

Wind chill

B. Zwart

Technische rapporten; TR-103a



II.n.270a

De Bilt, 1992

De Bilt 1992

Technische rapporten; TR-103a
(herziene uitgave van TR 103; 1987)

postbus 201
3730 AE De Bilt
Wilhelminalaan 10
tel. (030) 206 911
telex 470 96

UDC: 551.556
551.586
612

ISSN: 0169-1708
ISBN: 90-369-2029-9

WIND CHILL

De door de windsnelheid veroorzaakte
temperatuurgewaarwording

B. Zwart



* Op de Zuidpool kunnen bij zeer lage temperatuur hoge windsnelheden voorkomen. Het is dan ook nodig om zich daar tegen extreme afkoeling te beschermen. De mannen op de foto zijn bij het oplaten van de radiosonde dan ook terdege ingepakt.

VOORWOORD

Omstreeks half januari 1987 kwamen voor Nederlandse begrippen ongewoon extreme weersomstandigheden voor: temperaturen van ongeveer -15°C (in de nacht en vroege ochtend) tot ongeveer -10°C (in de namiddag), bij windsnelheden van gemiddeld 9 tot 11 m/s (windkracht 5 à 6) met vlagen tot ongeveer 17 m/s.

De Centrale Weerdienst van het KNMI heeft op 14 januari 1987 in verband met de extra afkoeling, veroorzaakt door de wind, toen voor het eerst in de geschiedenis van de Nederlandse weersverwachtingen gewezen op het gevaar van bevriezing van onbedekte huidgedeelten en geadviseerd binnenshuis te blijven als de noodzaak om buiten te zijn niet dringend aanwezig was. Daarbij werd het begrip "wind chill" gebruikt.

De betekenis van deze term is niet overal goed begrepen. Dit bleek uit een foutieve hantering ervan en uit een aantal onjuiste en verwarrende berichten in dagbladen, uitzonderingen daargelaten.

In verband hiermee werden voor de Centrale Weerdienst van het KNMI richtlijnen opgesteld voor de juiste hantering van het begrip "wind chill". Ongelukkigerwijs werd daarbij gekozen voor een ongebruikelijke referentiewaarde van de windsnelheid, nl. 5 m/s of 18 km/h. Door het gebruik van met deze referentie windsnelheid verkregen gevoelstemperaturen werd de verwarring in de media alleen maar groter. Het is daarom toe te juichen dat het KNMI zich thans heeft aangesloten bij de afspraken tussen het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO (Soesterberg) en de militaire instanties om bij de bepaling van de wind chill equivalente temperatuur (WCET of T_{we}) uitsluitend gebruik te maken van de methode Steadman (1984) met een referentiewaarde van de windsnelheid van 2,0 m/s of 7,2 km/h. In verband hiermee heb ik de eerdere uitgave van dit rapport (TR-103, 1987) grondig herzien.

B. Zwart

<u>INHOUD</u>	pag.
Inleiding: het begrip gevoelstemperatuur	1
Warmte-afgifte	6
Wind-chill	8
Afkoelingssnelheid of warmteverlies	9
Het werk van Siple en Passel	10
Warmteverlies en temperatuurgewaarwording	12
Het begrip equivalente of effectieve temperatuur	16
De invloed van vochtigheid en straling	20
Het werk van Steadman	22
Siple en Passel of Steadman?	27
Wanneer bevriest de huid?	28
Te gebruiken wind-chill tabel voor Nederlandse omstandigheden	29
Overzicht belangrijke wind-chill sinds 1905	30
Extreme wind-chill sinds 1905	31
Literatuur	32
Bijlage	33

FIGUREN OVERZICHT

pag.

Fig. 1	Diagram voor de temperatuurterminologie	5
Fig. 2	Warmteverliezen (windchill) en gevoels- temperaturen	14
Fig. 3	Warmteverliezen (windchill) en temperatuur- gewaarwording	15
Fig. 4	Grafiek van de afkoelingssnelheid van 1600 W m^{-2} (grens van het gevaar voor snelle bevriezing blote huid)	15
Fig. 5	Grafiek voor de bepaling van de wind-chill equivalente temperatuur volgens Siple en Passel ($v_0 = 1,8 \text{ m s}^{-1}$)	18
Fig. 6	Idem, ($v_0 = 2,23 \text{ m s}^{-1}$)	18
Fig. 7	Grafiek voor de bepaling van de wind-chill equivalente temperatuur volgens Steadman ($v_0 = 2,0 \text{ m s}^{-1}$)	25
Fig. 8	Idem, ($v_0 = 0 \text{ m s}^{-1}$)	25
Fig. 9	Verband tussen warmteverlies en windsnelheid volgens Siple en Passel en volgens Steadman	26

TABELLEN OVERZICHT

pag.

Tabel 1	Richtlijnen voor de gevoelstemperatuur, gebruikt door de Weerdienst van 1950-19797	2
Tabel 2	Idem, in gebruik vanaf 1979	3
Tabel 3	Pentadegemiddelden van de temperatuur	4
Tabel 4	Warmteproductie van de mens	7
Tabel 5	Warmteisolerende werking van kleding	7
Tabel 6	Warmteverliezen en behaaglijkheidsgevoel volgens Siple	12
Tabel 7	Idem, volgens Siple, Gold, Mörikofer, Terjung, Pierce en Smith	13
Tabel 8	Wind-chill equivalente temperaturen volgens Siple en Passel ($v_0 = 1,8 \text{ m s}^{-1}$)	17
Tabel 9	Idem, ($v_0 = 2,23 \text{ m s}^{-1}$)	17
Tabel 10	Wind-chill equivalente temperaturen volgens Steadman ($v_0 = 2,0 \text{ m s}^{-1}$)	24
Tabel 11	Idem ($v_0 = 2,0 \text{ m s}^{-1}$) met een correctie voor zonnig weer	24
Tabel 12	Voor Nederland te hanteren wind-chill tabel	29
Tabel 13	Belangrijke wind-chill (etmaalgemiddelden)	30
Tabel 14	Extreme wind-chill (uurgemiddelden)	31
	Schaal van Beaufort voor de windkracht	33

Inleiding: het begrip gevoelstemperatuur

De luchttemperatuur is niet de enige grootte die de temperatuur-gewaarwording van de mens (= mate van behaaglijkheid of de gevoelstemperatuur) op de naakte huid bepaalt. Men kan aan de begrippen zeer koud, koud, "gematigde temperaturen", warm, zeer warm, enz. uitsluitend een temperatuurtraject toekennen (zie tabel 1 en 2, en fig. 1), maar ook andere meteorologische factoren dan de temperatuur beïnvloeden de temperatuur-gewaarwording van de mens zoals de relatieve vochtigheid, de windsnelheid en de straling. Door de temperatuur te combineren met andere meteorologische factoren ontstaan begrippen als guur, fris, kil, klam, drukkend, benauwd, enz. De veelheid van factoren, die de temperatuur-gewaarwording van de mens bepalen, maakt duidelijk dat het begrip gevoelstemperatuur niet exact is vast te leggen. Om de zaak te vereenvoudigen heeft men wel één of meer factoren constant gehouden en vervolgens (proefondervindelijk) bepaald wat het effect van het variëren van de andere factor(en) is op de temperatuur-gewaarwording.

Zo ontstond het begrip effectieve of equivalente temperatuur, de temperatuur waarbij het warmteverlies (of afkoelingssnelheid) bij een bepaalde referentiewaarde van de in beschouwing genomen weersfactor, even groot is als dat bij de heersende temperatuur en de heersende waarde van die weersfactor.

De (subjectieve) gevoelstemperatuur kan ook nog beïnvloed worden door een persistent weerbeeld. Een lange periode van koud (of warm) weer kan gewenning veroorzaken en maken dat men aan het einde van zo'n periode de warmte (of koude) anders beoordeelt dan aan het begin. Ook na een weersomslag wordt de gevoelstemperatuur sterk door het voorafgaande weer beïnvloed.

Tenslotte wordt een bepaalde temperatuur door verschillende personen nooit precies hetzelfde omschreven. De individuele temperatuur-gewaarwording hangt o.a. samen met de lichaamsbouw, met de gezondheidstoestand (mate van fitheid) en met de mate van activiteit (warmte-produktie, zie tabel 4). De temperatuur-gewaarwording wordt voor de mens als geheel bovendien in sterke mate bepaald door de kleding (zie tabel 5). Een goed gekozen kleding kan nog een gevoel van behaaglijkheid verschaffen onder zeer extreme omstandigheden.

In dit rapport wordt in hoofdzaak het effect van de wind op de gevoelstemperatuur besproken. De wind is in de winter de voornaamste factor, die de gevoelstemperatuur bepaalt; in de zomer is vooral de straling belangrijk, terwijl in beide jaargetijden de vochtigheidsgraad van de lucht van belang is.

Op de invloed van luchtvochtigheid en straling wordt in dit rapport slechts zijdelings ingegaan.

Soort

ss = zeer zacht
 s = zacht
 w = warm
 vw = vrij warm
 zw = zeer warm
 n = matig, normaal of gematigd
 tvhj = voor de tijd van het jaar
 k = koud
 vk = vrij koud
 sk = zeer koud
 kl = koel
 gd = groter dan
 kd = kleiner dan

<u>januari</u>			<u>februari</u>		
	max.	%		max.	%
ss	gd 8.9	10.5	ss	gd 10.9	10.0
s	7.0 - 9.9	26.5	s	8.0 - 11.9	31.2
n	2.0 - 7.9	54.2	n	4.0 - 8.9	49.0
	vorattermen		vk	0.0 - 4.9	26.1
				vorattermen	
<u>maart</u>			<u>april</u>		
	max.	%		max.	%
ss	gd 16.9	2.6	ss	gd 21.9	2.5
s	14.0 - 18.9	10.0	s	19.0 - 23.9	10.1
vw	10.0 - 15.9	26.5	vw	15.0 - 20.9	25.0
n	6.0 - 10.9	50.2	n	10.0 - 15.9	56.2
vk	2.0 - 6.9	24.6	vk	6.0 - 10.9	30.6
k	0.0 - 3.9	8.9	k	4.0 - 7.9	8.0
sk	kd 2.0	2.2	sk	kd 6.0	2.4
<u>mei</u>			<u>juni</u>		
	max.	%		max.	%
zw	gd 27.9	2.4	zw	gd 28.9	2.5
w	25.0 - 29.9	9.2	w	25.0 - 30.9	14.1
vw	20.0 - 26.9	29.2	vw	21.0 - 26.9	31.6
n	14.0 - 20.9	51.4	n	16.9 - 21.9	49.7
vk	11.0 - 14.9	23.4	kl	14.0 - 17.9	29.1
k	9.0 - 12.9	13.3	k	kd 15.0	8.8
sk	kd 11.0	3.8			
na 20 mei					
vk	10.0 - 14.9	24.9			
k	kd 12.0	7.9			
<u>juli</u>			<u>augustus</u>		
	max.	%		max.	%
zw	gd 29.9	4.0	zw	gd 28.9	2.1
w	26.0 - 31.9	13.4	w	25.0 - 30.9	10.1
vw	22.0 - 27.9	23.2	vw	22.0 - 26.9	29.3
n	18.0 - 22.9	52.1	n	18.0 - 22.9	61.1
kl	16.0 - 18.9	22.3	kl	16.0 - 18.9	22.5
k	kd 17.0	7.0	k	kd 17.0	5.8
<u>september</u>			<u>oktober</u>		
	max.	%		max.	%
zw	gd 26.9	3.4	zw tvhj	gd 20.9	3.5
w	23.0 - 28.9	10.4	w	18.0 - 22.9	11.3
vw	20.0 - 24.9	24.3	vw	16.0 - 19.9	24.4
n	16.0 - 20.9	58.4	n	12.0 - 16.9	53.5
kl	14.0 - 16.9	26.2	vk	8.0 - 12.9	30.2
k	kd 15.0	10.1	k	kd 9.0	7.8
			na 10 oktober		
			vk	8.0 - 12.9	30.2
			k	5.0 - 9.9	10.8
			sk	kd 7.0	2.8
<u>november</u>			<u>december</u>		
	max.	%		max.	%
s	gd 11.9	13.9	ss	gd 10.9	7.3
vw	10.0 - 12.9	29.9	s	9.0 - 11.9	18.4
n	6.0 - 10.9	51.2	n	4.0 - 9.9	56.7
vk	2.0 - 6.9	25.5	vk	2.0 - 4.9	19.4
k	0.0 - 3.9	14.0			
	vorattermen			vorattermen	

Tabel 1

Richtlijnen voor de gevoelstemperatuur, gebruikt door de Weerdienst van het KNMI van 1950 tot 1979.

