

Gevoelstemperatuur in de winter, invoering JAG/TI-methode

GEERT GROEN (KNMI)

Het KNMI hanteert sinds 1992 voor de berekening van de gevoelstemperatuur in de winter, de zogenaamde "wind chill equivalente temperatuur", een tabel op basis van het werk van Steadman welke destijds uitgewerkt is door Baltus Zwart. In de Verenigde Staten en Canada werd tot 2001 de methode van Siple en Passel gebruikt, maar op hun methode was veel kritiek. In 2001 is door de Joint Action Group on Temperature Indices (JAG/TI) een nieuwe methode ontwikkeld. Deze JAG/TI-methode wordt in toenemende mate gebruikt, onder andere in Canada, de Verenigde Staten en het Verenigd Koninkrijk. In Nederland zal deze methode door het KNMI vanaf de komende winter worden gehanteerd.

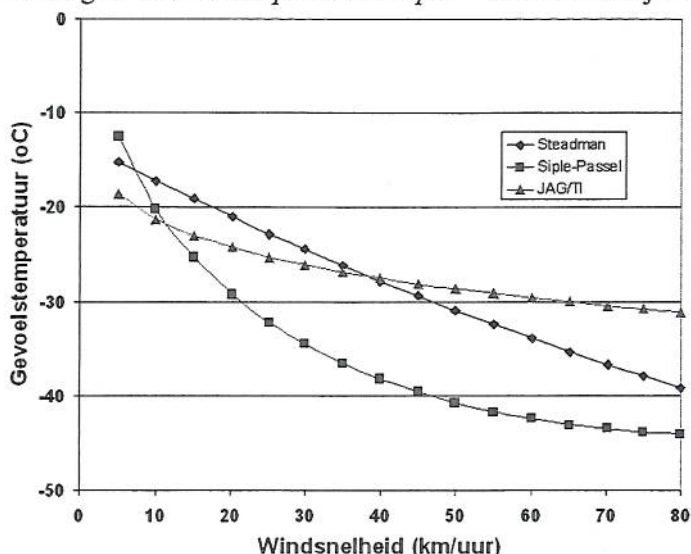
Koudegevoel

Bij vriezend weer voelt het op een winterse dag, ten gevolge van meer warmteverlies door de wind, kouder aan. De zogenaamde gevoelstemperatuur geeft aan bij welke temperatuur op een koude winterdag zonder wind bij een volwassen mens een vergelijkbaar warmteverlies zal optreden als bij een situatie met wind. De gevoelstemperatuur wordt in het Engels *wind chill equivalent tempe-*

rature genoemd. Het verschil tussen de luchttemperatuur en de gevoelstemperatuur is een maat voor het door de wind veroorzaakte warmteverlies.

Het vermelden van de gevoelstemperatuur door de meteorologische diensten in weerberichten en waarschuwingen tijdens strenge winterperioden met het overschrijden van een kritische waarde is noodzakelijk om koudeletsel, zoals

de gevoelstemperatuur werd berekend. De luchtvochtigheid speelt nauwelijks een rol bij lage temperatuur (waterdampgehalte is laag, vocht wordt door vorst ook uitgevroren), maar een bezwete of natte huid koelt wel sneller af door goede geleiding van de huidwarmte naar de koude lucht. Luchtvochtigheid speelt wel een belangrijke rol bij hittestress in de zomer.



Figuur 1. Vergelijking van de gevoelstemperatuur volgens Siple-Passel, Steadman en JAG/TI bij een luchttemperatuur van -15°C en toenemende windsnelheid tot 80 km/uur. Opvallend is het afwijkende karakter van Siple-Passel.

onderkoeling en bevriezing, te voorkomen (zie artikel pagina 9).

