



Protocol Verandering Meetinfrastructuur

**Procedures bij verandering van meetinfrastructuur,
met name bij metingen die gebruikt worden voor
klimatologische doeleinden**

H.R.A. Wessels

Technical report = Technisch rapport; TR-278

De Bilt, 2005

PO Box 201
3730 AE De Bilt
Wilhelminalaan 10
De Bilt
The Netherlands
<http://www.knmi.nl>
Telephone +31(0)30-220 69 11
Telefax +31(0)30-221 04 07

Auteur: Wessels, H.R.A.

ISSN: 0169-1708



Protocol Verandering Meetinfrastructuur

**Procedures bij verandering van meetinfrastructuur,
met name bij metingen die gebruikt worden voor
klimatologische doeleinden**

H.R.A. Wessels

Inhoud

Voorwoord	v
1. Inleiding	I
2. Doel van de waarnemingen en daaruit voortvloeiende WMO-eisen	I
3. Nadere invulling van het begrip representativiteit	2
3a. <i>Regionale representativiteit van het windklimaat</i>	3
3b. <i>Regionale representativiteit van het temperatuurklimaat</i>	3
3c. <i>Locale representativiteit</i>	4
4. Verandering van meetinfrastructuur	5
5. WMO-aanbevelingen	5
6. Conclusies t.a.v. de bewaking van de homogeniteit van reeksen	6
Referenties	7

Voorwoord

Het KNMI zorgt al meer dan 150 jaar voor de nationale meteorologische waarnemingen, de laatste decennia meer en meer in samenwerking met belanghebbende partners. Het KNMI heeft samen met hen een geavanceerd netwerk opgezet, dat meer en meer geautomatiseerde wordt. Door diverse efficiencymaatregelen, maar ook door de nog steeds oprukkende bebouwing van Nederland, moeten regelmatig aanpassingen gemaakt worden aan deze meetinfrastructuur.

Klimatologen zijn zeer beducht als het gaat om het verhuizen van meteorologische waarnemstations of de introductie van alternatieve waarnemtechnieken. Voor velen van hen geldt dat locatie en waarnemtechniek tot in lengte der dagen hetzelfde moet blijven. Dit komt omdat de meetreeksen, sommigen over een periode van meer dan 100 jaar, een breuk zullen gaan vertonen na zo'n wijziging. Zorg voor de representativiteit en homogeniteit van lange reeksen is een belangrijke taak binnen de klimatologie. Dergelijke breuken introduceren grote onzekerheid en beperken de mogelijkheid heldere uitspraken te doen over ontwikkelingen van het klimaat. Ofschoon de huidige waarnemstations zodanig zijn gelegen dat langdurige continuering verwacht mag worden, blijkt toch regelmatig dat verstedelijking verplicht tot verhuizingen. Ook de introductie van moderne, automatische meettechnieken brengen wijzigingen in het meetsysteem met zich mee. Om hier het hoofd aan te bieden moten verstandige oplossingen worden gevonden, waarmee de klimatologie ook in de verre toekomst gebaad is.

Het Wereld Klimaat Programma (WCP) van de WMO besteedt hier ruime aandacht aan hetgeen tot uitdrukking komt in het Wereld Klimaat Data en Monitoring Programma (WCDMP) en Mondiale Klimaat Waarneemsysteem (GCOS). Daartoe zijn reeds de nodige richtlijnen en aanbevelingen gedaan, in lijn waarmee in Nederland een nationale regelgeving kan worden vastgesteld.

De coördinatiegroep Nationale Waarnemingen van het KNMI heeft daarom besloten om dit te concretiseren middels een project, genaamd *Protocol Verandering Meetinfrastructuur*, ofwel PVM. Hierbij wordt overigens niet alleen gedacht aan de klimatologie, maar ook aan de meteorologie en de externe gebruikers van waarnemgegevens. Naast protocollen ten aanzien van voorbereidingen rondom verhuizingen of nieuwe meettechnieken is ook metadata en evaluatie een belangrijk onderdeel van PVM. Afgesproken is om deze protocollen vast te leggen in het KNMI Handboek Waarnemingen (HaWa), dat wordt beschouwd als leidraad en standaardnaslagwerk rondom meteorologische waarnemingen

Een eerste aanzet hiertoe is gegeven in dit Technische Rapport, waarin Herman Wessels op grond van onderzoek in internationale rapporten en in gesprek met deskundigen binnen het KNMI komt tot voorstellen voor een adequaat PVM. Dit TR vormt als zodanig de basis voor het uiteindelijke PVM, dat in het HaWa zal worden gepubliceerd.

