4	9.5	8.4	9.0	(11.3)	13.5	14.4	17.0	18.5	20.6	26.6
	G	1.67	1.59	1.93	1.94	1.50	1.13	1.50	1.52	1.50	1.50	1.52
Schi	dd	20	19	17	17	18	15	17	21	22	22	23
(240)	ff	6.5	7.5	7.5	8.0	10.5	11.5	13.5	12.5	16.0	17.5	18.0
	fo	7.1	8.2	7.6	8.1	11.4	11.6	13.6	13.1	16.8	18.4	18.9
	G	1.62	1.60	1.47	1.44	1.62	1.57	1.41	1.60	1.53	1.54	1.53
LB-t	dd	23	20	19	17	18	15	16	22	22	24	24
(259)	ff	7.5	8.0	8.0	8.0	10.5	11.5	13.0	12.0	15.0	16.5	17.5
	fo	6.5	7.1	7.1	6.9	9.3	9.9	11.2	10.4	13.1	14.5	15.4
	G	1.53	1.69	1.44	1.56	1.90	1.52	1.50	1.92	1.57	1.48	1.66
DB-w	dd	23	20	19	17	18	15	16	22	22	24	24
(260)	ff	5.0	5.0	5.5	5.5	7.0	7.5	9.0	9.0	12.5	12.5	15.0
	fo	5.7	6.4	7.0	6.7	8.9	8.4	10.1	10.3	14.3	14.1	16.0
	G	1.70	2.00	1.55	1.73	1.93	1.67	1.67	1.83	1.52	1.68	1.57
Sstb	dd	20	20	18	17	17	15	17	20	24	22	23
(265)	ff	4.5	5.0	5.0	5.0	6.0	6.0	7.5	7.0	9.0	10.0	14.0
	fo	5.1	5.7	5.7	6.7	8.0	8.0	10.1	8.0	10.2	10.9	15.3
	G	1.67	1.70	1.70	1.70	2.08	2.33	2.00	1.79	1.83	1.65	1.54
Vlis	dd	19	19	19	17	19	22	23	23	25	25	27
(310)	ff	10.0	11.0	12.5	14.0	16.0	17.5	18.5	20.0	20.5	24.0	24.0
	fo	9.2	10.1	11.5	12.9	14.7	16.5	17.4	18.8	21.1	24.3	25.0
	G	1.20	1.14	1.16	1.21	1.22	1.26	1.22	1.30	1.56	1.44	1.46
Zrkz	dd	19	19	18	17	17	20	22	23	24	24	27
(325)	ff	5.5	7.0	6.5	8.0	10.0	10.0	11.0	12.5	13.0	14.5	15.5
	fo	5.4	6.9	6.4	8.5	10.6	9.8	12.3	14.0	14.3	16.0	15.8
	G	1.45	1.36	1.38	1.63	1.50	1.70	1.73	1.60	1.65	1.59	1.65
Zsth	dd	20	19	18	17	16	17	20	22	22	23	26
(340)	ff	7.5	7.5	9.0	8.5	10.5	11.0	12.0	14.0	15.5	18.5	18.5
	fo	7.6	7.6	9.1	8.3	10.3	10.8	12.1	14.3	15.3	18.4	(21.1)
	G	1.40	1.53	1.39	1.53	1.43	1.41	1.54	1.50	1.48	1.32	1.70
Herw	dd	19	18	17	17	18	16	18	21	21	22	23
(304)	ff	7.0	7.0	7.0	7.5	10.5	10.0	12.0	13.5	16.0	16.0	18.0
	fo	7.4	7.4	7.2	7.7	10.3	10.3	11.8	13.0	15.4	15.4	18.2
	G	1.43	1.43	1.50	1.50	1.48	1.45	1.33	1.48	1.34	1.41	1.37
Gz-R	dd	20	19	18	17	18	18	21	22	22	24	25
(350)	ff	6.5	7.5	8.0	9.5	10.5	12.5	13.0	13.5	13.5	14.0	17.5
	fo	6.2	7.2	7.7	9.8	(10.1)	12.0	12.5	14.0	14.0	16.7	20.8
	G	1.38	1.47	1.38	1.32	1.52	1.32	1.42	1.52	1.56	1.82	1.77

TABEL 1 b. Uurwaarden voor elf KNMI-windstations van windrichting $\overline{dd} (\times 10^0)$, windsnelheid \overline{ff} (m/s), de uit de maximale windsnelheid \overline{ff}_{\max} berekende vlagfactoren $G = \overline{ff}_{\max} / \overline{ff}$, alsmede de afgeleide ge-transformeerde open-terrein-windsnelheid \overline{fo} (m/s).

		13 november 1972										
uur		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Station												
Lely (008)	dd	24	28	29	29	29	29	28	27	27	27	27
	ff	17.5	26.5	26.0	21.0	20.0	18.0	17.5	17.5	17.0	16.0	16.0
	fo	(19.1)	25.7	25.2	20.4	19.4	17.5	17.0	17.0	16.4	15.5	15.5
	G	1.60	1.43	1.40	1.40	1.53	1.35	1.34	1.31	1.32	1.41	1.69
Hvsl (108)	dd	28	30	29	29	28	28	29	28	28	27	27
	ff	19.0	16.5	14.5	14.0	13.0	13.5	12.5	12.5	11.5	11.0	10.5
	fo	23.0	(21.6)	17.5	16.9	15.7	16.3	15.1	15.1	13.9	13.3	12.7
	G	1.79	2.00	1.90	1.89	1.88	1.81	1.88	1.80	1.83	1.73	1.76
Schi (240)	dd	26	29	30	29	29	30	29	28	29	28	27
	ff	22.5	22.0	20.0	16.5	14.5	14.5	15.0	15.0	14.0	14.0	14.0
	fo	(23.2)	22.7	22.2	17.0	14.9	16.1	15.5	15.5	14.4	14.4	14.4
	G	1.49	1.48	1.58	1.58	1.69	1.72	1.47	1.47	1.50	1.64	1.54
DB-t (259)	dd	26	29	30	30	29	28	29	28	28	28	27
	ff	18.5	21.0	19.0	16.0	15.5	12.5	13.5	13.0	13.5	11.5	10.5
	fo	16.3	18.5	16.5	13.9	13.5	11.0	11.9	11.4	11.9	10.1	9.2
	G	1.65	1.52	1.47	1.66	1.58	1.80	1.81	1.69	1.67	1.65	1.71
DB-w (260)	dd	26	29	30	30	29	28	29	28	28	28	27
	ff	15.0	14.5	13.0	10.5	10.0	9.0	8.0	7.5	9.0	7.5	6.5
	fo	16.9	19.3	17.4	14.1	13.3	12.0	10.6	10.0	12.0	10.0	8.6
	G	1.87	1.69	2.08	2.00	2.15	2.11	2.06	2.07	1.89	1.80	2.00
Sstb (265)	dd	26	27	30	29	28	29	29	27	27	27	27
	ff	16.5	17.0	17.0	14.5	12.0	11.0	10.5	10.0	11.5	10.0	10.0
	fo	18.6	17.7	(16.5)	15.1	12.5	11.4	10.9	10.4	12.0	10.4	10.4
	G	1.55	1.44	1.41	1.52	1.46	1.59	1.67	1.60	1.52	1.55	1.45
Vlis (310)	dd	29	29	29	29	29	29	29	30	29	29	29
	ff	22.5	20.0	16.5	16.0	16.5	15.5	14.5	13.0	13.5	13.0	12.5
	fo	23.4	20.8	17.2	16.6	17.2	16.1	15.1	(13.7)	14.0	13.5	13.0
	G	1.44	1.45	1.58	1.53	1.52	1.52	1.48	1.54	1.44	1.58	1.56
Zrkz (325)	dd	27	29	29	29	28	29	29	29	29	29	28
	ff	17.0	16.5	16.0	15.5	14.5	13.5	13.5	12.0	12.0	10.5	10.0
	fo	17.3	16.8	16.3	15.8	14.8	13.8	13.8	12.2	12.2	10.7	10.2
	G	1.50	1.48	1.56	1.55	1.48	1.44	1.44	1.50	1.46	1.57	1.40
Zsth (344)	dd	27	29	29	29	28	28	28	28	28	28	28
	ff	22.5	24.0	21.5	18.0	15.5	16.0	15.5	15.0	14.0	13.5	12.5
	fo	21.4	22.8	20.4	17.1	14.7	15.2	14.7	14.3	13.3	12.8	11.9
	G	1.40	1.27	1.33	1.76	1.39	1.44	1.35	1.23	1.32	1.30	1.28
Herw (604)	dd	26	27	28	28	28	27	29	28	28	27	26
	ff	21.0	21.0	18.5	16.0	15.5	15.0	13.5	13.5	14.0	11.5	11.0
	fo	20.2	20.8	18.3	15.8	15.3	14.9	13.4	13.4	13.9	11.4	10.6
	G	1.40	1.36	1.41	1.44	1.61	1.53	1.74	1.41	1.43	1.52	1.36
Gz-R (350)	dd	27	26	27	28	29	29	29	28	27	26	27
	ff	20.0	17.5	16.0	14.0	14.5	14.0	13.0	13.0	11.0	11.0	11.5
	fo	21.2	20.8	17.0	14.8	15.4	14.8	13.8	13.8	11.7	13.1	12.2
	G	1.55	1.80	1.72	1.50	1.48	1.43	1.58	1.50	1.68	1.45	1.65