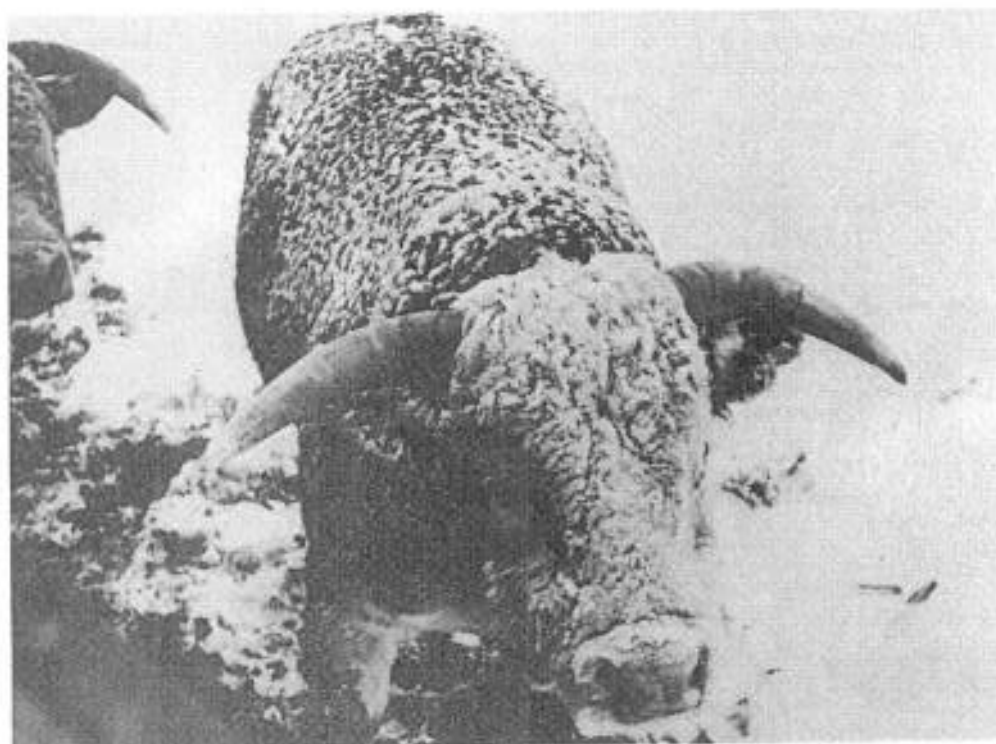
Gevoelstemperatuur; beschrijvende termen

Om een weerbeeld duidelijker te karakteriseren kan het nodig zijn, naast de vermelding van de temperatuurwaarden, ook omschrijvende termen te gebruiken. Als leidraad voor de keuze -vaak afhankelijk van het jaargetijde- geldt het verschil tussen de te verwachten (opgetreden) maximum temperatuur $T_x T_x$ en de pentadennormaal T_p (voor De Bilt), meestal in combinatie met de waarde van $T_x T_x$ zelf. De meteoroloog kan om meteorologische (of psychologische) redenen van de leidraad afwijken.

Abs. term	Waarde van $T_x T_x - T_p$	$T_x T_x$	opmerkingen
Zeer warm	8 graden of meer	23° en hoger	
Warm	5 t/m 10 graden	20° en hoger	
Vrij warm	2 t/m 7 graden	20° en hoger	
Zeer zacht	8 graden en meer	19° en lager	
Zacht	5 t/m 10 graden	19° en lager	
Vrij zacht	2 t/m 7 graden	19° en lager	
Koel	-2 t/m -7 graden	12° en hoger	
Vrij koud	-2 t/m -7 graden	---	niet bij zwaar bewolkt met regenbuien
Koud	-5 t/m -10 graden	---	Alleen bij winters weer
Zeer koud	-8 graden en meer	---	

Tabel 2

Richtlijnen voor de gevoelstemperatuur, gebruikt door de weerdienst vanaf 1979. Voor pentadegemiddelden (T_p) zie tabel 3.



* Buitenverblijvend vee wordt in de winter bij hevige koude aan extreme afkoeling blootgesteld. Volwassen dieren ontwikkelen onder deze omstandigheden een dichte, ruige vacht met veel luchtruimte.

Pentade-gemiddelden voor minimum- en maximumtemperatuur

De Bilt

Van	tot	$\overline{T_n}$	$\overline{T_x}$
1 januari	- 5 januari	0	5
6 januari	- 10 januari	0	4
11 januari	- 30 januari	-1	4
31 januari	- 19 februari	-1	5
20 februari	- 24 februari	-1	6
25 februari	- 1 maart	-1	7
2 maart	- 6 maart	0	7
7 maart	- 11 maart	0	8
12 maart	- 16 maart	1	9
17 maart	- 21 maart	2	10
22 maart	- 26 maart	3	11
27 maart	- 31 maart	3	12
1 april	- 15 april	4	12
16 april	- 20 april	4	14
21 april	- 25 april	5	14
26 april	- 30 april	5	15
1 mei	- 5 mei	6	16
6 mei	- 10 mei	7	17
11 mei	- 15 mei	7	18
16 mei	- 25 mei	8	18
26 mei	- 30 mei	9	19
31 mei	- 4 juni	9	20
5 juni	- 14 juni	10	20
15 juni	- 19 juni	10	21
20 juni	- 24 juni	11	21
25 juni	- 4 juli	12	22
5 juli	- 18 augustus	13	22
19 augustus	- 28 augustus	12	22
29 augustus	- 2 september	12	21
3 september	- 7 september	11	21
8 september	- 12 september	11	20
13 september	- 17 september	10	19
18 september	- 22 september	10	18
23 september	- 27 september	9	18
28 september	- 2 oktober	9	17
3 oktober	- 7 oktober	8	16
8 oktober	- 17 oktober	7	15
18 oktober	- 22 oktober	7	14
23 oktober	- 27 oktober	5	12
28 oktober	- 1 november	5	11
2 november	- 6 november	4	11
7 november	- 11 november	4	10
12 november	- 16 november	3	9
17 november	- 21 november	3	8
22 november	- 26 november	2	8
27 november	- 6 december	2	7
7 december	- 11 december	1	6
12 december	- 16 december	1	5
17 december	- 31 december	0	5

Tabel 3

Pentadegemiddelden voor de minimumtemperatuur (T_n) en maximumtemperatuur (T_x) voor De Bilt, 1931-1960.

Warmte-afgifte

De gevoelstemperatuur is een belangrijke factor bij de (subjectieve) weersbeoordeling. De gevoelstemperatuur hangt af van de mate van warmte-afgifte door de huid. Die warmte-afgifte vindt plaats op twee manieren, direct door uitstraling en geleiding, en indirect door verdamping (transpiratie). De warmteafgifte aan de lucht (door geleiding) wordt bevorderd als de lucht langs het lichaam stroomt (convectie). Die stroming wordt deels veroorzaakt door de lichaams-warmte zelf.

Transpiratie vindt ook plaats als de huid droog is (onbewuste verdamping). Wordt de huid bij sterke transpiratie geheel nat, dan heeft de transpiratie door het sterk vergrote verdampende oppervlak het sterkste effect. Transpiratie bij omgevingstemperaturen hoger dan 36 °C is zelfs de enige manier voor het lichaam om warmte te verliezen.

Omgekeerd kan het lichaam ook warmte opnemen, bijvoorbeeld door straling afkomstig van de zon, van de atmosfeer of van het aardoppervlak, of door opname van warmte uit langsstromende lucht met een temperatuur hoger dan die van het lichaam. Deze extra warmte-toevoer kan alleen via transpiratie weer worden afgevoerd. Omdat de lichaamstemperatuur constant moet blijven (er is ook warmteproductie) is het noodzakelijk dat de warmte-afvoer onder die omstandigheden via de transpiratie (veel) groter is dan de warmte-opname uit de langsstromende lucht.

Het welbevinden (gevoel van behaaglijkheid) hangt samen met het evenwicht tussen warmte-productie en warmte-afgifte van of warmte-toevoer aan het lichaam (voor warmte-productie zie tabel 4). Voor een ongekleeft persoon ligt de temperatuur, waarbij men zich behaaglijk voelt, afhankelijk van windsnelheid, de relatieve-vochtigheid en de aard van de bezigheden, ergens tussen 24 en 32°C; voor (licht) geklede personen ergens tussen 18°C en 25°C. Kleding kan de warmte-afgifte door het lichaam zodanig verhinderen, dat er al bij een veel lagere omgevingstemperatuur sprake is van een evenwicht tussen warmte-productie en warmte-afvoer (zie tabel 5). Bij dikke kleding of kleding in een aantal lagen speelt de afvoer van warmte (en waterdamp) door de langsstromende lucht vrijwel geen rol meer. De invloed van de relatieve vochtigheid op het gevoel van behaaglijkheid neemt bij hogere temperaturen toe en is vooral bij temperaturen boven nul belangrijk, zodat we bij het bestuderen van door de wind veroorzaakte effecten bij temperaturen onder het vriespunt de relatieve vochtigheid buiten beschouwing kunnen laten.

Tabel 4

Warmteproduktie van de mens in verschillende stadia van activiteit
(volgens Siple, 1945).

Toestand van activiteit	Warmteproduktie
slapend	47 W m ⁻²
rustig zittend	58
staand	87
langzaam lopend	116
gewoon lopend	175
snel lopend	233
zwaar werk verrichtend	291
grote activiteit (korte periode)	582

Tabel 5

Warmte-isolerende werking van verschillende soorten kleding
(volgens Siple, 1945).

Soort van kleding (van vóór 1945)	Relatieve grootte van de warmtestroomdichtheid (in procenten)
katoen, popeline (winddicht)	88
khaki, keper (katoen)	72
flanel (20% katoen/80% wol)	38
serge	35
deken (wol)	9,5
molton	12,5
wollen ondergoed (licht, 50% katoen, 50% wol)	21,5
wollen ondergoed (zwaar, 15% katoen/85% wol)	14,5
alpaca (haar)	3,5

100% = warmtestroom (W m⁻²) onbelemmerd doorgelaten.
0% = warmtestroom (W m⁻²) volledig geblokkeerd.

Het begrip Wind chill

Wind chill is het afkoelend effect, uitsluitend veroorzaakt door de wind. "To chill" betekent (doen) afkoelen, (doen) bevriezen, i.h.a. koud maken. Het afkoelend effect van de wind is algemeen bekend: op de fiets is het koeler, resp. kouder dan lopend bij dezelfde temperatuur. De term "wind chill" als zodanig is het eerst gebruikt door P.A. Siple in 1939 (Thesis, Clark University, Mass., niet gepubliceerd). Eerst in 1945 verschenen twee publikaties over deze materie: P.A. Siple and Ch.F. Passel, Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures, en P.A. Siple: General principles governing selection of clothing for cold climates.

Sedert deze publikaties is de uitdrukking "wind chill" in de V.S. en Canada regelmatig gebruikt voor de gewaarwording, dat het bij dezelfde luchttemperatuur kouder aanvoelt met wind dan wanneer die wind er niet is. Het ligt voor de hand dat de term "wind chill" in Noord-Amerika nogal eens wordt gebruikt. In Canada en de noordelijke staten van de V.S. heeft men in de winter regelmatig te maken met dit extra afkoelend effect tijdens luchtaanvoer uit de poolstreken. "Wind chill" wordt daar ook in de weersverwachtingen vermeld. Na 1980 is in Engeland gebruik gemaakt van deze term, met name voor schapenboeren in berggebieden als waarschuwing voor extreme weersomstandigheden waaraan pasgeboren lammeren bloot komen te staan. Gedurende enkele zeer koude dagen in de winter van 1986-1987 dook de term "wind chill" voor het eerst op in de Nederlandse kranten. Het gebruik van deze voor een breed publiek vrijwel onbekende uitdrukking leidde tot vragen naar de betekenis, de berekening en de toepassing ervan.



- * Eind augustus 1992 (winter voor het zuidelijk halfrond) werd het zuidelijke eiland van Nieuw-Zeeland geteisterd door hevige sneeuwstormen. De hiermee gepaard gaande wind chill veroorzaakte de dood van één tot anderhalf miljoen lammeren, ongeveer 3½ procent van het totale aantal op het Zuider eiland. Van deze jonge dieren is de vacht nog niet dicht genoeg om sterke afkoeling van de huid tegen te gaan. In de regio rond Christ Church stierven bijna alle lammeren en bovendien nog de helft van de volwassen dieren.

