



KNMI Technisch Rapport TR-277

# Representativiteit windmetingen, in het bijzonder op luchthavens

**Henk Benschop**

## Inhoud

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Inleiding.....                                                                              | 3  |
| 2. Berekening ruwheid en beschuttingsfactor.....                                               | 5  |
| 2.1 Potentiële windsnelheid en beschuttingsfactor.....                                         | 5  |
| 2.2 Vlaaganalyse en berekening terreinruwheid.....                                             | 6  |
| 2.3 Berekening beschuttingsfactor uit ruwheid.....                                             | 7  |
| 2.4 Berekenende beschuttingsfactoren Schiphol.....                                             | 9  |
| 3. Inschatting ruwheidslengte en beschuttingsfactor.....                                       | 11 |
| 3.1 Ruwheidsclassificatie Davenport.....                                                       | 11 |
| 3.2 Toepassing ruwheidsclassificatie bij 2 locaties op Schiphol.....                           | 12 |
| 3.3 Discussie ruwheidsclassificatie naar aanleiding van windmetingen vliegveld Beek.....       | 17 |
| 4. Condities voor de omgeving van de meetlocatie en de representativiteit van de metingen..... | 21 |
| 4.1 Voorwaarden voor omgeving windmeetlocatie.....                                             | 21 |
| 4.2 Specifieke windmeet condities op luchthavens.....                                          | 21 |
| 5. Inspectie.....                                                                              | 23 |
| 5.1 Inspectieprocedures windmetingen.....                                                      | 23 |
| 5.2 Rapportage inspectie windmetingen.....                                                     | 24 |
| 6. Bepalen back-up schema.....                                                                 | 29 |
| 6.1 Criteria voor back-up windmeting.....                                                      | 29 |
| 6.2 Configuratie windmeetnet Schiphol.....                                                     | 29 |
| 6.3 Formulering back-up schema Schiphol.....                                                   | 30 |
| 7. Summary.....                                                                                | 37 |
| 8. Conclusies en aanbevelingen.....                                                            | 39 |
| Literatuur en referenties.....                                                                 | 41 |

KNMI, De Bilt, mei 2005



## *1. Inleiding*

Het rapport beoogt een beschrijving te geven van de door het KNMI gehanteerde methoden ten behoeve van kwaliteitsborging inzake operationele metingen windsnelheid. De representativiteit van de metingen voor de directe en ruimere omgeving is in zekere mate afhankelijk van de terreinruwheid en aanwezigheid van bepaalde objecten in de omgeving van de windmeet locatie. Feitelijk dus de mate waarin het naburige landschap afwijkt van het grootschaliger landschap waarvoor de metingen bedoeld zijn.

Een belangrijke factor om deze mate van representativiteit te kunnen duiden is de zogeheten beschuttingsfactor (BF). Derhalve wordt in dit rapport in eerste instantie uitgebreid in gegaan op de wijze waarop deze beschuttingsfactor per windrichting operationeel wordt bepaald. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen:

- a) de berekende waarde BF: Voor de uitvoering van de berekening is een adequate dataset meetwaarden windrichting en -snelheid vereist.
- b) de ingeschatte waarde BF: Een schatting kan worden gedaan in het geval geen of onvoldoende metingen beschikbaar zijn; de schatting geschiedt op basis van theoretische methoden en landschapclassificatie.

Vervolgens wordt een overzicht gegeven van de door het KNMI geformuleerde condities met betrekking tot de omgeving van een windmeet locatie. De condities zijn voor een deel gegrond op informatie inzake de beschuttingsfactor. Beschreven worden de condities aan de omgeving van een meetlocatie:

- bij grootschalig gebruik van de windmetingen (SYNOP/ METAR/ KLIM, modelverificatie, e.d.);
- bij lokaal gebruik van de metingen, bijv. ten behoeve van een beschrijving van de windsituatie op een nabijgelegen start-/landingsbaan.

In het volgende hoofdstuk wordt ingegaan op de wijze waarop de betrokken KNMI-functionarissen gebruik kunnen maken van de beschuttingsfactoren, landschapsbeschrijving en geformuleerde condities ten einde tot een adequate kwaliteitscontrole met betrekking tot windmetingen te komen. In het bijzonder wordt ook aandacht besteed aan de inspectieprocedures en –rapportage. Een goede uitvoering draagt sterk bij aan de kwaliteitsgarantie van de metingen en de daaruit voortvloeiende data.

Tot slot wordt in dit rapport een specifiek aspect van de kwaliteits- en representativiteitsanalyse van windmetingen beschouwd, namelijk het ontwikkelen van een back-up schema. Dit is met name van toepassing voor luchthavens, waar real time beschikbaarheid van winddata van cruciaal, ja zelfs van levensbelang is. Bij uitval van een meting dient dan direct te kunnen worden geschakeld naar een nabije operationele meting waarvan de mate van representativiteit ten aanzien van de beoogde omgeving goed geduid is.



## ***2. Berekening ruwheid en beschuttingsfactor***

### **2.1 Potentiële windsnelheid en beschuttingsfactor**

De gemeten gemiddelde windsnelheid kan door de aanwezigheid van bepaalde objecten in de directe omgeving van de meetlocatie niet representatief zijn voor de windsnelheid van het grootschalige windveld. Feitelijk is dan bij een bepaalde windrichting sprake van beschutting ter plekke van de mast als gevolg van zo'n object. Het windveld zal zich pas (ver) voorbij de meetmast volledig hersteld hebben. De beperkte ruimte en allerlei andere infrastructurele factoren maken het (helaas) in de meeste gevallen onvermijdelijk dat een windmast gesitueerd wordt in de nabijheid van storende objecten. Niettemin willen gebruikers van windsnelheidsdata de beschikking hebben over representatieve windinformatie voor het beschouwde gebied. Dat betekent dat de gemeten waarden op de een of andere wijze herleid moeten worden naar waarden die wel representatief en dus bruikbaar zijn. Een representatieve waarde is een waarde die past bij het grootschaliger landschap met een bepaalde uniforme terreinruwheid.

Standaard is dat de ruime omgeving van de meetmast, afgezien van incidentele objecten, vlak is. Het gaat er dus om een methodiek te introduceren waarmee de gemeten windsnelheid wordt getransformeerd naar een windsnelheid die ter plekke van de windmast zou optreden, indien de directe omgeving van de mast geheel vlak is, dat wil zeggen in het geval de objecten afwezig zouden zijn. Men spreekt dan van de potentiële windsnelheid. Een dergelijke herleiding is overigens uitsluitend van toepassing op de gemiddelde windsnelheid (middelingsperiode  $\geq 10$  minuten). Bij kortere middelingsperiodes en meer in het bijzonder bij de beschrijving van windvlagen/-stoten spelen (in-) stabiliteitsinvloeden van de atmosfeer een nadrukkelijke rol. Deze overheersen de beschuttingsinvloed van incidentele objecten en maken derhalve de herleidingsmethodiek onbruikbaar.

Een aantal operationele windmeetlocaties in het nationale meetnet bevindt zich in een bosachtig, soms enigszins geaccidenteerd landschap (bijvoorbeeld Arcen of Twente). De berekende potentiële wind is gedefinieerd voor een vlakke omgeving. In het geval van een meetlocatie in ruw, bosachtig land zal dus nog een extra herleiding, c.q. interpretatie van de potentiële waarde noodzakelijk zijn. Dit rapport concentreert zich op de standaardsituatie, dat wil zeggen de herleidingsmethodiek naar de gedefinieerde potentiële windsnelheid.

Ten einde uit de gemeten gemiddelde windsnelheid een potentiële wind te kunnen bepalen, wordt de gemiddelde windsnelheid per windrichtingsector (bijvoorbeeld per sector van  $10$  booggraden) vermenigvuldigd met een factor, de zogeheten beschuttingsfactor (BF). Deze factor kan per windrichtingsector worden berekend uit de gearchiveerde data windsnelheid en windrichting. In het geval van een meetresolutie voor de windrichting van  $1$  booggraad, d.i. conform de KNMI-specificatie, wordt de data gesampled tot sectoren van  $10$  booggraden.

Het gaat het dan per windstation om in totaal 36 BF's voor de volgende sectoren:

- $10 \pm 5$  bgr. (d.i. het sample 6, 7, 8,...15 bgr.),
- $20 \pm 5$  bgr. (d.i. het sample 16, 17, 18,...25 bgr.),
- $30 \pm 5$  bgr. (d.i. het sample 26, 27, 28,...35 bgr.),
- ...
- $350 \pm 5$  bgr. (d.i. het sample 346, 347, 348,...355 bgr.),
- $360 \pm 5$  bgr. (d.i. het sample 356, 357, 358, 359, 360, 1, 2, 3, 4, 5 bgr.).

Klimatologische databestanden zijn gebaseerd op de berichten SYNOP en KLIM. In deze berichtgevingen zijn de waarden windrichting gegeven met een resolutie van 10 booggraden. Bij deze resolutie en de daarmee samenhangende onzekerheid wordt de BF-berekening in principe beperkt tot sectoren à 20 booggraden. BF-berekening per 10 booggraden is ook mogelijk. Bij een indeling in sectoren van 20 booggraden, worden in totaal 18 BF's berekend:

- sample 10, 20 bgr., d.i. gebied  $10 \pm 5$  bgr. en  $20 \pm 5$  bgr., dwz 5 – 25 bgr.;
- sample 30, 40 bgr., d.i. gebied  $30 \pm 5$  bgr. en  $40 \pm 5$  bgr., dwz 25 – 45 bgr.;
- ...
- sample 350, 360 bgr., d.i. gebied  $350 \pm 5$  bgr. en  $360 \pm 5$  bgr., dwz 345 – 360 – 5 bgr.

Indien de verstoring in het windveld optreedt door bomen in de nabijheid van het meetstation, is sprake van een seizoensafhankelijke beschutting, dat wil zeggen er zal een grotere BF zijn als de bladeren nog aan de bomen zitten. In deze situatie worden 2 BF's per windrichtingsector à 10 booggraden berekend, namelijk een BF voor de zomerperiode (mei t/m oktober) en een BF voor de winterperiode (november t/m april).

Per station wordt in principe éénmaal per 4 jaar of na een verplaatsing van de meetmast c.q. bij ingrijpende wijzingen van de omgeving (ter beoordeling van de inspecteur) een (her)berekening van de beschuttingsfactoren gedaan. Een herberekening kan overigens pas worden gedaan zodra voldoende data in de nieuwe situatie beschikbaar is.

## 2.2 Vlaaganalyse en berekening terreinruwheid

De berekening van de beschuttingsfactor is gebaseerd op het verband tussen de vlagerigheid van de wind en de ruwheidslengte van het terrein  $z_0$ . De mate van vlagerigheid wordt geïndiceerd door de standaarddeviatie van de gemiddelde windsnelheid. Omdat deze standaarddeviatie tot voor kort niet werd gearcheveerd en sowieso al niet wordt vermeld in de berichtgeving SYNOP/KLIM, is een aangepaste indicatie voor de vlagerigheid vereist. Deze kan ook (uitstekend) worden weergegeven door de mediane waarde van een set vlagfactoren:  $\langle G \rangle$ . {in een willekeurig tijdvak  $\tau$ , bijv. 10 minuten of 1 uur, geldt  $G = (\text{maximum windsnelheid in } \tau) / (\text{gemiddelde windsnelheid over } \tau)$ }.

De gebruikte set ten behoeve van de mediaanberekening is aan voorwaarden onderhevig:

1. alleen die tijdvakken worden geselecteerd waarvoor geldt dat de gemiddelde windsnelheid  $> 5$  m/s is. In die situatie is sprake van neutrale atmosferische condities en is de vlagfactor voornamelijk het gevolg van de terreinruwheid. Bij lagere windsnelheden kunnen stabiliteits- en instabiliteitseffecten de vlagfactor sterk beïnvloeden.

2. ten minste 1 jaar data wordt geanalyseerd teneinde voldoende gegevens per windrichtingsector te hebben om een statistisch verantwoorde mediaanberekening te kunnen doen. Er wordt een minimum aantal voorkomens van 20 per sector gesteld.

Het verband tussen  $\langle G \rangle$  en  $z_0$  is beschreven door Wieringa c.s. (ref. 1, p. 56 e.v. )

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

- $f_T = 1.0$  in geval van 10 minuten data, en 1.1 in geval van uurdata;
- $u_x * t$  = vlaaggolflengte : ca. 50 m. uitgaande van een windstoot  $u_x$  van 15 à 20 m/s en een duur  $t$  van ca. 3 s.;
- $z$ : (meet)hoogte (m)

In het geval van het gebruik van 10' data voor de analyse ( $f_T = 1.0$ ) en  $u_x * t = \text{ca. } 50$  wordt bovenstaande formule:  $\langle G \rangle = 1 + \{ 2.25 / \ln (z / z_0) \}$ .

Beljaars en Wieringa hebben het bovenbeschreven basismodel aangepast voor operationeel gebruik. Voor de uitgebreide beschrijving hiervan door Job Verkaik zie ref. 2. In het operationele model is de mediane vlagfactor als volgt gedefinieerd:

$$\langle G \rangle = 1 + \frac{0.88}{\ln \frac{z}{z_0}} * \tilde{u}_p$$

- $u_p = 2.41$  in geval van 10 minuten data, en 2.99 in geval van uurdata;
- $z$ : (meet)hoogte (m).

In het geval van het gebruik van 10' data wordt de formule als volgt:

$$\langle G \rangle = 1 + \{ 2.12 / \ln (z / z_0) \}.$$

Hieruit volgt voor de ruwheidslengte:

$$z_0(\langle G \rangle) = z \cdot \exp\{ 2.12 / (1 - \langle G \rangle) \}$$

### 2.3 Berekening beschuttingsfactor uit ruwheid

Bij de hiernavolgende berekening van BF wordt verondersteld dat het verticaal windprofiel logaritmisch is, waarbij voor de herleiding van de gemiddelde windsnelheid op hoogte  $z_1$  naar hoogte  $z_2$  geldt:

$$ff_{z_1} / ff_{z_2} = \{ \ln (z_1 / z_0) / \ln (z_2 / z_0) \}$$

Genoemde veronderstelling geldt tot 60 à 100 m hoogte boven het aardoppervlak en in het geval van neutrale atmosferische condities (van toepassing bij  $ff > 5$  m/s). (Wieringa, Rijkoort, ref. 1, par. 3.5)

De standaardomgeving van de meetlocatie waarvoor de waarde van de potentiële ("fictieve") gemiddelde windsnelheid berekend dient te worden, is vlak terrein begroeid

met kort gras. Een dergelijke omgeving heeft een ruwheidslengte  $z_o$  die correspondeert met een waarde 0,03 m (ref. 1). Bij de transformatie van de gemeten gemiddelde windsnelheid naar de potentiële windsnelheid wordt gebruik gemaakt van bovengenoemde hypothese, alsmede de aanname dat in een groot omliggend gebied (straal = 4 km) de windsnelheid op 60 m hoogte (mesohoogte) overal gelijk is. Feitelijk wordt dan eerst naar 60 m hoogte herleid en vervolgens terug naar de fictieve situatie. Onderstaande figuur (fig. 1) presenteert als voorbeeld de transformatie van de gemiddelde windsnelheid op 10 m. hoogte boven aardoppervlak met werkelijke ruwheid  $z_o = 0,25$  m. via mesowindsnelheid op 60 m. hoogte naar de potentiële windsnelheid op 10 meter hoogte bij fictieve ruwheid  $z_o = 0,03$  m.