TABEL 1 c. Uurwaarden voor vijf KNMI-windstations van windrichting $\overline{dd} (\times 10^0)$, windsnelheid \overline{ff} (m/s), de uit de maximale windsnelheid ff_{\max} berekende vlagfactoren $G = ff_{\max} / \overline{ff}$, alsmede de afgeleide getransformeerde open-terrein-windsnelheid fo (m/s).

		12 november 1972							13 november 1972			
uur		18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4
Station												
Urk (147)	dd	19	17	18	16	15	15	13	16	18	21	21
	ff	11.0	11.5	12.0	13.0	13.0	15.5	16.0	17.0	17.0	19.0	21.0
	fo	10.3	11.4	11.3	12.5	12.5	14.9	15.4	16.3	16.0	19.0	21.0
	G	1.23	1.43	1.33	1.23	1.31	1.39	1.34	1.71	1.29	1.50	1.38
IJmd (225)	dd	22	18	18	17	18	15	16	22	22	22	25
	ff	13.0	11.0	10.5	11.0	12.5	14.5	16.5	17.5	21.5	21.5	24.5
	fo	12.6	10.7	10.2	10.6	12.1	13.9	15.8	17.0	20.9	20.9	(26.0)
	G	1.46	1.41	1.38	1.32	1.48	1.41	1.39	1.46	1.33	1.30	1.55
HkvH (330)	dd	20	19	17	16	22	18	20	22	23	23	23
	ff	9.0	10.0	9.0	9.0	9.5	11.5	14.0	18.5	19.5	21.0	22.5
	fo	8.6	9.5	8.9	8.9	8.9	10.9	13.3	17.4	18.3	19.7	21.2
	G	1.22	1.30	1.44	1.44	1.47	1.48	1.43	1.30	1.26	1.24	1.38
Eind (370)	dd	21	20	19	19	18	19	21	23	23	23	25
	ff	6.5	7.0	6.5	7.0	9.0	9.0	10.0	13.5	14.0	15.0	15.0
	fo	6.6	7.5	7.0	7.5	9.6	9.6	10.2	13.8	14.3	15.3	(16.1)
	G	1.38	1.93	1.46	1.57	1.83	1.50	1.60	1.48	1.32	1.57	1.57
Vlkl (375)	dd	21	21	19	19	19	19	18	22	23	23	25
	ff	6.0	6.5	6.5	6.5	8.0	8.5	11.0	11.0	16.0	15.0	17.0
	fo	6.0	6.5	6.9	6.9	8.5	9.0	11.7	11.0	16.0	15.0	17.0
	G	1.42	1.62	1.38	1.62	1.63	1.59	1.45	1.59	1.31	1.37	1.35
13 november 1972												
uur		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IJmd (225)	dd	27	29	29	30	31	28	30	29	29	27	28
	ff	27.0	27.5	24.5	22.5	20.0	19.0	18.0	19.0	18.5	18.5	19.0
	fo	25.9	26.4	23.5	22.1	19.6	18.2	17.6	18.6	17.8	17.8	18.2
	G	1.35	1.38	1.49	1.29	1.43	1.45	1.42	1.29	1.22	1.41	1.29
HkvH (330)	dd	28	30	31	28	28	28	28	29	28	28	28
	ff	23.0	22.0	19.5	18.5	19.0	17.0	16.0	15.5	15.5	15.0	14.0
	fo	21.6	20.9	18.5	17.4	17.9	16.0	15.0	14.6	14.6	14.1	13.2
	G	1.33	1.34	1.38	1.35	1.26	1.29	1.34	1.29	1.29	1.30	1.25
Eind (370)	dd	27	27	28	28	28	28	28	28	28	28	27
	ff	17.5	18.5	16.5	15.0	14.5	15.0	13.0	12.5	12.5	13.5	10.5
	fo	17.9	18.9	16.8	15.3	14.8	15.3	13.3	12.8	12.8	13.8	10.7
	G	1.57	1.51	1.45	1.40	1.55	1.40	1.42	1.60	1.52	1.41	1.48
Vlkl (375)	dd	26	27	27	28	30	29	27	30	29	27	28
	ff	18.0	18.0	15.0	13.0	12.0	11.0	11.5	8.5	11.0	10.0	9.0
	fo	18.0	21.4	17.9	15.5	14.6	13.1	13.7	10.4	13.1	11.9	10.7
	G	1.56	1.81	1.77	1.85	1.75	1.82	1.83	1.88	1.45	1.70	1.56

Urk(147), 5 uur : dd = 23, ff = 23.5, fo = 23.5, G = 1.45.
Na 5 uur station Urk uitgevallen.

TABEL 2. Mediane vlagfactoren <G> en transformatie-rekenfactoren F_{10} voor de zestien windstations van Tabel 1, geklassificeerd in 30°-richtingssectoren met klassegrootte n.