De gevoelstemperatuur wordt berekend uit een combinatie van luchttemperatuur en gemiddelde windsnelheid. Naast wind en temperatuur kunnen ook zonnestraling en luchtvochtigheid een rol spelen. Bij zonnig weer kan de temperatuur zoals die wordt gevoeld wel 5 tot 10 graden hoger zijn dan met

De bepaling van de gevoelstemperatuur is gebaseerd op het warmteverlies van een gezonde, volwassen persoon van gemiddelde lengte. Er is een aantal individuele factoren die verschillende gevoelservaringen van koude bepalen. Kwetsbaarder zijn bijvoorbeeld kinderen, oudere mensen en hart- en vaatpatiënten, en gebruikers van bewustzijnsvermindende genotmiddelen en medicijnen.

Voor de berekening van gevoelstemperatuur bestaan meerdere methoden, besproken worden die van Siple-Passel, Steadman en JAG/TI. De luchttemperatuur wordt voor de duidelijkheid aangegeven in "°C", de gevoelstemperatuur in "graden", in Canada wordt achter de gevoelstemperatuur zelfs geen eenheid gemeld.

Siple en Passel

De oudste methode is van de Amerikaanse onderzoekers Paul Siple en Charles Passel, ontwikkeld uit experimenten in 1939 tijdens de derde Poolexpeditie van Admiraal Byrd (Siple, 1945). Zij bestudeerden op Antarctica de snelheid waarmee een cilinder, gevuld met water van +10 °C, afkoelde tot de temperatuur van de omgeving.

De formule voor de berekening van de gevoelstemperatuur volgens Siple en Passel (G_{SP}) luidt:

$$G_{SP} = 33 + (T - 33) * (0,474 + 0,454 * W^{0,5} - 0,0454 * W)$$

met temperatuur T in °C op 1,50 meter hoogte en windsnelheid W in m/s op 10 meter hoogte.

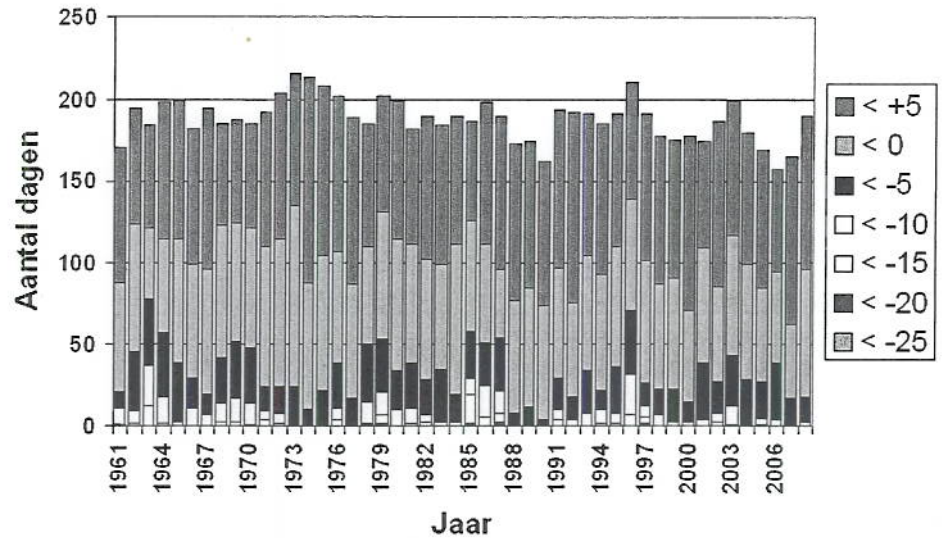
Het bezwaar tegen de manier waarop ze het windeffect hadden bepaald was met name de vergelijking van een afkoelende cilinder met water met de afkoeling van een tegen de kou geklede mens. Een mens kan ook warmte verliezen door uitademen, verdamping en door uitstraling. Eventueel kan een mens zich verwarmen door in de zon te gaan staan. De totale afkoeling zal dan anders verlopen dan de afkoeling van een cilinder met water.

De onderzoekers hielden geen rekening met de luchtvochtigheid. Ook de invloed van zon werd buiten beschouwing gelaten, op de basis in Antarctica kwam gedurende de wintermaanden de zon niet boven de horizon.