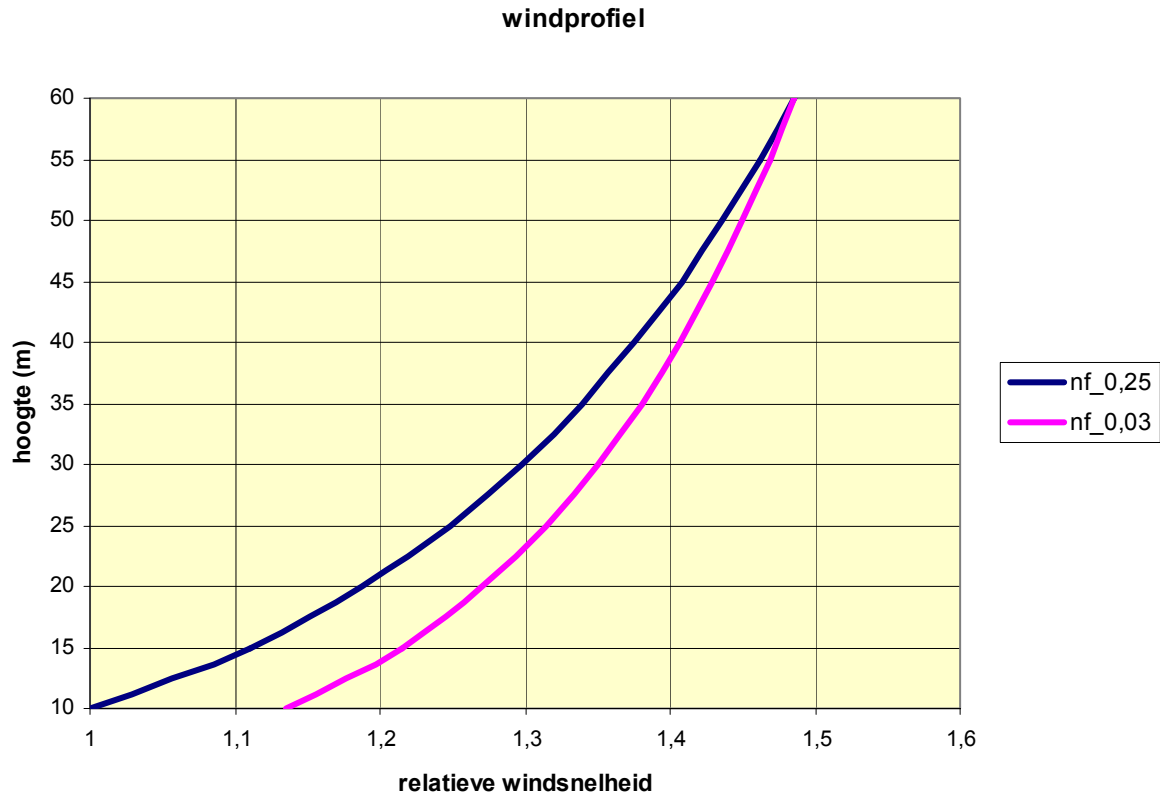


Fig. 1. Verticaal profiel windsnelheid bij 2 verschillende terreinruwheden

Er volgt:

$$BF = ff_{\text{pot}} / ff_{\text{met}} = \{ \ln(10/z_{\text{op}}) / \ln(60/z_{\text{op}}) \} / \{ \ln(z/z_{\text{os}}) / \ln(60/z_{\text{os}}) \}$$

$z_{\text{op}}$  = ruwheid in het geval van vlak terrein;

$z_{\text{os}}$  = feitelijke ruwheid ter plekke van windmast; wordt berekend per windrichtingsector;

$z$  = sensorhoogte.

Invulling van  $z_{\text{op}} = 0,03$  m en  $z = 10$  m in bovenstaande formule levert op:

$$BF = \frac{1 + \left( \frac{1,79}{2,3 - \ln z_{\text{os}}} \right)}{1,308}$$



## 2.4 Berekende beschuttingsfactoren Schiphol

Op grond van de bovengenoemde methodiek zijn per windrichtingsector van 10 booggraden de actuele beschuttingsfactoren berekend voor de huidige 8 windmeetlocaties op de Luchthaven Schiphol.(ref.4) Deze beschuttingsfactoren zijn weergegeven in onderstaande tabel (tabel 1) en grafiek (fig.2).

| Sector<br>(10bgr) | Beschuttingsfactor |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                   | 27                 | 18C  | 18R  | 22   | 36R  | 36C  | 36L  | 6    |
| 1                 | 1,04               | 1,00 | 1,03 | 1,05 | 1,00 | 0,98 | 0,99 | 1,06 |
| 2                 | 1,06               | 1,01 | 1,04 | 1,07 | 1,00 | 0,98 | 1,01 | 1,06 |
| 3                 | 1,05               | 1,01 | 1,05 | 1,05 | 1,00 | 1,00 | 1,05 | 1,02 |
| 4                 | 1,06               | 1,02 | 1,06 | 1,04 | 1,04 | 1,01 | 1,05 | 1,00 |
| 5                 | 1,03               | 1,02 | 1,05 | 1,04 | 1,09 | 1,02 | 1,05 | 0,99 |
| 6                 | 1,04               | 1,02 | 1,05 | 1,05 | 1,11 | 1,00 | 1,05 | 1,00 |
| 7                 | 1,04               | 1,02 | 1,07 | 1,08 | 1,08 | 1,00 | 1,04 | 1,04 |
| 8                 | 1,03               | 1,02 | 1,08 | 1,06 | 1,13 | 1,01 | 1,04 | 1,06 |
| 9                 | 1,02               | 0,98 | 1,03 | 1,00 | 1,15 | 1,00 | 0,99 | 1,01 |
| 10                | 1,02               | 0,98 | 1,07 | 1,03 | 1,15 | 1,04 | 0,98 | 1,02 |
| 11                | 1,05               | 1,02 | 1,05 | 1,09 | 1,12 | 1,05 | 1,00 | 1,06 |
| 12                | 1,07               | 1,02 | 1,11 | 1,08 | 1,07 | 1,04 | 1,02 | 1,05 |
| 13                | 1,05               | 1,02 | 1,07 | 1,11 | 1,09 | 1,01 | 1,01 | 1,07 |
| 14                | 1,02               | 0,99 | 1,04 | 1,09 | 1,07 | 0,99 | 0,99 | 1,10 |
| 15                | 1,00               | 0,99 | 1,01 | 1,09 | 1,06 | 0,98 | 0,97 | 1,09 |
| 16                | 1,00               | 0,98 | 0,99 | 1,11 | 1,04 | 0,98 | 0,98 | 1,09 |
| 17                | 0,99               | 0,97 | 0,97 | 1,03 | 1,02 | 0,97 | 0,99 | 1,08 |
| 18                | 0,98               | 0,94 | 0,96 | 0,98 | 0,99 | 0,95 | 0,98 | 1,05 |
| 19                | 0,99               | 0,97 | 0,99 | 1,04 | 1,02 | 0,98 | 1,00 | 1,08 |
| 20                | 0,99               | 0,99 | 1,00 | 1,02 | 1,01 | 0,98 | 1,00 | 1,05 |
| 21                | 1,00               | 1,01 | 1,01 | 0,99 | 1,01 | 1,02 | 1,02 | 1,03 |
| 22                | 1,01               | 1,04 | 1,03 | 1,00 | 1,03 | 1,04 | 1,04 | 1,03 |
| 23                | 1,01               | 1,04 | 1,02 | 1,00 | 1,04 | 1,04 | 1,03 | 1,03 |
| 24                | 1,02               | 1,03 | 1,03 | 0,99 | 1,04 | 1,04 | 1,03 | 1,01 |
| 25                | 1,03               | 1,04 | 1,04 | 1,01 | 1,05 | 1,04 | 1,03 | 1,02 |
| 26                | 1,01               | 1,02 | 1,03 | 1,01 | 1,04 | 1,03 | 1,03 | 1,02 |
| 27                | 0,98               | 0,99 | 1,00 | 0,98 | 1,02 | 1,00 | 1,01 | 1,01 |
| 28                | 1,00               | 1,03 | 1,05 | 0,99 | 1,04 | 1,03 | 1,03 | 1,07 |
| 29                | 1,02               | 1,06 | 1,06 | 1,01 | 1,03 | 1,04 | 1,05 | 1,09 |
| 30                | 1,03               | 1,07 | 1,07 | 1,02 | 1,07 | 1,03 | 1,06 | 1,09 |
| 31                | 1,02               | 1,08 | 1,06 | 1,01 | 1,07 | 1,02 | 1,08 | 1,10 |
| 32                | 1,04               | 1,09 | 1,05 | 1,04 | 1,08 | 1,02 | 1,09 | 1,11 |
| 33                | 1,06               | 1,06 | 1,05 | 1,05 | 1,05 | 1,01 | 1,08 | 1,09 |
| 34                | 1,06               | 1,03 | 1,03 | 1,05 | 1,01 | 0,99 | 1,05 | 1,08 |
| 35                | 1,06               | 1,00 | 1,01 | 1,06 | 0,98 | 0,99 | 1,03 | 1,06 |
| 36                | 1,01               | 0,98 | 0,99 | 1,02 | 0,96 | 0,95 | 0,96 | 1,02 |

Tabel 1, Beschuttingsfactoren Schiphol

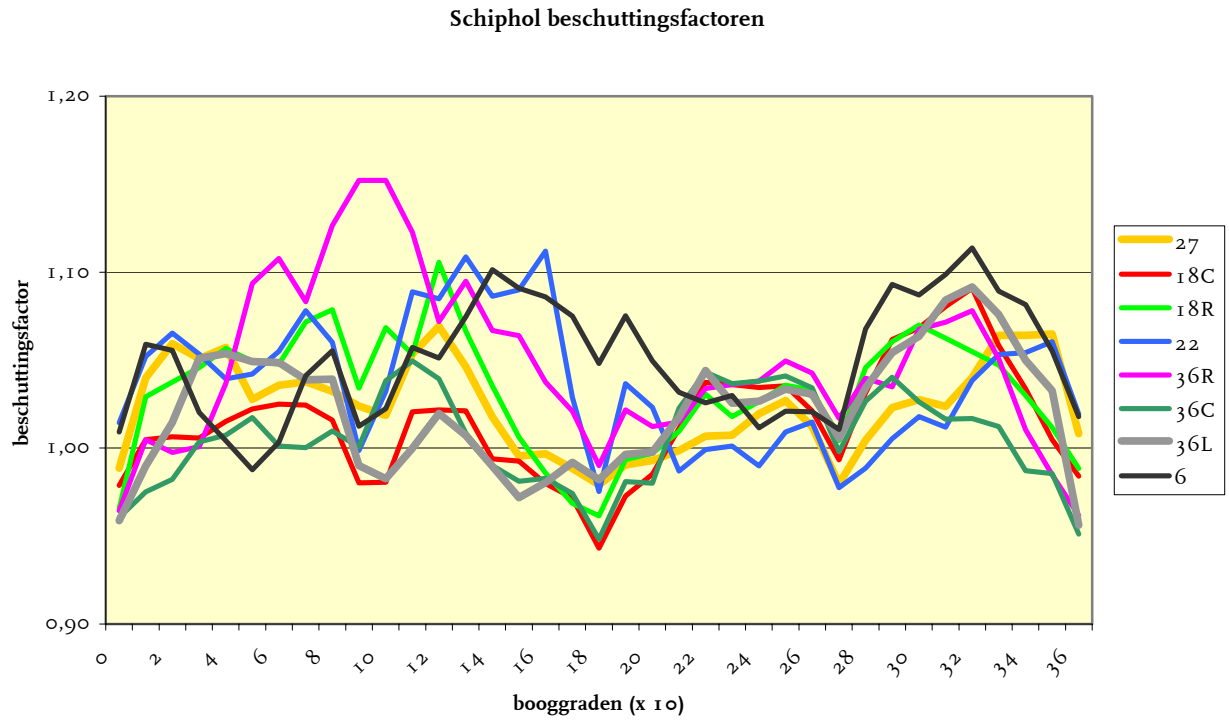


Fig.2. Beschuttingsfactoren Schiphol

### 3. *Inschatting ruwheidslengte en beschuttingsfactor*

#### 3.1 Ruwheidsclassificatie Davenport

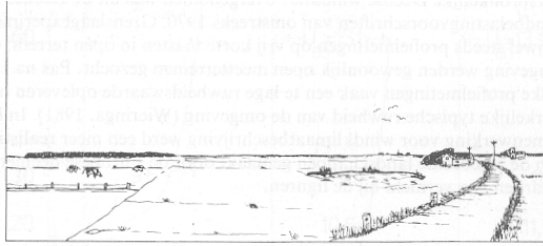
Indien geen metingen beschikbaar zijn, kan de ruwheid en de beschuttingsfactor BF geschat worden met behulp van het classificatie schema van Davenport (ref.8), zie tabel 2 en fig.3.

| Klasse | Type        | $Z_0$  | BF   | Landschap                                                                                                                                                                                                                     |
|--------|-------------|--------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | Zee         | 0,0002 | 0,89 | Open zee of plas                                                                                                                                                                                                              |
| 2      | Glad        | 0,005  | 0,94 | Landoppervlak zonder noemenswaardige obstakels of begroeiing(wad, strand, ijs)                                                                                                                                                |
| 3      | Open        | 0,03   | 1,00 | Vlak land met oppervlakkige begroeiing (gras), vgl. weideland zonder windsingels, startbanen, braakliggend bouwland                                                                                                           |
| 4      | Ruwweg open | 0,1    | 1,06 | Bouwland met regelmatig laag gewas of weideland met sloten, lage hekken en lage bomen, incidentele obstakels (heggen, kale bomen, alleenstaande kleine boerderijen) op onderlinge afstanden van $\geq 20 \times$ eigen hoogte |
| 5      | Ruw         | 0,25   | 1,14 | Bouwlonden met afwisselend hoge en lage gewassen, bomenrijen e.d.; grotere obstakels op onderlinge afstanden van ca. $15 \times$ hoogte                                                                                       |
| 6      | Zeer ruw    | 0,5    | 1,22 | Obstakelgroepen (grote boerderijen, stukken bos) met open ruimten van ca. $10 \times$ obstakelhoogte. Tevens verspreid struikgewas, bosschages, boomgaarden, e.d.                                                             |
| 7      | Gesloten    | 1      | 1,36 | Bodem regelmatig en volledig bedekt met grote obstakels met tussenruimten van slechts een paar obstakelhoogten afstand, vgl. grote bossen, laagbouw in dorpen en steden                                                       |
| 8      | Stadskern   | 2      | 1,62 | Centrum van grote stad met afwisselend laag- en hoogbouw. Tevens grote, oude bossen met onregelmatige open plekken                                                                                                            |

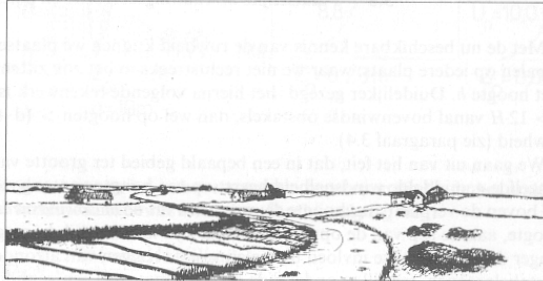
Tabel 2, Classificatieschema Davenport

{bovenaan pag.62 in "Windklimaat in Nederland, J.Wieringa en P.J.Rijkoort, 1983, ihb par.3.7", ref.1}.

