



Windsnelheidsmetingen op zeestations en kuststations: herleiding waarden windsnelheid naar 10-meter niveau

H. Benschop

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut



Technisch rapport; TR-188

De Bilt, 1996

Postbus 201
3730 AE De Bilt
Wilhelminalaan 10
Telefoon 030-220 69 11
telefax 030-221 04 07

Auteurs: H. Benschop

UDC: 551.501.75
551.552
(210)
(26)

ISSN: 0169-1708

ISBN: 90-369-2101-5



KNMI Technische rapporten; TR-188

**Windsnelheidsmetingen op zeestations en kuststations:
herleiding waarden windsnelheid naar 10-meter niveau**

H.Benschop

De Bilt, februari 1996

Inhoud

1. Inleiding	2
2. Windprofiel	
2.1 Logaritmisch profiel	3
2.2 Charnock formulering	5
3. Ruwheidslengte boven zeeoppervlak	6
4. Herleidingsformule windsnelheid	7
5. Herleiding meetwaarde windstoot naar 10 meter niveau	8
6. Samenvatting en overzicht	10
7. Summary	13
Referenties	16

1. Inleiding

De Wereld Meteorologische Organisatie WMO schrijft voor dat de uurlijkse berichtgeving een windsnelheid en -richting op het niveau 10 meter boven MSL bevat (ref.9). De stations op en aan de Noordzee meten de wind echter op (veel) grotere hoogtes boven MSL: bijvoorbeeld AUK: 103.3 meter boven MSL, K13: 73.8 meter boven MSL. Met name voor de windsnelheid vereist dit een aanpassing naar 10 meter niveau. Deze naar 10 meter herleide waarden windsnelheid worden verspreid in de synopberichtgeving.

De reductiefactoren van de stations in het Meetnet Noordzee zijn in 1977 vastgesteld door het North Sea Meteorological Panel. In dit Panel waren de volgende landen vertegenwoordigd: Noorwegen, Zweden, Denemarken, Duitse Bondsrepubliek, Nederland, België, Frankrijk, Engeland en Ierland. De Nederlandse vertegenwoordiger in het panel was ir.W.D.Moens (KNMI). In het Panel zijn niet minder dan 8 verschillende formules voor de bepaling van de reductiefactor aan de orde gekomen. De z_0 -waarden varieerden hierbij van ca. $2 \cdot 10^{-4}$ m (optie KNMI) tot $18 \cdot 10^{-2}$ m (optie Deens Meteorologisch Instituut). Fysische consensus bleek (toen nog) niet mogelijk, zodat tot een compromisadvies besloten werd, namelijk het gemiddelde van de 8 opties. Dit compromis correleert redelijk aan de machtswetformule

$$\frac{U(z)}{U(10)} = \left(\frac{z}{10} \right)^{0.13}$$

die door de WMO wordt aanbevolen: WMO, no.8 (par.6.6.3.) (ref.9). Deze formule suggereert een verticaal logaritmisches windprofiel met z_0 -waarde van $12.3 \cdot 10^{-3}$ m . (z_0 =ruwheidslengte, een indicatie voor de ruwheid van het oppervlak)

Aldus de ontstaansgeschiedenis van bovengenoemde z_0 -waarde $12.3 \cdot 10^{-3}$ m en bijbehorende factoren.

Inmiddels is duidelijk geworden - onder meer vanwege afwijkingen in modelberekeningen en -analyses, en vergelijking met scheepswaarnemingen - dat de huidige factoren leiden tot een overreductie. Deze constatering strookt met "Windklimaat van Nederland" van J.Wieringa en P.J.Rijkoort, waarin voor z_0 boven zee een veel kleinere waarde wordt genoemd, namelijk $2 \cdot 10^{-4}$ m (ref.5). Echter, bij hogere windsnelheden ($U_{gem} > 10$ m/s) en als gevolg daarvan een ruwe zee, kan men een grotere z_0 -waarde dan $2 \cdot 10^{-4}$ m verwachten (tot maximaal $\approx 10^{-3}$ m volgens schatting van Wieringa).