De afkoelingssnelheid of de mate van het warmteverlies

Een van de methoden om de afkoelingssnelheid van een lichaam te meten maakt gebruik van de katathermometer (Hill, 1923). Deze thermometer bezit een groot cilindervormig en met donker gekleurde alcohol gevuld reservoir met een inhoud van ongeveer $12\frac{1}{2}$ cm³. Men verwarmt de katathermometer tot boven de lichaamstemperatuur en meet bij verschillende windsnelheden en omgevingstemperaturen de tijd, waarin de door de katathermometer aangewezen temperatuur daalt van één graad boven tot twee graden onder de lichaamstemperatuur (37°C). Deze tijd is een maat voor de afkoelingssnelheid of de mate van het warmteverlies. Hij kan worden omgerekend in W m⁻² of W cm⁻². Veel werk op dit gebied is verricht door Hill, c.s. (publicaties in 1919, 1920, 1923, 1925 en 1928). Zij schermde de katathermometer af tegen directe zonnestraling, zodat de afkoelingssnelheid van het reservoir vrijwel uitsluitend door langsstromende lucht werd veroorzaakt. Met behulp van deze (en andere) proeven kon de mate van warmteverlies H van een droog (warm) lichaam door stroming en geleiding bij een stralingsevenwicht met de omgeving als volgt worden beschreven:

$$H = (a+b\sqrt{v}) (T_s - T_a) \quad (1)$$

Waarin H = mate van warmteverlies of warmtestroomdichtheid (W cm⁻²)

a = warmtetransport door geleiding (conductie)

b = warmtetransport door stroming (convectie)

v = windsnelheid (m s⁻¹)

T_s = huid- of oppervlaktetemperatuur (°C)

T_a = omgevingstemperatuur (°C)

Naast de katathermometer is gebruik gemaakt van de frigorigometer (Dorno en Thilenius, 1925). Dit is een vrijwel massieve, zwart gemaakte koperen bol waarvan de temperatuur onder uiteenlopende omstandigheden door middel van een verwarmingselement met een thermostaat op 37°C wordt gehouden. De hiervoor benodigde stroom kan worden omgerekend in een afkoelingssnelheid en vormt een maat voor het afkoelend vermogen van de atmosfeer. Ten overvloede zij vermeld dat de verkregen getalwaarden afkoelingssnelheden zijn en geen gevoelstemperaturen, equivalente, of effectieve temperaturen.

Het werk van Siple en Passel

Voor het verzamelen van waarnemingen voor de berekening van de afkoelingssnelheid van een lichaam gebruikten Siple en Passel (1945) niet de katathermometer maar iets wat daar enigszins op leek, namelijk een afgesloten cilinder van kunststof, die met 250 g verwarmd water was gevuld, ongeveer drie kwart van de totale inhoud. Deze cilinder had een diameter van 5,7 cm en een hoogte van 15 cm. De temperatuur van het water werd gemeten met behulp van een thermokoppel. Deze "behaaglijkheidsthermometer" van eigen makelij hing aan een houten frame op het dak van één van de gebouwen van "Little America III", een Amerikaanse basis op Antarctica, waar de proeven in de jaren 1939 en 1941 werden uitgevoerd; Siple was majoor bij het Amerikaanse leger. De experimenten hadden ten doel na te gaan hoe groot het "bijtend" effect van de wind was tijdens legeroefeningen bij (zeer) lage temperaturen. Naast de "behaaglijkheidsthermometer" hing een onbeschermd thermokoppel ter bepaling van de luchttemperatuur. Bovenop het houten frame stond een Robinson cup-anemometer voor het meten van de windsnelheid.

Omdat de proeven werden gedaan in de Antarctische winter hoefde men geen rekening te houden met de zonnestraling. De zon bleef in Little America III vier maanden onder de horizon. Voor de uitstraling kon gedurende het gehele tijdvak een vrijwel constante waarde worden gehanteerd. De aanwijzing van de instrumenten werd binnen op een recorder afgelezen. Met deze opstelling zijn bij zeer uiteenlopende temperaturen en windsnelheden meer dan 80 afkoelingsexperimenten uitgevoerd waarvan de duur uiteenliep van 1½ tot 24 uur. De buitentemperatuur liep daarbij uiteen van -9°C tot -56°C , en de windsnelheid van 0 tot 12 m s^{-1} . De aflezingen begonnen bij een temperatuur van het water van 10°C en duurden voort totdat de "behaaglijkheidsthermometer" minder dan een graad van de omgevings-temperatuur afweek.

Met behulp van de waarnemingsresultaten van 54 bruikbare experimenten vonden Siple en Passel de volgende, deels op het werk van Hill (1) gebaseerde formule voor het warmteverlies of warmtestroomdichtheid H voor de naakte huid:

$$H = (10,45 + 10\sqrt{v} - v) (33 - T) \text{ kcal m}^2 \text{ h}^{-1} \quad (2)$$

of

$$H = (12,12 + 11,6\sqrt{v} - 1,16v) (33 - T) \text{ W m}^{-2} \quad (3)$$

waarbij v in m s^{-1} en T in $^{\circ}\text{C}$. 33 is de door Siple aangenomen temperatuur (in $^{\circ}\text{C}$) van de naakte huid.

Siple en Passel gingen bij hun experimenten uit van twee veronderstellingen:

1. De warmtestroomdichtheid uit de met water gevulde "plastic" cilinder is te vergelijken met de warmtestroomdichtheid uit de (naakte) menselijke huid, bijvoorbeeld van een vinger.
2. De temperatuur van de onbedekte huid van de ledematen bedraagt 33°C. Een temperatuur van 37°C wordt door het lichaam uitsluitend binnen in de romp gehandhaafd, waar de lever de belangrijkste warmtebron is.

De afgeleide formule is de basis voor tabellen, nomogrammen en kaarten met wind chill indices voor uiteenlopende koude streken, als richtlijn voor de benodigde kleding bij werkzaamheden in het open veld, bijvoorbeeld militaire operaties. De Duitsers hebben tijdens de oorlog tegen de Sovjet-Unie in de winter van 1942-1943 aan den lijve ondervonden wat het is om niet goed tegen de kou beschermd te zijn in een (streng) Russische winter met de nodige wind chill.

De formule van Siple en Passel wordt algemeen gebruikt voor de bepaling van wind chill wegens zijn eenvoud. Hij geeft een goed kwalitatief antwoord op de vraag wanneer men zich terdege tegen de kou moet beschermen (zie tabel 7). De formule geeft echter geen antwoord op de vraag hoeveel kleding er gedragen moet worden, rekening houdend met de warmte-isolerende eigenschappen ervan. Er wordt ook geen rekening gehouden met de mate van activiteit van de persoon: er is een groot verschil in warmteproductie tussen de staande en de "joggende" mens.

Bij donkere kleding is het heel belangrijk of de zon schijnt: zwarte kleding absorbeert de zonnestraling uitstekend in tegenstelling tot witte kleding. Er wordt ook geen rekening gehouden met het (belangrijke) warmteverlies via de ademhaling. Het laatste kan tot twintig procent of meer van het totale warmteverlies bedragen. Steadman (1971) heeft getracht deze factoren te kwantificeren (zie pag 21).

Siple en Passel stellen dat hun bevindingen goed aansluiten bij die van Gold (1935). Gold leidde eveneens een formule af voor het warmteverlies, maar voor temperaturen tussen 0 en 26°C waarbij hij als instrument de katathermometer gebruikte. De formule, die Gold voor de mate van warmteverlies H afleidde, luidt als volgt:

$$H = (36,5 - T) (11,3 + 20\sqrt{v}) \text{ W m}^{-2} \quad (4)$$

waarbij H = de mate van warmteverlies of warmtestroomdichtheid (W m⁻²)
36,5 = lichaamstemperatuur (°C)
T = omgevingstemperatuur (°C)
v = windsnelheid (m s⁻¹)

Warmteverlies en temperatuurgewaarwording

Over de grootte van warmteverliezen en de daarbij behorende temperatuurgewaarwording bestaan uiteenlopende gegevens en opvattingen over de interpretatie van deze gegevens. In de volgende uit de literatuur afkomstige tabellen (6 en 7) en figuren (2 en 3) zijn empirisch verkregen relaties bijeengebracht. Het zal duidelijk worden dat voor de verschillende temperatuurgewaarwordingen, geen scherpe grenzen zijn te trekken. Hetzelfde geldt voor de kans op bevriezing van de blote huid. De lijn in figuur 4 vormt het midden van een ongeveer één centimeter breed overgangsgebied. Ook bij een warmte-verlies van 1400 W m^{-2} is de kans op bevriezing van onbedekte lichaamsdelen aanwezig.

Tabel 6

Warmteverliezen en relatief behaaglijkheidsgevoel volgens Siple (1945), experimenteel bepaalde waarden.

Warmteverlies in W m^{-2}	Temperatuurgewaarwording
516	Aangenaam, mits gekleed in wollen ondergoed, wollen sokken en wanten, ski-laarzen, ski-hoofdband en winddicht katoenen jack, en skiënd met een snelheid groter dan 5 km h^{-1} .
860	Onaangenaam koud bij lopen in mist of bij bedekte hemel.
1032	Onaangenaam koud bij lopen tijdens helder zonnig weer.
1284	Benedengrens van het warmteverlies, waarbij, afhankelijk van de mate van activiteit, de intensiteit van de zonnestraling, structuur van de huid en de bloedcirculatie, onbedekte lichaamsdelen gaan bevriezen.
1720	Lopen, of verblijf in een tent wordt gevaarlijk; blootgestelde lichaamsdelen bevriezen gemiddeld binnen één minuut.
1978	Blootgestelde lichaamsdelen bevriezen gemiddeld binnen een halve minuut.

Tabel 7

Warmteverliezen en relatief behaaglijkheidsgevoel volgens Siple (1954), Gold (1935), Mörikofer (1962), Terjung (1966) en Pierce and Smith (1984).

Voor een grafische voorstelling van het warmteverlies, de zg. wind chill factor, zie de figuren 2 en 3.

Warmteverlies Temperatuur gewaarwording (gemiddelde grenzen)
in $W m^{-2}$

		(Siple, 1945)
500-850	Comfortabel; althans bij geschikte kleding en enige activiteit.	
850-1300	Onaangenaam koud, ook bij aangepaste kleding.	
1300-1700	Zeer koud; afhankelijk van de mate van activiteit, zonnestraling en bloedcirculatie kans op bevriezing van blootgestelde huidoppervlakken.	
1700-2000	Gevaarlijk koud; blootgestelde lichaamsoppervlakken kunnen binnen één minuut bevriezen.	
> 2000	Uiterst gevaarlijk koud; blootgestelde lichaamsoppervlakken bevriezen binnen 30 seconden.	
		(Gold, 1935)
< 210	Zeer warm	
210-420	Warm	
420-840	Prettig	
840-1250	Koud	
1250-1670	Zeer koud	
		(Mörikofer, 1962)
< 210	Onaangenaam warm	
210-420	Prettig	
420-630	Vrij koud	
630-840	Koud	
> 840	Onaangenaam koud	
		(Terjung, 1966)
350-700	Koel	
700-930	Zeer koel	
930-1160	Koud	
1160-1390	Zeer koud	
1390-1625	Snijdend koud	
> 1625	Gevaarlijk koud, blootgestelde lichaamsdelen bevriezen.	
		(Pierce en Smith, 1984)
380-630	Koel	
630-800	Zeer koel	
800-1000	Koud	
1000-1200	Zeer koud	
1200-1400	Bitter koud	
1400-2000	Gevaarlijk koud (blootgestelde lichaamsoppervlakken kunnen bevriezen)	
> 2000	Zeer gevaarlijk koud (blootgestelde huidoppervlakken bevriezen binnen één minuut)	