De methode van Siple en Passel werd tot eind 2001 met name in Amerika en Canada gebruikt. Er werd in toenemende mate wetenschappelijke en maatschappelijke kritiek op geleverd; vooral bij lagere temperaturen en veel wind gaf hun berekening een zeer lage gevoelstemperatuur. Deze methode is bij het KNMI niet toegepast, maar werd tot 2008 wel gebruikt in ISO-11079: "Ergonomics of the thermal environment - Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects".

Steadman

Robert G. Steadman koos in 1971 voor een andere benadering. Hij wilde weten hoeveel kleding er nodig was om mensen te kunnen beschermen tegen bittere kou. Hij bepaalde het evenwicht tussen het warmteverlies door de koude wind en de warmteproductie van een gezond, vol-



Figuur 2. Gevoelstemperatuur in De Bilt, 1961-2008. Het gemiddeld aantal dagen per jaar met minstens één uur < +5 graden is 188, < 0 graden 103, < -5 graden 33, < -10 graden 10, < -15 graden 2, < -20 graden 0,2 en < -25 graden 0,02.

wassen en lopende persoon (gemiddelde lengte 1,70 meter, huidoppervlak van 1,7 m² en wandelsnelheid van 4,7 km/uur, warmteproductie van 188 W/m²).

In zijn methode werd het warmteverlies opgebouwd uit een vijftal factoren: doordat koude lucht wordt ingeademd en verwarmd wordt uitgedemd, door verdamping, door warmteafgifte van blote huid, warmteverlies door dunner geklede handen en voeten en warmteverlies van de dikker geklede lichaamsdelen. In de laatste drie termen zit een relatie met de wind, waardoor indirect de gevoelstemperatuur kan worden bepaald. De som van alle termen moet gelijk zijn aan 188 W/m². De invloed van de relatieve vochtigheid werd alleen meegenomen voor omstandigheden waaronder mensen door de hitte kunnen worden bevangen (Steadman, 1984).

Quale (1998) geeft een benaderingsformule voor de gevoelstemperatuur (G_S) op basis van de aanpassing van het berekende warmteverlies volgens Steadman uit 1997:

$$G_S = 1,41 - 1,162 * W + 0,98 * T + 0,0124 * W^2 + 0,0185 * W * T$$

met temperatuur T in °C op 1,50 meter hoogte en windsnelheid W in m/s op 10 meter hoogte.

Deze formule geeft minder extreem lage gevoelstemperaturen dan de methode van Siple en Passel. Het KNMI hanteert een tabel voor de gevoelstemperatuur op basis van het werk van Steadman uit 1971, beschreven door Zwart (1992). De waarden volgens deze tabel zijn gemid-

deld één graad lager dan de formule volgens Quale in 1998. In het Verenigd Koninkrijk werd na de strenge winter van 1986 de tabel van Steadman uit 1984 gebruikt (Dixons and Prayer, 1987).

Nieuwe methode: JAG/TI

In april 2000 organiseerde Environment Canada de Joint Action Group on Temperature Indices (JAG/TI) onder leiding van de US National Weather Service en Meteorological Service of Canada. Aan deze eerste "Global International workshop on Windchill" namen meer dan 400 deelnemers uit 35 landen deel (JAG/TI, 2003). Vrijwel iedereen was het eens met de noodzaak om te komen tot een internationale standaard voor de "wind chill equivalent temperature". Op voorstel van Randall Oszcewski en Maurice Bluestein werd door JAG/TI in 2001 een wetenschappelijk onderbouwde methode vastgesteld. De methode houdt, in tegenstelling tot de andere berekeningsmethoden, rekening met veranderend warmteverlies bij dalende huidtemperatuur. Op basis van fysiologisch onderzoek in 2002 werd de waarde voor de thermische weerstand van de huid bevestigd. Twaalf vrijwilligers liepen enkele malen op een loopband in een koeltunnel onder verschillende wind- en temperatuurcondities. Met sensoren op voorhoofd, wangen, kin, neus en in de mond werden lichaamstemperatuur en warmteverlies gemeten (Oszcewski en Bluestein, 2005).