Station	dd-sector	15-17	18-20	21-23	24-26	27-29	30-32	μ	σ
Lelystad (008)	n	5	2	5	1	10	-	$1.07 \pm .10$	
	<G>	1.55	1.50	1.81	(1.60)	1.40	-		
Hellevoetsluis (108)	n	1	5	4	-	11	1	$1.12 \pm .09$	
	<G>	(1.50)	1.67	1.50	-	1.81	(2.00)		
Urk (147)	n	6	3	3	-	-	-	$0.97 \pm .03$	
	<G>	1.37	1.29	1.45	-	-	-		
IJmuiden (225)	n	3	3	4	1	8	3	$0.97 \pm .01$	
	<G>	1.39	1.41	1.40	(1.55)	1.37	1.42		
Schiphol (240)	n	4	3	4	1	8	2	$1.06 \pm .04$	
	<G>	1.47	1.61	1.54	(1.49)	1.50	1.65		
De Bilt- (259) toren	n	3	3	3	3	8	2	$0.87 \pm .01$	
	<G>	1.52	1.69	1.57	1.65	1.68	1.57		
De Bilt- (260) weiland	n	3	3	3	3	8	2	$1.22 \pm .10$	
	<G>	1.67	1.93	1.70	1.68	2.03	2.04		
Soesterberg (265)	n	4	4	2	2	9	1	$1.15 \pm .11$	
	<G>	2.04	1.70	1.60	1.69	1.52	(1.41)		
Vlissingen (310)	n	1	4	3	2	11	1	$0.97 \pm .06$	
	<G>	(1.21)	1.18	1.26	1.50	1.52	(1.54)		
Zierikzee (325)	n	2	4	2	2	10	-	$1.06 \pm .06$	
	<G>	1.57	1.42	1.67	1.62	1.49	-		
Hoek v. Holland (330)	n	2	4	5	-	9	2	$0.95 \pm .02$	
	<G>	1.44	1.36	1.30	-	1.29	1.36		
Zestienhoven (344)	n	3	4	3	1	11	-	$0.99 \pm .03$	
	<G>	1.43	1.47	1.48	(1.70)	1.33	-		
Gilze-Rijen (350)	n	1	5	3	4	9	-	$1.06 \pm .09$	
	<G>	(1.52)	1.38	1.52	1.79	1.55	-		
Eindhoven (370)	n	-	5	5	1	11	-	$1.04 \pm .03$	
	<G>	-	1.57	1.48	(1.57)	1.48	-		
Volkel (375)	n	-	5	5	2	8	2	$1.09 \pm .10$	
	<G>	-	1.55	1.46	1.46	1.79	1.82		
Herwijnen (604)	n	3	4	4	2	9	-	$0.98 \pm .03$	
	<G>	1.50	1.43	1.39	1.38	1.44	-		

APPENDIX I , gereproduceerd uit [27].

STROMINGSSTORING DOOR OBSTAKELS

De gepubliceerde onderzoeken over windeffecten beperken zich, om meettechnisch begrijpelijke redenen, meestal tot de gemiddelde wind dicht bij de grond; deze is voor b.v. landbouw ook het belangrijkste. De gegevens over windvariatie-effecten zijn schaars en slecht; de gegevens op grote hoogte zijn alleen goed verkrijgbaar met een mast. Aangezien meetmasten tot nu toe steeds in zo vlak mogelijk terrein werden opgesteld, ontbrak vanzelfsprekend de mogelijkheid tot bestudering van obstakeleffecten.

In het volgende overzicht zal alleen over het windeffect gesproken worden. De eerste reden is, dat hierover het meeste is onderzocht; de tweede reden is, dat invloed van obstakels op de meeste meteorologische parameters via de wind gaat - een uitzondering is b.v. straling. Uit Caborn (1957) blijkt b.v. dat in eerste benadering de temperatuurafwijkingen t.g.v. obstakels evenredig zijn met de windafwijkingen.

De obstakelinvloed op de wind is een functie van de atmosferische stabiliteit. In de meeste onderzoeken ontbreken de mogelijkheden om stabiliteit te meten, afgezien van een klassering naar luchtsoorten. Konstantinov (1963; blz. 369) toont echter experimenteel aan dat er een sterke dagelijkse gang in obstakeleffecten is. Bij onstabiele atmosfeer is het obstakeleffect het kleinst; weliswaar is het tot op grotere hoogte merkbaar, maar dit is vnl. een turbulent effect en dempt dus uit. Bovendien neemt het obstakeleffect in onstabiel weer relatief snel af met de afstand. Anderzijds kan bij zeer stabiel weer dus een vrij persistent effect worden verwacht. De hieronder vermelde resultaten zijn door de onderzoekers niet volgens stabiliteit gespecificeerd; het is dus waarschijnlijk het best om ze te beschouwen als gevallen van neutrale stabiliteit.

De hoogte van het obstakel wordt door de meeste onderzoekers niet als relevant beschouwd. In eerste benadering blijken obstakeleffecten ook tamelijk eenduidig afhankelijk te zijn van de dimensieloze parameter x/h (loodrechte horizontale afstand van meetpunt tot obstakel, gedeeld door obstakelhoogte). Afwijkingen kunnen slechts

verwacht worden, indien óf het obstakel een hoogte heeft van dezelfde grootteorde als de grondruwheid (niet van belang), óf als het obstakel zo hoog wordt, dat men rekening zou moeten houden met de toename van de windsnelheid met toenemende hoogte. In het laatste geval kan men voor een tamelijk open barrière (een enkele rij bomen b.v.) verwachten, dat $h \rightarrow h^{0.9}$, m.a.w. het obstakeleffect neemt relatief snel af. In het gebied van Lopik zijn de obstakels i.h.a. echter nauwelijks hoger dan 20 m, zodat we dimensie-effecten niet behoeven te onderzoeken. (Konstantinov 1963;354).

De windschaduw welke in rekening gebracht moet worden indien de wind onder een kleinere hoek dan 90° op de barrière valt wordt meestal niet systematisch onderzocht, aangezien 90° ongetwijfeld het meest extreme geval is. Het is echter niet zo, dat een barrière geen invloed uitoefent indien de wind er evenwijdig aan waait. Volgens door Konstantinov (1963;355-357) aangehaalde onderzoeken heeft de verandering in gemiddelde ruwheidslengte, die het gevolg is van de aanwezigheid der barrière, tot gevolg dat, als de wind evenwijdig aan de barrière waait, de schaduwwerking zich zijdelings uitstrekt tot een afstand die ong. 40% bedraagt van de schaduwafstand bij loodrechte inval. Een bruikbare benaderingsformule voor het geval van een hoek a tussen windrichting en barrière zou misschien zijn: $(u/u_0)_a = (u/u_0)_{90^\circ} (1 - 0.6 \cos a)$. Hierin is u_0 de windsnelheid op dezelfde hoogte in het vrije veld.

In figuur 1 is de windsnelheidsschaduw gegeven voor verschillende meethoogten, uitgedrukt in obstakelhoogten. Hierbij valt op, dat boven obstakelhoogte er dichtbij het obstakel een kleine versnelling optreedt. Boven $3h$ zijn de obstakeleffecten op de gemiddelde windsnelheid blijkbaar zeer gering. Het snelste herstel van de oude toestand treedt op vlak bij de grond (ruwheidseffect). De invloed blijft het langst naspeurbaar op ong. $0.5h$ meethoogte (grafieken Caborn 1957).

In figuur 2 is het schaduweffect van verschillende typen barrières gegeven. Bij een zeer dichte barrière treedt vlak achter de barrière sterke turbulentie en zuiging op, tengevolge waarvan zich de ongestoorde stroom boven obstakel benedenwaarts richt; er treedt dan een sneller herstel van de horizontale windsnelheid op. Anderzijds blijkt bij zeer open barrières het effect weliswaar klein, doch de persistentie vrij groot, zodat op grote afstand een open barrière relatief méér snelheidsvermindering geeft dan een dichte. Voor het extreme geval van één enkel obstakel zijn de effecten wel eens tot $2\frac{1}{2}$ km afstand merkbaar (Bijvoet, pers.comm.).