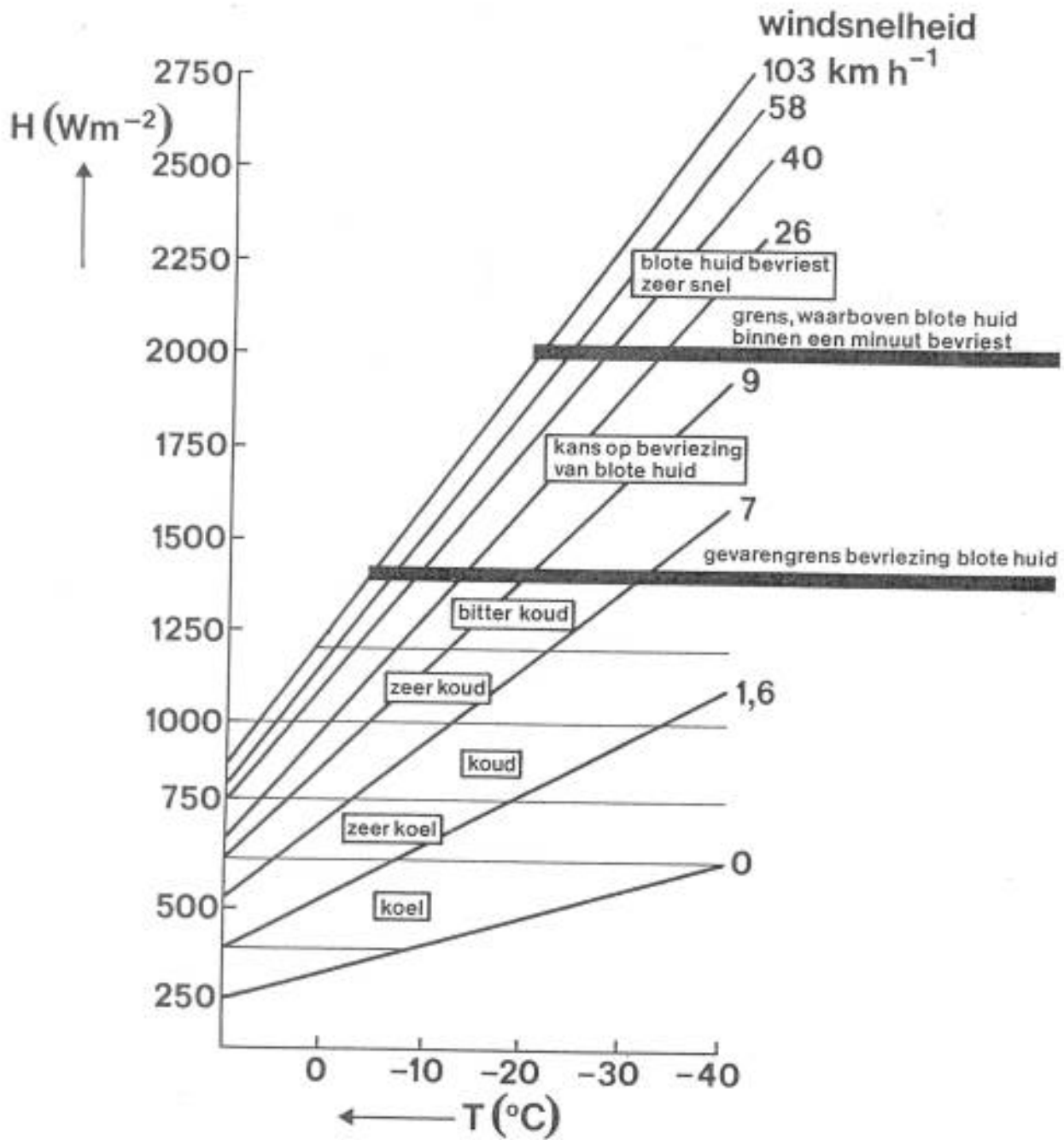


Fig. 2.

Warmteverliezen bij verschillende windsnelheden en temperaturen. Tevens zijn de gevoelstemperaturen aangegeven (Pierce en Smith, 1984).

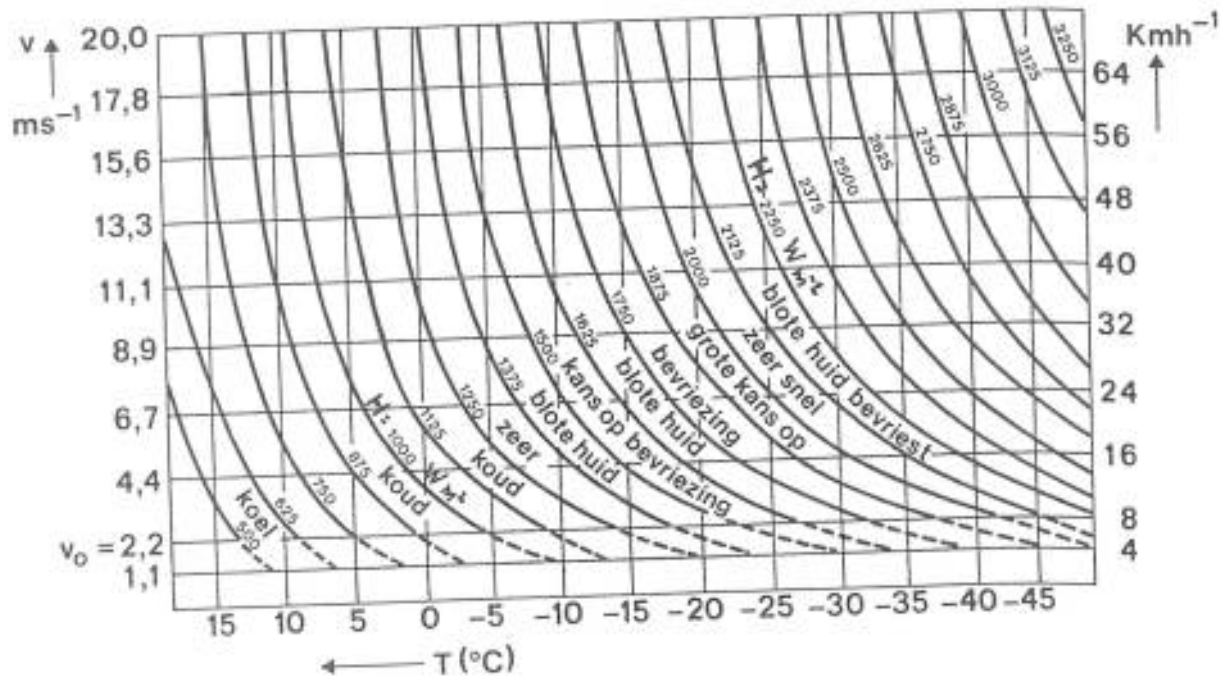


Fig. 3

Warmteverliezen (Wind chill factor) in $W m^{-2}$ met de bijbehorende temperatuurgewaarwording (volgens Pierce en Smith, 1984) met een $v_0 = 2,2 m s^{-1}$.

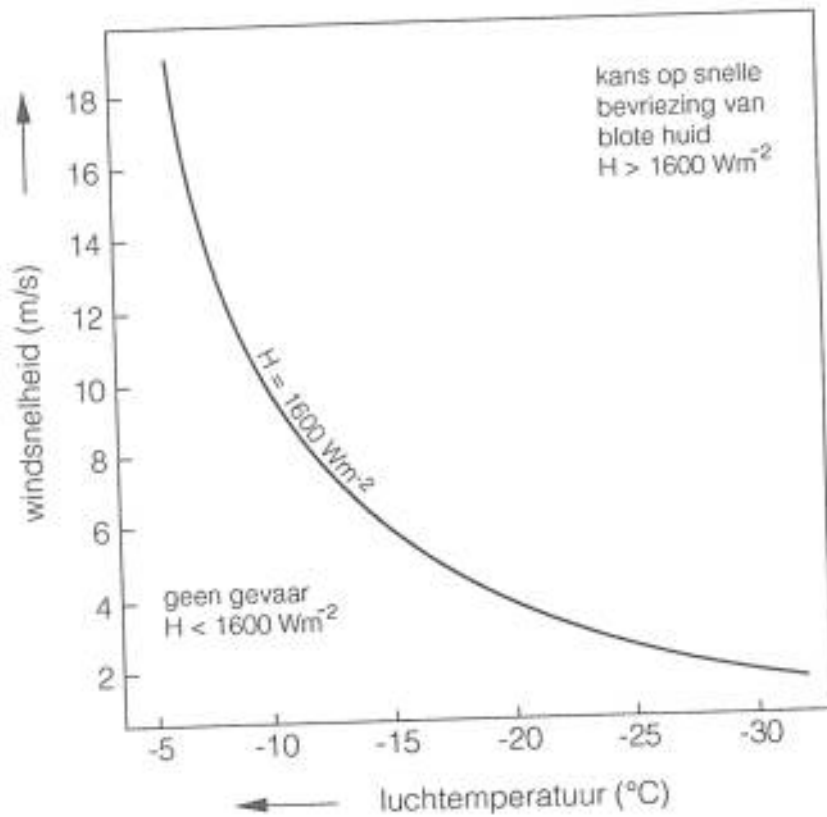


Fig. 4

Grafiek van de combinaties van temperatuur en windsnelheid, die een mate van warmteverlies (afkoelingssnelheid) opleveren van $1600 W m^{-2}$. Links van de kromme is er geen gevaar, rechts ervan een reëel gevaar voor snelle bevrozing van de blote huid (Van der Linden, 1990).

Het begrip wind chill-equivalente of wind chill-effectieve temperatuur (T_{we})

De formules (1) t/m (4) geven waarden voor het warmteverlies van een lichaam, onder andere onder invloed van de wind. Zo is een bepaalde combinatie van temperatuur en windsnelheid verantwoordelijk voor een bepaald warmteverlies (H). Hetzelfde warmteverlies kan worden bereikt door een andere temperatuur met een andere windsnelheid. Op deze wijze kan voor iedere actuele windsnelheid (v) en temperatuur (T), een temperatuur (T_{we}) berekend worden, waarbij het warmteverlies (H_o) in combinatie met een bepaalde vaste windsnelheid (v_o) even groot is. Deze vaste windsnelheid (v_o) noemt men de referentiewindsnelheid. Meestal kiest men daarvoor de snelheid van een wandelaar. In de literatuur komt men verschillende, maar in feite weinig uiteenlopende, waarden tegen: 1,6; 1,8; 2,0; 2,23 en 2,55 $m s^{-1}$. In feite kan men het beste refereren aan de gevoelstemperatuur bij windstilte. De afkoelingssnelheid hangt dan uitsluitend af van de straling en de door de lichaamswarmte zelf veroorzaakte convectie. Er wordt dan gerefereerd aan een stilstaand of zittend persoon in de buitenlucht. Zodra men loopt veroorzaakt men echter een zekere windsnelheid en aangezien Siple en Passel hun proeven deden om het effect van wind chill na te gaan op de infanterie, is het duidelijk dat zij voor de loopsnelheid als referentiewindsnelheid kozen. Bij toepassing van een bepaalde referentiewindsnelheid zal het afkoelend effect van hogere windsnelheden tot uiting komen in lagere temperaturen. De berekende temperatuur noemt men de wind-chill-equivalente temperatuur. Zij is als volgt gedefinieerd:

De wind chill-equivalente temperatuur (T_{we} of WCET) is die temperatuur, waarbij het warmteverlies (H_o) (afkoelend effect) bij de referentiewindsnelheid (v_o) even groot is als het warmteverlies (H) (afkoelend effect) bij heersende temperatuur (T) en de heersende windsnelheid (v).

De wind chill-equivalente temperatuur berekend volgens Siple en Passel

Het warmteverlies H_o berekend met de formule van Siple en Passel (3) bedraagt bij een referentie-windsnelheid $V_o = 2,23 m s^{-1}$ (= 5 mph, landmijlen):

$$H_o = (12,12 + 11,6\sqrt{V_o} - 1,16V_o) (33 - T_{we}) \text{ of } H_o = 26,77(33 - T_{we}) \quad W m^{-2} \quad (5)$$

Voor referentie-windsnelheden $v_o = 2,55 m s^{-1}$ (= 5 kts = 5 mph, zee-mijlen) en $v_o = 1,8 m s^{-1}$ is de waarde van H_o resp. 27,79 ($33 - T_{we}$) en 25,57 ($33 - T_{we}$).

We nemen voor $H_o = 25,57 (33 - T_{we})$ en eisen $H = H_o$, dan is de wind chill-equivalente temperatuur T_{we} :

$$T_{we} = 33 - \frac{H_o}{25,57} = 33 - \frac{H}{25,57} \quad (6)$$

$$T_{we} = 33 - \frac{(12,12 + 11,6\sqrt{v} - 1,16v) (33 - T)}{25,57} \quad (7)$$

De tabellen 8 en 9 geven de wind chill-equivalente temperaturen, berekend volgens (7), resp. voor $v_o = 1,8$ en $v_o = 2,23 m s^{-1}$.

windsnel- heid ms^{-1}	Luchttemperatuur $^{\circ}\text{C}$											
	0	- 1	- 2	- 3	- 4	- 6	- 8	-10	-12	-14	-18	-22
1,8 (v_0)	0	- 1	- 2	- 3	- 4	- 6	- 8	-10	-12	-14	-18	-22
5	- 8	-10	-11	-12	-14	-16	-19	-21	-24	-26	-31	-36
7	-11	-13	-14	-16	-17	-20	-23	-25	-28	-31	-36	-41
9	-14	-15	-17	-18	-20	-23	-26	-28	-31	-34	-40	-45
11	-16	-17	-19	-20	-22	-25	-28	-31	-34	-36	-43	-48
13	-17	-19	-20	-22	-23	-26	-29	-32	-36	-38	-45	-51
16	-18	-20	-22	-23	-26	-28	-31	-34	-37	-40	-47	-53
18	-19	-21	-23	-24	-27	-29	-32	-35	-38	-41	-48	-54
20	-20	-21	-23	-25	-27	-29	-32	-36	-39	-42	-49	-54

Tabel 8

Wind chill equivalente temperaturen (T_{wc}) volgens Siple en Passel voor een referentie-windsnelheid $v_0 = 1,8 \text{ m s}^{-1}$.

windsnel- heid ms^{-1}	Luchttemperatuur $^{\circ}\text{C}$											
	0	- 1	- 2	- 3	- 4	- 6	- 8	-10	-12	-14	-18	-22
2,23(v_0)	0	- 1	- 2	- 3	- 4	- 6	- 8	-10	-12	-14	-18	-22
5	- 6	- 7	- 8	- 9	-11	-12	-14	-17	-20	-22	-26	-33
7	- 9	-11	-12	-13	-14	-16	-19	-22	-24	-28	-32	-38
9	-12	-13	-14	-16	-18	-19	-22	-25	-28	-31	-35	-42
11	-14	-15	-16	-18	-19	-21	-24	-28	-31	-34	-38	-45
13	-15	-16	-18	-19	-21	-23	-26	-29	-33	-36	-39	-47
16	-16	-17	-19	-21	-22	-24	-27	-31	-34	-37	-40	-49
18	-17	-18	-20	-22	-23	-25	-28	-32	-35	-38	-41	-50
20	-17	-18	-20	-22	-23	-26	-29	-32	-36	-39	-42	-51

Tabel 9

Wind chill equivalente temperaturen (T_{wc}) volgens Siple en Passel voor een referentie-windsnelheid $v_0 = 2,23 \text{ m s}^{-1}$ (5 mph, landmijlen).