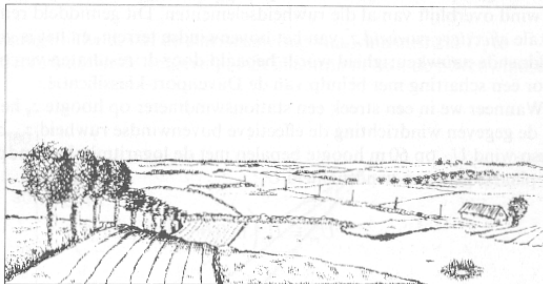
Figuur 3.20  
 Zeer open landschap —  
 ruwheidsklasse 2 tot 3,  
 $z_o \sim 0,01 - 0,03$  m  
 (Peterson et al., 1981).



Figuur 3.21  
 Tamelijk open  
 landschap —  
 ruwheidsklasse 3 tot 4,  
 $z_o \sim 0,05 - 0,1$  m  
 (Petersen et al., 1981).



Figuur 3.22  
 Tamelijk ruw landschap  
 — ruwheidsklasse 4 tot  
 5,  $z_o \sim 0,2$  m (Petersen  
 et al., 1981).



Figuur 3.23  
 Zeer ruw landschap —  
 ruwheidsklasse 6,  
 $z_o \sim 0,4$  m (Petersen et  
 al., 1981).

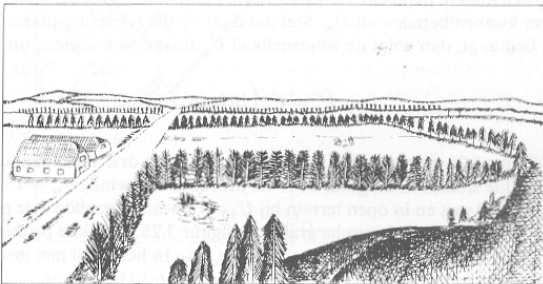


fig. 3. Schets landschappen bij ruwheidsclassificatie

{fig. 3.20 t/m 3.23 op pag. 63 in "Windklimaat in Nederland, J. Wieringa en P.J. Rijkoort, 1983, ihb par. 3.7", ref. 1}

Nadat de waarde van de terreinruwheid  $z_o$  is ingeschat met behulp van het classificatieschema, kan de beschuttingsfactor BF berekend worden met de formule zoals beschreven in par. 2.3.

### 3.2 Toepassing ruwheidsclassificatie bij 2 locaties op Schiphol

Onderstaand worden 2 voorbeelden beschreven van BF-inschattingen, zoals gedaan bij het onderzoek naar geschikte windmeetlocaties op Schiphol (ref. 4):

## Schiphol plattegrond

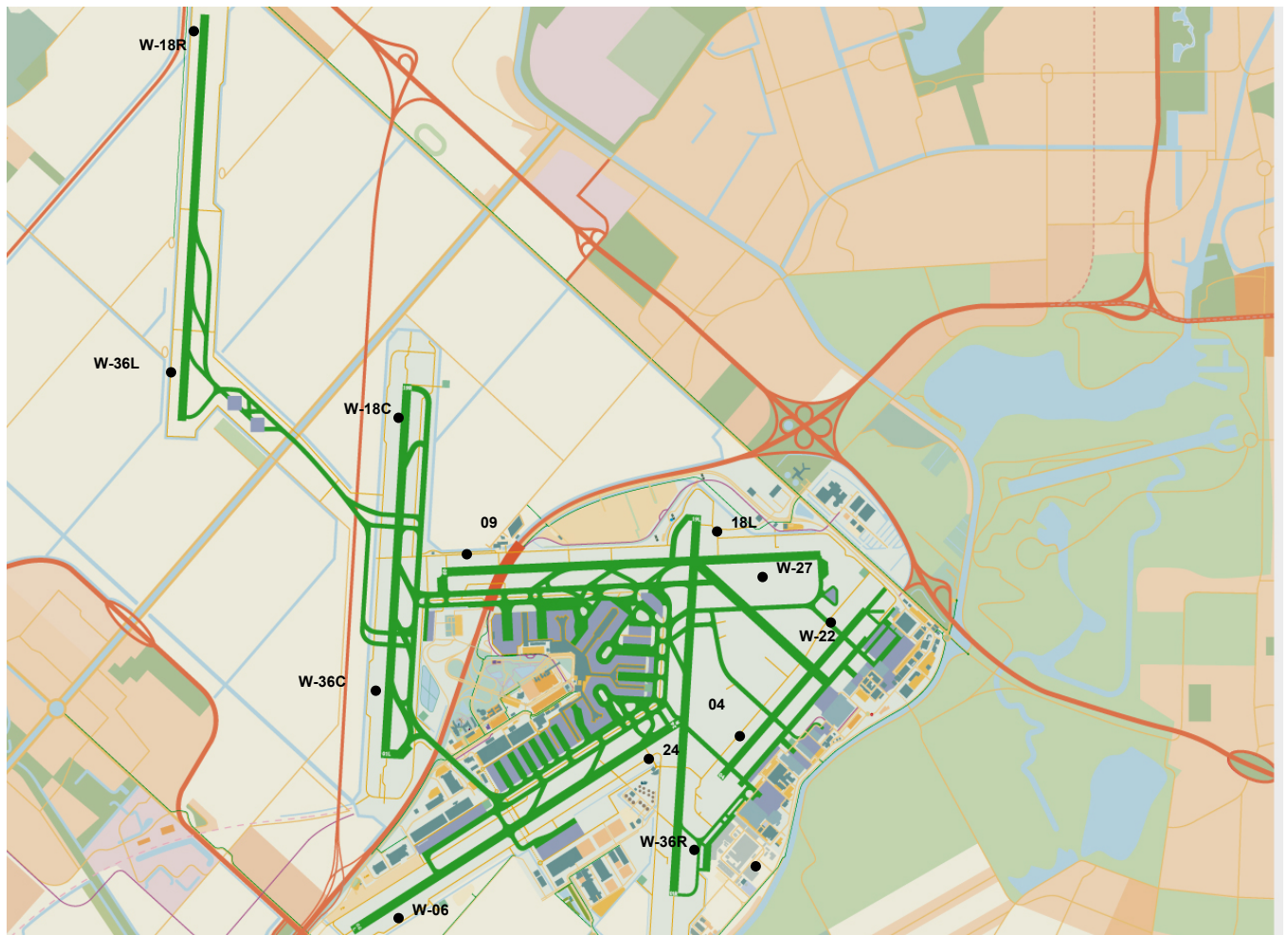


Fig.4. Plattegrond Schiphol met windmeetlocaties (uit: definitiestudie *Waarneemhulpmiddelen Schiphol*, d.d. april 2001)

{nummer met "W": bestaande windmast bij td; nummer zonder "W": eventuele locatie voor windmast bij td}

### *Touch down zone 09 (td 09) (bij runway 27-09)*

Het vinden van een geschikte windmeet locatie bij td 09 is zeer lastig. Aan de zuidzijde van de runway kan geen mast geplaatst worden in verband met taxibanen e.d. Aan de noordzijde zou nabij de transmissie zichtmeter eventueel een frangible windmast geplaatst kunnen worden (afstand ca. 100 meter van de baan), doch de metingen zullen bij wind vanuit de noordsector (269 - 053 booggraden) zwaar gestoord worden door de obstakels in die richting op slechts enkele 10-tallen meters afstand. Zie foto's (fig. 5 en 6) en onderstaande tabel.

|                              |               |                     |        |
|------------------------------|---------------|---------------------|--------|
| brandweer post               | 269 – 299 bgr | afstand 204 m       | h=6 m  |
| oefenvliegtuig tbv brandweer | 307 – 323 bgr | afstand 197 m       | h=10 m |
| bomen, boerderij             | 334 – 007 bgr | afstand $\geq 81$ m | h=17 m |
| losse boom                   | 011 – 024 bgr | afstand 69 m        | h=20 m |
| brandweergarage etc          | 016 – 053 bgr | afstand 89 – 129 m  | h=7 m  |

Het is niet gegarandeerd dat een windmeting op genoemde locatie representatief is voor de windsituatie op de baan, laat staan elders (bijvoorbeeld in de aanvliegeroute). Voor



adequate berichtgeving ten behoeve van td 09 (= tevens take off 27) heeft het de voorkeur de windmetingen van td 18C te gebruiken en geen nieuwe mast bij 09 te plaatsen.

In de praktijk zal touch down 09/ take off 27 niet gebruikt worden indien sprake is van wind met een windrichting in de sector 269 – 053 booggraden. Bij deze cross wind situatie geeft landing, c.q. opstijging (te) veel risico's. In het theoretisch geval dat deze locatie toch gebruikt moet worden bij genoemde windrichting, moet rekening worden gehouden met een evidente afwijking tussen de operationele windmeting van de mast bij td 18C en de heersende wind op tdo9.



*fig. 5. Schiphol tdo9. NW uitzicht (foto: Paulien van Eijf)*



fig. 6. Schiphol tdo9. Noord uitzicht (foto: Paulien van Eif)

Schatting: in de sector 269 - 053 booggraden is de ruwheid cf. klasse 6 van het Davenport schema. Deze klasse correspondeert met een beschuttingsfactor van rond 1.22 (zie bovenstaande tabel 2 van het schema). Dit impliceert dat de windsnelheid op tdo9 20 à 25% lager is dan de potentiële windsnelheid boven geheel vlak terrein, dus ook ca. 20 à 25% lager dan de gemeten gemiddelde windsnelheid bij 18C.

De luchtverkeersleiding dient bij baangebruik onder genoemde omstandigheden te allen tijde op de hoogte te zijn van de grote afwijking windsnelheid tussen meetwaarde en werkelijke waarde op de baan. Vandaar dat deze een zogeheten NOTAM paraat heeft. De tekst is als volgt:

*“due to environmental influences the local wind report with respect to Amsterdam Airport EHAM, touch down 09/ take off 27 is unreliable concerning:*

*average windspeed sector 270 – 060 deg: overestimated up to 25 percent;*

*windgust sector 270 – 060 deg: under/overestimated up to 25 percent;*

*winddirection sector 270 – 060 deg: deviation up to 30 deg”*

*Touch down zone 24 (td 24) (bij runway 24-06)*

Bij td 24 kan aan de zuidzijde van de baan eventueel een windmast geplaatst worden. Niet aan de noordzijde vanwege taxibanen en onbereikbaarheid.

In het geval van plaatsing van een frangible 10 m windmast aan de zuidzijde nabij de transmissie zichtmeter (op ca. 100 meter afstand van de baan) zijn de metingen representatief voor de windsituatie op td24. Er zal beperkte beïnvloeding van de meting

in de sector 187 - 224 booggraden zijn, met name ten aanzien van de gemiddelde windsnelheid, als gevolg van:

- ca. 9 meter hoge brandweerkazerne op > 215 meter
- 15 à 20 meter hoge tanks op > 543 meter.

Schatting: in de sector 187 - 224 booggraden is gezien vanuit een potentiële meetlocatie aan de zuidzijde de ruwheid cf. klasse 4 à 5 van het Davenport schema. Dit komt overeen met een BF van ca. 1.10 (zie bovenstaande tabel 2 van het schema), hetgeen impliceert dat de gemeten windsnelheid ca. 10% lager zal zijn dan de potentiële windsnelheid boven geheel vlak terrein.

Op het hart van de baan in td 24 zal de reductie van de gemiddelde windsnelheid, vanwege de grotere afstand ten opzichte van de obstakels, geringer zijn dan de reductie ter plekke van de meetlocatie. Op td 24 is de geschatte ruwheid in de richting sector 187 - 224 booggraden cf. klasse 4 van het Davenport schema. Dit komt overeen met een BF van ca. 1.06 (zie bovenstaande tabel 2 van het schema), hetgeen impliceert dat de op td 24 heersende gemiddelde windsnelheid ca. 5 à 6 % lager zal zijn dan de potentiële windsnelheid boven geheel vlak terrein. Afwijking van de gemiddelde windsnelheid op potentiële meetlocatie in de sector 187 - 224 booggraden is < 5 % lager dan gemiddelde windsnelheid op td 24.



### 3.3 Discussie ruwheidsclassificatie naar aanleiding van windmetingen vliegveld Beek

Toepassing van het classificatieschema voor de inschatting van de ruwheidslengtes en bijbehorende beschuttingsfactoren vereist een ruime beschouwing van de omgeving van de windmast. Hierbij moet men denken aan een gebied met een straal van tenminste 4 km. rond de mast. Indien men de beschouwing zou beperken tot het gezichtsveld gezien vanaf de meetlocatie, kan dit tot een totaal verkeerde interpretatie leiden. Het voorbeeld van windmast 22 op vliegveld Zuid Limburg toont dit aan.

