



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Nieuwe atlaskaart van wind in Nederland

Jon Wieringa ; C.C.M.

De Bilt, 2011 | intern rapport; IR 2011-02

Nieuwe atlaskaart van wind in Nederland

Versie 1.0

Datum	maart 2011
Status	Definitief

Nieuwe atlaskaart van wind in Nederland

Jon Wieringa, C.C.M.

Maart 2011

1. Voorgeschiedenis.

Het KNMI te De Bilt is overeengekomen met de firma Noordhoff-Wolters te Groningen om per 1 mei 2011 een kort hoofdstuk over wind te leveren ter publicatie in een Bos-atlas. Een essentieel deel van dit hoofdstuk wordt een kaart van de jaargemiddelde windsnelheid in Nederland. De windmetingen waarop deze kaart wordt gebaseerd zijn verricht op 'synoptische' stations van de weerdienst. Daarvoor stelt de Wereld Meteorologische Organisatie (WMO) sinds 1950 de eis dat "measurements of wind for synoptic purposes should refer to a height of 10m in an unobstructed area". Door zo'n normalisatie is het goed mogelijk om metingen van stations in een regio te vergelijken en ze te kunnen vertrouwen voor weersverwachtingen, voor klimatologische analyse, en voor aanlevering van ondubbelzinnige actuele windinformatie aan belangstellenden in de regio.

Voor windmasten is helaas zelden een terrein beschikbaar dat in alle richtingen storingsvrij is, "unobstructed", d.w.z. zonder vegetatieve of gebouwde obstakels binnen een afstand van een dozijn obstakelhoogten. Een objectieve en operationeel bruikbare methode ter correctie van windmetingen voor omgevingsstoringsen werd voor het eerst ontwikkeld door Wieringa (1976). Daarbij wordt de gezamenlijke begroeidheid en bebouwdheid van het terrein aan de windzijde van de mast gekarakteriseerd door een zgn. ruwheidslengte, bepaalbaar uit de vlagerigheid. Uit die ruwheidslengte en de windmasthoogte wordt een beschuttingscorrectie-factor berekend. Met die factor moet een gemeten windsnelheid worden vermenigvuldigd om te weten welke windsnelheid op het station gemeten zou zijn wanneer de omgeving ruwheidsvrij zou zijn geweest, "unobstructed". Een met zo'n factor gecorrigeerde windsnelheid heet potentiële wind en voldoet aan de WMO-norm. De meeste stations staan in een inhomogene omgeving, en dan is de beschuttingscorrectie afhankelijk van de windrichting.

Voor de periode 1961-1980 werd de omgeving van Nederlandse windstations geanalyseerd en hun beschuttingscorrecties werden bepaald. Voorts werd de ruwheidslengte van heel Nederland in kaart gebracht. Toen kon het KNMI het potentiële windklimaat van Nederland beschrijven met nieuwe grenslaagmodellen (Wieringa en Rijkoort 1983; Wieringa 1986). Ook de weerkamer gebruikte in de tachtiger jaren potentiële wind voor vlaagschatting en mesoschaal-windstructuur (Cats 1980). De KNMI-methodiek werd door andere Europese landen overgenomen, en ook door de WMO (1996). Echter verliet Wieringa in 1992 het KNMI en hij werd niet opgevolgd vanwege bezuinigingen, en in Nederland werd zijn werk niet goed voortgezet. In de nieuwe klimaatatlas (Heijboer en Nellestijn 2002) werd de windkaart gemaakt door ongemodelleerde interpolatie van synoptische metingen die niet voor beschutting waren gecorrigeerd.