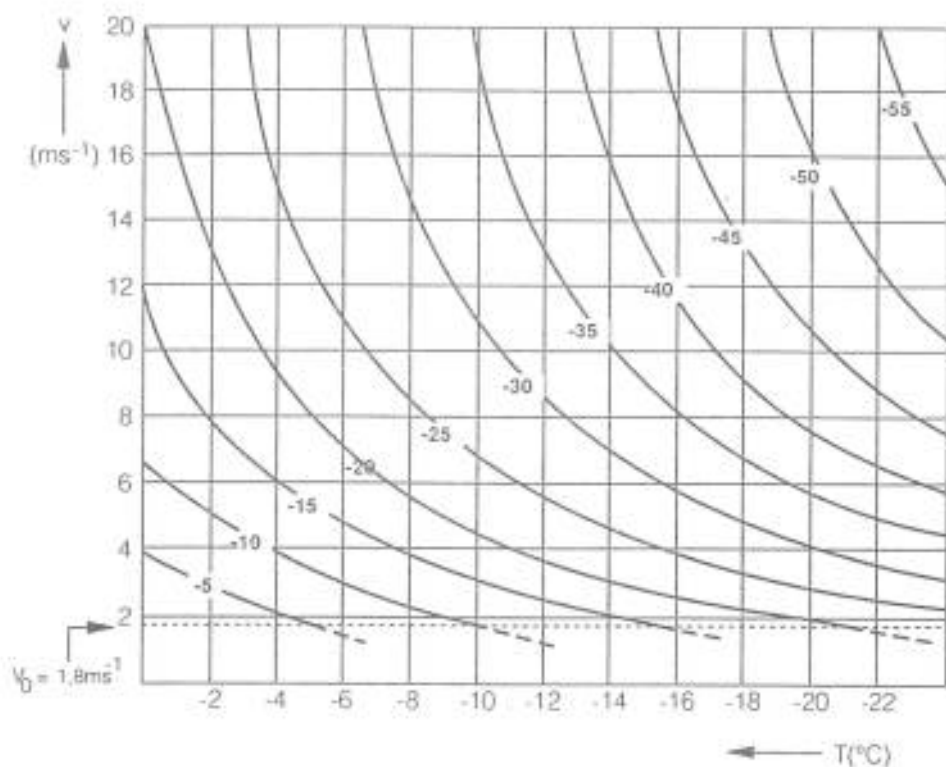


Fig. 5

Grafiek voor de bepaling van de wind chill equivalente temperatuur (T_{wc}) volgens de formule van Siple en Passel met een referentiewindsnelheid $v_0 = 1,8 \text{ m s}^{-1}$.

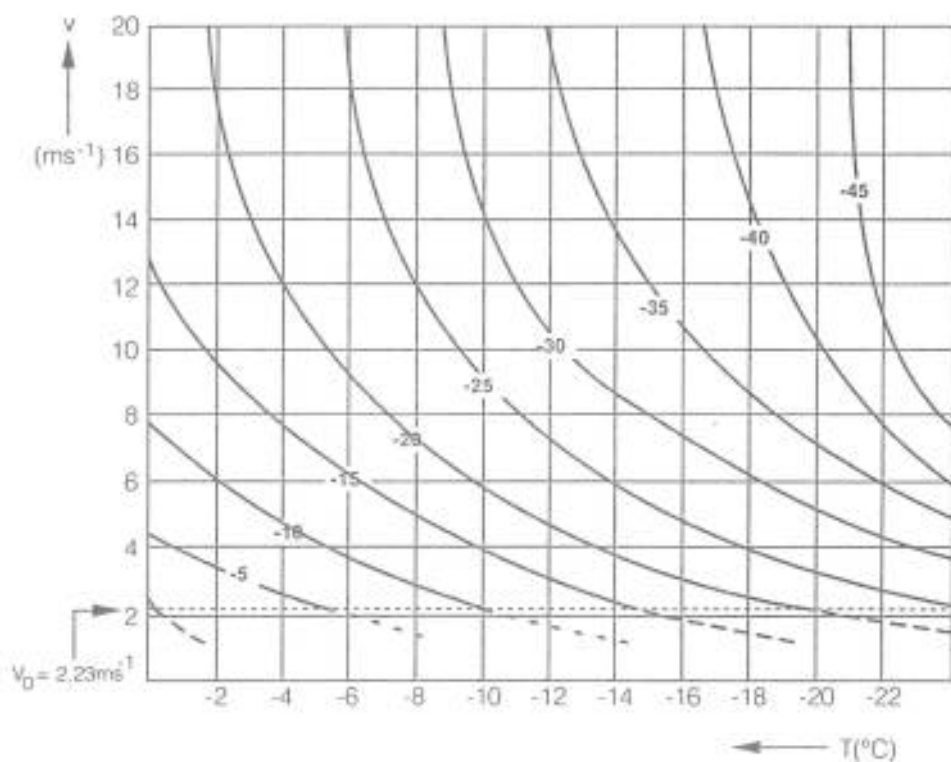


Fig. 6

Grafiek voor de bepaling van de wind chill equivalente temperatuur (T_{wc}) volgens de formule van Siple en Passel met een referentiewindsnelheid $v_0 = 2,23 \text{ m s}^{-1}$.

Toelichting bij de tabellen

Extreem lage luchttemperaturen zijn niet in de tabellen opgenomen omdat die voor Nederland niet relevant zijn. Zou men in de tabel windsnelheden opnemen die lager zijn dan de referentie-windsnelheid (v_0) dan vindt men voor T_{∞} hogere waarden dan de heersende luchttemperatuur. Om die redenen zijn in de tabellen ook geen windsnelheden lager dan de referentie-windsnelheid opgenomen.

De wind chill equivalente temperatuur heet ook wel wind chill effectieve temperatuur; dat is dus de temperatuur die bij de referentie-windsnelheid v_0 hetzelfde "afkoelend effect" heeft als bij de heersende temperatuur en de heersende windsnelheid. Het begrip effectieve temperatuur wordt ook gebruikt voor het effect van de relatieve vochtigheid en van de straling op de temperatuur-gewaarwording. De Nederlandse taal kent het begrip gevoelstemperatuur. Dit begrip kan eveneens betrekking hebben op door wind, relatieve vochtigheid of straling veroorzaakte effecten, of een combinatie van deze factoren.

Bij de interpretatie van wind chill tabellen moet men steeds in het oog houden dat het gaat om gelijke warmteverliezen onder verschillende omstandigheden en niet om reële temperaturen. Doet men dit niet, dan krijgt men te maken met onzinnige zaken zoals in een krantebericht, waarin werd gesteld dat bij temperaturen (iets) boven nul op de autoweg het water in de radiator zou kunnen bevriezen. En inderdaad, bij een luchttemperatuur van $+3^{\circ}\text{C}$ en een rijsnelheid van 90 km h^{-1} ($= 25 \text{ m s}^{-1}$) berekent men voor de menselijke huid een wind chill equivalente temperatuur van ongeveer -15°C . Maar wind chill equivalente temperaturen zijn geen reële temperaturen. De gevonden equivalente temperatuur van -15°C betekent niets anders dan dat het warmteverlies van een lichaam bij een luchttemperatuur van $+3^{\circ}\text{C}$ en een windsnelheid van 25 m s^{-1} gelijk is aan het warmteverlies van datzelfde lichaam bij een luchttemperatuur van -15°C en een windsnelheid van $1,8 \text{ m s}^{-1}$. Dit geeft, veronderstellen wij, hetzelfde gevoel.

Voor de radiator geldt echter alleen de mate van warmteverlies, gevoel heeft het apparaat niet. De temperatuur van de radiator kan nooit lager worden dan de luchttemperatuur. Evenmin kan de menselijke huid bevriezen bij temperaturen boven nul, hoe hard het ook waait. Een uitzondering geldt de natte huid bij temperaturen iets boven het vriespunt bij zeer lage relatieve vochtigheid (natteboltemperaturen belangrijk onder nul) en hoge windsnelheden. Door verdamping wordt dan zoveel warmte aan de huid onttrokken dat er een reële kans bestaat op bevriezing. De wind chill tabel geeft hierover echter geen informatie.

De invloed van vochtigheid en straling op de temperatuurgewaarwording.

De gevoelstemperatuur hangt ook af van de relatieve vochtigheid. Ook voor deze grootheid kunnen we een equivalente of effectieve temperatuur vaststellen, in de angelsaksische literatuur ook wel schijnbare temperatuur geheten. Toeneming van het vochtgehalte van de lucht geeft de gewaarwording van een hogere temperatuur omdat de verdamping dan vermindert. Het effect van een toenemende luchtvochtigheid wordt groter naarmate de temperatuur hoger is. De lucht kan dan immers meer waterdamp bevatten.

Bij het opstellen van een (empirisch verkregen) formule gaat men er van uit dat beneden een bepaalde temperatuur de hoeveelheid waterdamp in de lucht zo gering is dat variatie ervan geen invloed meer heeft op het temperatuurgevoel. Sommige onderzoekers houden dit op temperaturen beneden 0°C, anderen op temperaturen lager dan 10 °C. Een bekende formule is die van Missenard (1933):

$$T_{ve} = T - 0,4(T-10) \left(1 - \frac{r}{100}\right) \quad (8)$$

waarin T_{ve} = de vochtigheidseffectieve of vochtigheidsequivalente temperatuur (°C)
r = de relatieve vochtigheid (%)

De vochtigheidseffectieve of vochtigheidsequivalente temperatuur T_{ve} is de temperatuur waarbij (bij windstilte) de temperatuurgewaarwording (schijnbare temperatuur) bij een referentiewaarde van de relatieve vochtigheid van 100% hetzelfde is als bij de heersende temperatuur en de heersende vochtigheidsgraad van de lucht.

In deze formule is de referentiewaarde van de relatieve vochtigheid 100%. Beter is het voor deze grootheid een waarde te kiezen, die overeenkomt met de "normale" waarde van de relatieve vochtigheid, dat is de waarde waarbij men zich bij kamertemperatuur het behaaglijkst voelt (60 à 65 %):

$$T_{ve} = T - 0,4(T-10) \left(1 - \frac{r}{60}\right) \quad (9)$$

In tegenstelling tot de formule (7) geeft deze formule bij hogere relatieve vochtigheden wel hogere waarden voor de effectieve temperatuur dan de heersende temperatuur. Een voorbeeld: een temperatuur van 20 °C en relatieve vochtigheden van resp. 10, 60 en 90%:

Formule (7) geeft dan de volgende vochtigheidseffectieve temperaturen: 16,4; 18,4 en 19,6 °C.

Formule (8): 16,7; 20,0 en 22,0 °C.

Ook straling is belangrijk voor het temperatuurgevoel, dit is vooral goed merkbaar bij afwezigheid van wind. In de literatuur vindt men de empirische afgeleide formule:

$$T_{se} = T - 4\sqrt{v} + 0,17Q \quad (10)$$

waarin T_{se} = de stralingseffectieve temperatuur
 v = de windsnelheid ($m s^{-1}$)
 Q = de straling (Wm^{-2})
 T = de temperatuur ($^{\circ}C$)

Uit deze formule volgt dat bij hoge stralingsintensiteiten en lage windsnelheden of windstilte de stralingseffectieve temperatuur hoger is dan de heersende temperatuur. Nemen we een windsnelheid van $4 m s^{-1}$ en een stralingsintensiteit van $105 W m^{-2}$ bij een luchttemperatuur van $5 ^{\circ}C$ dan geeft dit op het bestraalde huidoppervlak dezelfde indruk als een temperatuur van $15 ^{\circ}C$ bij windstilte en in de schaduw.