In dit rapport worden aangepaste herleidingsformules en een daarop gebaseerde nieuwe set herleidingsfactoren voor de windsnelheid gepresenteerd.

2. Windprofiel

2.1 Logaritmisch profiel

De afhankelijkheid van de windsnelheid van de (meet)hoogte boven het land- of wateroppervlak wordt doorgaans weergegeven met een logaritmisch profiel:

$$U(z) = \frac{u_*}{\kappa} \cdot \ln \frac{z}{z_0} \quad (1)$$

z = meethoogte (m)

$U(z)$ = gemiddelde windsnelheid (m/s)

u_* = wrijvingsnelheid (friction velocity) (m/s)

κ = Von Karman constante

z_0 = ruwheidslengte (m)

(ref.1.)

Er zijn restricties met betrekking tot de toepasbaarheid van deze formule:

a) Voorwaarde is dat er sprake is van neutrale atmosferische omstandigheden: een dergelijke toestand zal optreden bij hogere windsnelheden, wanneer er voldoende vermeniging in de luchtlaag is. Bij lagere windsnelheden (ruwweg: boven land $U(10) < 6$ m/s, boven zeeoppervlak $U(10) < 10$ m/s) kan, afhankelijk van de temperatuur van het zeewater ten opzichte van de luchttemperatuur, alsmede van de mate van in- en uitstraling, een stabiele, c.q. instabiele stratificatie van de atmosfeer optreden. Deze effecten compliceren het verticale profiel. Volgens Voorrips et al (ref.6) kan de afwijking van het logaritmisch profiel voor lage windsnelheden als gevolg van stabiliteit c.q. instabiliteit oplopen tot 15 à 20 %. Echter: bij deze lage windsnelheden "verdwijnt" de afwijking voor een belangrijk deel weer in de afronding (in de synop op hele knopen). Het is bovendien moeilijk om de gemeten wind real time te corrigeren voor stratificatie-effecten omdat de mate van stabiliteit, c.q. instabiliteit mede afhankelijk is van een aantal factoren waarvoor de relevante data veelal ontbreekt: bedekkingsgraad, straling, temperatuur zeewater, luchttemperatuur. Vanwege deze -praktische- redenen worden de stratificatie-effecten niet meegenomen in de operationele herleiding van de meetwaarden windsnelheid.

b) Een andere voorwaarde is een ongecompliceerde meetmast. Boorplatforms zijn echter groteske bouwconstructies die een ingewikkelde invloed op het windprofiel zullen hebben. Deze invloed verschilt per windrichting. Het verdient aanbeveling om deze effecten nader te analyseren.

Eventueel zou bij deze analyse gebruik kunnen worden gemaakt van data, die voortkomt uit het ECMWF reanalysis project (periode '79-'94). Deze data zou kunnen worden vergeleken met de op het KNMI gearcheerde meetgegevens.

In dit rapport zijn de invloeden van de platformconstructies buiten beschouwing gelaten.

c) Het logaritmisch profiel en de daaruit te herleiden reductiefactoren zijn in principe alleen bruikbaar voor gemiddelde windsnelheidsgegevens. Deze zijn niet toepasbaar op

windstoten, zeker niet wanneer herleiding van grotere hoogte (> 50 m) naar 10 meter niveau beoogd wordt.

Uit (1) volgt:

$$z_0 = z \cdot e^{-\frac{\kappa}{u_* / U(z)}} \quad (2)$$

Een veelvuldig gebruikte grootheid is de dragcoëfficiënt C_D , die gedefinieerd is als:

$$C_D(z) = u_*^2 / U(z)^2 \quad (3)$$

Uit (2) en (3) volgt:

$$z_0 = z \cdot e^{-\frac{\kappa}{\sqrt{C_D(z)}}} \quad (4)$$

De Von Karman constante κ wordt meestal benaderd met:

$$\kappa \approx 0.4$$

, hoewel ook iets lagere waarden (0.36 - 0.38) zijn voorgesteld (ref.10).
Bezien wij de situatie op 10 meter niveau ($z = 10 \text{ m}$) dan volgt uit (4):

$$z_0 = 10 \cdot e^{-\frac{0.4}{\sqrt{C_{DN}}}} \quad (5)$$

met C_{DN} is dragcoëfficiënt op 10 m niveau.