In het algemeen blijkt uit beide figuren, dat herstel van de horizontale snelheid tot zijn oorspronkelijke waarde op enige procenten na kan worden verwacht voor x/h - waarden boven 25 of 30, afhankelijk van de situatie. Hierbij moet natuurlijk wel rekening gehouden worden met het stabiliteitseffect, doch hierover zijn onvoldoende exacte gegevens beschikbaar. De grootte van de snelheid zelf speelt bij open barrières slechts een secundaire rol (Baltaxe 1967).

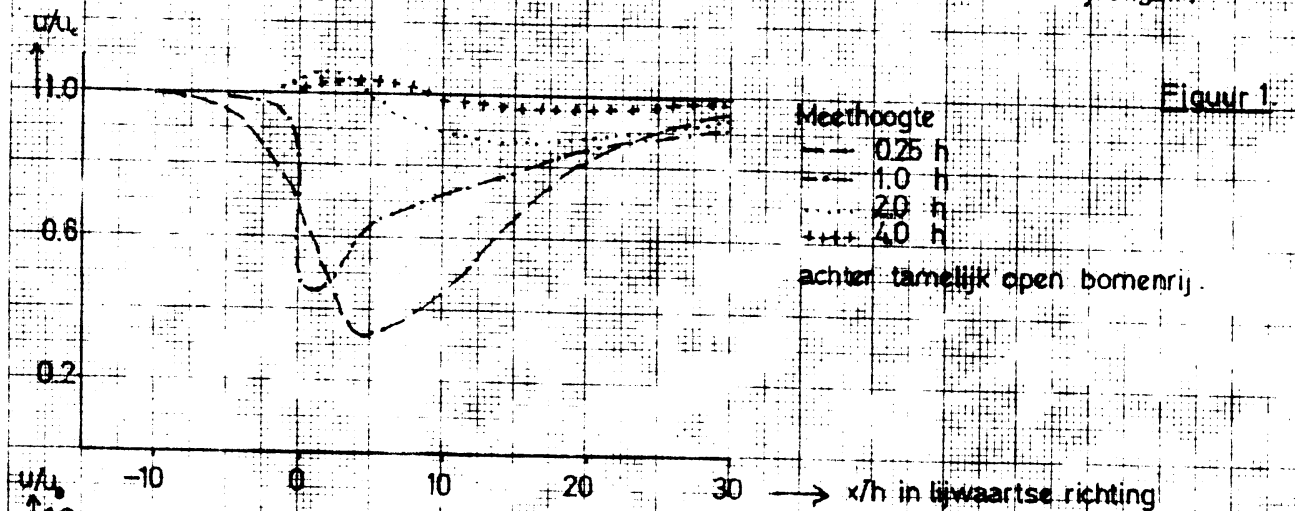
In figuur 3 zijn de op korte termijn achterhaalbare gegevens over de invloed van obstakels op turbulentiegraad en turbulente uitwisseling verwerkt, voor een tamelijk open barrière (Konstantinov 1963; 368). Andere gegevens van Kaiser (1959; 37) en Konstantinov (1963; 371) leiden eveneens tot de veronderstelling, dat de obstakelinvloed op turbulent transport in dezelfde mate als de windsnelheid met de afstand afneemt; d.w.z. voor $x/h > 30$ zijn de obstakelfouten tot op enkele procenten gereduceerd.

De driedimensionale structuur van de wind is gekoppeld aan de ruwheid van de ondergrond via de z.g. ruwheidslengte z_0 , de hoogte waarop de van groter hoogte geëxtrapolerde wind nul wordt. Deze ruwheidslengte is een functie van de aanwezige obstakels zowel aan loef als aan lij van de mast, waarschijnlijk vooral aan de lijzijde van het obstakel tot vrij grote afstand. In figuur 4 zijn de resultaten van theoretische en laboratorium-onderzoekingen van Dyer (1963) en Jacobs (1939, herzien door Brooks, 1961) gegeven; andere onderzoekingen over de obstakelproblemen voor windprofiel- en windstructuurmetingen worden genoemd door Tanner (1963; AE-12). Er bestaan grote onderlinge verschillen tussen al deze resultaten: voor een aanpassing van 90% tussen profiel en ondergrond worden x/h - waarden genoemd van 20 (Priestley) tot 300 (Elliott). In ieder geval blijkt, dat voor windstructuur-studie de effecten persistenter zijn dan voor gemiddelde-meting en turbulentie-studie. Een aanvaardbare minimale x/h - waarde is misschien 50 (Brooks).

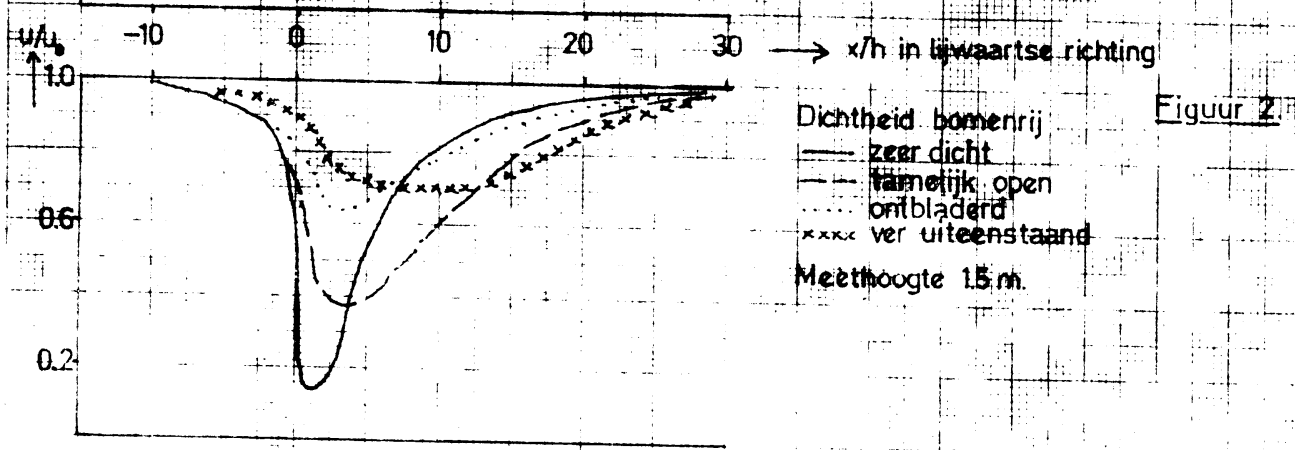
Referenties: zie blz.19.

Figuren: zie blz.27.

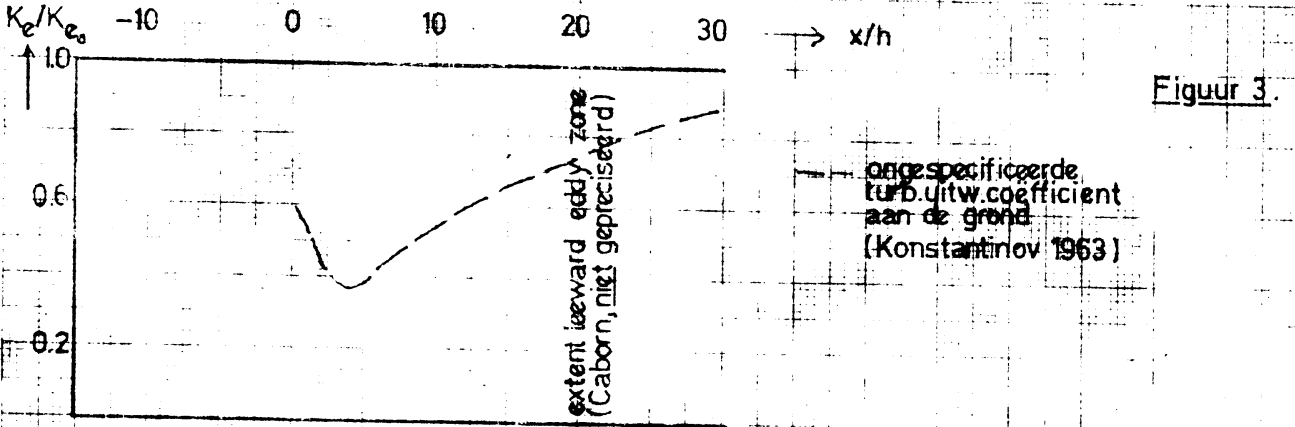
WINDAFNAME ACHTER BOMENRIJ MET HOOGTE h (Caborn 1957, Nageli)