In onderstaande tabel 3 en grafiek (fig. 7) worden onderling vergeleken:

- de berekende beschuttingsfactoren van windmast 22 op Vliegveld Zuid Limburg, zomersituatie 2004,
- idem wintersituatie,
- de berekende beschuttingsfactoren van windmast 22, situatie 1994;
- de ingeschatte waarden (zonder voorkennis van de berekening) uitsluitend op basis van het gezichtsveld vanaf de meetlocatie windmast 22 {bezoek: 30 maart 2004}.

De conclusie is dat er weinig overeenstemming is tussen berekening en schatting.

| <b>ruimtehoek (bgr)</b> | <b>object</b>           | <b>afstand (m)</b> | <b>hoogte (m)</b> | <b>rel.obst. hoogte (%)</b> | <b>geschatte beschuttings-factor</b> |
|-------------------------|-------------------------|--------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 0-24                    | hangars etc.            | 600-1480           | 6-20              | 1,35                        | 1,01                                 |
| 28-37                   | bomenrij                | 1590               | 12                | 0,75                        |                                      |
| 36-43                   | bebouwing               | 700                | 8                 | 1,14                        |                                      |
| 44-46                   | punt gebouw             | 545                | 16                | 2,94                        | 1,03                                 |
| 47-52                   | Schreiner               | 347                | 16                | 4,61                        | 1,05                                 |
| 53-69                   | KLM-gebouw              | 213                | 16                | 7,51                        | 1,16                                 |
| 108                     | kerktoren               | 3600               |                   | 0,00                        |                                      |
| 118                     | boerderij               | 790                | 8                 | 1,01                        |                                      |
| 118-128                 | bomenrij                | 1120               | 16                | 1,43                        | 1,01                                 |
| 130                     | woonhuis                | 831                | 5                 | 0,60                        |                                      |
| 133-182                 | bebouwing               | 835                |                   | 0,00                        |                                      |
| 153                     | kerktoren               | 490                | 20                | 4,08                        | 1,04                                 |
| 182-192                 | hoge bomen              | 1720               | 20                | 1,16                        |                                      |
| 187                     | loodsen, lage gebouwen  | 447                |                   | 0,00                        |                                      |
| 202-212                 | bomenrij                | 540                | 14                | 2,59                        | 1,02                                 |
| 213                     | woonhuis                | 1660               |                   | 0,06                        |                                      |
| 232                     | radartoren              | 1445               |                   | 0,00                        |                                      |
| 232-245                 | bomenrij langs A2       | 1040               |                   | 0,00                        |                                      |
| 245-272                 | hangars                 | 895                |                   | 0,00                        |                                      |
| 263-271                 | bomenrij                | 770                | 17                | 2,21                        | 1,02                                 |
| 272                     | toren                   | 590                | 27                | 4,58                        | 1,05                                 |
| 272-285                 | gebouwen                | 542                | 12                | 2,21                        | 1,02                                 |
| 285-302                 | laagbouw                | 473                | 3                 | 0,00                        |                                      |
| 280-303                 | bomen langs A2          | 680-570            | 28-15             | 4,12                        | 1,05                                 |
| 304-305                 | reclame bord (vodafone) | 484                | 18                | 3,72                        | 1,04                                 |
| 328-330                 | bomen                   | 580-611            | 12-18             | 2,95                        | 1,03                                 |
| 334                     | boerderij               | 550                | 5-6               | 1,09                        |                                      |
| 334-346                 | hoge bomenrij           | 550                | 20                | 3,64                        | 1,04                                 |
| 346-360                 | hangars etc.            | 600-1480           | 6-20              | 1,35                        | 1,01                                 |

Tabel 3. Beschrijving omgeving windmast 22 vliegveld Zuid Limburg

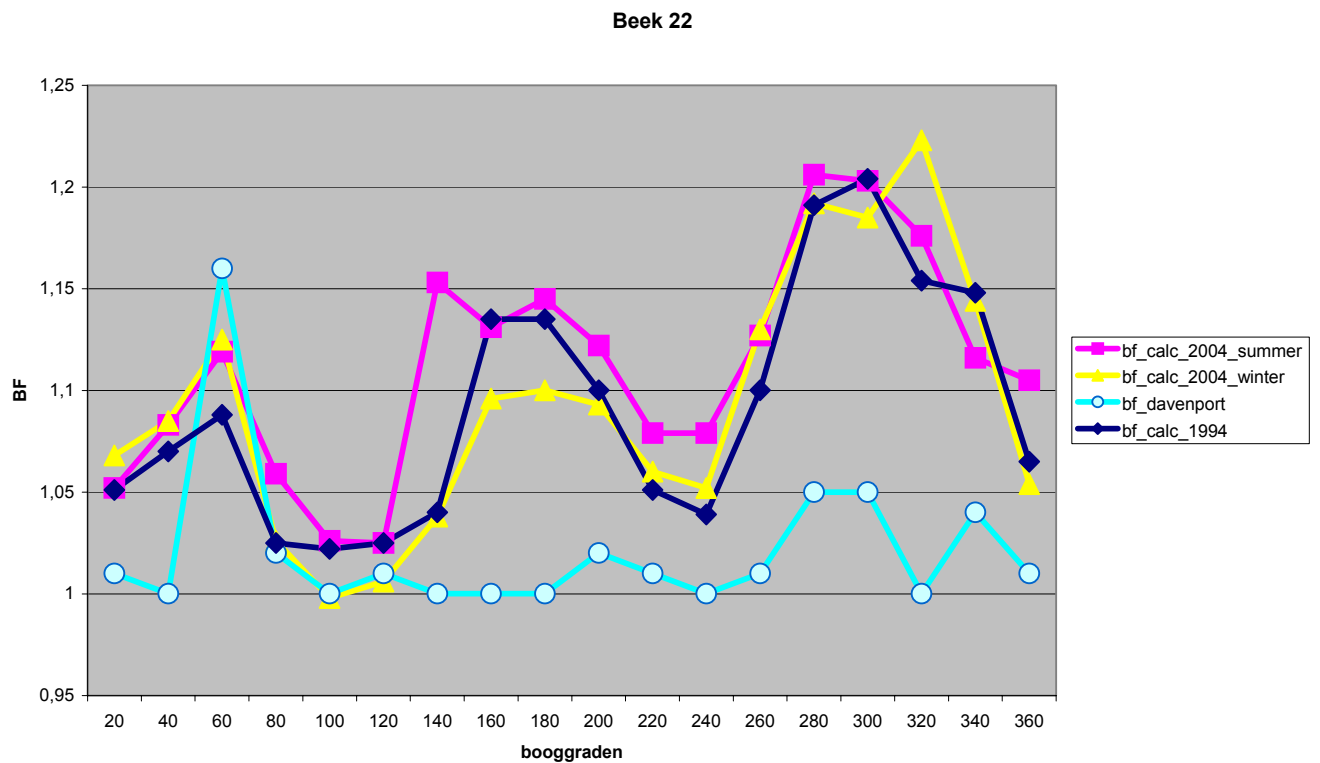


Fig.7. Beschuttingsfactoren windmast 22 op Vliegveld Zuid Limburg

De volgende mogelijke oorzaken van deze inconsistentie kunnen genoemd worden:

- a) De berekeningsmethode is niet correct.
- b) De inschatting is onjuist omdat het schema fout is toegepast.
- c) Toepassing van het Davenport schema is in een situatie als Vliegveld Zuid Limburg niet mogelijk met uitsluitend een horizon scan.
- d) Er is een verkeerde dataset gebruikt, bijvoorbeeld de data van de andere windmast op het vliegveld.

Een beschouwing van de bovengenoemde opties leert het volgende:

*ad a)* Dat de berekeningsmethode niet correct is, lijkt onwaarschijnlijk. De methodiek heeft zijn waarde bewezen. O.a. bij de berekening van de BF's van de meetposten op Schiphol, die voor alle punten zeer plausibel is.

*ad b)* Het is mogelijk dat het schema fout is toegepast, maar zo evident ver er naast is onwaarschijnlijk.

*ad c)* Dat het Davenport schema niet zonder meer toepasbaar is voor een situaties als Vliegveld Zuid Limburg, is plausibel. Met name de berekende beschuttingswaarden igv wind vanuit zuidelijke en noordwestelijke richting zijn opvallend groot. In ieder geval veel groter dan men zou verwachten op grond van de nabije omgeving (= binnen 600 meter afstand van de mast). Bij die situaties is de aanvoer tot bij de windmast over breed open terrein (van het vliegveld) en zou men geen noemenswaardige beschuttingsfactor verwachten. Maar aan de buitenzijde van het vliegveld is sprake van een zeer grote ruwheid (Maasdal en geaccidenteerd, bosachtig landschap). Wellicht dat de grote ruwheid op (grote) afstand sterker doorwerkt in de meting dan men ogv het nabije terrein (en Davenport) zou verwachten. Zie mede tabel 4 en figuren 8 en 9 in paragraaf 5.2.

*ad d)* Zorgvuldig is uitgezocht, dat de goede dataset is gebruikt. Dat blijkt tevens uit de opvallend grote consistentie tussen de zomer- en de winterberekening en tussen de 2004-berekening en de 1994-berekening.

Na deze beschouwing kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

1. De berekende ruwheidslengtes betreffen een groot gebied en zijn niet beperkt tot de directe omgeving (< 600 meter afstand) van de windmast. Ten grondslag aan de berekening van de ruwheid ligt de mate van vlagerigheid, welke volgt uit de turbulentie in het windgedrag. Deze turbulentie heeft meer dan 600 meter vlak terrein nodig om uitgedoofd te raken.
2. Bij toepassing van de Davenport classificatie voor een inschatting van beschuttingsfactoren moet, mede op grond van de eerste conclusie, een ruim gebied worden beschouwd en ook "over de muur" worden gekeken. Grote ruwheid en orografie op afstand kan sterk doorwerken in het windgedrag en de beschutting ter plekke van de windmast.

Het verdient aanbeveling om in een vervolg onderzoek andere windmeetlocaties te beschouwen, waarbij met name gedacht wordt aan de windmast op vliegbasis De Kooy. Deze is een aantal jaren geleden verplaatst. Er is geen noemenswaardige orografie. Wel is er in een aantal sectoren op afstand grote ruwheid, zoals de bebouwing van Den Helder.



## ***4. Conditie voor de omgeving van de meetlocatie en de representativiteit van de metingen***

### **4.1 Voorwaarden voor omgeving windmeetlocatie**

Teneinde de windmetingen nog te kunnen herleiden, zal de terreinruwheid  $z_0$  in alle richtingen niet meer dan 0.5 m. mogen zijn. Deze ruwheid correspondeert met klasse 6 van het Davenport-classificatieschema. De afstand van de windmast tot nabije obstakels is dan ten minste 10 x de obstakelhoogte (relatieve obstakelhoogte  $\leq 10\%$ ). Dit geldt voor alle obstakels. Bij een geringere afstand wijkt het windprofiel ter plekke van de windmast sterk af van het profiel aan de luwe zijde van het obstakel als gevolg van turbulenties, valwinden, etc. Herleiding is dan niet meer mogelijk. In het geval van een ruwheid  $z_0 = 0.5$  is de beschuttingsfactor  $BF = 1.22$ , d.i. 22 % reductie gemiddelde windsnelheid als gevolg van het obstakel.

Door de WMO (ref.6) wordt als veilige marge een afstand van de windmast tot nabije obstakels van ten minste 20 x de obstakelhoogte aanbevolen (relatieve obstakelhoogte  $\leq 5\%$ ), waarbij het terrein in de directe omgeving van de windmast (straal  $\geq 100$  meter rond de meetlocatie) vlak grasland, of wateroppervlak is. Bij een dergelijke afstand zal het verticale windprofiel ter plekke van de meetlocatie hersteld zijn ten opzichte van de situatie vóór het obstakel, hooguit is dan nog sprake zijn van een kleine reductie in windsnelheid ter plekke van de windmast. In een landschap met gemiddelde obstakelafstand = 20 x obstakelhoogte is sprake van klasse 4 van het Davenport-classificatieschema en een ruwheid  $z_0 = 0.1$ . Bij deze ruwheid is de beschuttingsfactor  $BF = 1.06$ , d.i. 6 % reductie gemiddelde windsnelheid als gevolg van een obstakel. Omdat in de berichtgeving van de windsnelheid een afwijking van maximaal 10 % tolerabel is (WMO, ref.6; ICAO, ref. 5) kan bij een dergelijke veilige afstandsmarge de gemeten waarde windsnelheid zonder verdere herleiding gedistribueerd worden.

De locatie van de windmast is zodanig dat een windwaarneming kan plaatsvinden, inclusief eventuele herleiding met een beschuttingsfactor, die representatief is voor een gebied met een straal van 30 km rond de meetlocatie. (opm. bij windmetingen aan de kust is de mate van representativiteit vanzelfsprekend mede afhankelijk van de windrichting). Deze conditie is gebaseerd op statistisch onderzoek van J.Wieringa: "With a separation of 30 km between 2 observation points in a homogeneous landscape, for 90% of the time the difference in windspeed is less than 5%." (ref.9). De dichtheid van het windmeetnet volgt mede uit deze mate van representativiteit.