2.2 Charnock formulering

De Charnock relatie voor de ruwheidslengte is als volgt:

$$z_0 = \beta \times u_*^2 / g \quad (6)$$

met $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ en β de zogeheten Charnock constante:

Substitutie van (3) in (6) levert voor $z = 10 \text{ m}$ op:

$$z_0 = \frac{\beta \cdot C_{DN} \cdot U(10)^2}{g} \quad (7)$$

Voor het bepalen van β is een groot aantal experimenten in alle soorten omstandigheden gedaan. Hieruit is door Wu (1980) een gemiddelde waarde 0.0185 afgeleid. (ref. 4). In een specifieke situatie, zoals een min of meer afgesloten bassin en een betrekkelijk ondiep water (zoals de Noordzee) moet echter met een hogere β dan deze gemiddelde waarde rekening worden gehouden (ref. 10). Op grond van een ijking van modellen is voor de Noordzee een bruikbare β -waarde van ≈ 0.032 gevonden (ref.3, 11 en 12).

3. Ruwheidslengte boven zeeoppervlak

De dragcoëfficiënt en de ruwheidslengte zijn in het geval van een wateroppervlak afhankelijk van de windsnelheid.

Het verband tussen C_{DN} en $U(10)$ is onderzocht door Onvlee en Smith et al (respectievelijk ref.3 en 8, in het bijzonder figuur 1 in ref.3 en figuur 11 op pag. 136 in ref.8).

Interpretatie van deze verbanden impliceert voor de Noordzee de onderstaande formule:

$$C_{DN} = \{ 0.08 U(10) + 0.9 \} 10^{-3} \quad (8)$$

In onderstaande tabel wordt bij een zestal geselecteerde waarden van $U(10)$ (5, 10, 15, 20, 25, 30 m/s) de bijbehorende waarden van C_{DN} en z_0 gegeven.

$U(10)$ (m/s)	C_{DN} form.(8) (*10 ⁻³)	z_0 formule (5) (*10 ⁻³ m)	z_0 formule (7) $\beta=0.032$ (*10 ⁻³ m)	z_0 form.(7) $\beta=0.0185$ (*10 ⁻³ m)
5	1.3	0.1	0.1	0.06
10	1.7	0.6	0.5	0.3
15	2.1	1.6	1.6	0.9
20	2.5	3.4	3.3	1.9
25	2.9	5.9	5.9	3.4
30	3.3	9.5	9.7	5.6

4. Herleidingsformule windsnelheid

In principe is de ruwheidslengte z_0 op zee afhankelijk van de heersende golftoestand (ref.2). Zowel bij het directe operationele gebruik als bij latere analyses is het echter gewenst dat het verband tussen meetwaarde en synopwaarde niet zeer gecompliceerd is. Om deze reden wordt (vooralnog) gekozen voor één representatieve z_0 -waarde voor zeeoppervlak (in het bijzonder de Noordzee). Deze z_0 wordt gegrond op een normatieve windsnelheid $U(10)=15$ m/s.

Uitgaande van een jonge zee, een min of meer afgesloten bassin en een betrekkelijk ondiep water (vergelijk de Noordzee), kunnen wij formule (5) of formule (8) gebruiken voor de vaststelling van de reductiefactoren. In beide genoemde formules vinden wij voor de ruwheidslengte de waarde:

$$z_0 = 0.0016 \text{ m.}$$

De marges voor respectievelijk vlakke zee en zeer ruwe zee kunnen wij baseren op $z_0 = 0.0001$ m, resp. 0.01 m.