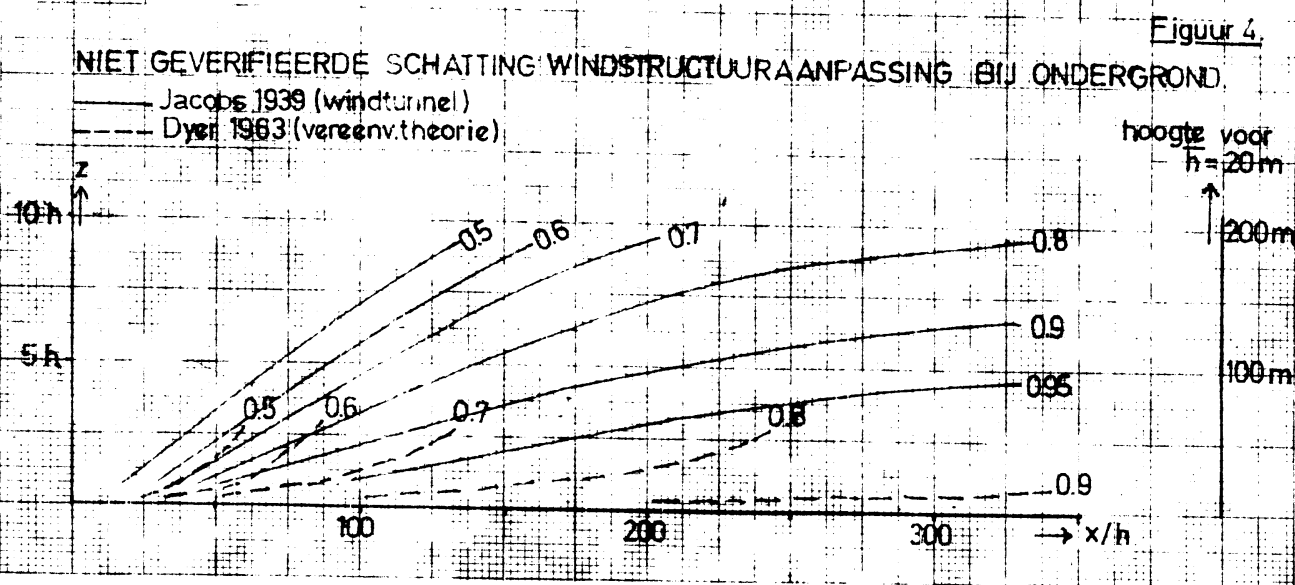
Figuur 1.



Figuur 2.



Figuur 3.



Figuur 4.

APPENDIX II - [28].

WINDSNELHEDEN RONDOM DE VUURTORENKOP VAN HET LICHTEILAND GOEREE.

De gemiddelde windsnelheid om de kop wordt in de eerste plaats bepaald door de kop. Benadert men deze met een potentiaal-snelheidsgradient — in grootte-
orde overeenstemmend met de metingen van Sanuki en Tsuda (1), mits men zich beperkt tot het gebied dat duidelijk boven de kop ligt — dan krijgt men de snelheidsoverschattingen, die in nevenstaande tekening aangegeven zijn door lijnen "NONO" aangezien bij wind uit Noordoostelijke richtingen dit geval geldt.

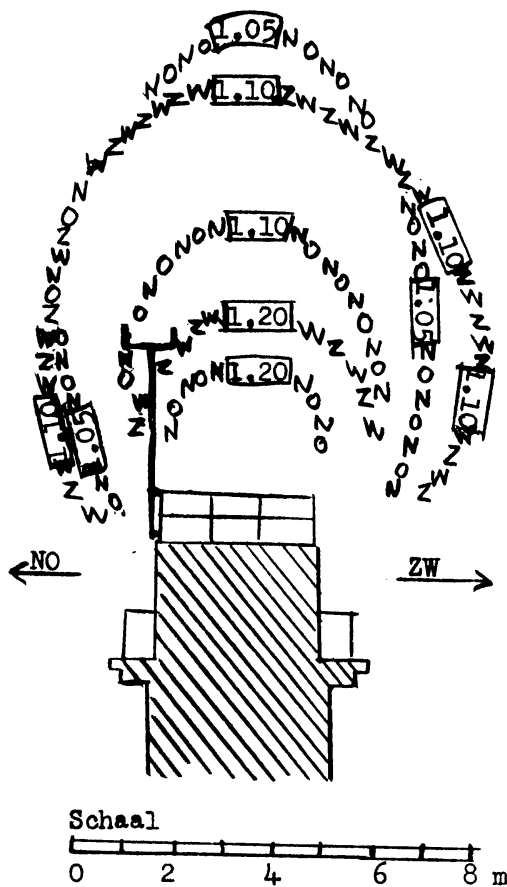
Bij wind uit Zuidelijke richtingen echter krijgt men tevens te maken met een extra snelheidsoverschatting, die het gevolg is van "streaming" over de bovenkant van de basismassa van het lichteiland. Hierover zijn aan een vrijwel identiek lichteiland bij Bermuda metingen gedaan door Thornthwaite en anderen (2). Uit hun resultaten valt af te leiden, dat ter hoogte van de vuurtorenkop een extra snelheidsoverschatting van 4% à 8% verwacht moet worden, in onze tekening toenemend naar rechts onder (asymmetrische opstelling). Ten gevolge hiervan krijgen we in combinatie met de storing van de vuurtorenkop de overschattingsfactoren, die op de tekening aangegeven zijn met lijnen "ZWZW" (voor de overzichtelijkheid is het aanbevelenswaardig om één stel even te kleuren).

Hieruit volgt dus, dat op de plaats van de voorgestelde windmeteropstelling de snelheidsoverschatting naargelang de windrichting varieert tussen 10% en 20%; ik kan niet beoordelen of dit operationeel aanvaardbaar is. Deze opstellingsplaats is echter in ieder geval gunstiger dan een lagere; zijdelings van de basismassa van het lichteiland bv. zou men voor een aanvaardbaar resultaat aan twee zijden van het eiland met uithouders van ruim 12 m moeten werken — tensij men ze onder 30° omhoog richt: in dat geval zou 6 m waarschijnlijk ook bruikbaar zijn, maar dit geeft weer problemen voor heliocooperwerk. Etc.etc. Voor een meetfout die de 10% niet overschrijdt zou een mast van 7 m i.p.v. de huidige 4 m-mast nodig zijn; ik kan niet beoordelen of dit te verwezenlijken is. Meting onder het eiland is in ieder geval af te raden: de snelheidsgradiënten zijn daar te groot.

Voor het meten van windprofielen e.d. is behalve het artikel van Thornthwaite o.s. misschien ook het artikel van Mollo-Christensen en Seeholz, gebaseerd op windtunnel-modelproeven, van interesse.