De stralingseffectieve of stralingsequivalente temperatuur T_{se} is de temperatuur, waarbij de temperatuurgewaarwording (bij windstilte en een referentiewaarde van de straling Q_0) dezelfde is als die bij de heersende windsnelheid, de heersende straling en de heersende temperatuur.

Het begrip effectieve temperatuur zonder meer wordt wel gebruikt om de invloed weer te geven van de windsnelheid, vochtigheid en straling tezamen (Houghton, 1923). Men kan deze effectieve temperatuur alleen proefondervindelijk bepalen.



* Bij intensieve zonnestraling, bijvoorbeeld hoog in de bergen, en windstilte kan de temperatuurgewaarwording dezelfde zijn als bij warm weer, ook al ligt de werkelijke temperatuur beneden het nulpunt.

Het werk van Steadman

Er zijn bezwaren aan te voeren tegen de manier waarop Siple en Passel het windeffect (de wind chill) hebben bepaald. De mate van afkoeling van een cilinder met water is niet zonder meer vergelijkbaar met het warmteverlies waaraan een menselijk lichaam in een koudere omgeving blootstaat. Extra warmteverliezen vinden plaats via de ademhalingslucht, via straling en via verdamping, terwijl het totale warmteverlies voor een groot deel kan worden tegengegaan door het lichaam adequaat te kleden.

R.G. Steadman (1971, 1984) ontwikkelde daarom een geheel nieuwe formule voor de berekening van het warmteverlies, waarbij werd uitgegaan van een met kleding bedekt lichaam in thermisch evenwicht (warmteverlies = warmteproductie) met de omgeving.

Hij stelde de warmteproductie van een gezonde volwassen persoon, lengte 1,70 m en een huidoppervlakte van 1,7 m², buiten wandelend met een snelheid van 1,3 m s⁻¹ (4,7 km h⁻¹), op 188 W m⁻². Om bij uiteenlopende meteorologische omstandigheden warmteproductie en warmteverlies aan elkaar gelijk te houden, moet de dikte en de hoeveelheid kleding worden gevarieerd. De formule van Steadman geeft geen maat voor het warmteverlies zoals die van Siple en Passel, maar een maat voor de dikte van de kleding:

$$\begin{array}{cccccc} (1) & (2) & (3) & (4) & (5) & \\ 188 = & 16,20 + & 0,22(37-T) + & \frac{0,13(30-T)}{R_e} + & \frac{0,5(30-T)}{0,5+R_e} + & \frac{3,55(33-T)}{R_t+R_e} & (11) \end{array}$$

De verschillende termen stellen voor:

188 = warmteproductie (W m⁻²)

(1) = warmteverlies door verdamping bij de ademhaling

(2) = warmteverlies door verwarming van de ingeademde lucht

(3) = warmteverlies via de onbedekte huid (= 3% van het huidoppervlak, het gezicht)

(4) = warmteverlies via dun beklede handen en voeten (= 12% van het huidoppervlak)

(5) = warmteverlies via dik beklede lichaamsdelen (= 85% van het huidoppervlak)

T = omgevingstemperatuur (°C)

37 = temperatuur in het centrale deel van de romp (°C)

33 = huidtemperatuur bij geschikte bedekking met kleding (°C)

30 = temperatuur van de onbedekte huid (°C)

R_t = warmteweerstand of warmte-isolatiecoëfficiënt van de kleding (m²s °C cal⁻¹)

Dit is de dikte van de kleding gedeeld door de warmtegeleidingscoëfficiënt van de kleding (m/cal s⁻¹ m⁻¹ °C⁻¹)

R_e = oppervlakte-weerstand (m²s °C cal⁻¹)

$$R_s = \frac{1}{h_t + h_c} \quad (12)$$

h_t = warmteoverdrachtscoëfficiënt door straling
(cal m⁻²s⁻¹ °C⁻¹)

h_c = warmteoverdrachtscoëfficiënt door stroming
(cal m⁻²s⁻¹ °C⁻¹)

$$h_t = 0,0135 \left\{ 4,0 \left(\frac{T+273}{100} \right)^2 + 0,3 \left(\frac{T+273}{100} \right)^3 \right\} \quad (13)$$

$$h_c = 0,61 (s^{0,75}) \quad (14)$$

S = de effectieve windsnelheid in mph (5 mph = 2,23 m s⁻¹), d.w.z. de windsnelheid, gemeten op 10 m hoogte omgerekend naar de relatieve windsnelheid ondervonden door een met een snelheid van 4,7 km h⁻¹ wandelende persoon. Voor de berekening van S worden twee vergelijkingen gehanteerd:

1. $S = ((V_{10})^2 + 10)^{0,5}$ bij windsnelheden $\geq 2,9$ m s⁻¹ (10,4 km h⁻¹)

2. $S = \{(V_{10})^2 + 10 + 7(6,4 - V_{10})^{0,5}\}^{0,5}$ bij windsnelheden $< 2,9$ m s⁻¹ (10,4 km h⁻¹)

v_{10} = windsnelheid op 10 m hoogte (in kts)

Bij volop zon moet een extra term aan de vergelijking van de warmtebalans worden toegevoegd, namelijk:

αPG = warmtewinst t.g.v. de zonneshijn

waarin α = stralingsabsorberende factor van de huid of kleding

P = gedeelte van de huid of kleding dat door de zon wordt beschenen

G = stralingsfluxdichtheid of bezonning (cal m⁻²s⁻¹)

Aangezien het hier een warmtewinst betreft wordt deze term (aan de rechterzijde van een vergelijking) voorzien van een -teken.

Het onderzoek van Steadman strekte zich uit over een temperatuurtraject van -40 tot +50°C bij windsnelheden tot 20 m s⁻¹ (72 km h⁻¹). Later, in 1984, is door Steadman ook de invloed van de relatieve vochtigheid van de lucht meegenomen om de omstandigheden te bepalen waarbij mensen bevangen worden door warmte. Bij lage temperaturen is de relatieve vochtigheid van weinig belang.

Wind chill equivalente temperaturen berekend volgens Steadman

De volgende tabellen geven de wind chill equivalente temperatuur (T_{wc} of WCET), berekend volgens de formule Steadman (1971), en gebruik makend van een referentiewindsnelheid van 2 m s⁻¹ (7,2 km h⁻¹); tabel 11 met de correctie voor de term αPG (volop zonneshijn).

windsnel- heid ms ⁻¹	luchttemperatuur °C											
	0	-1	-2	-3	-4	-6	-8	-10	-12	-14	-18	
2 (=V ₀)	0	-1	-2	-3	-4	-6	-8	-10	-12	-14	-18	
5	-3	-4	-5	-6	-7	-9	-11	-13	-16	-18	-22	
7	-4	-6	-7	-8	-10	-11	-14	-17	-19	-22	-26	
9	-6	-8	-9	-11	-12	-13	-17	-19	-22	-25	-30	
11	-8	-9	-11	-13	-14	-16	-19	-22	-25	-28	-33	
13	-10	-11	-13	-14	-16	-17	-21	-24	-28	-31	-36	
16	-11	-12	-14	-16	-18	-19	-23	-27	-31	-34	-39	
18	-12	-14	-16	-17	-19	-21	-25	-29	-33	-37	-42	

Tabel 10

Wind chill equivalente temperaturen (WCET of T_{wc}) volgens Steadman voor een referentie-windsnelheid v₀ = 2,0 m s⁻¹. De wind is voor de gemiddelde windsnelheid op waarnemingshoogte (10 m). Voor de grafische voorstelling van deze tabel zie figuur 7.

windsnel- heid ms ⁻¹	Luchttemperatuur °C											
	0	-1	-2	-3	-4	-6	-8	-10	-12	-14	-18	
2 (=V ₀)	7	6	5	4	3	1	-1	-3	-5	-7	-9	
5	3	2	1	0	-1	-3	-5	-7	-10	-12	-16	
7	1	-1	-2	-3	-5	-6	-9	-12	-14	-17	-21	
9	-2	-4	-5	-7	-8	-9	-13	-15	-18	-21	-26	
11	-4	-5	-6	-9	-10	-12	-15	-18	-21	-24	-29	
13	-7	-8	-10	-11	-13	-14	-18	-21	-25	-28	-33	
16	-8	-9	-11	-13	-15	-16	-20	-24	-28	-31	-36	
18	-9	-11	-13	-14	-16	-18	-22	-26	-30	-34	-39	

Tabel 11

Wind chill equivalente temperaturen (T_{wc}) volgens Steadman voor een referentie-windsnelheid v₀ = 2,0 m s⁻¹ en met een correctie voor helder zonnig weer.

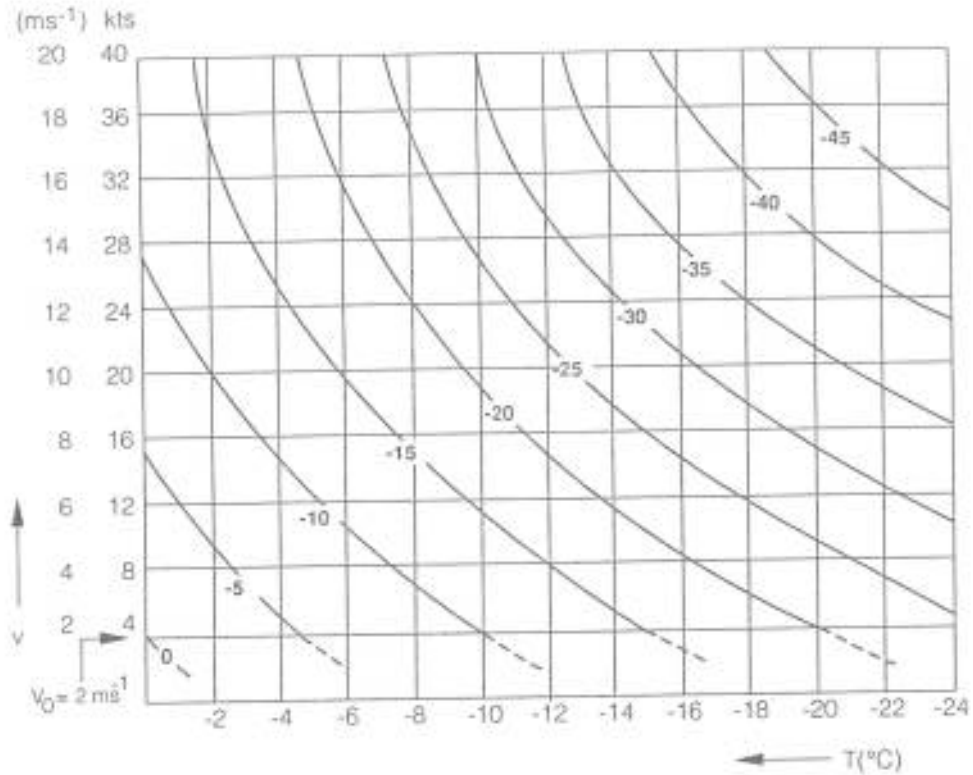


Fig. 7

Grafiek voor het bepalen van de wind chill equivalente temperatuur (T_{we}) volgens Steadman met een referentie-windsnelheid $v_0 = 2,0 \text{ m s}^{-1}$, gemeten op 10 meter hoogte.

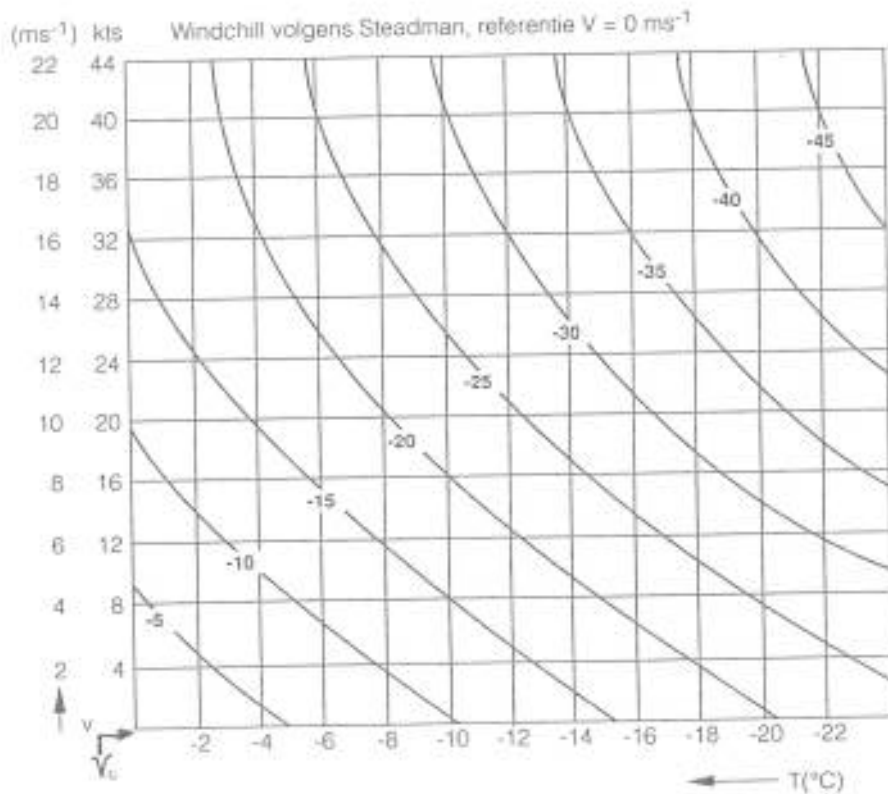


Fig. 8

Grafiek voor het bepalen van de wind chill equivalente temperatuur (T_{we}) volgens Steadman met een referentie-windsnelheid $v_0 = 0 \text{ m s}^{-1}$ (windstilte).