De formule voor de gevoelstemperatuur (G_J) op basis van JAG/TI-methode luidt:

$$G_J = 13,12 + 0,6215 * T - 11,37 * (W * 3,6)^{0,16} + 0,3965 * T * (W * 3,6)^{0,16}$$

met temperatuur T in °C op 1,50 meter hoogte en windsnelheid W in m/s op 10 meter hoogte.

De windsnelheid wordt met de machtsfunctie herleid van de windmeting op 10 meter hoogte naar de wind op 1,50 meter hoogte. De JAG/TI-methode is ontwikkeld voor een luchttemperatuur (in de schaduw) tussen -46 en +10 °C en voor een gemiddelde windsnelheid tussen 1,3 en 49,0 m/s, beide gemeten op standaard meethoogte (1,50 meter, resp. 10 meter) bij een wandelsnelheid van 4,8 km/uur. Voor minder wind dan 1,3 m/s zou aangenomen kunnen worden dat de luchttemperatuur vrijwel gelijk aan de gevoelstemperatuur is, JAG/TI beschrijft deze situatie niet. Een volledige tabel voor de JAG/TI-gevoelstemperatuur staat op de KNMI-site (zie websites).

Vergelijking methode Siple-Passel, Steadman en Canada bij -15 °C

Ter illustratie is in figuur 1 voor een luchttemperatuur van -15°C (drempelwaarde voor "zeer strenge vorst") een vergelijking van de drie methoden bij oplopende windsnelheid weergegeven. Opvallend is dat methode van Siple-Passel in tegenstelling tot de beide andere methoden bij toenemende windsnelheid tot een snel dalende gevoelstemperatuur komt, hetgeen in de Verenigde Staten en Canada ook aanleiding tot kritiek was.

De vergelijkingen van Steadman en Canada geven voor deze luchttemperatuur bij een windsnelheid van 40 km/uur geen verschil. Bij lagere windsnelheden geeft de Canadese methode een lagere gevoelstemperatuur. Bij hogere windsnelheden wordt hiermee een minder extreme gevoelstemperatuur bereikt dan de beide andere methoden.

Klimatologie van de gevoelstemperatuur

Sinds mei 2009 zijn op de website van het KNMI uurgegevens beschikbaar. Uit de uurlijkse waarden van temperatuur en wind (laatste 10-minuut gemiddelde) is de gevoelstemperatuur volgens de JAG/TI-methode berekend. In tabel 1 wordt de langjarige klimatologie van de gevoelstemperatuur in de periode 1971-2000 voor de vijf hoofdstations weergegeven.

In figuur 2 wordt voor de periode 1961-2008 het aantal dagen per jaar in De Bilt weergegeven met minste één uur een gevoelstemperatuur onder een bepaalde drempelwaarde. Het gemiddeld aantal dagen per jaar met minstens één uur <+5

Tabel 1. Klimatologie van het gemiddeld aantal dagen met minstens één uur de gevoelstemperatuur onder een bepaalde waarde in de periode 1971-2000, JAG/TI methode.

1971-2000	De Kooy	De Bilt	Eelde	Vlissingen	Beek
< +5	196	190	217	183	201
< 0	109	102	137	95	121
< -5	35	31	47	28	42
< -10	10	9	14	6	11
< -15	3	3	4	2	3
< -20	0.3	0.3	0.7	0.2	0.00
< -25	0.03	0.03	0.03	0.00	0.07

graden is 188, <0 graden 103, <-5 graden 33, <-10 graden 10, <-15 graden 2, <-20 graden 0,2 en <-25 graden 0,02.