### **4.2 Specifieke windmeet condities op luchthavens**

Op een luchthaven zal de windwaarneming tevens representatief (moeten) zijn voor de windsituatie op de (nabijgelegen) start c.q. landingsbaan, in het bijzonder voor de nabije touch down zone. Ten einde zo representatief mogelijke metingen te realiseren, zijn de volgende maatregelen getroffen:

- Een 10 meter metalen windmast is op 190 meter afstand van het hart van de baan geplaatst. Dichterbij de baan is onmogelijk omdat een metalen mast niet door het zogeheten obstakelvlak mag prikken. {het obstakelvlak is een vlak vanaf 120 meter van het hart van de baan met een hellingshoek van 1:7}
- In het geval van een zogeheten frangible kunststofmast met sensorhoogte 10 meter, kan de mast op 115 meter van het hart van de baan staan. Dichterbij is niet mogelijk gelet op de vleugelwijdte van grote toestellen en storing van het windgedrag door passerende vliegtuigen.
- De meethoogte windsnelheid en -richting is bij voorkeur 10 meter doch minimaal 6 meter boven vlak terrein.
- De windmast is op ten minste 120 meter van het hart van een taxi- of rijbaan geplaatst in verband met de ad hoc beïnvloeding van het windgedrag door stilstaande of rijdende vliegtuigen.
- De windmast zal op een afstand van ten minste 50 meter doch bij voorkeur ten minste 100 meter achter de nabije Instrument Landing Glide Path (ILS-GP)-antennemast geplaatst (moeten) zijn [ opm.deze mast is een open constructie van ca. 1 meter breed en ca 9 meter hoog]. Bij plaatsing achter de ILS-mast zal verstoring van de windmeting alleen optreden bij windrichtingen waarbij de betreffende touch down / take off in principe niet gebruikt wordt voor landing c.q. start. Voorts zijn turbulenties in de luchtstroom als gevolg van het passeren van een smal, poreus obstakel (zoals een ILS-mast) op een afstand van 30 x de obstakelbreedte vrijwel uitgedoofd en is het windprofiel op deze afstand weer vrijwel identiek aan het profiel voor het obstakel. Op 50 meter van een ILS-mast wordt in principe dus al ongestoorde wind gemeten.
- Plaatsing van de windmast voor de ILS-mast is alleen mogelijk indien de afstand ten minste 100 meter is, in verband met de mogelijke verstoring van het ILS-sigitaal door de windmast. Bovendien kunnen onderhouds- of inspectiewerkzaamheden aan de windmast in deze situatie uitsluitend plaats vinden indien de baan (en dus ook de GP-antenne) niet in gebruik is.

{ref.3,Handboek Waarnemingen, hoofdstuk 5, Wind}

## 5. *Inspectie*

### 5.1 Inspectieprocedures windmetingen

Het windmeetnet omvat ca. 90 locaties met een operationele functie ten behoeve van de berichtgeving windsnelheid en windrichting:

- a. Windinformatie voor de grootschalige berichtgeving SYNOP/METAR/KLIM. De in dit verband opererende meetmasten zijn gesitueerd op de (automatische) meteorologische stations van het KNMI, Rijkswaterstaat (meetnet Noordzee en meetnet Zeeuwse getijdenwateren Zege), Koninklijke Luchtmacht en de Koninklijke Marine. Het betreft in totaal 54 meetmasten. Bij landstations is de meethoogte in principe 10 meter boven aardoppervlak. Op twee stations (De Bilt, Vlissingen) is vanwege de zeer ruwe omgeving gekozen voor een 20 meter mast. De meetwaarden aldaar worden beschouwd als zijnde geregistreerd op 10 meter hoogte boven vlak terrein. In het geval van zeestations dienen de windwaarden in principe ook op 10 meter hoogte boven het (water-) oppervlak bepaald te worden. In de praktijk is het echter op zee bijna nergens mogelijk op deze hoogte te meten. De sensoren zijn gewoonlijk geplaatst op een bouwconstructie op een veel groter hoogte. Middels een formule wordt op de zeestations de meetwaarde herleid naar een waarde op 10 meter hoogte. Ref. 7.
- b. Op een aantal burgerluchthavens (Schiphol, Zestienhoven) en op alle 9 vliegbases van de Koninklijke Luchtmacht (incl. Vlieland) zijn extra windmeetmasten geplaatst ten behoeve van de lokale berichtgeving met betrekking tot het vliegveld, in het bijzonder voor de start-/landingsbanen. In totaal gaat het om ongeveer 25 extra masten. Op de 8 vliegvelden van de Koninklijke Luchtmacht hebben deze extra masten een meethoogte van 6 meter.

Alle windmeetstations met een (inter-)nationale functie, dat wil zeggen met metingen ten behoeve van SYNOP/METAR/KLIM, worden in principe tweemaal per jaar geïnspecteerd. {NB de stations van de Koninklijke Luchtmacht worden uit praktische overwegingen eenmaal per jaar geïnspecteerd; de staf van de luchtmacht bewaakt de kwaliteit van de metingen door zelf tussentijds controles te verrichten}. De windstations met een lokale functie worden eenmaal per 2 jaar geïnspecteerd.

Bij de inspectie wordt met name de mate van representativiteit van de metingen ten opzichte van de (directe) omgeving beoordeeld en wordt bekeken welke objecten invloed kunnen hebben op de meetresultaten. Het gaat om objecten als bomen, bosschages, gebouwen, torens, terreinverhogingen, onregelmatigheden in het landschap, etc, die een lokale verandering in het windgedrag kunnen veroorzaken. Als gevolg daarvan kunnen de meetwaarden afwijken van de potentiële wind die ter plekke van de windmast zou optreden zonder de aanwezigheid van bedoelde objecten. Bij zijn/haar beoordeling van de meetomstandigheden laat de inspecteur zich leiden door de gestelde condities, zoals in par. 4 geformuleerd. In het bijzonder let hij/ zij er op dat de eventuele obstakels in de omgeving van de windmast op afstand van tenminste 20 x de obstakelhoogte staan dat wil zeggen dat de relatieve obstakelafstand  $\leq 5\%$  is.

## 5.2 Rapportage inspectie windmetingen

Eenmaal per 4 jaar wordt voor alle windmasten een uitgebreid inspectierapport geschreven. Dit rapport dient als basisdocument voor de tussentijdse reguliere inspecties.

De uitgebreide inspectierapportage is uit onder meer de volgende elementen opgebouwd:

- a. beschrijving omgeving;
- b. tabel waarin per sector de markante, eventueel storende objecten in de omgeving van de windmast zijn aangeduid: type, hoogte, afstand, relatieve obstakelhoogte =  $(\text{obstakelhoogte} / \text{obstakelafstand}) \times 100\%$ ;
- c. grafiek horizonomgeving ten behoeve van een vergelijking van de relatieve obstakelhoogte met kritische grens van 5%;
- d. panoramische fotoserie 0 – 360 booggraden, gemaakt aan de voet van de 10 meter mast;
- e. de uitdraai recente beschuttingsfactoren per sector van 10 c.q. 20 booggraden (zie par. 2) \*
- f. schets/ plattegrond van de omgeving van de windmast, waarin met name de vermelde objecten zijn gemarkeerd.

*\* De (PC-)applicatie berekening BF's viel tot de reorganisatie WM in 2001 onder de hoede van de WM-afdeling KD, beheerder Bert Bergman. In die reorganisatie, waarbij een deel van de KD is afgesplitst en is ondergebracht bij de afdeling OD, is het beheer van de applicatie niet geregeld. Informeel verstrekt Job Verkaik BF-berekeningen op verzoek (bijvoorbeeld richting OD/BWS). Officiële inbedding van deze operationele functie in de organisatie is vereist.*

Voorbeeld ad a.

*10 meter windmast bij td 22 op LH Zuid Limburg (30 maart 2004)*

De 10 meter windmast 22 op LH Zuid Limburg fungeert als meetmast ten behoeve van de berichtgeving SYNOP/ METAR/ KLIM, alsmede ten behoeve van de lokale berichtgeving voor de luchtvaart in het bijzonder met betrekking tot de situatie op td 22. De loodrechte afstand van de mast tot het hart van de baan is 207,5 m. De grootste verstoring van de windsnelheid is in sector 44 – 69 graden vanwege de gebouwen (hoogte 16 meter), met name KLM-gebouw in sector 53 – 69 booggraden op 213 meter. Meer bebouwing is voorzien. Te overwegen valt op betrekkelijk korte termijn de 10 meter metalen mast te vervangen door een frangible mast en deze te situeren in dezelfde loodrechte lijn ten opzichte van de landingsbaan doch op 115 meter afstand vanaf het hart van de baan, alwaar minder invloed van genoemde objecten zal zijn.



Voorbeeld ad. b.

| <b>ruimtehoek<br/>(bgr)</b> | <b>Object</b>           | <b>afstand<br/>(m)</b> | <b>hoogte*<br/>(m)</b> | <b>rel.obst.<br/>hoogte<br/>(%)</b> | <b>plaatsing<br/>(JJMM)</b> |
|-----------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 0-24                        | hangars etc.            | 600-1480               | 6-20                   | 1,35                                |                             |
| 28-37                       | bomenrij                | 1590                   | 12                     | 0,75                                |                             |
| 36-43                       | bebouwing               | 700                    | 8                      | 1,14                                |                             |
| 44                          | punt gebouw             | 545                    | 16                     | 2,94                                |                             |
| 47                          | Schreiner               | 347                    | 16                     | 4,61                                |                             |
| 53-69                       | KLM-gebouw              | 213                    | 16                     | 7,51                                |                             |
| 108                         | kerktoren               | 3600                   |                        | 0,00                                |                             |
| 118                         | boerderij               | 790                    | 8                      | 1,01                                |                             |
| 118-128                     | bomenrij                | 1120                   | 16                     | 1,43                                |                             |
| 130                         | woonhuis                | 831                    | 5                      | 0,60                                |                             |
| 133-182                     | bebouwing               | 835                    |                        | 0,00                                |                             |
| 153                         | kerktoren               | 490                    | 20                     | 4,08                                |                             |
| 182-192                     | hoge bomen              | 1720                   | 20                     | 1,16                                |                             |
| 187                         | loodsen, lage gebouwen  | 447                    |                        | 0,00                                |                             |
| 202-212                     | bomenrij                | 540                    | 14                     | 2,59                                |                             |
| 213                         | woonhuis                | 1660                   |                        | 0,06                                |                             |
| 232                         | radartoren              | 1445                   |                        | 0,00                                |                             |
| 232-245                     | bomenrij langs A2       | 1040                   |                        | 0,00                                |                             |
| 245-272                     | hangars                 | 895                    |                        | 0,00                                |                             |
| 263                         | bomenrij                | 770                    | 17                     | 2,21                                |                             |
| 272                         | Toren                   | 590                    | 27                     | 4,58                                |                             |
| 272-285                     | gebouwen                | 542                    | 12                     | 2,21                                |                             |
| 285-302                     | laagbouw                | 473                    | 3                      | 0,00                                |                             |
| 280-303                     | Bomen langs A2          | 680-570                | 28-15                  | 4,12                                |                             |
| 305                         | reclame bord (vodafone) | 484                    | 18                     | 3,72                                |                             |
| 329                         | Bomen                   | 580-611                | 12-18                  | 2,95                                |                             |
| 334                         | boerderij               | 550                    | 5-6                    | 1,09                                |                             |
| 334-346                     | hoge bomenrij           | 550                    | 20                     | 3,64                                |                             |
| 346-360                     | hangars etc.            | 600-1480               | 6-20                   | 1,35                                |                             |

\* wordt alleen vermeld indien objecten invloed kunnen hebben op de windmetingen

*Tabel 4, Sectoren met aanduiding markante, eventueel storende objecten in omgeving windmast 22 op vliegveld Zuid Limburg; relatieve obstakelhoogte = (obstakelhoogte/ obstakelafstand) x 100%*

Voorbeeld ad. c.

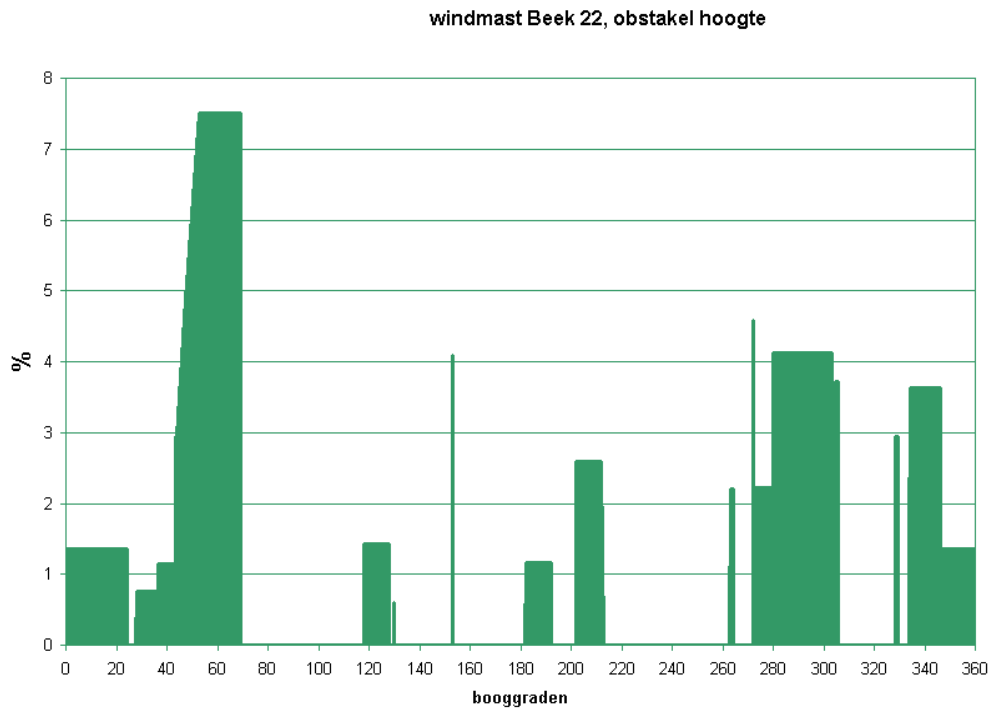


fig 8a. Horizonomgeving windmast 22 op vliegveld Zuid Limburg met aanduiding relatieve obstakelhoogte  $\{ = (\text{obstakelhoogte} / \text{afstand obstakel tot windmast}) \times 100\%$