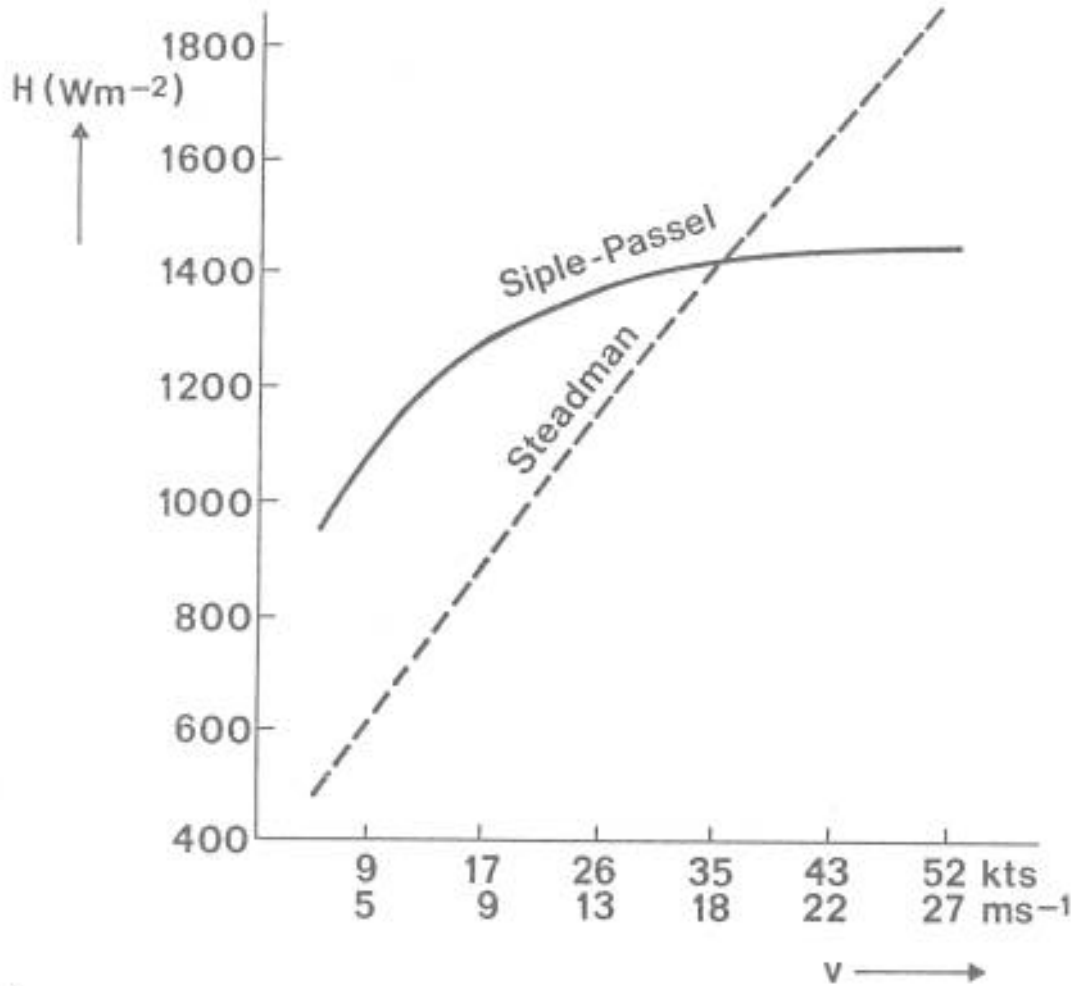


Fig. 9

Verband tussen mate van warmteverlies H (wind chill factor) en windsnelheid v bij een temperatuur van -2 °C volgens de formule van Siple en Passel en volgens de formule van Steadman. (Dixon en Prior, 1987).

De tabel van Steadman geeft minder extreme wind chill equivalente temperaturen dan die van Siple en Passel. In de Verenigde Staten en Canada maakt men gebruik van de wind chill tabellen volgens Siple en Passel, in het Verenigd Koninkrijk volgens die van Steadman. De formules waarop de tabellen berusten benaderen het onderwerp van verschillende kanten, de eerste empirisch, de laatste theoretisch. De formule van Siple en Passel is het resultaat van een serie proeven ter bepaling van de tijd, die een bepaalde hoeveelheid water nodig heeft om onder verschillende weersomstandigheden te bevriezen: hoe sterker de wind, hoe groter de convectieve warmteverliezen en des te korter de tijd die het water nodig heeft om te bevriezen. Van verschillende kanten heeft men bezwaren aangevoerd tegen de extrapolatie van de waarnemingsresultaten naar andere (niet gemeten) weersomstandigheden en naar de warmte-producerende en kleding dragende mens.

Het is niet eenvoudig om het effect van de wind op het warmteverlies van een (variabele hoeveelheid) kleding dragende mens uit te drukken. Daarbij is de formule van Siple en Passel uitsluitend bruikbaar voor onbedekte lichaamsdelen. De situatie waarvan Steadman uitgaat is echter vrij realistisch: een in de buitenlucht wandelende, geklede persoon.

Om thermisch evenwicht met de omgeving te bewaren (warmte productie = warmteverlies) moet de dikte van de laag kleding worden aangepast. De formule van Steadman geeft hiervoor een maat, het warmteverlies van een geheel of gedeeltelijk geklede persoon wordt in beschouwing genomen. De uitkomst is een waarde voor R_c , de warmteweerstand van de kleding, die het warmteverlies bij de heersende omstandigheden zodanig vermindert, dat er weer een thermisch evenwicht met de omgeving ontstaat. Bij een bekende warmtegeleidingscoëfficiënt is hieruit de dikte van de kleding, nodig voor dit thermisch evenwicht te berekenen. Toch kunnen ook bij aangepaste kleding problemen ontstaan bij langdurige blootstelling aan winterkoude. Daanen (1991) neemt hiervoor een wind chill equivalente temperatuur lager dan -18°C .

De formule van Steadman is ook bruikbaar voor het berekenen van het effect van de wind op naakte huidgedeelten, zoals het gezicht, door alleen de waarde van de derde term te berekenen. Deze geeft het warmte verlies voor de naakte huid in W m^{-2} .

Siple en Passel of Steadman?

De besproken formules geven het verband tussen warmteverlies enerzijds en de temperatuur en windsnelheid anderzijds.

Bij de formule van Steadman is dit verband tussen warmteverlies en windsnelheid vrijwel lineair (fig. 9), terwijl bij de formule van Siple en Passel een maximum aan warmteverlies wordt bereikt bij een windsnelheid van 25 m s^{-1} (90 km h^{-1}). Bij hogere windsnelheden neemt het warmteverlies niet meer toe. Dit is niet realistisch. Bij deze hoge windsnelheden hebben zij echter geen metingen verricht; de wind kwam bij hun experimenten niet boven 13 m s^{-1} . Dat het warmteverlies bij windsnelheden groter dan 20 m s^{-1} nauwelijks meer toeneemt is echter onwaarschijnlijk. Het is ook in strijd met latere experimenten.

Daarom geven de meeste tabellen en nomogrammen voor wind chill, gebaseerd op de formule van Siple en Passel, geen waarden bij windsnelheden groter dan 22 m s^{-1} (79 km h^{-1}). Steadman en Siple en Passel gaan uit van verschillende waarden voor temperatuur van de naakte huid, nl. respectievelijk 30°C en 33°C . Uit proeven van Rodriguez (1980) is echter gebleken dat, indien de temperatuur van de naakte huid op een vaste waarde blijft, er voor de mens geen verschil is tussen een huidtemperatuur van 30°C of 33°C . In beide gevallen blijkt de temperatuur van de naakte huid onder verschillende weersomstandigheden enigszins te variëren en niet gefixeerd te zijn op een waarde van 30 of 33°C .

Bevriezing van de huid

Bij temperaturen beneden 0°C komen belangrijk lagere waarden van de huidtemperatuur voor als gevolg van een verminderde doorbloeding om warmteverlies tegen te gaan. Bij (zeer) grote inspanning kan echter ook bij temperaturen onder nul van het tegenovergestelde sprake zijn: de huid wordt rood wegens een sterkere doorbloeding en krijgt daardoor tevens een hoge(re) temperatuur.

De grens waarbij aan lucht blootgestelde lichaamsdelen bevroren is daarom niet exact vast te stellen. In het algemeen wordt echter aangenomen dat bij een warmteverlies (afkoelingssnelheid) van meer dan 1500 W m^{-2} er gevaar bestaat voor snelle bevriezing van de huid (zie de figuren 2, 3 en 4).

Het afkoelend effect van de wind speelt niet alleen bij personen, maar ook bij gebouwen een belangrijke rol (ruimteverwarming, bevriezing van waterleidingen en CV-installaties).

Het gasverbruik neemt in de winter duidelijk toe wanneer bij een constante (lage) temperatuur de wind toeneemt. Het warmteverlies uit een gebouw is echter te berekenen. Het levert exacte gegevens op in tegenstelling tot het windeffect op het temperatuurgevoel van de mens.

Voor het bepalen van de wind chill, die een fietser ondervindt, moet bij tegenwind de fietssnelheid worden opgeteld bij de heersende windsnelheid, bij vóór de wind er van afgetrokken. In het laatste geval moet de absolute waarde van het verschil als windsnelheid worden gehanteerd. Alleen bij zijwind kan de heersende windsnelheid worden gebruikt indien deze groter is dan de fietssnelheid. Voor de bepaling van de wind chill, die een schaatser ondervindt, moet op dezelfde wijze worden gehandeld.

Het gebruik van wind chill indices is een geschikte manier om de schadelijke effecten van de (sterk) afkoelende werking wind op levende wezens vast te stellen. Van alle wind chill formules wordt wereldwijd die van Siple en Passel het meest gebruikt, ondanks zijn tekortkomingen. Maar de formule van Steadman neemt criteria in beschouwing die veel realistischer zijn voor zich buitenshuis bevindende personen dan die van Siple en Passel. In Engeland wordt voor bepaling van de wind chill equivalente temperatuur de formule van Steadman overal gebruikt. De nederlandse instanties (TNO, KNMI, Marine, Lucht- en Landmacht) zijn overeengekomen eveneens de wind chill equivalente temperaturen volgens Steadman te hanteren (zie de hierna volgende tabel).

Tabel 12 Voor Nederland te hanteren wind-chill tabel (Steadman, $V_0 = 2,0$ m/s) voor een adequaat geklede persoon, die flink doorloopt met een snelheid van $2,0 \text{ m s}^{-1} = 7,2 \text{ km h}^{-1}$. De wind is de gemiddelde windsnelheid op waarnemingshoogte (10 m).

Beaufort	Windsnelheid		Luchttemperatuur °C																
	kts	m/s	+8	+6	+4	+2	0	-2	-4	-6	-8	-10	-12	-14	-16	-18	-20	-22	-24
2	4	2	+8	+6	+4	+2	0	-2	-4	-6	-8	-10	-12	-14	-16	-18	-20	-22	-24
3	8	4	+7	+5	+3	+1	-2	-4	-6	-8	-11	-12	-15	-17	-19	-21	-23	-25	-27
4	12	6	+6	+4	+2	-1	-4	-6	-9	-10	-13	-15	-18	-20	-22	-24	-27	-28	-31
5	16	8	+5	+3	0	-3	-5	-8	-11	-12	-16	-18	-21	-23	-26	-28	-30	-32	-34
5	20	10	+4	+2	-1	-4	-7	-10	-13	-15	-18	-21	-23	-27	-29	-32	-34	-36	-37
6	24	12	+3	+1	-2	-6	-9	-12	-15	-17	-20	-23	-27	-29	-32	-34	-37	-38	-41
6	28	14	+2	0	-3	-7	-10	-13	-16	-18	-22	-25	-29	-32	-35	-37	-40	-42	-44
7	32	16	+2	-1	-4	-8	-11	-14	-18	-19	-23	-27	-31	-34	-37	-39	-42	-44	-46
7	36	18	+1	-2	-5	-9	-12	-16	-19	-21	-25	-29	-33	-37	-39	-42	-44	-47	-48
8	40	20	0	-3	-5	-9	-13	-16	-19	-22	-26	-30	-34	-37	-41	-43	-46	-48	-51

1
0
N
1

De linker traplijn komt overeen met een warmte-verlies van 1400 W m^{-2} , de rechter traplijn met een warmte-verlies van 1600 W m^{-2} . In het tussenvallende gebied begint, afhankelijk van de persoonlijke conditie en mate van huddoorbloeding, het gevaar voor bevroering van de blote huid. Rechts van dit gebied raakt men, ook bij goede winterkleding, gemakkelijk door koude bevangen.
Voorbeeld: bij een temperatuur van -2 °C en een windsnelheid van 10 m/s (windkracht 5) voelt het aan alsof de temperatuur -10 °C was bij een windsnelheid van 2 m/s .