Het *Protocol* uit deze TR bevat overigens niet alleen een protocol, maar ook overwegingen en criteria. De overwegingen zijn grotendeels bedoeld om de conclusies te motiveren, maar kunnen ook richting geven bij het toepassen van het Protocol.

Sylvia Barlag,
waarnemend hoofd, sector Waarnemingen en Modellen,
voorzitter Coördinatiegroep Nationale Waarnemingen

Protocol Verandering Meetinfrastructuur

Procedures bij verandering van meetinfrastructuur, met name bij metingen die gebruikt worden voor klimatologische doeleinden

1. Inleiding

De procedures bij de waarnemingen van afzonderlijke weerselementen zijn in het 'Handboek Waarnemingen' (KNMI, 2000 e.v.) vastgelegd. Op meteorologische stations worden combinaties van elementen gemeten ten behoeve van specifieke toepassingen, zoals bijvoorbeeld synoptische meteorologie of klimatologie.

Bij klimatologische toepassingen, is het de bedoeling het regionale klimaat gedurende vele jaren vast te leggen en te volgen. Daarbij moet men zekerheid hebben dat er geen systematische meetfouten ontstaan door wijziging van instrumenten of procedures of door een verandering van het terrein in de nabije omgeving. De aanleg van bijvoorbeeld wegen kan aanleiding geven tot lokale storingen, die de representativiteit van het station voor het regionale klimaat kunnen aantasten. Het kan dan noodzakelijk zijn om de metingen op een andere locatie voort te zetten. Ook indien de bestemming of het eigendom van het terrein wijzigt kan zo'n verhuizing nodig zijn. Tenslotte kan een ingrijpende wijziging van de instrumentatieconsequenties hebben voor de homogeniteit van de meetreeksen.

Zowel voor de bestendige kwaliteit van synoptische toepassingen als voor de betrouwbaarheid van klimatologische reeksen is het nodig dat wijzigingen in de meetopstelling zorgvuldig worden begeleid en dat het effect voor de beoogde toepassing kwantitatief wordt vastgesteld. Door de WMO worden in sommige gevallen parallelmetingen aanbevolen.

In dit rapport wordt eerst het doel en de representativiteit van de metingen behandeld. De voorgestelde criteria kunnen dienen ter ondersteuning van de beslissing om een andere locatie te kiezen. Vervolgens wordt beschreven hoe de homogeniteit van reeksen kan worden bewaakt en hoe daarbij eventueel parallelmetingen kunnen worden toegepast.

2. Doel van de waarnemingen en daaruit voortvloeiende WMO-eisen

De meteorologische waarnemingen, waarvan de uitvoering in dit 'Handboek Waarnemingen' wordt omschreven, dienen onderscheidendoelen. Bijvoorbeeld:

- Synoptisch gebruik ten behoeve van actuele weersverwachtingen. Dit betreft het beschrijven van luchtsoorten en herkennen van fronten als bijdrage aan de beeldvorming van de meteoroloog. Ook het verkrijgen van invoergegevens voor het ontwikkelen, gebruiken en verifiëren van methodes en modellen.
- Operationeel gebruik: Het vaststellen van limieten die van belang zijn voor het uitvoeren van bepaalde operaties, bijvoorbeeld in de luchtvaart.
- Klimatologisch gebruik: Het beschrijven van het klimaat - inclusief verleden weer, gemiddelden en extremen - van bepaalde regio's, bijvoorbeeld voor verstrekkingen, landbouw, planningsdoeleinden, bouwvoorschriften e.d.

- Klimaatmonitoring: Het vaststellen van eventuele langjarige wijzigingen van het regionale klimaat teneinde oorzaken van die wijzigingen op te sporen en maatregelen te ondersteunen.

Voor wat betreft klimatologische stations onderscheidt de WMO (1983):

- gewone klimatologische stations, met tenminste dagelijkse metingen.
- klimatologische hoofdstations, met minstens 3 maal-daagse metingen en aanvullende uurlijkse registraties.