In tabel 2 wordt aangegeven hoe vaak de gevoelstemperatuur een hele dag onder een drempelwaarde van 0, -5 en -10 graden komt, waarbij tevens de laagste waarde die dag 10 graden lager is. Hoewel uit tabel 1 blijkt dat gemiddeld over vijf stations de gevoelstemperatuur op 10 dagen per jaar minstens één uur onder -10 graden komt, zien we in tabel 2 dat bijvoorbeeld een hele dag onder -10 graden en minstens één uur onder -20 graden hooguit één per drie jaar optreedt.

De laagste gevoelstemperatuur sinds 1961 was in het noorden en midden van het land op 14 januari 1987, in Eelde en Twente afgerond -28 graden, in De Kooy, Leeuwarden, Schiphol en De Bilt -26 graden. In Vlissingen was de laagste gevoelstemperatuur in deze periode -23 graden op 18 januari 1963, in Eindhoven en Maastricht op 31 december 1978 met -25, resp. -26 graden.

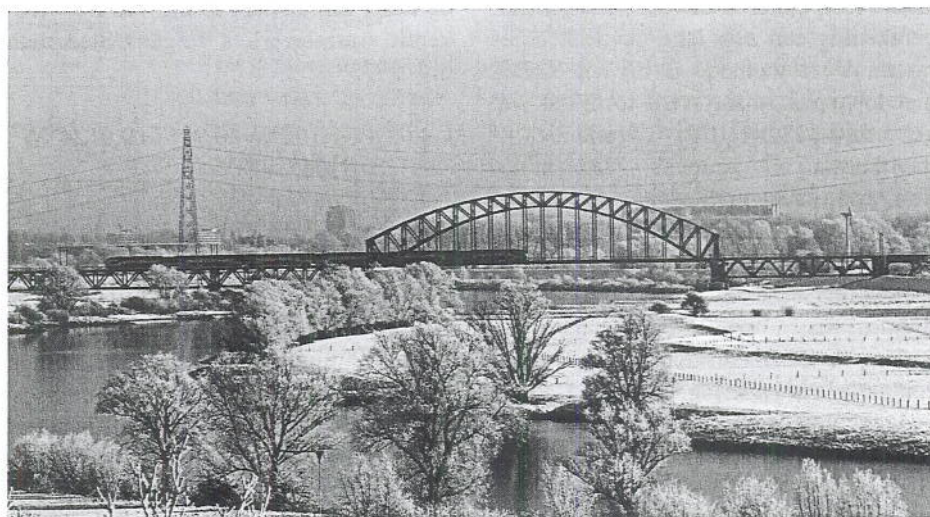
Scenario's voor 2050 voor de gevoelstemperatuur

Er is de laatste jaren veel gepubliceerd over klimaatverandering: het wordt war-

mer. Wat voor gevolgen zal dat hebben voor de klimatologie van de gevoelstemperatuur?

Eind mei 2006 heeft het KNMI vier klimaatscenario's voor Nederland gepresenteerd (KNMI'06 scenario's, 2006). Voor onderzoek naar het effect van de klimaatveranderingen op dagelijkse neerslag- en temperatuurreksen is op de website van het KNMI een transformatieprogramma beschikbaar. Voor windsnelheid is geen transformatie beschikbaar omdat de natuurlijke variabiliteit groter is dan het veranderingssignaal in de KNMI'06 scenario's.

De transformatie voor temperatuur is ontworpen voor de veranderingen van de daggemiddelde temperatuur. Met behulp van het transformatieprogramma zijn met de tijdreeksen 1976-2005 van vijf hoofdstations (De Kooy, Eelde, De Bilt, Vlissingen en Beek) voor vier klimaatscenario's (G, G+, W, W+) de daggemiddelde temperatuur voor de periode van 30 jaar rond 2050 berekend. De verandering van de daggemiddelde temperatuur ten opzichte van de meetreeks is opgeteld bij de uurwaarden. Gecombineerd met de (ongewijzigde) uurlijkse windsnelheid zijn reeksen gevoelstemperatuur op uur-



Figuur 4. Winters tafereel bij de Westerbouwing (Foto: Floris Bijlsma, www.lightningchaser.nl).

basis berekend en zijn de veranderingen per scenario bepaald.