Evenwel, omstreeks de eeuwwisseling kon Verkaik worden aangenomen voor het Hydra-project van Rijkswaterstaat. Hij actualiseerde de beschrijving van stations-omgevingen, verzorgde beschuttingscorrecties van de na 1990 verrichte windmetingen, en her-analyseerde de ruwheid van Nederland met behulp van satellietwaarnemingen. Verkaik verliet het KNMI eind 2006 en droeg onderhoud van het bestand windmetingen over aan Groen. In het kader van windonderzoek voor de Waterdienst heeft hij samen met Wever het werk van Verkaik voortgezet en verfijnd (Wever en Groen, 2009), maar helaas is Wever in oktober 2010 vertrokken. Terzelfdertijd had Wieringa de slechte kaart van 2002 ontdekt en nam contact op met de directie van het KNMI. Hem werd gevraagd

te adviseren in de opzet van een nieuwe, met ruwheidsanalyse geïnterpoleerde windkaart. Twee part-time medewerkers, Stepek en Wijnant, zijn aan de slag gegaan met de reeksen potentiële wind en de interpolatiemethode van Verkaik om een nieuwe windkaart te maken voor de nieuwe atlas.

2. Beschikbare windmetingen.

Als eerste stap bij de Hydra-projectanalyse is door Verkaik de geschiedenis van de beschikbare meetstations vanaf het begin van de waarnemingen uitgebreid samengevat in een pdf-document (Verkaik 2001). Daarna zijn uit vlaggegevens van de stations beschuttingsfactoren berekend, met herziening per twee jaar, of vaker als er een significante verandering was in opstelling of omgeving. Wieringa had voor de periode voorafgaand aan 1980 alleen maximumvlagen ter beschikking, maar na 1990 kon de modernere stations-electronica ook voor steeds meer stations de standaarddeviaties van de windsnelheid leveren, analyseerbaar volgens een door Beljaars ontwikkelde methode. Verkaik onderzocht de methoden van Wieringa en Beljaars grondig en concludeerde dat ze beiden voor de beschuttingsfouten, die vaak van de orde -15% tot -20% zijn, correcties berekenden tot op $\pm 5\%$ nauwkeurig (Verkaik 2000). Omdat Groen na Verkaik's vertrek diens bestandsverwerking zorgvuldig onderhield (zie Wever en Groen 2009), kon dus door Stepek en Wijnant uitgegaan worden van een bestand meetgegevens van landstations dat voor het merendeel goed gecorrigeerd en gevalideerd was. Er zijn helaas uitzonderingen.

Windmeters op havenpieren staan meestal 18 m hoog vanwege de risico's van hoge golven bij storm. Daarnaast worden gegevens van booreilanden op volle zee gebruikt, waar de anemometerhoogte tot 100 m boven zeeniveau kan zijn. Voor deze hoge zeelocaties zijn omrekeningsfactoren bepaald naar 10 m hoogte (Benschop 1996), slechts één factor per locatie omdat zeeruwheid in alle richtingen hetzelfde is. Benschop schreef expliciet dat zijn herleidingsfactoren voor kuststations alleen van kracht zijn "voor wind komend over zee. In de overige windrichtingen gelden landcondities. In deze gevallen dienen de beschuttingsfactoren, die met behulp van de vlaganalyse-methode van Wieringa berekend kunnen worden, gebruikt te worden." Goede hantering van de zeer richtingsafhankelijke ruwheid op kuststations was eerder geïllustreerd voor Vlissingen door Wieringa (1983).

Helaas worden onderzoeksconclusies vaak operationeel genegeerd, hier en elders ter wereld (Tucker, 1976). Sinds 1996 wordt Benschop's hoogtecorrectie met lage zeeruwheid voor alle richtingen toegepast op kuststations zoals Vlissingen, en ook op het landstation De Bilt. Aldaar stond de windmast aan de westzijde zo dicht bij een hoog bos (ruwheidslengte > 1 m) dat de in De Bilt op 10 m hoogte gemeten wind niet alleen ongeloofwaardig zwak was, maar ook niet goed beschuttings-corrigeerbaar (Wieringa 1980, 1986). Daarom is de Biltse mast in 1993 verhoogd tot 20 m, maar hoogtecorrectie van deze landmetingen voor alle richtingen met lage zeeruwheid heeft een significant fout bestand opgeleverd. Wever en Groen (2009) rapporteerden dat deze aanpak nog gold in maart 2009, maar dat men voornemens was om oneigenlijk gebruik van de Benschop-correctie voor kuststations en voor De Bilt per september 2009 te beëindigen. De gegevensbestanden zijn corrigeerbaar. Voor de nieuwe windkaart zijn de Benschop-correcties geheel verwijderd voor de interpolatie-stations, en enigszins voor de kuststations.