Uit (1) volgt de factor waarmee de windsnelheid $U(z)$ op hoogte z naar 10 m kan worden herleid:

$$\frac{U(z)}{U(10)} = \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(10/z_0)} \quad (9)$$

met z = sensorhoogte boven MSL
 $U(z)$ = gem.windsnelheid op hoogte z (m/s)
 $U(10)$ = idem op 10 meter niveau
 z_0 = $1.6 \cdot 10^{-3}$ m
 (de marges op grond van $z_0=0.1 \cdot 10^{-3}$ m en 0.01 m)

In extreme situaties (zeer vlakke of zeer ruwe zee) zal het hanteren van één vaste herleidingsfactor tot fouten in de windsnelheidsregistratie van ca. 1 m/s kunnen leiden, zoals onderstaand rekenvoorbeeld aantoont (station F3):

U(59)	z_0	U(10)
25 m/s	$10 \cdot 10^{-3}$ m	$25/1.25 = 20$ m/s
	$1.6 \cdot 10^{-3}$ m	$25/1.20 = 21$ m/s
10 m/s	$1.6 \cdot 10^{-3}$ m	$10/1.20 = 8.3$ m/s
	$0.1 \cdot 10^{-3}$ m	$10/1.15 = 8.7$ m/s

Deze afwijking blijft binnen de nauwkeurigheidsmarge die de WMO aangeeft voor synopcode windsnelheid: ± 0.5 m/s voor ≤ 5 m/s en $\pm 10\%$ voor > 5 m/s (ref.9, annex X). Hiermee wordt de keuze om slechts één, gemiddelde, z_0 -waarde te hanteren gerechtvaardigd. Met het oog op eventueel latere bewerkingen van de data en toekomstige analyses is het noodzakelijk dat of de oorspronkelijke meetwaarden worden gearchiveerd, of de 10 meterwaarden plus de gebruikte herleidingsfactor.

5. Herleiding meetwaarde windstoot naar 10 meter niveau

De code bevat een waarde voor de maximale windsnelheid in het uurvak: FX. Het gaat hierbij om het hoogste 3-seconden gemiddelde in het uur. De WMO schrijft voor dat zowel land- als zee stations de waarde op 10-meter niveau geven (analoog de gemiddelde windsnelheid dus). Conclusie: voor de stations van meetnet Noordzee moet ook FX(z) op de een of andere wijze herleid worden naar 10 meter niveau (z is meethoogte windsnelheid).

Hier zal een viertal methodes om FX(10) te bepalen nader worden bestudeerd:

- 1) FX(10) krijgt dezelfde waarde als FX(z): $FX(z) = FX(10)$
- 2) De meetwaarde FX(z) wordt met dezelfde factor herleid als waarmee de waarde U(z) (=gemiddelde windsnelheid over het uurvak) wordt gecorrigeerd naar 10 meter niveau: $FX(10) = \{U(10)/U(z)\} * FX(z)$
- 3) We maken gebruik van de mediane waarde van de vlagfactor $\langle G(z) \rangle$: formule 12. FX(10) wordt berekend met behulp van de herleide U-waarde en $\langle G(10) \rangle$. We krijgen: $FX(10) = \langle G(10) \rangle * U(10)$
- 4) De gemeten vlagfactor op hoogte z wordt naar 10 meter niveau herleid met behulp van de verhouding van $\langle G(10) \rangle$ en $\langle G(z) \rangle$. Vervolgens wordt U(10) vermenigvuldigd met deze herleide vlagfactor. Dit levert FX(10) op: $G(z) = FX(z)/U(z)$ en voor $z = 10$: $G(10) = FX(10)/U(10)$

$$\frac{G(10)}{G(z)} = \frac{\langle G(10) \rangle}{\langle G(z) \rangle} = \frac{FX(10) * U(z)}{U(10) * FX(z)} \quad (10)$$

$$FX(10) = \frac{\langle G(10) \rangle}{\langle G(z) \rangle} * \frac{FX(z)}{U(z)} * U(10) \quad (11)$$

$\langle G(z) \rangle$ kan als volgt worden berekend (ref.5, p.56 e.v. en ref.7):

$$G = f_r * \left(1 + \frac{1.42 + 0.3 * \ln\left(\frac{10^3}{U_t} - 4\right)}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \right) \quad (12)$$

- $f_r = 1.0$ in geval van 10 minuten data, en 1.1 in geval van uurdata
- $U_t =$ vlaggolflengte $\rightarrow \approx 50$ m. uitgaande van een windstoot van 15 à 20 m/s en een duur van ca. 3 s.

