

## RECORD WEER

# De invloed van het weer op marathonprestaties

*Hans Vugts (Vrije Universiteit Amsterdam)*

De bijdrage van Marcel Molendijk "Weer en duursport" in "Meteorologica" van september 1992, was voor mij een stimulans om het materiaal dat ik in de afgelopen jaren op dit gebied had verzameld nog eens op een rijtje te zetten en te bewerken. Een populaire versie verscheen onlangs in het tijdschrift voor hardlopers "Runners" (December 1993); deze bijdrage geeft een "exactere" beschrijving van de invloed van het weer op de energiebalans van een hardloper.

Bij de jaarlijkse overzichten in de Runners van de Nederlandse marathons werden de slechte resultaten van 1990 ten opzichte van andere jaren geweten aan de hoge temperaturen. Vooral Rotterdam en Eindhoven kenden in dat jaar veel uitvallers. Nu is er de laatste 10 à 15 jaar nogal wat onderzoek gedaan naar klimatologische invloeden op duursporten en daarbij

hebben vooral marathonresultaten de aandacht gekregen. In 1985 publiceerde ik in "de Veteraan" een klein onderzoekje naar de winnende tijden van de Amsterdam Marathon van de tien voorafgaande jaren. Daaruit bleek dat de eindtijd nogal goed correleerde met een berekend "warmteafgiftegetal". Dit getal wordt bepaald uit de combinatie van luchttem-

peratuur, luchtvochtigheid en windsnelheid. De goede tijd die Nijboer daar in 1980 liep werd mede bepaald door het weer: minder dan 2 m/s wind, een luchttemperatuur van 10 °C en een relatieve vochtigheid van 72 %. De eindconclusie was dat je voor een goede tijd naast "je dag hebben" de temperatuur tussen de 8 en 15 graden C moet zijn, de relatieve vochtigheid minder dan 60 % moet bedragen en het niet harder dan 3 m/s moet waaien.

Het oudste onderzoek op dit gebied staat in de literatuur bekend onder het begrip gevoelstemperatuur of ook wel de mate van behagelijkheid. Niet alleen de luchttemperatuur is bepalend voor de temperatuurgevoelstemperatuur van de mens maar

ook windsnelheid, de relatieve vochtigheid en de (zonne)straling spelen een rol in deze subjectieve gevoelstemperatuur. Zo ontstonden dan begrippen als guur, drukkend of waterkoud weer, terwijl in meteorologische kringen de "windchill-factor" een gedefinieerd begrip werd: de lucht voelt kouder aan met wind dan wanneer die wind er niet is. Zo bedraagt bijvoorbeeld bij een luchttemperatuur van  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  en een windsnelheid van  $15\text{ m/s}$  (windkracht 7) de gevoelstemperatuur  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$  en bestaat er een gerede kans voor bevriezing van de blote huid. In de zomer hebben we het warmte probleem.

**Hiervoor zijn er** in de loop der jaren verschillende (Engelse) begrippen uitgevonden: de Heat Stress Index (H.S.I.), de Discomfort Index (D.I.), de Maximal Recommended Duration of Exercise (M.R.D.E.) en de Predicted four hour Sweat Rate (P.4S.R.). Deze P.4S.R. is als index in de laatste jaren van de Tweede Wereldoorlog ontwikkeld ten behoeve van de Britse "Royal Navy" om het zweetverlies gedurende een wachtperiode van vier uur te schatten. Hoewel dit model de metabolische activiteit (energieproductie om te bewegen) in rekening brengt is het niet geschikt voor de mate van activiteit zoals die optreedt tijdens hardlopen. Een model dat beter aansluit bij de intensieve duursport is de M.R.D.E., ontwikkeld door Young in 1979. In dit (ingewikkelde) model worden twee grenzen berekend, waarboven de kans op een hitte aandoening aanzienlijk toeneemt, namelijk de tijd die verstrijkt totdat de rectale temperatuur  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  bereikt of totdat het lichaam 5% aan vocht heeft verloren. Helaas zal bij elke berekening van de een of andere index of van de warmtebelasting een flink aantal aannames gemaakt moeten worden en hebben we dus per definitie een versimpelde weergave van de werkelijkheid.

Het recente onderzoek kende eigenlijk twee probleemstellingen: "bestaat er een relatie tussen een goede marathon eindtijd en het weer?" en "bij welk weer lopen de hardlopende deelnemers een (vergroete) kans op een warmte beroerte?" Deze tweede doelstelling van het onderzoek is vooral belangrijk als de weersomstandigheden te gevaarlijk worden; de race moet ingekort, of drastischer: uitgesteld worden. Dit probleem speelde zich enkele jaren geleden af bij de marathon van Soestdijk. Voor de lezers van dit blad zijn de onderlinge verhoudingen van de diverse termen van de warmtebalans en hun afhankelijkheid van de weersomstandigheden interessant, zodat we ons meer

op die zaken zullen concentreren. Allereerst gaan we wat dieper in op de warmtehuishouding van het lichaam. Vervolgens behandelen we die warmtehuishouding voor twee verschillende weersomstandigheden en bekijken we de invloed van het weer op de marathon resultaten van Boston en Peking en de Nederlandse uitslagen van 1990 en 1991. Tenslotte komt nog een aantal algemene zaken aan de orde.