Daarbij moeten 'alle of de meeste' van een 14-tal weerselementen worden gemeten: weer, wind, bedekkingsgraad, wolkensoort, wolkenbasishoogte, zicht, temperatuur, vocht, luchtdruk, neerslag, sneeuwdek, zonneschijn en bodemtemperatuur op minstens 2 diepten. Veel van de geplande KNMI-stations voldoen met 8 van de 14 maar juist aan deze eis - klimatologische referentiestationen, speciaal bedoeld om eventuele langjarige klimaatveranderingen te volgen. De extra WMO-eisen betreffen vooral de lengte van de reeks, hoewel men juist hier aanvullende eisen ten aanzien van borging van kwaliteit zou verwachten: 'For stations used or established to determine long-period climate change, such as reference climatological stations and other baseline stations in the GCOS network, constancy of exposure and operation is required over many decades.' (WMO, 1983, tekst 3d Ed.)

Wat betreft nauwkeurigheidseisen zou men kunnen overwegen dat voor het vaststellen van klimaatveranderingen veel nauwkeuriger metingen nodig zijn dan voor synoptische doeleinden. De WMO maakt echter sinds de laatste CIMO Guide (WMO, 1996) geen onderscheid meer tussen de nauwkeurigheidseisen aan meteorologische waarnemingen voor verschillende doeleinden. Zo wordt voor temperatuurmetingen aan het aardoppervlak 0.1 K geëist, maar 0.2 K haalbaar geacht.

Deze nauwkeurigheidseis betreft kennelijk instrumentele fouten bij stationsmetingen. Die fouten kunnen worden toegeschreven aan de sensor, de behuizing, de opstelling en eventuele lokale verstoringen. Daarnaast moeten we bedenken dat stations op onderlinge afstanden van ca. 60 km liggen en dat dus het te bewaken gebied ook punten op ca. 30 km afstand omvat. In 95% van de gevallen kan de onderlinge afwijking tussen simultane temperatuurmetingen op 30 km afstand binnen 2.0 K blijven. Voor synoptische toepassingen is dit acceptabel, te meer daar de meteoroloog d.m.v. tijdreeksen op passerende gradiëntzones attent wordt gemaakt. In de klimatologie worden dergelijke incidentele afwijkingen uitgemiddeld en zijn vooral de systematische verschillen tussen het meetpunt en de omgeving van belang. Juist voor die toepassing moet gezorgd worden voor plaatsing op een representatief terrein waar geen last wordt ondervonden van lokale verstoringen ten gevolge van de ondergrond, obstakels e.d.: 'A station which is or will be affected by the growth of vegetation, including even limited tree growth near the sensor, growth of tall crops or woodland nearby, by the erection of buildings on adjacent land, or by increases (or decreases) in road or air traffic including that due to change in use of runways or taxiways will provide neither representative nor homogeneous data.' (WMO, 1983, tekst 3d Ed.)

3. Nadere invulling van het begrip representativiteit

De CIMO-Guide (WMO, 1996, 1.1.2) koppelt terecht het begrip representativiteit aan de toepassing. In WMO-kader wordt een discussie over representativiteit gegeven door Ehinger (1993). Voor gewone synoptische toepassingen moet informatie verkregen worden over

weerssystemen met een schaal van ca. 100 km. Als een station dan een niet-representatieve positie heeft kan een tijdreeks van metingen soms nog bruikbaar zijn.

Voor klimatologische toepassingen zijn de eisen zwaarder. Stations op een heuvel tonen meer van het hoogte- en windrichting-afhankelijke klimaat van de precieze locatie dan van het gemiddelde klimaat in de regio waarvoor het station het dichtstbijzijnde meetpunt is.

Orografische effecten leiden tot grote verschillen in neerslag en - in mindere mate - wind en temperatuur. In Nederland veroorzaken deze effecten overigens slechts geringe problemen.

Andere topografische effecten ontstaan als er sprake is van grote verschillen in bodem of bodemgebruik: weiland, stad, woestijn, bos e.d. In Nederland spelen vooral land-water verschillen en stedelijke bebouwing een belangrijke rol.

Er zijn twee aspecten te onderzoeken:

- regionale representativiteit: is de regio zo homogeen dat een enkel goed gekozen station voldoende nauwkeurige informatie geeft?
- lokale representativiteit: heeft de atmosferische grenslaag zich tot minstens de meethoogte aangepast aan uitwisselingsprocessen boven kort geknipt gras?