- De bruikbaarheid van methode 1 is twijfelachtig indien het meetniveau veel hoger is dan 10 meter.
- De herleidingsfactor op grond van een logaritmisch windprofiel (methode 2) is in principe geent op gemiddelde windsnelheden (middeling over tijdvak ≥ 10 minuten). Het is twijfelachtig of deze aanpak toepasbaar is op situaties van windstoten.
- In methode 3 wordt $FX(z)$ geheel genegeerd. In de meeste gevallen zal het een redelijke benadering zijn. Bij sommige weersituaties, bijvoorbeeld hevige buien met windstoten, kunnen echter grote afwijkingen ten opzichte van de werkelijke waarden ontstaan.
- Methode 4 lijkt fysisch het meest realistisch, doch nader onderzoek is vereist. Een steekproefsgewijze vergelijking van 10 meter- en 80 meter winddata van de Cabauw-mast suggereert dat (in ieder geval boven land) deze optie het meest in aanmerking komt. Vooralsnog wordt om pragmatische redenen deze herleidingsmethode voorgesteld voor operationeel gebruik. Experimenteel onderzoek met metingen op verschillende hoogtes boven zeeoppervlak is noodzakelijk om de keuze te onderbouwen.

Uit (11) volgt:

$$\frac{FX(10)}{FX(z)} = \frac{\langle G(10) \rangle}{\langle G(z) \rangle} * \frac{U(10)}{U(z)} \quad (13)$$

Herleiding $U(z)$ naar $U(10)$ gaat conform het logaritmisch profiel (formule (9):

$$\frac{U(10)}{U(z)} = \frac{\ln \frac{10}{z_0}}{\ln \frac{z}{z_0}} \quad (14)$$

Na substitutie van $\langle G \rangle$ en $z_0 = 1.6 \cdot 10^{-3}$ m wordt de herleidingsfactor:

$$\frac{FX(z)}{FX(10)} = \frac{2.252 + \ln \frac{z}{0.0016}}{10.995} \quad (15)$$

6. Samenvatting en overzicht

De Wereld Meteorologische Organisatie WMO schrijft voor dat de (uurlijkse) waarnemingen windsnelheid en windrichting dienen te geschieden op een meethoogte van 10 meter boven open en vlak terrein c.q. boven gemiddeld zeeniveau (MSL). De meetstations op en aan de Noordzee hebben hun windmeetapparatuur echter in het algemeen op veel grotere hoogtes boven MSL bevestigd. De meetwaarden dienen dus herleid te worden naar 10 meter niveau. Gebleken is dat de thans door het KNMI gebruikte herleidingsformules niet optimaal voldoen, er is sprake van "overreductie". In dit rapport wordt een aangepaste herleidingsmethodiek voor de windsnelheid gepresenteerd.

Voorgesteld wordt om als herleidingsfactor voor de gemiddelde windsnelheid te hanteren:

$$\frac{U(z)}{U(10)} = \frac{\ln \frac{z}{0.0016}}{8.7403}$$

De voorgestelde herleidingsfactor voor de windstoot FX is:

$$\frac{FX(z)}{FX(10)} = \frac{2.252 + \ln \frac{z}{0.0016}}{10.995}$$

Voor het KNMI is een aantal stations op of aan de Noordzee relevant in verband met datagebruik of inspectie. Hieronder volgt het overzicht van deze stations met per station aangegeven de meethoogtes, alsmede de oude en nieuwe herleidingsfactoren.