Voor de beschrijving van het windklimaat over de periode 1951-1980 is destijds mede gebruik gemaakt van nabije Belgische en Duitse stations zoals Deurne, Bocholt en Norderney (Wieringa en Rijkoort, 1983). Deze windgegevens waren slechts beschik-

baar voor perioden van zes tot tien jaar, en ook sommige destijds beschikbare Nederlandse stationsreeksen waren niet lang. Met behulp van een analyse van winderige en windzwakke jaren zijn al deze reeksen toen genormaliseerd om representatief te worden voor de beschreven 30-jaar-periode (Wieringa 1986). Een dergelijke periode-representativiteits-correctie kon door Stepek en Wijnant in de paar beschikbare maanden niet worden uitgevoerd, maar alternatieven hiervoor worden getest. Voorts omvat het Verkaik-bestand helaas uitsluitend Nederlandse stations.

3. Tweelagenmodel en terreinruwheid.

Modelleren van de wind over de oppervlakte van heel Nederland is uitgevoerd met het tweelagenmodel van Wieringa (1986) in een nieuwe uitvoering van Verkaik (2006). Hierbij worden windgegevens van weerstations via de oppervlaktelaag getransformeerd naar de top van de planetaire grenslaag daarboven, dan worden ze op dat topniveau landelijk gecombineerd, en dan wordt dat gecombineerde macrowindveld weer naar de grond getransformeerd overal in Nederland. De twee verticale transformaties elimineren elkaars stabiliteitsfout. Windtoename in de oppervlaktelaag tot 60 m hoogte hangt af van lokale terreinruwheid, en in de planetaire grenslaag werkt een mesoschaal-ruwheid.

Hiervoor behoeft men allereerst een ruwheidskaart van het gehele gebied. Voor “Windklimaat van Nederland” noteerden Agterberg en Wieringa (1989) voor Nederland en voor Duitse en Belgische grensgebieden uit topografische kaarten van 1960 met schaal 1:100000 de vier belangrijkste typen van landgebruik binnen elk blok van 5 km x 5 km. Zij sommeerden dan per blok de bijbehorende oppervlakteruwheden (Wieringa 1986, 1992), voegden extra ruwheid toe bij orografische hoogtevariaties in het blok, en gebruikten seizoensafhankelijke vegetatieruwheid.

Verkaik (2006) beschikte over de satelliet-database LGN3+ van Nederland met landgebruik per pixel van 25 m x 25 m. Hij sommeerde in blokken van 500 m x 500 m de ruwheden van deze pixels, en voegde orografische ruwheid toe. Verkaik was zelf niet geheel tevreden met het eindresultaat, omdat de satelliet geen onderscheid zag tussen vlakke startbanen en parkeerplaatsen enerzijds en bebouwing anderszijds, en ook lokale obstakels smaller dan 25 m (kassen, boomrijen langs wegen) niet zag. Voor geloofwaardige ruwheid van bijvoorbeeld Schiphol was aanvullend handwerk nodig. Vegetatieruwheid werd niet seizoensafhankelijk gesteld. Tenslotte gebruikte Verkaik bij verticale transformatie een mesoschaal-“footprint” van minstens 3 km, de grootteorde van de horizontale schaal van windvariatie aan de top van de oppervlaktelaag.