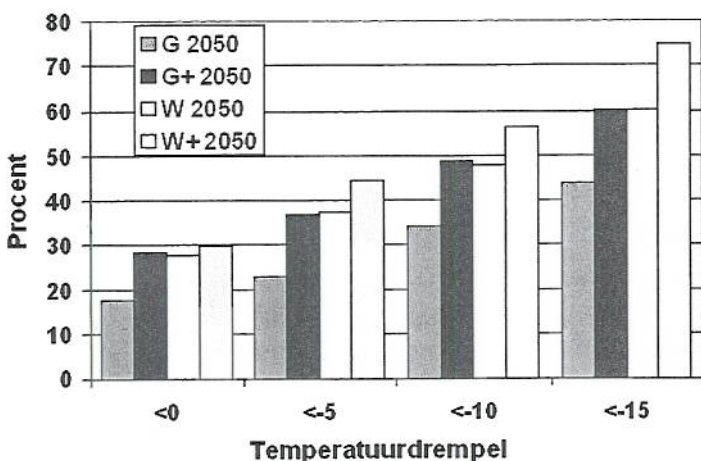
In figuur 3 wordt de procentuele afname voor de vier scenario's voor het aantal dagen onder 0, -5, -10 en -15 graden voor de periode rond 1990 naar de periode rond 2050 weergegeven. In het G scenario neemt gemiddeld voor deze klassen het aantal dagen af met circa 25%, in het G+ scenario met circa 32%, onder het W scenario met circa 44% en onder het W+ scenario met circa 55%. Het valt op dat de kans op de laagste gevoelstemperatuur sterker vermindert dan die op de wat hogere gevoelstemperaturen. Dit is te verklaren door het feit dat de lage temperatuurextremen in de scenario's voor de winter sneller stijgen dan de gemiddelde temperatuur.

Ter illustratie staat in tabel 3 het gemiddeld aantal dagen per jaar voor De Bilt voor de periode 1976-2005 en voor de vier scenario's G, G+, W en W+ rond 2050. Merk op dat 5 jaar verschuiving naar een warmere periode klimatologische verschillen laat zien ten opzichte van de periode 1970-2000 in tabel 1.

Rond 2050 daalt gemiddeld voor de vijf stations het aantal dagen met minstens één uur een gevoelstemperatuur onder -10 graden van 10 dagen per jaar naar 4 (W+) tot 8 (G) dagen per jaar. Onder -15 graden daalt van 3 dagen per jaar naar 1 tot 2 dagen per jaar, onder -20 graden van één per 2 jaar naar één per 4 (G) tot één per 25 jaar en onder -25 graden wordt uiterst zeldzaam. Rond het jaar 2100 komen dagen met gevoelstemperatuur onder -15 graden nog maar één per 10 jaar voor, dagen onder -20 graden worden dan uiterst zeldzaam.

Berichtgeving in Nederland

In Nederland hebben we de laatste der-



Figuur 3. Procentuele afname (gemiddeld over de vijf stations Eelde, De Bilt, De Kooy, Vlissingen en Beek) voor de vier scenario's G, G+, W en W+ voor 2050 ten opzichte van 1976-2005.

Tabel 2. Gemiddeld aantal dagen met een hele dag de gevoelstemperatuur onder een bepaalde waarde en het minimum minstens 10 graden lager in de periode 1961-2000, JAG/TI methode.