Voor de goede orde: de factor is in dit geval het getal, waardoor de meetwaarde (op niveau z) gedeeld moet worden!

station	meethoogte z (m)	thans gebruikte factor	herl.factor U(met foutmarge)	herl.factor FX
AUK	103.3	1.355	1.27±0.07	1.21
EKO	85.0	1.322	1.25±0.06	1.19
Europlat	29.1	1.148	1.12±0.03	1.10
K13	73.8	1.298	1.23±0.06	1.18
F3	59.2	1.26	1.20±0.05	1.16
LE Goeree	38.3	1.120*	1.15±0.04	1.12
MP Noordwijk	27.6	1.142	1.12±0.03	1.09
HN IJmuiden	18.5	1.025*	1.07±0.02	1.06
Hoek v Holl.	15.0	1.055	1.045±0.01	1.04
Huibertgat	18.0	1.000*	1.07±0.02	1.05
Texelhorst	10.0	1.000	1.00±0.00	1.00
Nrth Corm.	101.3	1.355	1.27±0.07	1.21
Neddrill 4	var.**	-	p.m.	p.m.
ENSCO-71	var.**	-	p.m.	p.m.
L/7-Q	57.0	1.254	1.20±0.05	1.16
Helder(407)	60.0	1.262	1.21±0.05	1.16
P/6-A	45.0	1.216	1.17±0.05	1.14
K/14-C	70.0	1.288	1.22±0.06	1.18
J/6-A	50.0	1.233	1.18±0.05	1.15

* gebaseerd op een verkeerde waarde van de hoogte van de meetlocatie

** de lokatie van deze platforms varieert, dit betekent dat de hoogte van de windmeter boven zeeniveauniveau afhankelijk is van de zeediepte (NB de lengte van de platformpoten is constant)

Voor de windstations van het Meetnet Zege (Zeeland) zouden de volgende herleidingsfactoren gehanteerd moeten worden (thans vindt geen herleiding naar 10 m plaats):

Station	Hoogte boven NAP (m)	herl.factor U	herl.factor FX
Cadzand CAWI	17.0	1.06±0.02	1.05
Schaar OS4	16.5	1.06±0.02	1.045
O'schelde BG2	16.5	1.06±0.02	1.045
Tholen MRG	16.5	1.06±0.02	1.045
Vl.vd Raan VR	16.5	1.06±0.02	1.045
Hoofdplaat HFPL	16.5	1.06±0.02	1.045
Stavenisse STAV	16.5	1.06±0.02	1.045
Terneuzen TNWI	26.5	1.11±0.03	1.09
Hansweert HAWI	16.0	1.055±0.02	1.04

Een aantal stations staat aan de kust (IJmuiden, Hoek van Holland, Texelhorst, Cadzand, Hoofdplaat, Stavenisse, Terneuzen, en Hansweert). De voor deze stations genoemde herleidingsfactoren zijn alleen van kracht voor wind komend over zee. In de overige windrichtingen gelden landcondities. In deze gevallen dienen de beschuttingsfactoren die met behulp van de vlaaganalyse methode van Wieringa berekend kunnen worden (ref.5 en 7.) gebruikt te worden om de windsnelheid te herleiden. In feite is dit ook van toepassing op een aantal "land"stations aan de kust (Vlissingen, Wijdenes, Stavoren, Lauwersoog, Terschelling West, Houtrib). Deze stations zijn in dit verhaal buiten beschouwing gelaten.

7. Summary

The World Meteorological Organisation requires that the synoptic weather stations supply the hourly values of wind velocity and wind direction at a level of 10 meters above MSL. This rule concerns data of land stations as well as the data at sea surface. However, the synoptic stations on the Noordzee, for instance at oil platforms, do measure wind velocity and -direction at much higher levels: at AUK 103.3 meter above MSL, at K13: 73.8 meter above MSL, and so on. Especially for the values of wind velocity a procedure or an algorithm is therefore required to reduce these values to 10 meter level, before distribution in the synop.

Present reduction factors for the wind velocity of the North Sea stations were determined in 1977 by the North Sea Meteorological Panel. In this panel all the involved countries were represented: Norway, Sweden, Danmark, Germany, Netherlands, Belgium, France, United Kingdom, Ireland. The factors are well correlated with the Power Law formula, recommended by the WMO: WMO, no.8 (par.6.6.3.) (ref.9):

$$\frac{U(z)}{U(10)} = \left(\frac{z}{10}\right)^{0.13}$$

Model analyses, synchronic observations at ships and theoretical arguments from Wieringa (ref.5) suggested that the used factors caused an overreduction of the wind velocity. A study has therefore been carried out to derive more realistic reduction factors for the North Sea stations, the results of which are presented in this technical report.