Stepek en Wijnant reproduceerden Verkaik's uiteindelijke ruwheidskaart, maar deden dit allereerst zonder orografische correctie. Voor de Belgische en Duitse grensgebieden is uit de ruwheidskaart van Agterberg en Wieringa (1989) ruwheid toegevoegd voor pixels vlak over de grens. Deze eerste kaart komt redelijk overeen met de oppervlakteruwheid in fig.4.4 van Wieringa en Rijkoort (1983), maar niet met hun mesoruwheidskaart fig.4.6. In deze eerste concept-kaart is onder meer de ruwheid van Zuid-Limburg onwaarschijnlijk laag. De tweede concept-kaart, mét orografische correctie, is een ruwheidskaart die geloofwaardiger lijkt, niet alleen in Limburg maar ook elders in het land. Evenwel, in de ruwheidskaart van 1982 waren hoogteverschillen minder dan 20 m niet zwaar gerekend omdat die de grootteorde van obstakeleffecten hebben. Correctie daarvoor gaf destijds onder meer realistischer kaartwindsnelheden aan de westkust.

4. Interpolatie via macrowind.

De 30-jr-normaalwaarden over 1981-2010 van jaargemiddelde potentiële windsnelheden waren op Oudjaar 2010 beschikbaar voor twee dozijn landstations, twee stations

op volle zee (K13 en Goeree) en drie kuststations (Lauwersoog, IJmuiden en Hoek van Holland). De lengte van individuele reeksen is minstens 20 jaar. De Bilt en Vlissingen zijn meegenomen. Opwaartse transformatie over twee lagen levert 29 normaal-macro-windsnelheden aan de top van de planetaire grenslaag.

De combinatie van deze stationswaarden tot een macrowindveld over heel Nederland is uitgevoerd met IDW (inverse distance weighting). Daarbij is voor ieder pixel van 1 x 1 km de wind bepaald uit alle stations binnen 150 km afstand, gewogen met de afstand van ieder station tot de macht $-p$. Voor machtsexponent p zijn waarden uitgetoetst van 0.5 tot 8, en voor $p = 2$ bleek de IDW-gemiddelde macrowind van alle stations de minste afwijking te geven van de actuele stations-macrowindsnelheden.

Als de invloed van hoogteverschillen op de mesoruwheid wel wordt meegenomen, worden in de nieuwe concept-windkaart de verificatieresultaten op de stations op orografisch ruw terrein iets beter. Evenwel, door het extrapoleren van de macrowind naar laaggelegen en minder ruwe gebieden in de nabijheid van zulke stations worden de in Limburg gemeten grondwindsnelheden overschat in de windkaart. Daarom is er voor de atlaskaart gekozen om tezamen met IDW-interpolatie een mesoschaalruwheid te gebruiken zonder extra orografische ruwheid.

Opgemerkt moet worden dat seizoensverschillen in het windklimaat groot zijn. Als men seizoenen afzonderlijk analyseert (Wieringa 1986) dan blijkt, dat in het winterseizoen de wind in de kuststrook dermate sterker is dan in het binnenland dat dan aparte middeling nodig is.

IDW is een aanvaardbare interpolatiemethode, maar hij is riskant wanneer er moet worden geëxtrapolerd voorbij stations aan de buitenrand van het werkgebied. Ter vergelijking: bij kleinst-kwadratische bepaling van een regressielijn weegt één afwijkend punt aan het eind van de lijn zwaarder dan een punt halverwege en trekt de lijn scheef. Hier, wanneer ergens een station aan de buitenrand sterk afwijkend is dan zal verder naar buiten die afwijking toenemen. Zolang men buiten de rand geen waarden presenteert zal dat echter weinig merkbaar zijn.