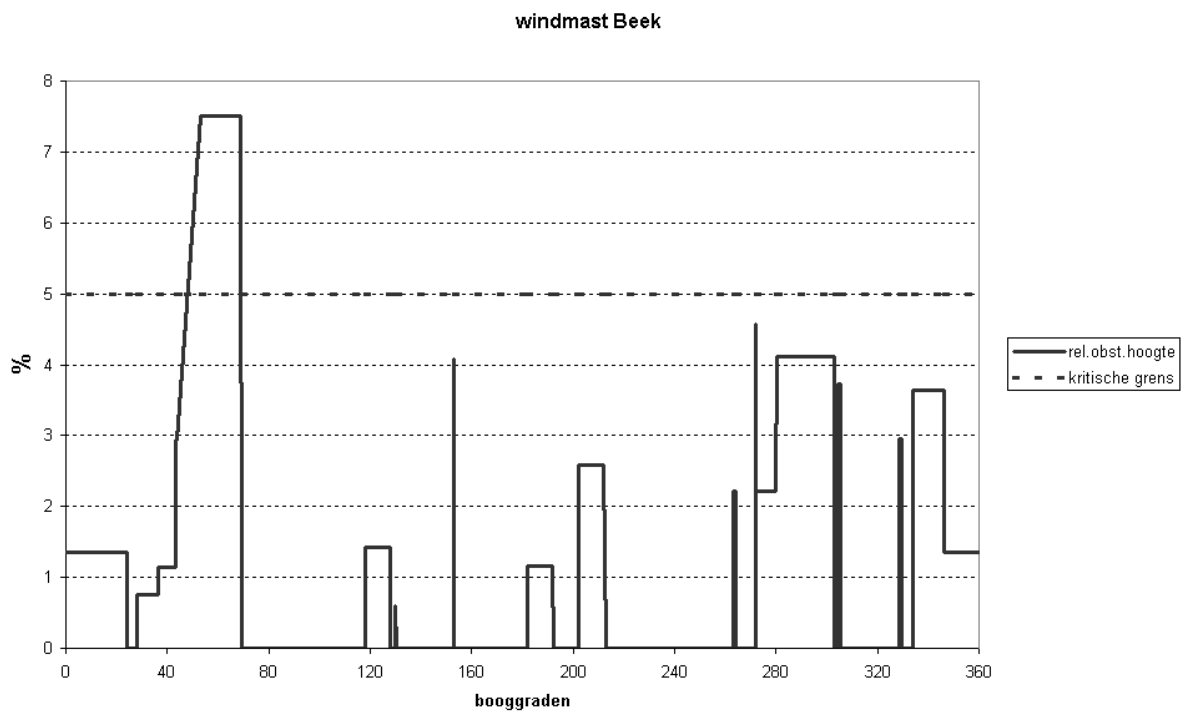


fig 8b. Horizonomgeving windmast 22 op vliegveld Zuid Limburg ter vergelijking relatieve obstakelhoogte met kritische grens 5%

Voorbeeld ad. f.  
schets omgeving windmast in fig.9

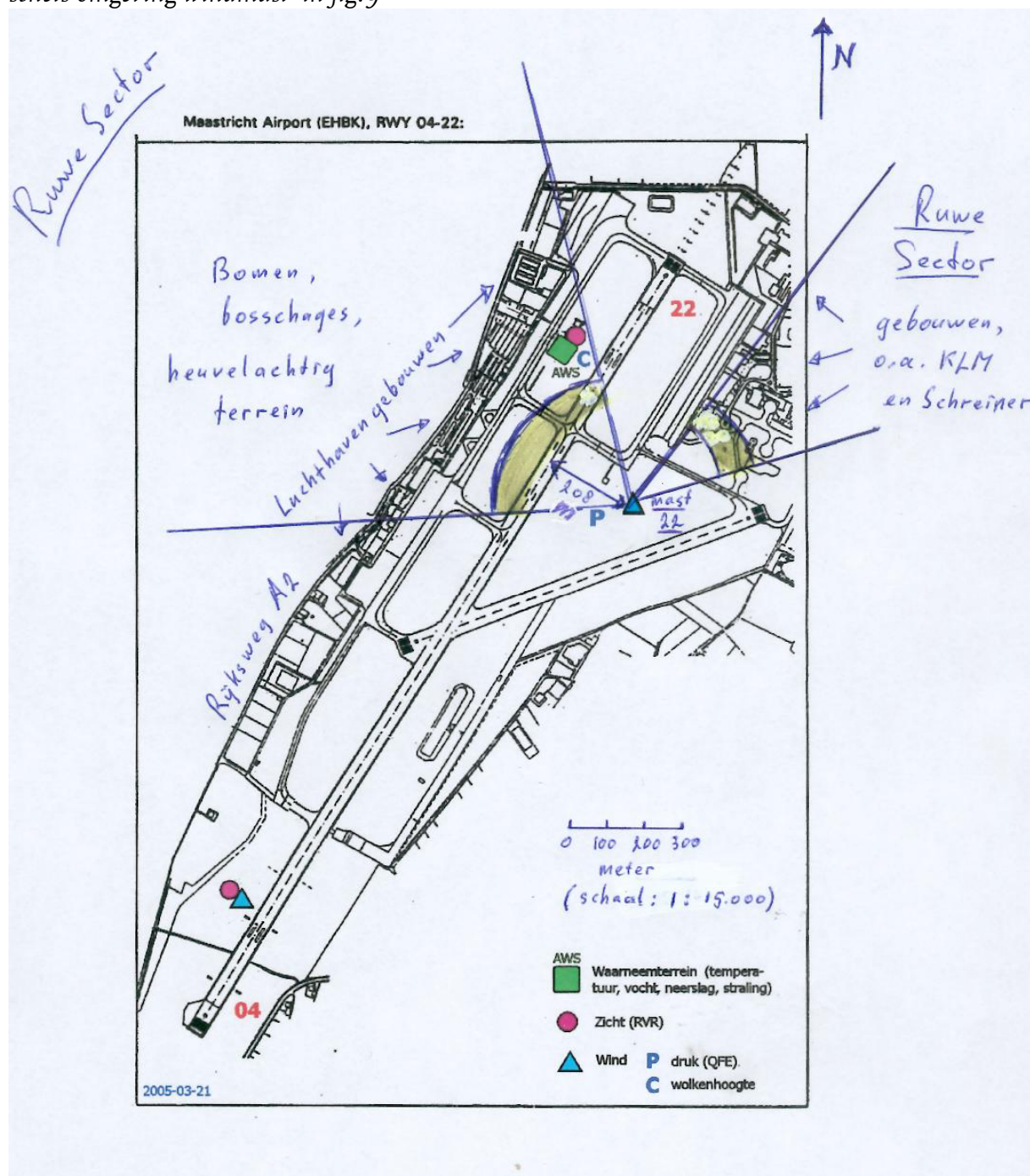


Fig.9 Vliegveld Beek(uit: ref.1 2)

Bij de tussentijdse reguliere inspecties kan de rapportage beperkt worden tot opmerkingen over eventuele wijzigingen in de omgeving onder verwijzing naar het 4-jaarlijkse rapport. Bij door de inspecteur geconstateerde c.q. door de beheerder gemelde ingrijpende wijzigingen in de omgeving van de windmast of in het geval van verplaatsing van de windmast vindt zo spoedig mogelijk een nieuwe uitgebreide inspectie inclusief uitgebreide rapportage plaats.

Het inspectiedossier bevat specifieke informatie over de gebruikte instrumentgegevens, zoals de meetnauwkeurigheden, en dergelijke. Deze worden ook in het uitgebreide inspectie rapport vermeld. Uiteraard wordt ieder inspectierapport (uitgebreid of tussentijds)gedateerd, alsmede van een paraaf door de inspecteur voorzien. Het rapport wordt in het Stations Administratie en Informatie Systeem (SAIS) opgeslagen. Een notificatie van het beschikbaar komen van het rapport wordt per e-mail verspreid. Deze e-mail attendering is voor de ontvangers NIET vrijblijvend, dat wil zeggen zij worden geacht actief kennis te nemen van de inhoud van het rapport. Immers, de rapportage geeft inzicht in de mate van representativiteit van de metingen en is derhalve van cruciaal belang voor betrokken meteorologen, klimatologen en modelontwikkelaars. Waar sprake is van aanbevelingen of verzoeken (bijv. aan INSA/MSB) worden de betrokkenen geacht hiervan kennis te nemen en tot uitvoering over te gaan. Zie: *Inspectieprocedures metingen windsnelheid*, KNMI working group “Inspectiecriteria”, KNMI, De Bilt, 2005 ref. 11.

## 6. Bepalen back-up schema

### 6.1 Criteria voor back-up windmeting

Op een aantal luchthavens waar meer dan 1 windmast is geplaatst, is een back-up schema met betrekking tot de windmetingen van kracht. Op basis van dit schema kan een vervangende meetwaarde worden gegenereerd indien de meting op een bepaalde locatie, om wat voor reden ook, is uitgevallen. Bepalend voor adequate combinaties van meetlocaties in het back-up schema is een goede correlatie gemiddelde windsnelheden per windrichtingsector van 10 booggraden voor iedere beoogde combinatie. De ICAO-conventie is dat de back-up meting gemiddelde windsnelheid per windrichtingsector naar verhouding niet meer dan 10 % mag afwijken van de heersende gemiddelde windsnelheid in de beschouwde touch down/ take off zone (ref. 5).

Een indicatie van de verhouding tussen de gemiddelde windsnelheden ter plekke van 2 nabijgelegen windmasten (afstand < 4 km), kan worden verkregen uit de vergelijking van de windrichtingafhankelijke beschuttingsfactoren van de 2 masten. In die situatie kan namelijk op beide locaties een *gelijke mesowindsnelheid* (d.i. op ca. 60 meter hoogte) verondersteld worden vanwege de betrekkelijk geringe onderlinge afstand {Referentie o.a. *Windklimaat in Nederland, J. Wieringa en P.J. Rijkoort, 1983, ref. 1*}. De relatieve verschillen tussen de waarden gemiddelde windsnelheid op de 2 (meet)locaties zijn dan bij neutrale atmosferische condities in principe *uitsluitend* toe te schrijven aan de lokale omgevingsruwheid. De windrichtingafhankelijke omgevingsruwheid en daaruit volgend de windrichtingafhankelijke beschuttingsfactor is dus bepalend voor de verhouding met betrekking tot de gemiddelde windsnelheid. Op grond van deze stelling kunnen we derhalve concluderen dat aan de bovenstaande voorwaarde cf. ICAO-conventie is voldaan als het relatieve verschil tussen de beschuttingsfactoren per sector niet meer is dan 10% . De relatieve verhouding van de gemiddelde windsnelheden is namelijk omgekeerd evenredig met de relatieve verhouding van de windrichtingafhankelijke beschuttingsfactoren.

### 6.2 Configuratie windmeetnet Schiphol

Op Schiphol zijn niet minder dan 8 windmasten geplaatst. Het formuleren van een back-upschema is derhalve complexer dan op vliegvelden, waar 1 hooguit 2 extra windmasten staan. In deze paragraaf wordt om deze reden uitgebreid ingegaan op de situatie op Schiphol. Het back-upschema voor de windmetingen op Schiphol is beschreven in “*Rapport representativiteit windmetingen Schiphol, augustus 2004*”, ref. 4.

Het schema is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- 1) een windmeet locatie die gebruikt wordt voor representatieve windwaarnemingen ten behoeve van een bepaalde touch down-zone, is tevens representatief voor de take off vanaf de andere zijde van de betreffende baan en fungeert derhalve mede als zodanig in dat verband;
- 2) iedere windmeet locatie met een operationele touch down/ take off functie heeft één back-up meetlocatie, die dezelfde functies heeft;
- 3) er is één operationele windmeet locatie die met betrekking tot station Schiphol (WMO 06240 c.q. EHAM) de data genereert ten behoeve van de grootschalige berichtgeving SYNOP/ METAR/ SPECI/ KLIM, te weten de meetlocatie bij touch

- down 27; de onder punt 2 geduide back-up mast voor deze locatie is tevens back up ten behoeve van de metingen voor genoemde grootschalige berichtgeving;
- 4) in het geval ook de back-up meting zou uitvallen is er geen operationele meting beschikbaar voor de desbetreffende touch down/ take off. Dat wil zeggen er is geen back-up van de back-up;
  - 5) Schiphol kent 10 officiële en semi-officiële touch down zones: 18R, 18C, 36R, 36C, 09, 27, 04, 22, 06, 24 en idem take off zones: 18L, 18C, 36L, 36C, 09, 27, 04, 22, 06, 24; opmerking: touch down 36L / take off 18R en touch down 18L / take off 36R zijn niet van toepassing;
  - 6) aan de volgende officiële en semi-officiële touch down-zones is ter plekke een representatieve windmeet locatie gekoppeld: 18R, 18C, 36R, 36C, 27, 22, 06; totaal 7 locaties;
  - 7) bij de niet gebruikte touch down-zone 36L bevindt zich ook een 10 meter windmast; deze heeft momenteel geen (operationele) status;
  - 8) aan de volgende officiële en semi-officiële td-zones is ter plekke GEEN windmeetlocatie gekoppeld: 09, 04, 24; totaal 3 locaties;

In het kader van het formuleren van het back-up schema windmetingen gaat genoemd Schiphol rapport (ref.4) mede in op de wenselijkheid c.q. noodzaak van plaatsing van een windmast bij de onder punt 8 genoemde touch down zones, of dat de bestaande windmeet locaties eventueel als voldoende representatief kunnen worden beschouwd voor 1 of meer van deze 3 locaties.

### 6.3 Formulering back-up schema Schiphol

Het formuleren van een adequaat (nieuw) back-up schema voor de luchthaven Schiphol behelsde het vinden van een geschikte back-up meetlocatie voor de respectievelijke locaties 18R, 18C, 36R, 36C, 27, 22, 06. Op grond van de kennis met de terreinsituatie en het heersende windklimaat op het vliegveld zijn op voorhand de volgende combinaties van meetlocaties geselecteerd:

- 18C – 27
- 18C – 18R
- 18C – 36C
- 27 – 22
- 36C – 06

De meetlocatie 36R werd al bij voorbaat als zo exclusief qua omgevingsinvloeden beschouwd, dat geen der andere meetmasten hiervoor als vervangende locatie zou kunnen fungeren. Dit meetpunt was om die reden jaren geleden al uit het toen vigerende back-up schema gehaald. Mogelijk dat de metingen van een eventueel nieuw te plaatsen mast (bij touch down 24) voor 36R als back-up kan dienen. Pro memorie.

Teneinde de onderlinge correlatie van de bovengenoemde combinaties te kunnen bepalen, is voor iedere combinatie per windrichtingsector van 10 booggraden de onderlinge verhouding van beschuttingsfactoren berekend. Deze relaties zijn weergegeven in onderstaande grafieken: fig. 10 a t/m. e.