The dependence between wind velocity and observation height above open country or sea is usually given by a logarithmic profile:

$$U(z) = \frac{u_*}{\kappa} \cdot \ln \frac{z}{z_0}$$

- z = observation height (m)
- U(z) = average wind velocity (m/s)
- u_{*} = friction velocity (m/s)
- κ = Von Karman constant (taken to be 0.4)
- z₀ = roughness length (m)

(ref.1.)

A restriction is that the formula is valid only in the case of neutral atmospheric conditions. Such a situation will occur at high wind velocities. At lower velocities (above country: U(10) < 6 m/s, above sea U(10) < 10 m/s) the stability c.q. instability of the atmosphere may complicate the vertical wind profile. The deviation of the logarithmic profile as a result of these effects will be in the order of 15 à 20 procent (ref.6). However: in the situation of low wind velocities the deviation will be less than the round off error of the value to kts. Another point is that the wind data can hardly be corrected for stratification effects in real time because of the dependency of these effects to some factors on which the relevant data is missing (cloudiness, radiation, temperature of the air and the seawater). For these - practical - reasons stratification effects are left out of consideration in the reduction process of the wind velocity.

An other condition of the use of the logarithmic formula is an uncomplicated observation area. However oil platforms are very grotesque constructions evidently influencing the wind measurement. Because of practical and operational reasons these effects are not taken in consideration. An analysis of the effect at every station would be recommended.

Using the logarithmic profile and the definition of the dragcoefficient C_D one can find the following relation for the roughness length (observation height $z = 10$ m):

$$z_0 = 10 \cdot e^{-\frac{0.4}{\sqrt{C_{DN}}}}$$

Using the Charnock formula one can find an alternative formula for the roughness length

$$z_0 = \beta \times u_*^2 / g$$

where $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ and β is the Charnock constant. In open ocean situations β has a value of about 0.0185 (ref.4); in a secluded, shallow basin as the North Sea higher values of β seem to be more appropriate: $\beta = 0.032$ (ref.3, 11 and 12).

The relation between the drag coefficient C_{DN} and the wind velocity $U(10)$ has been studied by several groups (ref.3 and 8). Based on these studies the following relation would be suitable for practical use:

$$C_{DN} = \{ 0.08 U(10) + 0.9 \} 10^{-3}$$

The roughness length z_0 on the sea surface depends on the wave state and, indirectly, on the wind velocity. For operational use and because of recalculations to the original observation values in future data- and modelanalyses it would be preferably to have a rather simple relationship between measuring value and synoptic value. Therefore it is suggested to take one representative value for the roughness length z_0 for the determination of the 10 meter wind velocity over the North Sea. Using an average wind velocity - $U(10) = 15 \text{ m/s}$ in the above mentioned formulas for finding the dragcoefficient and the the roughness length (using $\beta = 0.032$) one can find:

$$z_0 = \underline{0.0016 \text{ m}}.$$

To reduce the horizontal wind speed at observation height z to 10 meter above MSL one can use the logarithmic profile:

$$\frac{U(z)}{U(10)} = \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(10/z_0)}$$

We can estimate the error margins on the calculated wind speed by considering extreme situations (very flat sea and low windspeed: $z_0 = 0.1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$, versus very rough sea with high waves and high windspeed: $z_0 = 0.01 \text{ m}$). Those errors are within the accuracy decreted by the WMO for synoptic wind speed values: $\pm 0.5 \text{ m/s}$ for $U \leq 5 \text{ m/s}$ and $\pm 10\%$ for $U > 5 \text{ m/s}$ (ref.9, annex X).

So, the proposed reduction factor for the average wind speed is:

$$\frac{U(z)}{U(10)} = \frac{\ln \frac{z}{0.0016}}{8.7403}$$

z: observation height above mean sea level (m).