3a. Regionale representativiteit van het windklimaat

Een andere ondergrond zorgt voor een wijziging van de ruwheid en dus voor een andere 10 m wind, maar zal de wind op enige hoogte (bijv. 100 m) veel minder beïnvloeden. Die wordt immers vooral door de grootschalige luchtdrukverdeling bepaald.

Toch zijn er ook op ca. 100 m hoogte nog effecten die van de ondergrond afhangen, zoals de thermische wind nabij een land-zee overgang. Een ander voorbeeld is het nachtelijk windmaximum dat ontstaat als 's avonds bij helder weer de verticale menging boven een landoppervlak plotseling wegvalt en de aldus ontkoppelde bovenlucht een zwaartekrachtsoscillatie ondergaat.

Vooraf door het grote verschil in ruwheid tussen zee en land vertoont de gemiddelde 10 m windsnelheid een sterke gradiënt over de kustzone. De luchtdrukgradiënt neemt in zuidoostelijke richting af, omdat depressies bij voorkeur nabij het Waddengebied passeren. Hierdoor en ook door de geleidelijke overgang van het polderland naar ruwer terrein vermindert de gemiddelde windsnelheid in zuid-oostwaartse richting (Wieringa et al. 1983).

Wat betreft windsnelheid biedt de modellering van grenslaagprocessen in samenhang met de gedetailleerde beschrijving van terreinruwheid de mogelijkheid de actuele gemeten wind in een representatieve 'potentiële' wind te vertalen. Dit geldt niet voor stations met lokale storings, zoals metingen op een pier of boven een gebouw.

3b. Regionale representativiteit van het temperatuurklimaat

Blijkens de Klimaatatlas (KNMI, 2002) zijn wat betreft temperatuur en vocht de gemiddelde gradiënten in de kustzone goed bekend. De stations nabij de kust bevinden zich - met name bij oplandige wind - in een overgangszone, zodat ze slechts representatief zijn voor locaties die (ongeveer) even ver van de kust afliggen. Voor de gemiddelde temperatuur valt de gradiënt bij de kust wel mee: enkele 0.1 K, d.w.z. kleiner dan de noord-zuid gradiënt over Nederland van ca. 1.5 K (in de winter noordoost-zuidwest). De gemiddelde dagelijkse gang ($T_x - T_n$) is echter op het strand slechts 50% van die in Midden- Nederland: 10 K in het zomerhalfjaar resp. 6 K in de winter. Pas op 20 km van de kust (Slob, 1989) kan van een representatieve T_x of T_n gesproken worden, elk voldoende aan de nauwkeurigheidseis van 0.5 K (WMO, 1996).

Uiteraard zijn T_x en T_n zeer relevante klimaatgegevens voor diverse toepassingen zoals landbouw e.d.

De conclusie is dat, omwille van de representativiteit, klimaatstations niet dichter dan ca. 20 km van de kust zouden moeten liggen. Soortgelijke argumenten gelden - in mindere mate - bij bovenwindse meren en stedelijke gebieden. Een schatting van het laatste effect wordt gegeven door Brandsma et al. (2003). Op grond daarvan kan een minimale afstand van 5 km tot stedelijke bebouwing worden aanbevolen. Helaas zijn er nog geen modellen die geschikt zijn om - zoals dat bij de wind wel lukt - de horizontale verdeling van de temperatuur op meetniveau te beschrijven

3c. Locale representativiteit

Benedenwinds van nabije watervlakten, wegenselsels of gebouwen kan niet aan de WMO-eis voldaan worden dat temperatuurmetingen boven kort geknipt gras moeten plaats vinden. Indien dat gras zich tot enkele 100-en meters bovenwinds uitstrekt dan vindt de meting in de hut plaats binnen de interne grenslaag waar de lucht zich qua temperatuur, vocht en windsnelheid heeft aangepast aan dat voorgeschreven terrein.

De maximale dikte en de groei van de aangepaste laag hangt af van de stabiliteit en de windsnelheid. Op een zomerdag met weinig wind vindt menging tot (minstens) de wolkenbasis plaats. In een koude winternacht kan de invloed van het aardoppervlak tot enkele 10-tallen meters beperkt blijven. In een dooisituatie met aanvoer van zachtere lucht boven een koude plaklaag is de verticale uitwisseling ook zeer beperkt.