Gevoelstemperatuur	Gemiddeld over vijf stations	Hoogste aantal (Eelde)	Laagste aantal (Vlissingen)
Dag < 0, min. <-10	9	12	6
Dag <-5, min. <-15	2	3	1
Dag <-10, min. <-20	0.3	0.5	0.2

Tabel 3. Gemiddeld aantal dagen per jaar met minstens één uurvak onder bepaalde gevoelstemperatuur in De Bilt voor de periode 1976-2005 en voor vier KNMI'06 klimaatscenario's voor 2050

De Bilt	1976-2005	G 2050	G+ 2050	W 2050	W+ 2050
< +5	188	170	164	153	143
< 0	101	83	78	67	56
< -5	32	23	21	17	14
< -10	10	7	6	5	4
< -15	3	2	2	1	1
< -20	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0
< -25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

tig jaar nauwelijks strenge winterkou gehad, maar ook met afnemende kans op strenge winters blijven situaties met lage gevoelstemperatuur mogelijk. Bij afnemend collectief geheugen voor strenge winterkou bij gebrek aan ervaring neemt het belang van de berichtgeving toe. In zulke situaties is het nemen van voorzorgsmaatregelen belangrijk.

Om een idee te geven van de gevolgen: bij een gevoelstemperatuur onder -25 graden kunnen binnen een half uur bevroeringsverschijnselen optreden. Nog een voorbeeld: als het meer dan 3 uur onder een gevoelstemperatuur van -10 graden is, heeft het KNMI met de GGD Groningen de afspraak om te waarschuwen in verband met de bescherming van daklozen. In Nederland is onderzoek gedaan naar het verlies van handvaardigheid (werken met blote vingers) bij toenemende windchill (Daanen, 2008).

Uit dat onderzoek komt voort dat vingertoppen grip verliezen als de huidtemperatuur onder 14°C komt. Dit impliceert dat handelingsbekwaamheid afneemt bij -10 graden na ongeveer 2,5 uur en bij -30 graden na ongeveer een kwartier.

In oktober is besloten, in goed

overleg met weerproviders, om voor de KNMI weersverwachting en -guidance de gevoelstemperatuur op te nemen als deze lager wordt dan -15 graden. In Nader Verklaard wordt op de KNMI-website de achtergrondinformatie over de gevoelstemperatuur in de winter en de kans op onderkoelings- en bevroeringsverschijnselen bij lage waarden beschikbaar gesteld.

Literatuur

- Daanen, H.A.M., 2008: "Manual performance deterioration in the cold estimated using the wind-chill equivalent temperature", *Industrial Health*, 47, 274-282
- Groen, G., 2009: "Wind chill equivalente temperatuur (WCET)", TR-309, KNMI, De Bilt.
- OCFM, 2003: "Report on Wind Chill Temperature and Extreme Heat Indices: Evaluation and Improvement Projects", Internet: http://www.ofcm.gov/jagti/r19-tiplan/pdf/entire_r19_ti.pdf
- Osczevski, R. and Bluestein, M.: "The basis for the new wind chill temperature chart", ams.confex.com/ams/pdfpapers/48428.pdf
- Osczevski, R. and Bluestein, M., 2005: "The new wind chill equivalent temperature chart", *Bull. Amer. Met. Soc.* 86-10, 1453-1458
- Quale, R.G., 1998: "The Steadman Wind Chill: An Improvement over Present Scales", *Weather and Forecasting*, 1187-1193.
- Siple, P.A. and Passel, C.F., 1945: "Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures", *Proc. Am. Phil. Soc.*, 89, 177-199.
- Steadman R. G., 1984: "A universal scale of apparent temperature", *J. Clim. and Appl. Met.*, 23, 1674-1687.
- Zwart, B., 1992: "Wind chill, de door de windsnelheid veroorzaakte temperatuur gewaarwording", KNMI TR-103a, De Bilt.

Websites

- Canada's Wind Chill Program, http://www.msc-smc.ec.gc.ca/education/windchill/index_e.cfm
- KNMI uurgegevens, <http://www.klimatologie/uurgegevens>
- <http://www.knmi.nl/klimatologie/uurgegevens/>
- KNMI klimaatscenario's, http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly/
- KNMI brochure gevoelstemperatuur met tabel: http://www.knmi.nl/klimatologie/achtergrondinformatie/brochure_windchill.pdf