Tabel 13 BELANGRIJKE WIND CHILL (> 5 °C) BIJ GEMIDDELDE TEMPERATUREN LAGER DAN 0 °C EN EEN GEMIDDELDE WINDSNELHEID GROTER DAN 7 m/s, SINDS 1905 (etmaalgemiddelden) VOOR DE BILT.

Jaar	Maand	Datum	T _{min.} (°C)	T _{max.} (°C)	T _{gem.} (°C)	V _{gem.} m/s	WCET _{gem.} (°C)	verschil (°C)
1905	januari	16	-9,6	0,6	-5,1	10	-14	9
1906	januari	1	-7,2	-0,3	-3,4	10	-12	9
		2	-4,7	-0,7	-2,5	10	-11	8
1907	januari	22	-12,2	-2,5	-8,1	8	-16	8
		23	-13,6	-9,2	-11,5	8	-20	8
1909	februari	12	-10,8	-1,9	-6,2	9	-14	8
1912	januari	17	-9,3	-2,7	-5,5	10	-14	8
1917	maart	7	-7,8	-0,3	-4,2	10	-13	9
1924	februari	13	-5,2	-0,6	-3,0	10	-12	9
1927	december	29	-5,4	-1,4	-3,9	9	-12	8
1929	februari	2	-5,1	2,3	-1,8	11	-11	9
		3	-9,7	0,7	-5,0	8	-11	6
		10	-12,4	0,0	-5,1	8	-11	6
		11	-16,7	-8,2	-13,3	8	-21	8
		27	-12,2	-3,6	-8,2	7	-15	7
	december	21	-6,3	-0,6	-3,5	9	-12	9
1932	februari	10	-7,2	-2,3	-5,2	8	-12	7
1933	december	13	-10,3	0,2	-5,3	9	-13	8
1937	januari	28	-8,1	-4,3	-6,2	9	-14	8
		29	-8,2	-5,4	-6,9	8	-14	7
1938	december	17	-8,5	-2,6	-5,3	8	-12	7
		18	-12,2	-8,0	-10,4	8	-17	7
1940	januari	30	-8,5	-3,7	-6,1	8	-13	7
1941	januari	1	-7,3	-2,1	-5,0	8	-11	6
		2	-10,4	-4,2	-6,8	8	-13	6
		3	-7,2	-5,2	-5,9	9	-14	8
1947	januari	5	-7,4	-1,2	-4,6	9	-14	9
		6	-10,0	-4,1	-7,4	9	-17	10
		26	-8,4	-3,7	-6,0	8	-14	8
	februari	4	-5,6	-1,0	-3,8	8	-11	7
		8	-12,5	-5,3	-9,0	8	-16	7
	maart	8	-11,7	-1,8	-3,6	11	-13	9
1948	februari	20	-10,1	-5,1	-7,5	8	-15	7
		21	-10,4	-2,7	-6,4	8	-13	7
		22	-9,9	1,9	-3,8	8	-11	7
1954	januari	25	-6,0	-0,7	-3,5	9	-11	7
		26	-10,4	-3,2	-5,9	9	-14	8
		27	-10,4	-3,2	-7,1	9	-16	9
		29	-8,8	-0,5	-4,8	8	-11	6
1955	januari	4	-1,7	-0,7	-2,9	10	-11	8
	februari	25	-5,1	0,1	-3,1	9	-11	8
1956	januari	31	-13,2	-4,7	-9,0	11	-21	12
1963	januari	19	-11,9	-6,2	-8,6	8	-16	7
1978	december	31	-13,2	-9,5	-11,6	6	-18	6
1987	januari	10	-9,0	-3,4	-7,5	6	-12	4
		14	-15,2	-10,6	-13,2	7	-19	6
		15	-12,1	-7,0	-9,3	8	-17	8

TABEL 14 EXTREME WINDCHILL (geselecteerde uurgemiddelden uit tabel 13)

Datum	UURGEMIDDELDEN				BIJBEHORENDE UITERSTEN (IN VLAGEN)			
	temp. °C	wind m/s	WCET °C	verschil °C	temp. °C	max. wind m/s	WCET °C	verschil °C
23 jan. 1907	-14	7	-22	8	-10	16	-27	17
					-12	13	-28	16
11 febr. 1929	-17	7	-25	8	-17	9	-28	11
	-15	10	-28	13	-15	13	-31	16
18 dec. 1938	-11	7	-17	6	-11	13	-25	14
6 jan. 1947	-5	13	-17	12	-5	17	-19	14
	-9	11	-20	11	-9	15	-24	15
27 jan. 1954	-10	10	-21	11	-10	18	-29	19
	-11	10	-22	11	-11	18	-31	20
31 jan. 1956	-9	12	-22	13	-9	21	-29	20
	-7	14	-20	13	-7	25	-27	20
31 dec. 1978	-11	8	-19	8	-11	18	-31	20
	-12	7	-20	8	-12	13	-28	16
	-13	6	-19	6	-13	11	-26	13
14 jan. 1987	-15	8	-25	10	-15	14	-33	18
	-12	8	-21	9	-12	15	-30	18
15 jan. 1987	-9	9	-18	9	-9	17	-26	17

Dankbetuiging

De auteur is dank verschuldigd aan Drs. W.R. Raaff voor het consequent narekenen van de in de tabellen genoemde wind-chill equivalente temperaturen, waardoor een in de literatuur verwarrend gebruik van eenheden (Dixon en Prior, 1987: mph = miles per hour, soms landmijlen, soms zeemijlen) kon worden rechtgetrokken.

Ook is het geduld dat de secretaresses Esther Tjok-A-Hen, Ella Berends en Marian Koning hebben opgebracht bij het uitbreiden, het aanbrengen van vele wijzigingen en het anders indelen van de tekst, bijzonder op prijs gesteld.

Literatuur

- A.K. Biswas (ed.) Climate and development. Tycooly Int. Dublin, 1984.
- B.M. Burns The climate of the Mackenzie Valley-Beaufort Sea, Volume I. Climatological Studies, nr. 24. Toronto, 1973.
- A. Court Wind chill. Bull. Am. Met. Soc. 29 (1948), 487-493.
- H. Daan Richtlijnen voor het opstellen en uitgeven van weersverwachtingen (De Bilt, 1979).
- J.C. Dixon and M.J. Prior Windchill indices: a review. The Met. Mag. 116 (1987), 1-17.
- E. Gold The effect of wind, temperature, humidity and sunshine on the loss of heat of a body at a temperature of 98°F. Quart. J. Royal Met. Soc. 61 (1935), 316-343.
- E.J.G. van de Linde Windchill. Ned. Milit. Geneesk. Tijdschrift 43 (1990), 141-146.
- X. Missenard Etude physiologique et technique de la ventilation, Paris, 1933.
- E.A. Pierce and C.G. Smith World weather guide. Hutchinson, London, 1984.
- Th. Schlatter Weather Queries? Weatherwise 34 (1981), 266-267.
- F.H. Schmidt Inleiding tot de meteorologie, (Aula 112) 4^{de} druk. Het Spectrum. Utrecht, 1974.
- P.A. Siple General principles governing selection of clothing for cold climates. Proc. Am. Phil. Soc. 89 (1945), 200-234.
- P.A. Siple and C.F. Passel Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. Proc. Am. Phil. Soc. 89 (1945), 177-199.
- R.G. Steadman Indices of wind chill for clothed persons. J. Appl. Met. 10 (1971), 674-683.
- R.G. Steadman An universal scale of apperent temperature. J. Clim. and Appl. Met. 23 (1984), 1674-1687.
- J.F. den Tonkelaar Het strandweer. KNMI Wetenschappelijk rapport W.R. 72-10. De Bilt, 1972.

Ter lering ende vermaeck

PRODUKT 14 JAN. 1987

NRC HANDELSBLAD

BEVROREN VINGERS

Karel Knip

WIJ zijn door het slechte weer geblokkeerd: sneeuw, mist en hevige noordoostenwind, die tegen de avond naar het noorden draait. Ik ontbloot mijn vinger; hij is gezwollen en bijna zo dik als mijn pols. Het bevroren gedeelte is zwart. Ik snijd met het mes, dat door mijn linkerhand gehanteerd wordt, het geheele zwarte gedeelte door. Nauwelijks dringt de punt van het lemmet in het vleesch of er komt een ongehoefelijke hoeveelheid materie uit, wat mij groote verlichting geeft. Ik neem rechtstreeks een top van dood vleesch weg en uit het gezonde vleesch steekt een stukje been uit, dat er geheel dood uitziet. Als ik in dat beentje knijp, doet mijn geheele arm pijn." Dat schrijft de 36-jarige korvet-

kapitein Umberto Cagni op 2 mei 1900 in zijn dagboek en hij vervolgt met een beschrijving van de wijze waarop hij, met alleen dat mes, het kleine harde beentje tenslotte maar helemaal van zijn wijsvinger afsnijdt, een karweitje waar hij ruim twee uur mee bezig is, „tot gering vermaak van de anderen die gedwongen waren mij te helpen en bij te staan”.

De anderen waren de drie overige leden van de Italiaanse expeditiegroep waarmee Cagni op 23 april te voet dichterbij de noordpool was gekomen dan Nansen en Johansen vijf jaar eerder. De dagboek aantekeningen zijn opgenomen in *De reis van de 'Stella Polare'* door de Hertog der Abruzzen dat hier destijds bij Sijthoff verscheen.

De tocht van Cagni die met zijn eigenaardige wondverzorging („dikwijls ontbloot ik mijn vinger,

terwijl wij in den zak liggen, om er met de punt van het mes in te snijden”) het moreel van de reisgenoten zwaar op de proef stelde moet hier onbesproken blijven. Van belang is dat de vinger voor zover viel na te gaan bevroor bij een temperatuur van nog geen min twintig graden Celsius terwijl de expeditieleden toch elk negen paar handschoenen en wanten bij zich hadden.

We doen er in deze dagen dus verstandig aan ons bijtijds de middelen aan te schaffen die de vingers tegen vorstschade beschermen, alleen kleuters mogen, zegt men, de handen tussen de dijen van een moeder warmen.

DE vraag is natuurlijk of er ook aardige nieuwe handverwarmende produkten te koop zijn. Wel, dat is niet het geval, eerder mag je van geluk spreken als allerlei oude middelen nog leverbaar blijken. Zo deelt Batavus Intercycle mee dat ze dit jaar alweer gaat stoppen met de levering van de 'Hot Hands' waarover ze twee jaar geleden nog zo enthousiast deed. De Hot Hands zijn een moderne nylon uitvoering van de klassieke leren fietsmoffen of fietswanten. Batavus zegt dat ze blits zijn en maar 50 gram wegen

E11 Z.

BEAUFORTSCHAAL VOOR DE WINDKRACHT

WINDKRACHT	Benaming in gebruik bij de weerdienst van het KNMI	windsnelheidsequivalenten voor 10 m hoogte boven zee		
		Internationale equivalenten (1946)		
		gemiddelde windsnelheid		
		m/sec	knopen	km/h
0	windstil	0-0,2	<1	<1
1	zwakke wind	0,3-1,5	1-3	1-5
2		1,6-3,3	4-6	6-11
3	matige wind	3,4-5,4	7-10	12-19
4		5,5-7,9	11-16	20-28
5	vrij krachtige wind	8,0-10,7	17-21	29-38
6	krachtige wind	10,8-13,8	22-27	39-49
7	harde wind	13,9-17,1	28-33	50-61
8	stormachtige wind	17,2-20,7	34-40	62-74
9	storm	20,8-24,4	41-47	75-88
10	zware storm	24,5-28,4	48-55	89-102
11	zeer zware storm	28,5-32,6	56-63	103-117
12	orkaan	> 32,6	> 63	> 117