Na een wijziging van de ondergrond zal de nieuwe interne grenslaag zijn gegroeid tot ca 0.03 van de afgelegde afstand. Voor temperatuur resp. wind is dus ruwweg het terrein tot 50 resp. 300 m afstand interessant.

Een (voorlopig intuïtieve) methode om storingen te kwantificeren wordt gegeven door Leroy (1999). Zijn voorstel is hier iets vereenvoudigd weergegeven, omdat we veronderstellen dat binnen 10 m afstand de ondergrond uit kort geknipt gras zal bestaan. Het percentage terreinoppervlak, dat binnen een afstand D niet uit gras, maar uit bijvoorbeeld water of asfalt bestaat, bepaalt de kwaliteitsklasse (1-5) van de meting. Bovendien is de bereikbaarheid voor instraling van betekenis

Klasse	Afstand			Hoogte horizon langs zonsbaan
	< 10 m	< 30 m	< 100 m	
1	< 1%	< 4%	< 10%	< 3 grd
2	< 5%	< 10%	< 30%	< 5 grd
3	< 10%	< 30%	< 50%	< 5 grd
4	< 50%	< 100%		> 5 grd

Volgens Leroy heeft alleen klasse 1 de door de WMO verwachte nauwkeurigheid van 0.2 K. Voor de hogere klassen schat hij een fout van resp. 0.5, 1 en 2 K. De restklasse 5 is dus nog slechter. Voor stralingsmetingen volgen vergelijkbare eisen betreffende de horizonhoogte: bij klasse 3 is dan 7 grd toegestaan en voor alle klassen mag de horizonhoogte in richtingen buiten de zonsbaan slechts 50% hoger zijn.

Ook voor windmetingen geeft Leroy criteria. Hij maakt onderscheid tussen smalle obstakels (minder dan 10 grd breed) en brede obstakels die meer dan 10 grd beslaan.

Klasse	Verwaarloos obstakels lager dan H	Min. afstand (afh. breedte B, hoogte H)	
		Obstakels <10 grd met H >8 m	Obstakels >= 10 grd afh. H (m)
1	< 2 m	> 15 B(m)	> 10 H of 100 m als H>5.5
2	< 3 m	> 15 B(m)	> 10 H
3	< 4 m	> 10 B(m)	> 5 H
4	< 6 m	> 25 m	> 2.5 H of 25 m als H>8

Volgens Leroy voldoet alleen klasse 1 aan de door de WMO verwachte nauwkeurigheid van 5 %. Voor de hogere klassen schat hij een fout van minstens resp. 10, 20 en 30 %. De restklasse 5 komt boven 40 %. Voor neerslagmetingen eist hij bij klasse 1 dat obstakels op een afstand van 4 H blijven. Dit grensgeval lijkt ideaal om windfouten bij neerslagmeting te vermijden en het kan best zijn dat obstakels binnen 2 H daarbij verantwoord zijn.

4. Verandering van meetinfrastructuur

Het begrip 'Verandering van meetinfrastructuur' kan slaan op:

- een verhuizing van het station,
- wijziging van obstakels, hetgeen meestal geleidelijk gebeurt,
- vervanging van sensoren of behuizingen,
- vervanging van menselijke door automatische waarnemingen.

Wat het laatste betreft kan nog van alles bedoeld worden:

- vervanging van 3xdaagse menselijke termijnwaarnemingen door zelfregistrerende apparatuur met uurlijkse opslag,
- automatisering van registratie, controle, transmissie en opslag,
- introductie van automaten voor waarnemen van weer en wolken.

Onder wijzigingen van instrumentatie rekenen we wijzigingen van:

- sensoren, bijvoorbeeld pluviograaf i.p.v. handregenmeter
- rekenmethode, bijv. betreffende de perioden voor bepaling Tn en Tx
- behuizing, wijziging thermometerhut, toepassen ventilatie
- opstelling, bijvoorbeeld wind op 20 m i.p.v. 10 m

De gegeven voorbeelden zijn interessant: in het verleden zijn dergelijke verschillen wel bepaald, maar niet als correcties op de klimaatreeksen toegepast.

5. WMO-aanbevelingen

'When a major relocation of a climatological station is necessary, or when one station is to be replaced by another nearby, it is highly desirable to operate both observing stations for an overlapping period of at least one year to determine the effects of changed instruments or sites on the climatological data. There are thus distinct advantages in supporting longterm

operation of two climatological stations in climatologically homogeneous areas.' (WMO, 1983, tekst 3d Ed.)