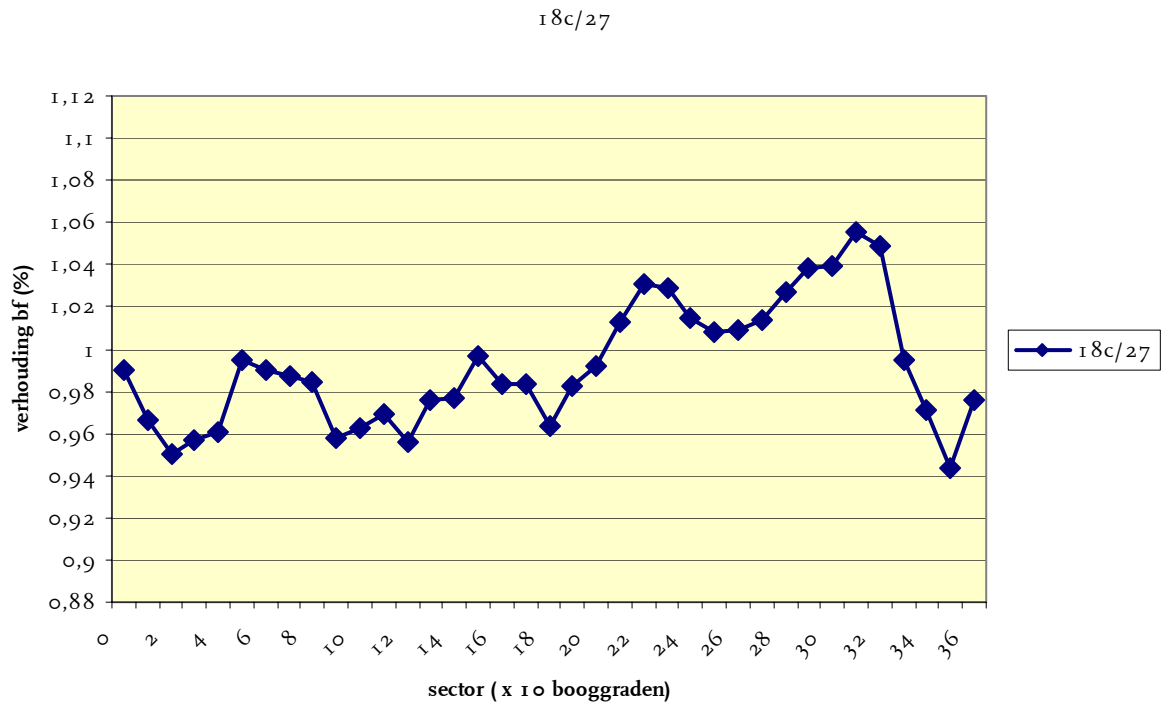


fig. 10.a. Relatieve verhouding beschuttingsfactoren  $18C$  t.o.v.  $27$

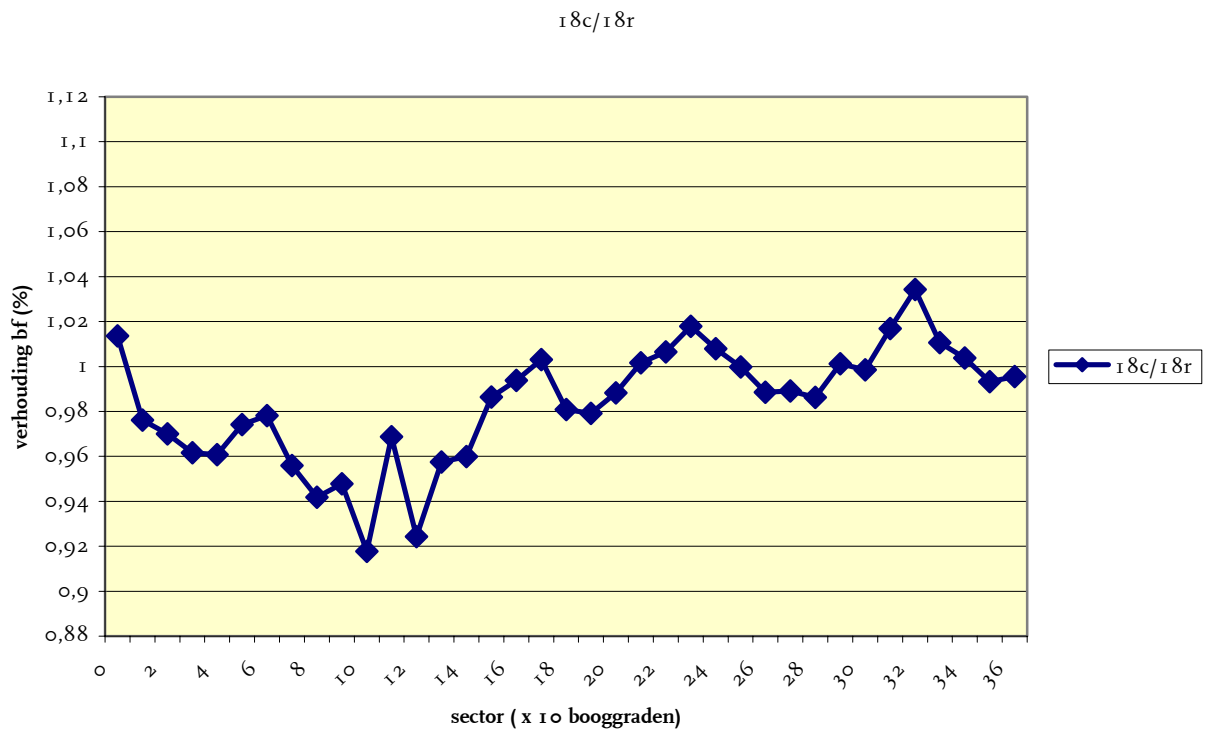


Fig.10.b. Relatieve verhouding beschuttingsfactoren  $18C$  t.o.v.  $18R$

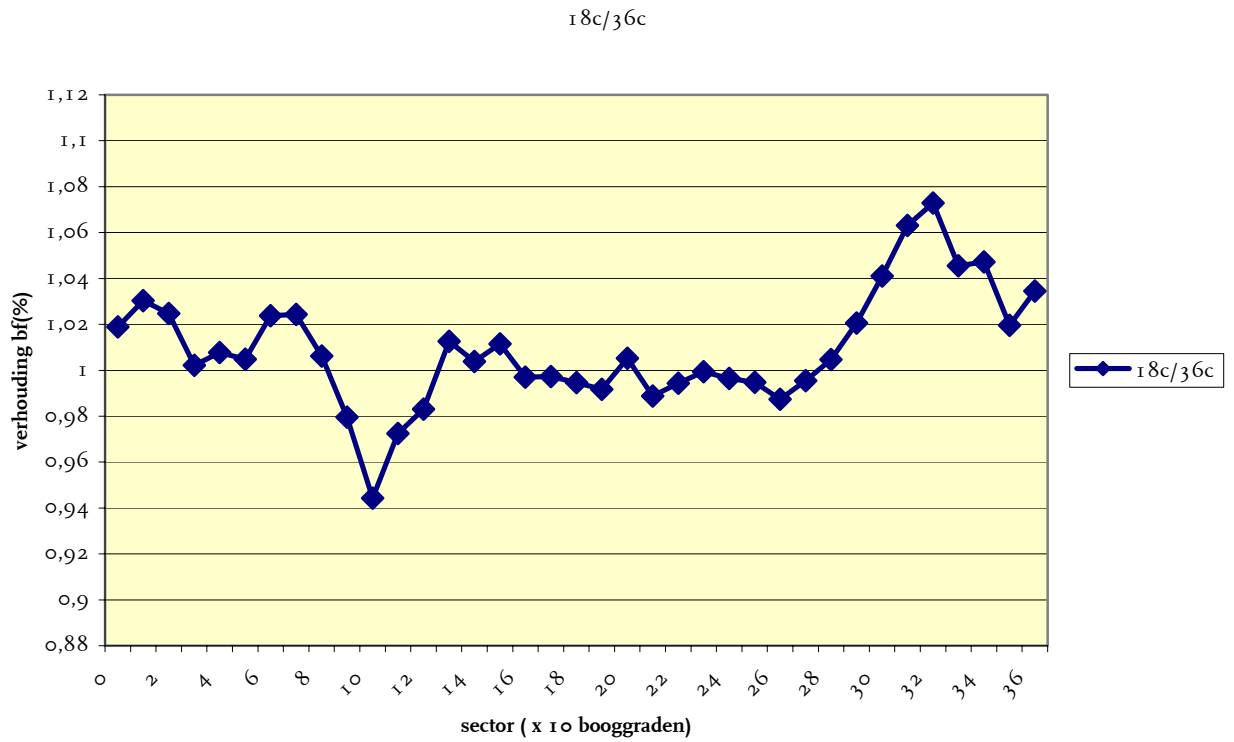


Fig. 1 o.c. Relatieve verhouding beschuttingsfactoren 18C t.o.v. 36C

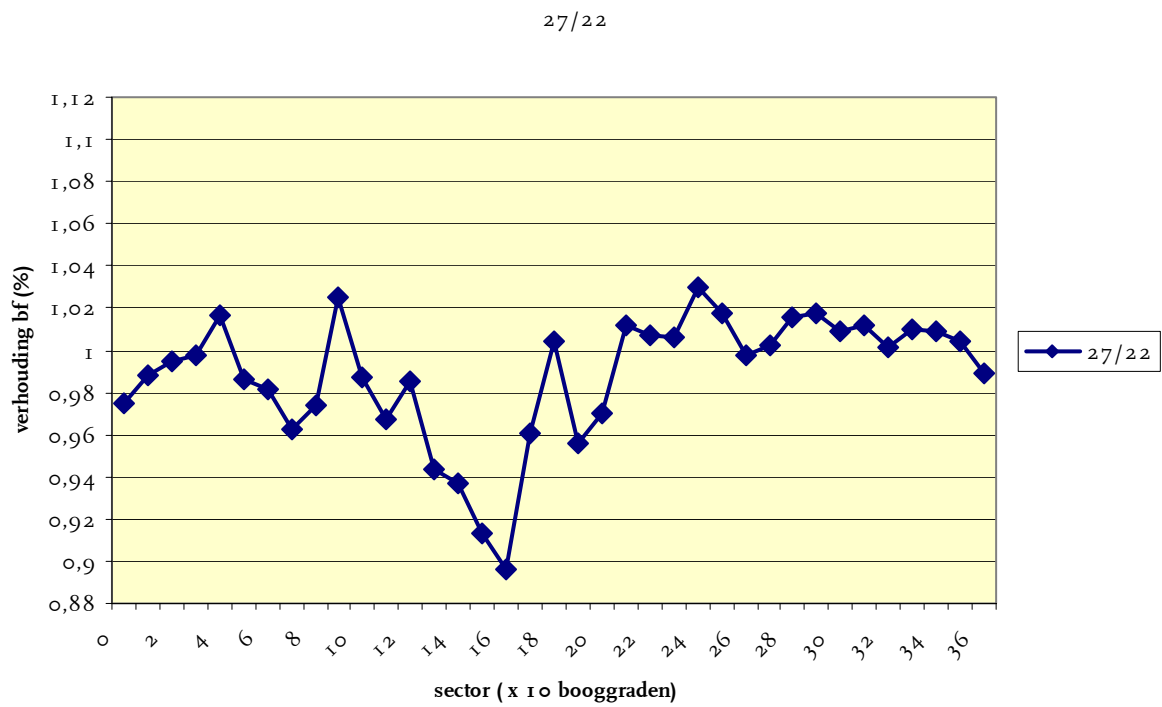


Fig. 1 o.d. Relatieve verhouding beschuttingsfactoren 27 t.o.v. 22



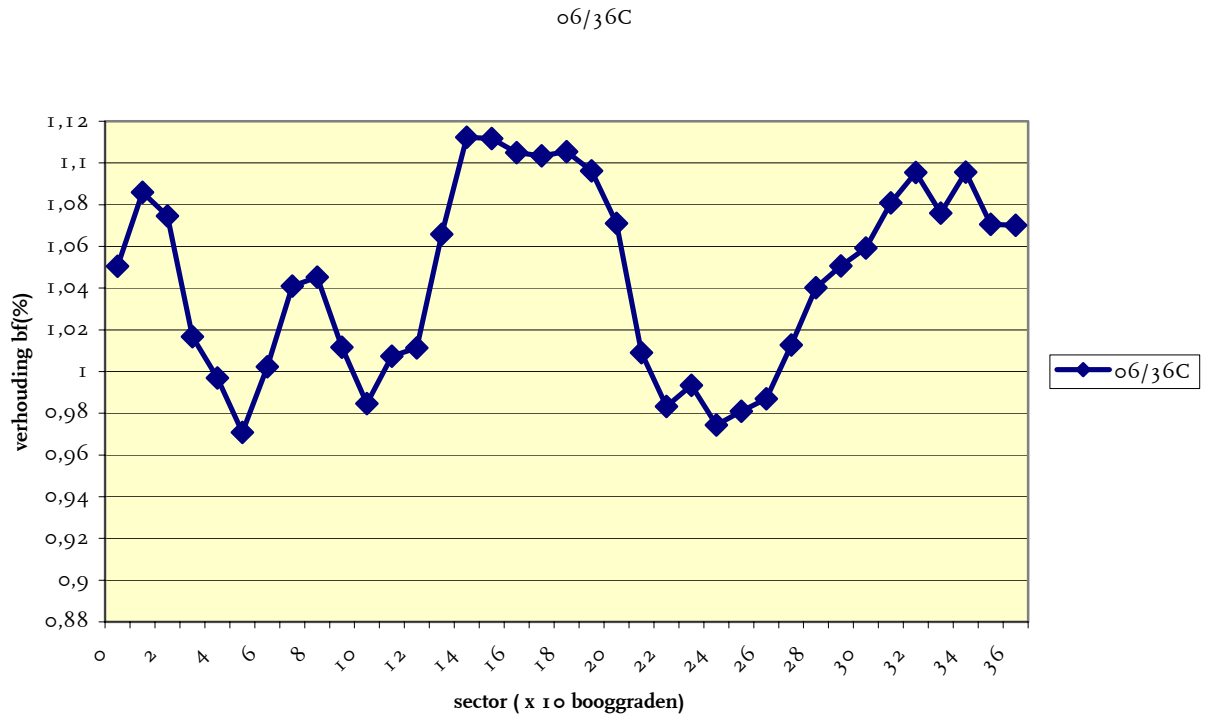


Fig. 1 o.e. Relatieve verhouding beschuttingsfactoren 36C t.o.v. o6

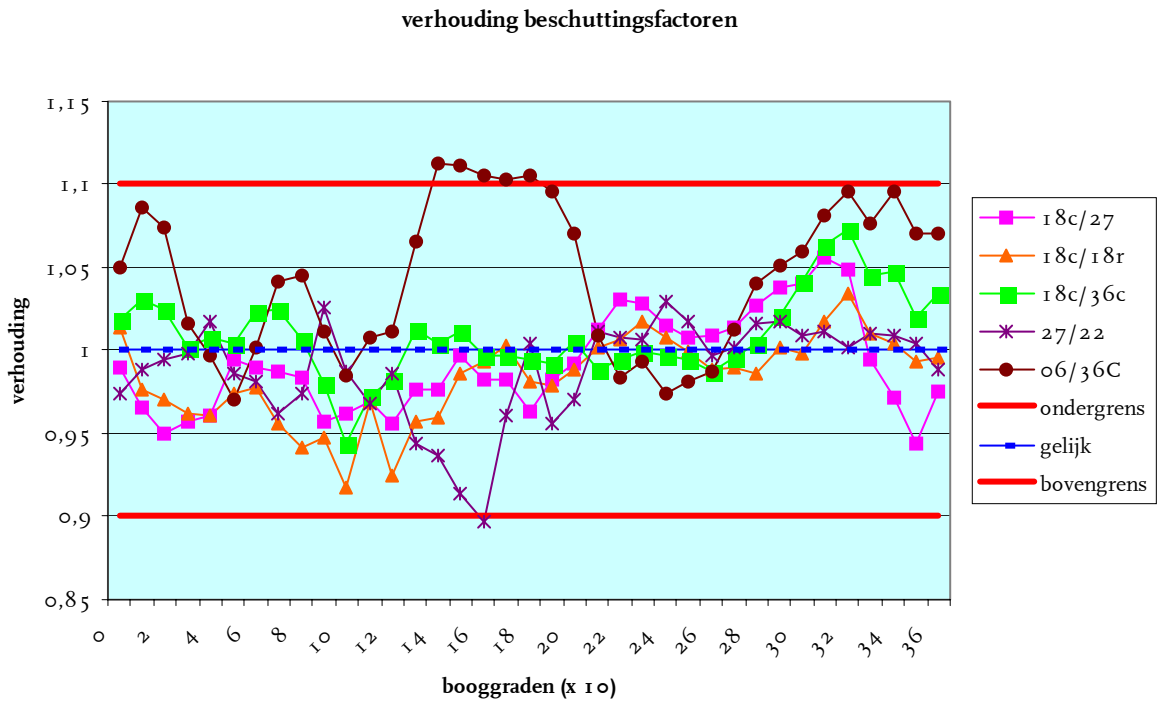


Fig. 1 o.f. Relatieve verhouding beschuttingsfactoren combinaties in relatie tot bovengrens en ondergrens

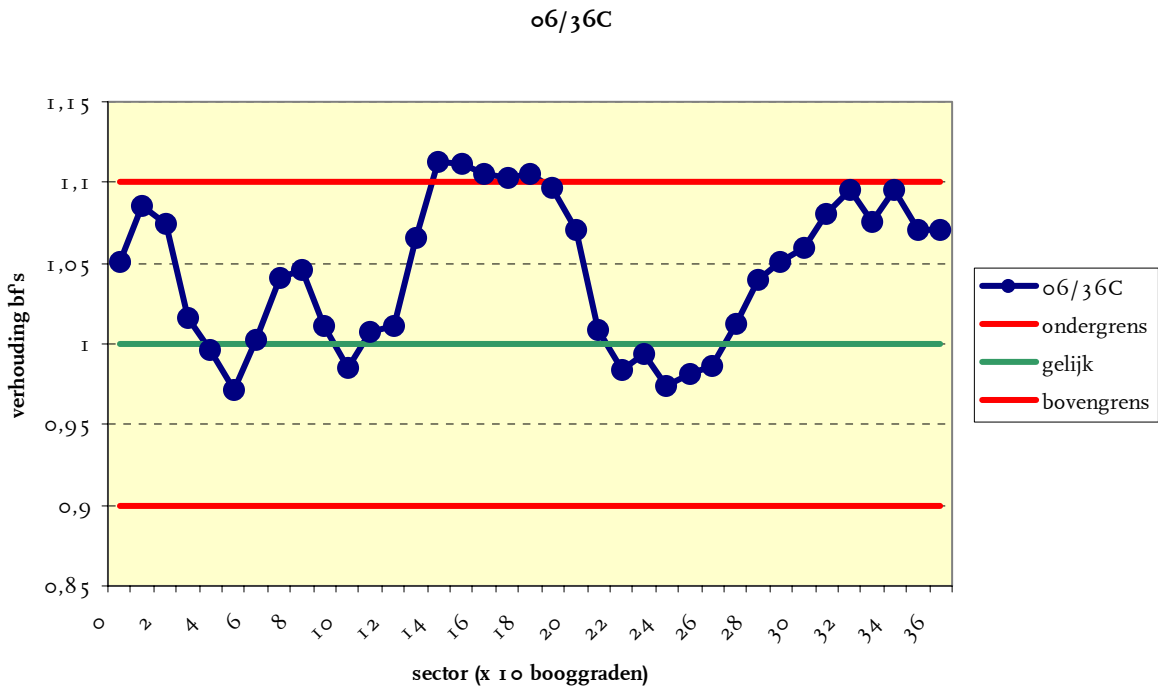


Fig. 10.g. Relatieve verhouding beschuttingsfactoren 36C t.o.v. o6 in relatie tot bovengrens en ondergrens

Op grond van de verhoudingen van de beschuttingsfactoren in relatie tot de maximaal toelaatbare afwijking, ic 10 %, (fig. 10.f en 10.g) zijn de volgende conclusies getrokken:

- de combinaties 18C – 27, 18C – 18R, 18C – 36C en 27 – 22 zijn zodanig gecorreleerd dat per combinatie de windmasten onderling als elkaars back-up kunnen fungeren;
- de combinatie 36C – o6 is in een aantal windrichtingsectoren NIET adequaat gecorreleerd, zodat deze combinatie niet past in het back-up schema.

Op grond van de conclusies uit de correlatieanalyse, alsmede op basis van de terreinkennis die opgedaan is tijdens meerdere bezoeken, is het onderstaande back-up schema met betrekking tot de windmeet configuratie op Luchthaven Schiphol opgesteld (fig. 11).

| Baan    | touch down | take off | status  | Huidige schema |                        | Voorgestelde nieuwe schema |                        |
|---------|------------|----------|---------|----------------|------------------------|----------------------------|------------------------|
|         |            |          |         | windmast (10m) | back-up windmast (10m) | windmast (10m)             | back-up windmast (10m) |
| 18R_36L | 18R        | 36L      | operat  | 18R            | -                      | 18R                        | 18C                    |
|         | 36L        | 18R      | Nvt     | 36L            | -                      | -                          | -                      |
| 18C_36C | 18C        | 36C      | operat  | 18C            | 36C                    | 18C                        | 36C                    |
|         | 36C        | 18C      | operat  | 36C            | 18C                    | 36C                        | 18C                    |
| 18L_36R | 18L        | 36R      | Nvt     | -              | -                      | -                          | -                      |
|         | 36R        | 18L      | operat  | 36R            | -                      | 36R                        | 24*                    |
| 09_27   | 09         | 27       | semi op | -              | -                      | 18C                        | 36C                    |
|         | 27         | 09       | operat  | 27             | 18C                    | 27                         | 18C                    |
| 04_22   | 04         | 22       | semi op | -              | -                      | 22                         | 27 (of 24*)            |
|         | 22         | 04       | operat  | 22             | -                      | 22                         | 27 (of 24*)            |
| 06_24   | 06         | 24       | operat  | 06             | 36C                    | 06                         | 24*                    |
|         | 24         | 06       | semi op | -              | -                      | 24*                        | 06                     |

oper: operationeel -> CAT, ILS

semi op: semi operationeel -> geen CAT, geen ILS

nvt: niet van toepassing (d.i. niet operationeel)

\* nieuw te plaatsen mast bij touch down 24.

Fig. 1 1. Back-up schema windmeetnet Schiphol



## ***7. Summary***

Uncertainty and representativity of wind observations depend on the terrain roughness in the vicinity of the observation sites. The measure of representativity also depends on the wind direction. In particular at airports, where local representativity is a strong requirement, it is of high importance to have a good view of the windfield at and above the runways, and also in the approach zones. The Royal Netherlands Meteorological Institute uses two methods to transform the measured windspeed to values representative for the surrounding areas, especially to the area above touch down zone. The first method is based on the influence of the roughness on the vertical wind velocity profile. The roughness around the observation site is calculated using a gust analysis as a function of wind direction. For a well qualified statistical analysis providing roughness data, a long time series of windspeed data is required. The second method is based on a visual estimation of the sheelding factor using a classification scheme describing the landscape. Every classification correspondends with a value of the shelter factor. These methods give the tools make it possible to present required wind information to the airtraffic. An evaluation of these methods used at several airports is presented in this report.