Zo'n extrapolatie-effect is bij Lauwersoog, Twente en Eindhoven wel merkbaar op de kaart van het met $p = 2$ geïnterpoleerde macrowindveld, maar binnen Nederland nog niet erg zichtbaar op de uiteindelijke kaart met 1 km-pixels van de neerwaarts getransformeerde wind aan de grond. Aan de westkust speelt mee dat we daar nog niet echt buiten het werkgebied zijn vanwege meenamen van K13 en Goeree. Het ontbreken van voldoende Belgische wind- en ruweheidsinformatie is jammer omdat aan onze zuidgrens weinig stations zijn, Woensdrecht niet is gebruikt en Maastricht slecht gelegen is.

De macrowindkaarten zijn ook vergeleken met een 20-jaar-gemiddelde van de door het Europese verwachtingscentrum ECMWF gemodelleerde wind op 2 km hoogte. Aangezien de gemiddelde top van de planetaire grenslaag een lager niveau heeft, kan dit alleen het relatieve verloop van het geïnterpoleerde macrowindveld testen. Inderdaad vertoont zich windafname van noordwest naar zuidoost. Mede vanwege grofheid van het ECMWF-rooster, 60 km, valt uit deze vergelijking verder moeilijk meer te concluderen.

5. Kwaliteit van resulterende atlaskaart.

Voor validatie van de waarschijnlijk resulterende atlaskaart moeten we verwijzen naar Verkaik (2006). Onder meer testte hij drie stations van verschillend type uitgebreid, en hij concludeerde dat de gemiddelde fout in de gemodelleerde plaatselijke windsnelheid minder was dan 0.5 m/s. Nu hier blijkt dat de actuele aanpak van Stepek en Wijnant met Verkaik in hoofdzaak overeenkomt, zal Verkaik's nauwkeurigheid ook globaal gelden voor de nieuwe kaart. Dit is aanvaardbaar voor een atlas, waarin deze kaart wordt ge-

presenteerd in klassen van 0.5 m/s, tussen 3.5 en 6.0 m/s. Hoge windsnelheden behoeven meer differentiatie. Ook is het zinvol dat de pixelgrootte van de gepresenteerde kaart niet te klein is omdat potentiële wind een werkafstand heeft van 2 tot 3 km.

Inzake de 1983-kaart concludeert Wieringa (1986) : "At three stations only (Beek, De Bilt, Zierikzee) annual potential windspeed values are about 0.5 m/s below the map values. Of the remaining 31 stations, i.e. 16 basic stations and 15 independent control stations, 29 have their wind speeds represented by the map within ± 0.25 m/s". De oude kaart was dus nauwkeuriger — maar hij is oud, de ruwheid van Nederland is in veertig jaar toegenomen en alleen al om die reden is een nieuwe kaart nodig. De huidige hype over afname van de wind op het Noordelijk Halfron in de afgelopen tientallen jaren is waarschijnlijk grotendeels te verklaren uit ruwheidstoename.

De nieuwe kaart wordt in ieder geval veel betrouwbaarder dan de kaart van Heijboer en Nellestijn (2002). Onder meer ontbrak op hun kaart de merkbare zuidwaartse windafname langs de kust, en waaide het er op de Veluwe even hard als in Cabauw.

6. Noodzakelijk vervolg.

Na levering van de nieuwe kaart aan Wolters-Noordhoff zullen Stepek en Wijnant hun werk van de afgelopen maanden afronden door goede KNMI-rapportage. Echter, het feit dat hun haastige inzet moest worden ondersteund door advies van Wieringa verdient nadere aandacht. Men zou verwachten dat het KNMI in staat dient te zijn om zelfstandig actuele klimatologische windinformatie te kunnen leveren. Enerzijds moeten dan de stations-meetreeksen en hun beschuttingscorrecties onderhouden worden, misschien zó dat de weerkamer desgewenst toegang krijgt tot actuele potentiële windgegevens. Anderszijds moet dan ook iemand op wetenschappelijk niveau ingewerkt zijn in zaken zoals dagelijkse gang, stormen en windextremen, zwakke-windperiodes voor smog-problemen, en dergelijke. Daarvoor is ruime bekendheid met eerder windonderzoek wezenlijk van belang, een eerste basis hiervoor zijn de bijgevoegde referenties. Als het KNMI enigszins een kenniscentrum wil blijven, dan vereist dat structurele investering in kennis, ook inzake de wind.