Literatuur:

- (1): M.Sanuki, N.Tsuda; Papers Meteor.Geophys.8 (1957) 98-101.
- (2): C.W.Thornthwaite, W.J.Superior, R.T.Field; Journ.Geophys.Res.70(1965)6047.
- (3): E.L.Mollo-Christensen, J.R.Seesholtz; Journ.Geophys.Res.72(1967)3549.



APPENDIX III = [29].

RUWHEIDSEFFECTEN IN DE OPPERVLAKTELAAG.

J. Wieringa (verslag door F.T.M. Nieuwstadt)

De volgende parameters zijn van belang bij stromingen met ruwheden: z_0 (ruwheidslengte), d ("displacement" lengte), c_d (weerstand-coëfficiënt), u_{*} (wrijvingssnelheid), ν (kinematische viscositeit). Voor een stroming langs een ruwe wand geldt dicht bij de wand het volgende functionele verband: $u = f(z, u_{*}, \nu, z_0)$. Hierin is z de coördinaat loodrecht op de wand. Toepassing van dimensie-analyse geeft: $u/u_{*} = f(z/z_0, u_{*}z/\nu)$. Dit functioneel verband staat bekend als de "wall law" ofwel de gelijkvormigheids-wet van de oppervlakte-laag. De lengte ν/u_{*} wordt gedefinieerd als de viscositeits-lengte. Per definitie wordt een stroming als ruw beschouwd, als de ruwheidshoogte h_0 groter is dan deze viscositeits-lengte. In de atmosfeer geldt: viscositeits-lengte $\sim 10^{-4}$ m, zodat het duidelijk is, dat alle atmosferische stromingen als ruw beschouwd kunnen worden.

Kleine ruwheden ($z_0 \leq h_0$, $z \gg h_0$). In een laag $z \gg z_0$ en $z \ll h$ (h is de dikte van de grenslaag) volgt:

$$\frac{du}{dz} = \frac{u_{*}}{kz} \quad (1)$$

Integratie geeft het bekende logaritmisch profiel

$$u/u_{*} = 1/k \ln z + b \quad (2)$$

waar k is gedefinieerd als de von-Karman-constante en b een integratie-constante is.

Definiëer de weerstands-coëfficiënt c_d als:

$$c_d(z) = \tau / \frac{1}{2} \rho u^2(z) = 2(u_{*}/u(z))^2 \quad (3)$$

(het blijkt, dat c_d een functie is van z , dus een referentie-hoogte moet vermeld worden). Met behulp van (1), (2) en (3) kan afgeleid worden

$$z \exp(-k/\sqrt{\frac{1}{2}c_d(z)}) = \text{const} = z_0.$$

Resubstitutie levert dan

$$u/u_{*} = (1/k) \ln(z/z_0).$$

Grote ruwheden ($z_0 \ll h_0$, $z > h_0$). De invloed van deze ruwheden tracht men te modelleren door extra termen in de vorm van een machtreeks aan vergelijking (1) toe te voegen:

$$du/dz = (u_x/kz) \left(1 + a h_0/z + O\left\{ \left(\frac{h_0}{z} \right)^2 \right\} \right).$$

Met de veronderstelling, dat kwadratische termen verwaarloosd kunnen worden, vindt men na integratie

$$u/u_x = (1/k) \ln \left(\frac{z-d}{z_0} \right)$$

als $d = a h_0 \ll z$.

In de "displacement" lengte d zijn dus ruwheids-effecten verwerkt. Deze parameter wordt echter ook gebruikt als het niveau $z=0$ niet goed aan te geven is, bv. in geaccidenteerd terrein (waar $d < 0$ mogelijk is!).

In de bovenstaande afleidingen zijn de volgende veronderstellingen gemaakt:

- a) neutrale atmosfeer, dus geen thermische impuls-flux
- b) geen horizontale afwijkingen in de homogeniteit.

De invloed van de thermische onstabieleit kan worden verwerkt in het windprofiel door toevoeging van een universele functie ψ

$$u/u_x = (1/k) \left[\ln (z/z_0) - \psi (z/L) \right].$$

De drie onbekenden u/u_x , z/z_0 en z/L kunnen met de volgende recepten, waarvoor geen strikte theoretische achtergrond bestaat, bepaald worden.

- 1) Priestley bepaalt de z_0 uit metingen in een neutrale atmosfeer, waarna voor een aktueel profiel de u_x en de ψ met de gevonden z_0 bepaald kunnen worden.
- 2) Panofsky schat de ψ uit de temperatuursverdeling en/of het windprofiel en doet daarna een uitspraak over z_0 en u_x .

Met behulp van metingen op 2 hoogten kan afgeleid worden:

$$(\ln z_0)_{\text{diabatisch}} = (\ln z_0)_{\text{neutraal}} - \psi$$

hetgeen duidt op een grote invloed van de stabiliteitsfunctie ψ op de z_0 , waardoor het recept volgens Priestley uitsluitend bruikbaar

is, als de stabiliteit i.h.a. praktisch neutraal is, d.w.z. bij meethoogten beneden 10m of windsnelheden boven 8 m/s.

Geconcludeerd kan worden, dat z_0 ook bij stromingen met thermische impuls-flux een nuttige grootheid is, waarvan de invloed afneemt naarmate de stroming sterker stabiel/instabiel wordt.

Het praktische nut van deze windprofiel-formules is, dat bij bekende z_0 en ψ de snelheid met een marge van 20% geschat kan worden. De besproken formules zijn duidelijk alleen geldig in de oppervlakte-laag en omdat deze laag intern is geparаметriseerd, is het vinden van een koppeling met de menglaag als geheel van groot belang o.a. voor het incorporeren van de grenslaag in numerieke verwachtings-modellen. Hiermee staat ook in verband het geïntegreerde effect op de menglaag van gebieden op meso-schaal zoals steden, waarvan de details in de oppervlakte minder belangrijk zijn.

In Marshall's artikel zijn de volgende parameters van belang: de bezettingsgraad $B = d^2/A$, ruwheids-slantheid $R = h/d$ en de verhouding frontaal-oppervlak/grondoppervlak $L_c = RB$ (zie figuur 2, artikel Marshall). De ruwheids-elementen zijn regelmatig opgesteld. Een "random" opstelling bleek weinig verandering in de resultaten tot gevolg te hebben, tenzij een sterke groepering van de ruwheden optrad.

Het fundamentele idee in Marshall's artikel, dat terug te voeren is tot Schlichting, is de veronderstelling, dat de weerstand op de ruwheden en het overgebleven oppervlak afzonderlijk beschouwd kan worden en daarna gesuperponeerd. In formule vorm leidt dit tot de volgende uitdrukking: $C_{d\ tot} = C_{d\ element} RB + C_{d\ opp} (1-B)$, waarin $C_{d\ element}$ is betrokken op het frontaal oppervlak van een ruwheid en $C_{d\ opp}$ op het oppervlak per ruwheids-element. Uit de meet-resultaten volgt dat voor $B \geq 2\%$ à 4% de term $C_{d\ element}$ gaat overheersen.

De resultaten van andere onderzoekingen schijnen deze overgang bij 4% te bevestigen.

- 1) Kawatani beschouwt z_0/h als functie van B en vindt een duidelijk maximum voor $B \sim 4\%$ (Agric.Met.7(1970) 143-148).
- 2) Owen vindt bij metingen aan poreuse platen dat een sprong in de drag-coëfficiënt optreedt voor een poreusheid ($\sim \sqrt{B}$) van ongeveer

20%, hetgeen eveneens leidt tot $B \sim 4\%$. (QJRMS 97 (1971) 396-413).