See also: *Quality and representativity of windmeasurements*, H.Benschop, J.van der Meulen, paper conference TECO-2005, Bucharest, may 2005 (ref.10): <http://info.knmi.nl/~benschop/>



## 8. Conclusies en aanbevelingen

- Voor alle windmeetstations wordt in principe éénmaal per 4 jaar of na een verplaatsing van de meetmast c.q. bij ingrijpende wijzingen van de omgeving (ter beoordeling van de inspecteur) een (her)berekening van de beschuttingsfactoren gedaan. Een herberekening kan overigens pas worden gedaan zodra voldoende data in de nieuwe situatie beschikbaar is.
- Met de vlaaganalysemethode, zoals ontwikkeld door Wieringa en mede operationeel gemaakt door Beljaars en Verkaik, kunnen representatieve waarden voor de ruwheidslengte  $z_0$  en de beschuttingsfactor BF worden berekend. De waarden  $z_0$  en BF zijn van toepassing op een ruim gebied: straal 4 km rond de windmast.
- Het classificatieschema van Davenport is een goed alternatief hulpmiddel bij het inschatten van ruwheidslengte  $z_0$  en beschuttingsfactor BF, indien geen meetdata beschikbaar is. Wel moet ten behoeve van een correcte classificatie een betrekkelijk grootschalige landschapsanalyse worden gedaan, d.i. voor een gebied met straal = 4 km.
- De classificatie baseren op uitsluitend een horizonscan vanaf de windmast is onvoldoende. Grote ruwheid en orografie op afstand kunnen sterk doorwerken in het windgedrag en de beschutting ter plekke van de windmast.
- Het verdient aanbeveling om in een vervolg onderzoek de relatie tussen berekende BF en ingeschatte BF op basis van het classificatieschema bij diverse windmeetlocaties nader te beschouwen, waarbij met name gedacht wordt aan de windmast op vliegbasis De Kooy. Deze is een aantal jaren geleden verplaatst. Interessant is om de invloed van de stad Den Helder ten noorden van de meetlocatie te onderzoeken.
- Kwaliteitszorg met betrekking tot windmetingen vereist regelmatige inspectie. De berekende beschuttingsfactoren en een goede omgevingsbeschrijving (schets, tabellen, foto's) spelen een belangrijke rol in dit verband. De inspectie valt onder de verantwoordelijkheid van de afdeling OD/BWS. Windmasten met een grootschalige operationele functie, o.a. in het verband van SYNOP/ KLIM/ METAR, worden ieder halfjaar geïnspecteerd. Windmasten met een strikt lokale functie, bijvoorbeeld bij een start-/landingsbaan op een vliegveld, worden eenmaal per 2 jaar geïnspecteerd. De inspectie wordt uitgevoerd volgens vastgestelde procedures.
- Iedere 4 jaar wordt een uitgebreid inspectierapport opgesteld, inclusief BF's, omgevingsschets, foto's e.d. Dit rapport dient als basis bij de tussentijdse inspecties. Eventuele afwijkingen in de omgeving worden genoteerd. Bij ingrijpende wijzigingen wordt een nieuw uitgebreid inspectierapport opgesteld, inclusief een nieuwe berekening van BF's.

- De applicatie berekening BF's met behulp van de vlaaganalysemethode heeft een operationele functie in het KNMI en dient derhalve ook als functionaliteit ingebed te zijn in de (nieuwe) organisatie KNMI. Een punt van aandacht bij de reorganisatie.
- Op vliegvelden met meerdere windmasten is een back-up schema van toepassing. Een windmast die als back-up van een andere mast fungeert, mag op niet meer dan 4 km afstand van die mast staan. Dan kan namelijk nog een gelijke meso bovenwind verondersteld worden, wat een garantie is voor representativiteit. Voorts zal het relatieve gemiddelde windsnelheidsverschil per windrichtingsector van 10 booggraden in principe niet meer dan 10% mogen zijn (d.i.cf. de ICAO-conventie). Het afstandscriterium en de gelijke meso-wind impliceren een maximaal relatief BF-verschil per sector à 10 booggraden van 10%.



## *Literatuur en referenties*

1. Windklimaat in Nederland, J.Wieringa en P.J.Rijkoort, 1983;
2. Evaluation of Two Gustiness Models for Exposure Correction Calculations; J.W.Verkaik, Journal of Applied Meteorology, Volume 39, p.1613 - 1626, 2000;
3. Handboek Waarnemingen KNMI, Hoofdstuk 5, Wind, ihb par.5; versie maart 2001;
4. Representativiteit windmetingen Schiphol, KNMI rapport, KNMI/WM, De Bilt, augustus 2004;
5. International Civil Aviation Organisation ICAO: 'Meteorological Service for International Air Navigation, International Standards and Recommended Practices', annex III to the convention on International Civil Aviation, 13<sup>th</sup> edition, ICAO, Montreal, 1998;
6. World Meteorological Organization, 1996: WMO-No. 8, Guide to meteorological instruments and methods of observations, 6<sup>th</sup> edition, 1996 (i.h.b. Hoofdstuk 5); WMO, Genève, 1996;
7. Windsnelheidsmetingen op zeestations en kuststations: herleiding waarden windsnelheid naar 10 meter niveau; KNMI-TR 188, Henk Benschop, 1996;
8. Rationale for determining design wind velocities, A.G. Davenport, J.Am.Soc.Civ.Eng., ST-86, p.39 - 68, 1960;
9. Keuze van te meten elementen in het voorgestelde netwerk van synoptische en klimatologische landstations, T.A.Buishand, KNMI, De Bilt, november 1987;
10. Quality and representativity of windmeasurements, H.Benschop, J.van der Meulen, paper conference TECO-2005, Bucharest, May 2005;
11. Inspectieprocedures metingen windsnelheid, KNMI working group "Inspectiecriteria", KNMI, De Bilt, 2005; (internal document)  
<http://info.knmi.nl/~benschop/product/prod01.htm>
12. Herinrichting meteorologische waarneemsystemen op Maastricht - Aachen Airport (06 380 Beek, EHBK), J.van der Meulen, KNMI Waarnemingen en Modellen, 2005  
<http://www.knmi.nl/~meulenvd/projects/EHBK/>