The reduction of the maximum hourly wind speed to 10 meter level has been based on a theoretical formula for the gust factor at height z and the relation between gust factors on 2 considered different levels above sea. This hypothesis will be the most plausible for our aim.

Using $G(z) = FX(z)/U(z)$ and

$$\frac{G(10)}{G(z)} = \frac{\langle G(10) \rangle}{\langle G(z) \rangle} = \frac{FX(10) * U(z)}{U(10) * FX(z)}$$

one can find

$$FX(10) = \frac{\langle G(10) \rangle}{\langle G(z) \rangle} * \frac{FX(z)}{U(z)} * U(10)$$

$\langle G(z) \rangle$ can be calculated as follows (ref.5 and ref.7):

$$G = f_T * \left(1 + \frac{1.42 + 0.3 * \ln \left(\frac{10^3}{U_t} - 4 \right)}{\ln \frac{z}{z_0}} \right)$$

- $f_T = 1.0$ in the case of using 10 minuten data for wind velocity,
- $f_T = 1.1$ in the case of hourly data,
- $U_t =$ gust wavelength: ≈ 50 m. (gust $FX \approx 15$ à 20 m/s and gustperiod ≈ 3 s,
- $z =$ observation height (m)
- $z_0 =$ roughness length (taken to be 0.0016 m)

The proposed reduction factor for the wind gust FX then becomes:

$$\frac{FX(z)}{FX(10)} = \frac{2.252 + \ln \frac{z}{0.0016}}{10.995}$$

Referenties

- 1) The measurement of gustiness at routine windstations, A.C.M.Beljaars, Paper presented at the WMO technical conference on instruments and methods of observation (TECO-1988) Leipzig, 16-20 May 1988, WMO, Geneve, p. 311-316, 1988;
- 2) The roughness of windwaves, N.Maat, C.Kraan and W.A.Oost, *Boundary-Layer Meteorology* 54, p. 89-103, 1991;
- 3) The performance of dragrelations in the WAQUA storm surge model, J.R.N. Onvlee, KNMI Technical Report no.149, KNMI, De Bilt, 1993;
- 4) Windstress coefficients over sea surface near neutral conditions: a revisit, J.Wu, *J.Phys.Ocean.* 10, p. 727-740, 1980;
- 5) Windklimaat van Nederland, J.Wieringa and P.J.Rijkoort, Staatsuitgeverij 'sGravenhage, 1983;
- 6) Atmospheric stratification: consequences for operational wave modelling, A.C.Voorrips, V.K.Makin and G.J.Komen, KNMI-document, to appear in the Proceedings of the Air-Sea Interface Symposium, Marseille, France, 23-30 june 1993, KNMI, De Bilt, 1993;
- 7) Gust factors over open water and built-up country, J.Wieringa, *Boundary-Layer Meteorology* 3, p. 424-441, 1973;
- 8) Sea surface wind stress and drag coefficients: the HEXOS-results, S.D.Smith, R.J.Anderson, W.A.Oost, C.Kraan, N.Maat, J.DeCosmo, K.B.Katsaros, K.L.Davidson, K.Bumke, L.Hasse and H.M.Chadwick, *Boundary-Layer Meteorology* 60, p. 109-142, 1992;
- 9) WMO-guide to meteorological instruments and methods of observation, WMO no.8, 5th ed., WMO, Geneve, 1983;
- 10) Bulk parametrisations for the windstress and heat fluxes, G.L.Geernaert, in: *Surface Waves and Fluxes*, Volume 1, Geernaert and Plant (eds), p. 91-172, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1990;
- 11) The dynamical coupling of a wave model and a storm surge model through the atmospheric boundary layer, C.Mastenbroek, G.Burgers and P.A.E.M.Janssen, *J.Phys.Ocean.*23, p. 1856-1866, 1993;
- 12) Drag of the sea surface, V.K.Makin, V.N.Kudryavtsev and C.Mastenbroek, *Boundary-Layer Meteorology* 73, p. 159-182, 1995.