Geconcludeerd kan worden, dat een bezettingsgraad van 4% een kritieke waarde vormt, waar beneden een verzameling ruwheden als open beschouwd kan worden en de grond een belangrijke invloed heeft, en waarboven de ruwheden als gesloten beschouwd moeten worden en geen invloed meer van de grond bestaat. In open ruwheden is het gebruik van een "displacement" lengte niet noodzakelijk, in tegenstelling met gesloten ruwheden. De waarde van de "displacement" lengte moet bepaald worden voor elk geval. Een goede schatting is voor een zeer dicht gewas 60-80% van de ruwheidshoogte h_0 . Beneden de "displacement" lengte is geen unieke vorm voor het windprofiel aan te geven. Het windprofiel boven een gesloten ruwheidslaag hangt eerder af van de toppen van de ruwheden dan van de hoogte van de ruwheden.

Een ander resultaat uit Marshall's artikel toont, dat ruwheden met een bezettingsgraad van minder dan 10% van de hoofdruwheden geen belangrijke invloed hebben op de totale stroming.

In het experiment, dat beschreven is in het artikel van Sadeh et al, is tengevolge van het relatief hoge model de verhouding ruwheidshoogte - grenslaag ongeveer 1/5. De gebruikelijke waarden in de atmosfeer zijn 1/25. Men kan hier dus eigenlijk geen logaritmisch grenslaag-profiel verwachten.

Uit de resultaten van dit experiment volgt, dat de grenslaag pas na 30 à 40 ruwheidshoogten is aangepast. Hierbij geldt natuurlijk, dat het hier een windtunnel experiment betreft, terwijl in de atmosfeer verschillen in heat flux en locale invloeden een grote rol kunnen spelen. Desondanks geeft dit experiment een bruikbaar idee omtrent de orde van grootte van de aanpassings-lengte.

De overgang glad-ruw wordt eveneens besproken in het artikel van Pasquill. De bewegingsvergelijkingen die deze overgang beschrijven, vormen een niet gesloten stelsel vergelijkingen. Verschillende oplossingen zijn geconstrueerd door de vergelijkingen op verschillende manieren te sluiten. De meest belangrijke zijn dan:

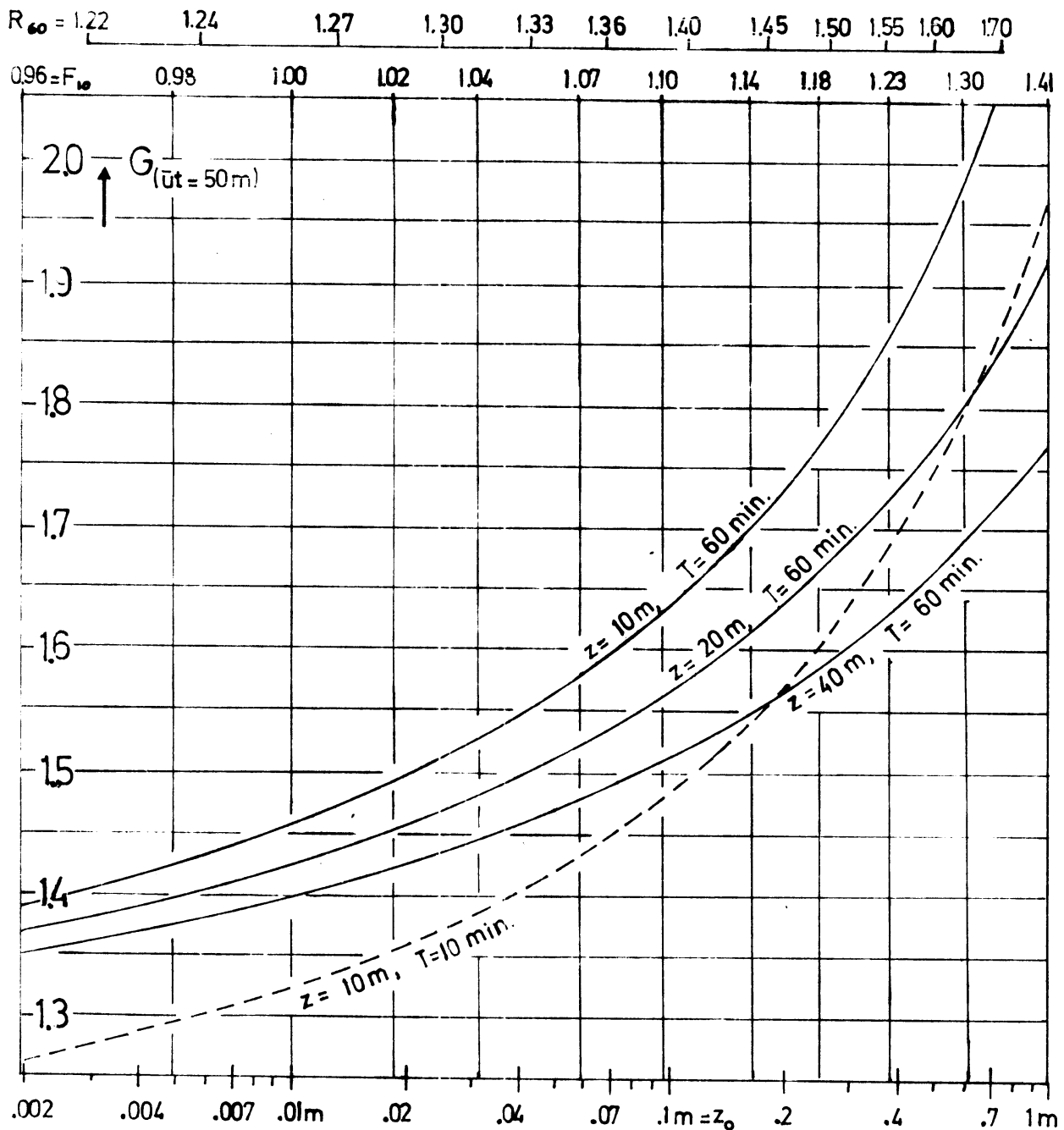
Gandin (1952), Dimitriev (1954), Elliot (1958), Miyake (1961), R.J.Taylor (1962), Panofsky and Townsend (1964), F.B.Smith (1967), Blom and Wartena (1969), Peterson (1969) en P.A.Taylor (1970).

Het idee van Pasquill is om elk stuk ruwheid op te vatten als een put voor momentum. De invloed van een dergelijke put spreidt zich dan uit als een pluim. De invloed van een oppervlak bestaande uit verschillende stukken met ruwheden, kan dan berekend worden door de de diverse pluimen te superponeren.