Onder meer is de cartografie van de wind niet klaar met slechts een kaart van de wind nabij de grond. Voor windenergie-projecten bestaat er bijvoorbeeld nu de kaart van Senternovem (2005) voor de wind op 100 m hoogte, maar een toetsing van de kwaliteit van die kaart is niet te vinden. De rol van stabiliteit, en van de omkeerhoogte van de dagelijkse gang en de bijbehorende vormverandering van de winddistributie (Wieringa 1988, 1989) zou wel eens verwaarloosd kunnen zijn — enige aandacht is wenselijk.

In ieder geval moet van de nu geproduceerde nieuwe kaart van de grondwind nagegaan worden, welke zaken nog nader moeten worden uitgezocht. Voor ontwikkeling van betere kaarten is nader onderzoek nodig naar het windgedrag op kuststations (de problemen daarmee zijn hierboven nauwelijks gezien) en naar orografische effecten, en meenamen van enige windinformatie uit onze nabuurlanden. Het uiteindelijke doel zou kunnen zijn dat we over Nederland het gemiddelde windklimaat kunnen beschrijven tot op ± 0.25 m/s per gebied van 10 vierkante kilometer. Grotere nauwkeurigheid zal de wispelturige wind ons vermoedelijk nooit toestaan.

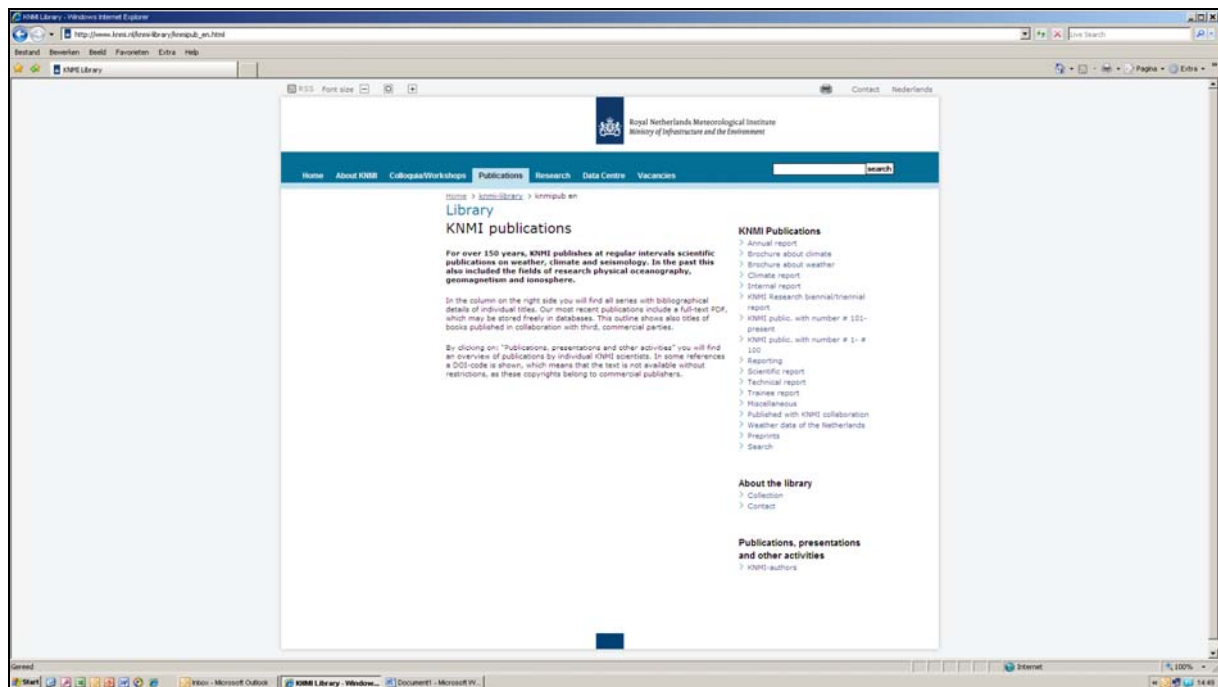
Referenties:

- Agterberg R., Wieringa J.(1989): Mesoscale terrain roughness mapping of the Netherlands. KNMI-TR-115.
 Benschop H. (1996): Windsnelheidsmetingen op zeestations en kuststations: herleiding waarden windsnelheid naar 10-meter niveau. KNMI-TR-188.

- Cats G.J. (1980): Analysis of surface wind and its gradient in a mesoscale wind observation network. *Monthly Weath.Rev.* 108, 1100-1107.
- Heijboer D., Nellestijn J. (2002): *Klimaatatlas van Nederland, Normaalperiode 1971-2000.* (KNMI; Elmar BV, Rijswijk).
- SenterNovem (2005): Windkaart van Nederland op 100 m hoogte. www.senternovem.nl.
- Tucker G.B. (1976): Research and services: differing attitudes within the science of meteorology. *Weather* 31, 104-112 (Ned.vertaling in KNMI-memo, 1990).
- Verkaik J.W. (2000): Evaluation of two gustiness models for exposure correction calculations. *J. Appl.Meteor.* 39, 1613-1626.
- Verkaik J.W. (2001): Documentatie windmetingen in Nederland. (45 pp.)
knmi.nl/samenw/hydra/meta_data/documentation/documentatie.pdf
- Verkaik J.W. (2006): On wind and roughness over land. Proefschrift Univ.Wageningen.
- Verkaik J.W., Smits A. (2006): Interpretation and estimation of the local wind climate. KNMI-memo.
- Wever N., Groen G. (2009): Improving potential wind for extreme wind statistics. KNMI-WR-2009-02
- Wieringa J. (1976): An objective exposure correction method for average wind speeds measured at a sheltered location. *Quart.J.Roy.Meteor.Soc.* 102, 241-253.
- Wieringa J. (1980): Stationswindmeting in heterogeen terrein. KNMI-memo 80-FM-020.
- Wieringa J. (1983): Description requirements for assessment of non-ideal wind stations — for example Aachen. *J.Wind Eng.Ind.Aerodyn.* 11, 121-131.
- Wieringa J., Rijkoort P.J. (1983): *Windklimaat van Nederland.* Staatsuitgeverij, Den Haag, 263 pp.
- Wieringa J. (1983): Overzicht van publikaties over het Nederlands windklimaat. KNMI-TR-41 (later geactualiseerd t/m 1990, "TR-41 a").
- Wieringa J. (1986): Roughness-dependent geographical interpolation of surface wind speed averages. *Quart.J.Roy.Meteor.Soc.* 112, 867-889.
- Wieringa J. (1988): Kartering van Nederland's windklimaat boven 40 m hoogte. *Proc. Nation. Wind-energie Conf.* (publ.Energie Anders, Rotterdam) 102-106.
- Wieringa J. (1989): Shapes of annual frequency distributions of wind speed observed on high meteorological masts. *Bound.-Layer Meteor.* 47, 85-110.
- Wieringa J. (1992): Updating the Davenport terrain roughness classification. *J.Wind Eng.Ind.Aerod.* 41, 357-368.
- Wieringa J., Rudel E. (2002): Station exposure metadata needed for judging and improving quality of observations of wind, temperature and other parameters. WMO-TECO-2002 (Bratislava), P2.2 (WMO/TD-No.1123).
- World Meteorological Organization (1996): *Guide to meteorological instruments and methods of observation.* WMO-No.8, 6th edition.

A complete list of all KNMI-publications (1854 – present) can be found on our website

www.knmi.nl/knmi-library/knmipub_en.html



The most recent reports are available as a PDF on this site.