Een interessante vraag is dan welke van die twee stations in een regio we als representatief kiezen? De WMO-aanbeveling schakelt iets te gemakkelijk over van 'major relocation' naar 'changed instruments or sites'.

Als de WMO om een overlap-periode vraagt t.g.v. verhuizing, dan gaat het om het vaststellen van verschillen tussen locaties. Dan zijn parallelmetingen soms redelijk. Als echter de verhuizing nodig is vanwege de verstoorte omgeving van het oude station, dan kan de vergelijking hoogstens aantonen hoe erg die verstoring uiteindelijk geworden is. Indien de verslechtering geleidelijk optrad, wordt het moeilijk om voor de gehele verstoorte periode correcties vast te stellen

Als gedacht wordt aan een overlap i.v.m. wijziging van instrumentatie dan gaat het om vergelijking van instrumenten op dezelfde locatie. Het is dan de vraag of dat met parallelmetingen moet gebeuren, laat staan dat het nodig is om het hele station dubbel uit te voeren. Het ligt immers meer voor de hand eventuele verschillen tussen instrumenten vast te stellen alvorens de wijziging effect krijgt! Dit kan door kalibratie in windtunnel of klimaatkamer. Bij thermometerbehuizingen zijn vergelijkingen in de buitenlucht vaak wel gewenst, maar ook dan voorafgaand aan de wijziging.

Voor het bevorderen van de homogeniteit en representativiteit van meetreeksen is dus een scala van maatregelen nodig, waarbij parallelmetingen soms kunnen helpen. Parallelmetingen zijn ook dan alleen zinvol als er vooraf een duidelijk plan bestaat hoe de resultaten te gebruiken.

6. Conclusies t.a.v. de bewaking van de homogeniteit van reeksen

- a) De regionale representativiteit van de stations wordt regelmatig (elke ... jaar) door RW onderzocht in SWANET/KWANET-verband.
- b) BWS rapporteert de classificatie van de locale representativiteit volgens 3c. Bij slechte (NTB) classificatie neemt HOD actie.
- c) Wijzigingen van sensor-type, behuizing of opstelling vereist voorafgaande goedkeuring door HOD (na raadpleging van RW)
- d) Indien bij c. parallelmetingen vereist zijn, dan vinden die plaats in samenwerking tussen RW en MI-IO.
- e) Resultaten van (na-) kalibraties worden door BWS bewaakt en opgeslagen tenminste voor zover de afwijkingen de WMO-eisen overtreffen.
- f) Indien (nog) goede stations vervangen moeten worden kan een parallelmeting over minstens een jaar gewenst zijn.
- g) Correcties op grond van omgevingsinvloeden moeten niet als gemiddelden worden aangebracht, maar gedifferentieerd naar windrichting en bewolking (Brandsma et al., 2003)
- h) Alle bij a t/m g genoemde wijzigingen en constateringingen moeten met tijdsaanduiding in een digitaal metadata-bestand worden opgenomen.

Referenties

- WMO, 2003, *Manual on the Global Observing System*, WMO-Nr. 544, Geneva.
- J. Wieringa, P.J. Rijkooft, 1983, *Windklimaat van Nederland*, Den Haag.
- WMO, 1983, *Guide to Climatological Practices*, WMO-Nr. 100, Geneva.
N.B.: de derde editie is in voorbereiding, maar wijkt op de geciteerde punten niet af.
- W.H. Slob, 1989, *Klimaat-onderzoek Westland ten behoeve van kustuitbreiding*. KNMI Publ. nr. 175.
- J. Ehinger, 1993, *Siting and exposure of meteorological instruments*. WMO Instr. and Observ. Methods Rep. No. 55 (WMO-TD No. 589)
- WMO, 1996, *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, WMO, Nr.8, 6th Ed., Geneva.
- M. Leroy, 1999, *Classification d'un site*. Météo France, Note Technique No. 35
- KNMI, 2002, *Klimaatatlas van Nederland*. Samenstellers D. Heijboer, J. Nellestijn.
- T. Brandsma, G.P. Können, H.R.A. Wessels, 2003, *Empirical estimation of the effect of urban heat advection on the temperature series of De Bilt (the Netherlands)*, Int. J. of Climatology 23, pp. 829-845.
-