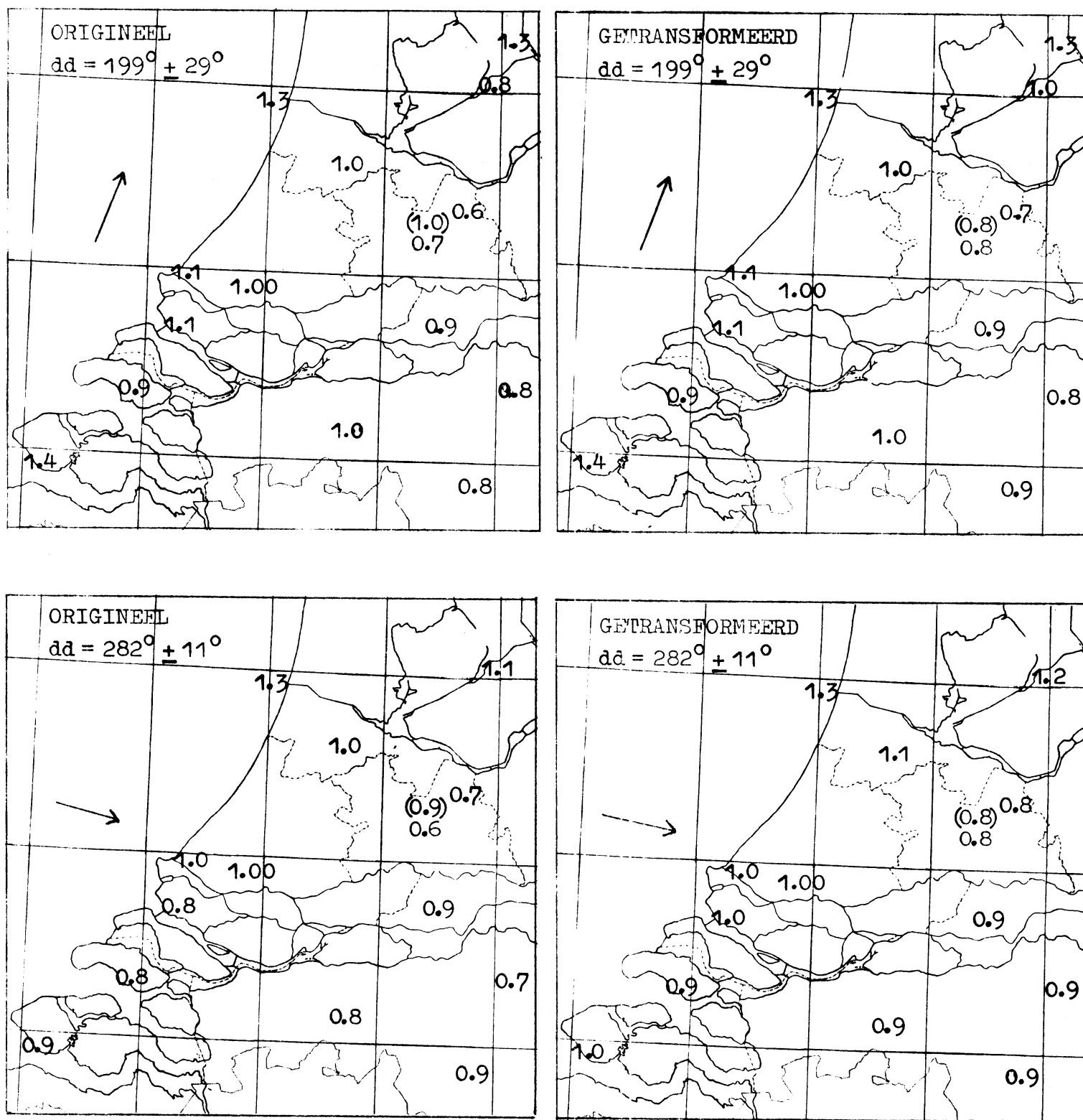
LITERATUUR:

- Blom J., Wartena L.(1969): The influence of changes in surface roughness on the development of the turbulent boundary layer in the lower layers of the atmosphere. *J.Atm.Sc.*26, 255-265.
- Elliott W.P.(1958): The growth of the atmospheric internal boundary layer. *Trans.Am.Geophys.Un.*39, 1048-1054.
- Marshall J.K.(1971): Drag measurements in roughness arrays of varying density and distribution. *Agric.Met.*8, 269-292.
- Panchev S., Donev E., Godev N.(1971): Wind profile and vertical motions above an abrupt change in surface roughness and temperature. *Boundary-Layer Met.*2, 52-63 (bevat ref.naar Dmitriev, Gandin e.a.).
- Panofsky H.A.(1973): Tower micrometeorology. *Am.Met.Soc.Workshop on micrometeorology*, 151-176 (bevat o.a.ref.Miyake).
- Panofsky H.A., Petersen E.L.(1972): Wind profiles and change of terrain roughness at Risø. *Qu.J.Roy.Met.Soc.*98, 845-854.
- Panofsky H.A., Townsend A.A.(1964): Change of terrain roughness and the wind profile. *Qu.J.Roy.Met.Soc.*90, 147-155.
- Pasquill F.(1972): Some aspects of boundary layer description. *Qu.J. Roy.Met.Soc.*98, 469-494.
- Peterson E.W.(1969): Modification of mean flow and turbulent energy by a change in surface roughness under conditions of neutral stability. *Qu.J.Roy.Met.Soc.*95, 561-575.
- Peterson E.W., Bradshaw P.(1969): On the relation between the shear stress and the velocity profile after a change in surface roughness. *J.Atm.Sc.*26, 773-774 en 1353-1355.
- Sadeh W.Z., Cermak J.E., Kawatani T.(1971): Flow over high roughness elements. *Boundary-Layer Met.*1, 321-344.
- Smith F.B.(1967): Modification of the wind profile due to changes in surface roughness. *US-AECL-2787(Chalk River Meeting)* 463-475.
- Taylor R.J.(1962): Small-scale advection and the neutral wind profile. *J.Fluid Mech.*13, 529-539.
- Taylor P.A.(1970): A model of airflow above changes in surface heat flux, temperature and roughness for neutral and unstable conditions. *Boundary-Layer Met.*1, 18-39.
- Taylor P.A.(1971): Airflow above changes in surface heat flux, temperature and roughness; an extension to include the stable case. *Boundary-Layer Met.*1, 474-497.
- Townsend A.A.(1966): The flow in a turbulent boundary layer after a change in surface roughness. *J.Fluid Mech.*26, 255-266.

Het bovenstaande is een verslag van een discussie met inleiding d.d.17 januari 1973 door de turbulentie-discussiegroep (KNMI afd.MO-B, voorz.Dr.H.Tennekes).



Figuur 5. Nomogram voor bepaling van windstructuurparameters uit mediane waarden van de vlagfaktor $G = u_{\max} / \bar{u}$, betrokken op een middelingsperiode T en afgeleid uit windmetingen op hoogte z . Horizontaal zijn gegeven: de ruwheidslengte z_0 , de bijbehorende windsnelheidsverhouding $R_{60} \equiv \bar{u}_{60\text{ m}} / \bar{u}_{10\text{ m}}$, en de bijbehorende omrekeningsfactor F_{10} voor transformatie van een op 10 m hoogte gemeten stationswindsnelheid naar open terrein ($\equiv z_0 = 0.01\text{ m}$). Boven zee (buiten nomogram) geldt: $z_0 \approx 0.0002\text{ m}$, $R_{60} = 1.16$, $F_{10} = 0.92$. Voorondersteld is, dat de stations-windmeter en -windregistratie een (>95%)-betrouwbare bepaling van windvlagen van $\sim 5\text{ sec.}$ duur toestaat.



Figuur 6.

Gemiddelde verhoudingen van lokale windsnelheden ten opzichte van de gelijktijdige windsnelheid te Zestienhoven, zowel vóór als ná transformatie naar 10 m hoogte boven vlak land (d.i. $z_0 = 0.01$ m).

Gebruikte perioden: [$dd = 199^\circ$]: van 12-11-1972 18.00 t/m 13-11-1972 4.00.

[$dd = 282^\circ$]: van 13-11-1972 5.00 t/m 13-11-1972 15.00.

De windsnelheid op de 37 m-toren te De Bilt is tussen haakjes geplaatst.

De windsnelheid(-sverhouding) te Urk is alleen voor de eerste periode bekend.