## DE WARMTE HUISHOUDING

Aangezien de mens tot de warmbloedige dieren behoort, is hij in het bezit van een regelmechanisme dat zijn lichaamstemperatuur constant tracht te houden. Die constante lichaamstemperatuur is het resultaat van een evenwicht tussen warmteproductie (en warmte opname) en warmte afgifte. Terwijl de warmteproductie voornamelijk in de spieren en de organen plaatsvindt, gebeurt de afkoeling vooral via de huid. De temperatuur van de huid, die meestal lager is dan de  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  van het inwendige, de kern, is in hoge mate afhankelijk van de klimatologische variabelen zoals de omgevingstemperatuur, de zonnestraling, de luchtvochtigheid en de windsnelheid. In rust is de mens vrij eenvoudig in staat om de lichaamstemperatuur binnen een nauw gebied van ongeveer een graad te reguleren; de warmtebalans is in evenwicht. Tijdens inspanning komt er veel warmte vrij in de spieren, resulterend in een toename van de spierweefseltemperatuur. Door het circuleren van het bloed, dat een groot opnemend warmtevermogen heeft, wordt de warmte naar het oppervlak, de huid, gebracht waar het aan de omgeving wordt afgegeven. De metabole warmteproductie kan aanzienlijk zijn. Wordt er in rust 300 tot 400 kJ per uur geproduceerd, dan zal dit bedrag tijdens intensieve sport 15 tot 20 keer hoger zijn! Een marathon loper van 70 kg en 1,80 m lengte die de marathon in drie uur loopt produceert ruim 3800 kJ per uur, terwijl de toploper (2 uur, 10 minuten) zo'n 6200 kJ aan warmte produceert. De energie wordt verkregen door het verhoogde zuurstofverbruik. Iedere liter zuurstof die verbruikt wordt levert ongeveer 15 kJ warmte op. Indien de lopers de warmte niet zouden kunnen kwijtraken zou de lichaamstemperatuur van de drie uur loper per uur 16 graden stijgen, die van de toploper 25 graden! Hoewel de lichaamstemperatuur van de loper aan de finish enigszins is gestegen ( $39\text{ tot }41\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), is het duidelijk dat de rest van de geproduceerde warmte door het lichaam via allerlei mid-

delen aan de omgeving moet zijn afgegaan. Daarom gaan we de diverse warmteafgifteprocessen die aan de huid plaatsvinden aan een nader onderzoek onderwerpen.

## GELEIDING EN STROMING

Thermische geleiding is de warmteoverdracht die plaatsvindt tussen twee stoffen die verschillende temperaturen hebben. Geleiding zal er voor zorgen dat de twee stoffen uiteindelijk dezelfde temperatuur gaan krijgen. Hoe groter het temperatuurverschil tussen beide stoffen, hoe groter de warmteoverdracht. Aangezien de huid bijna altijd warmer is dan zijn omgeving vindt de warmteoverdracht via geleiding naar de omgeving plaats. Helaas voor de loper heeft de lucht een lage warmtegeleidingscoëfficiënt, zodat de afgegeven warmte aan de lucht slecht wordt afgevoerd en dus de warmteafgifte door geleiding verwaarloosbaar is. Water daarentegen heeft een 25 maal hogere geleidingscoëfficiënt waardoor de hogere thermische geleidingsverliezen bij het zwemmen in koud water (o.a. bij de triathlon) verklaard worden. Gelukkig kan door stroming van de koudere lucht (convectie) langs het lichaam de warmte toch goed worden afgevoerd. Naast de afhankelijkheid van het temperatuurverschil tussen de huid en de lucht, is vooral de luchtstroomsnelheid van belang. Deze luchtstroomsnelheid wordt bepaald door de eigen snelheid en de heersende windsnelheid. Deze twee leveren samen de effectieve windsnelheid op. Zo zal een hardloper die  $5\text{ m/s}$  loopt bij een tegenwind van  $4\text{ m/s}$  een effectieve windsnelheid van  $9\text{ m/s}$  ervaren. Wanneer hij wind mee heeft is de effectieve windsnelheid  $1\text{ m/s}$ . Het is duidelijk dat de windrichting t.o.v. de bewegingsrichting alleen hierom al van enorm belang is. Globaal zal bij  $4\text{ m/s}$  de warmte afgifte door convectie een factor twee beter zijn dan bij  $1\text{ m/s}$ . Deze ervaring hebben de meeste lopers wel; hoewel het met wind mee makkelijker loopt, voelt het al gauw "warmer" (onprettiger) aan. Ook het lopen in een groep zal de warmteafgifte niet bevorderen (de Freitas et al, 1989). Een goede benadering van de warmteafgifte door convectie wordt gegeven door:

$$H = h_c (T_{\text{huid}} - T_{\text{lucht}}) A \quad [W]$$

waarin:  $h_c$  de turbulente uitwisselingscoëfficiënt is tussen de loper en zijn omgeving met de dimensie  $W/m^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Een goede benadering voor  $h_c$  is (De Freitas en Ryken, 1989):

$$h_c = 8,3 \times v^{1/2}$$

waarin  $v$  de effectieve windsnelheid is.  $A$  is het oppervlak van de loper. In onze berekeningen nemen we een standaard loper met een oppervlak  $A=1,8 \text{ m}^2$  terwijl in andere berekeningen voor het gewicht van de loper  $70 \text{ kg}$  wordt genomen. Via de ademhaling zal er ook warmte afgevoerd worden. Dit zal uiteraard een functie zijn van het aantal liters lucht dat de longen passeert (dus o.a. de loopsnelheid, de longinhoud en de inwendige temperatuur). We komen hier nader op terug.

### VERDAMPING

Bij verdamping gaat water van de vloeibare naar de dampvorm over. Dit verdampen kost energie; voor het verdampen van 1 liter water is ongeveer 2400 kJ nodig. De mate waarin het verdampingsproces aan de huid (zweeten) plaatsvindt is in hoge mate afhankelijk van de ons omringende lucht. Als de lucht verzadigd is met waterdamp kan er geen water meer verdampen, de relatieve vochtigheid is dan 100%. De overigens veel gebruikte maat relatieve vochtigheid is eigenlijk in dit verband onhandig: 50% bij 25 °C geeft een hele andere mengverhouding dan bij 10 °C. Vlak bij de huid, waar het zweet maximaal verdampt, zal de vochtigheid maximaal zijn, en als die niet wordt afgevoerd zal de verdamping, en dientengevolge de warmteafgifte, verminderen. Wederom door middel van luchtstroming (wind) wordt de verzadigde lucht continu ververs, zodat opnieuw verdamping van zweet en dus afkoeling mogelijk wordt. Ook zal er in de ademhalingswegen water verdampen en op deze wijze bijdragen aan het afkoelingsproces. De afkoeling via verdamping van vocht op de huid kan voorgesteld worden door:

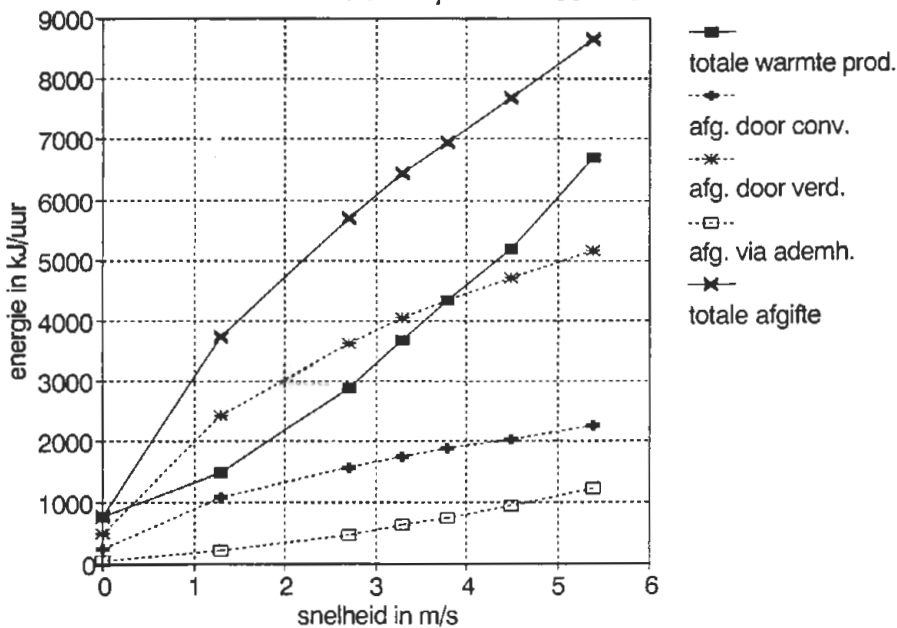
$$E = K \times h_c (e_{\text{huid}} - e_{\text{lucht}}) \times A \quad [W]$$

waarin  $K=1.42 \text{ (hPa}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C)}$ , een constante waarin diverse omrekeningen zitten om in de goede eenheden te komen en een experimenteel bepaalde effectiviteits coëfficiënt voor de vochtigheid van de huid. De letter  $e$  staat voor dampspanning uitgedrukt in hPa. De warmteafgifte middels uitwisseling en verdamping via de ademhaling blijkt ongeveer 20% van de metabole warmteproductie te bedragen en varieert weinig met de temperatuur en het vochtigheidsverschil tussen de longen en de omgeving onder normale omstandigheden.

### STRALING

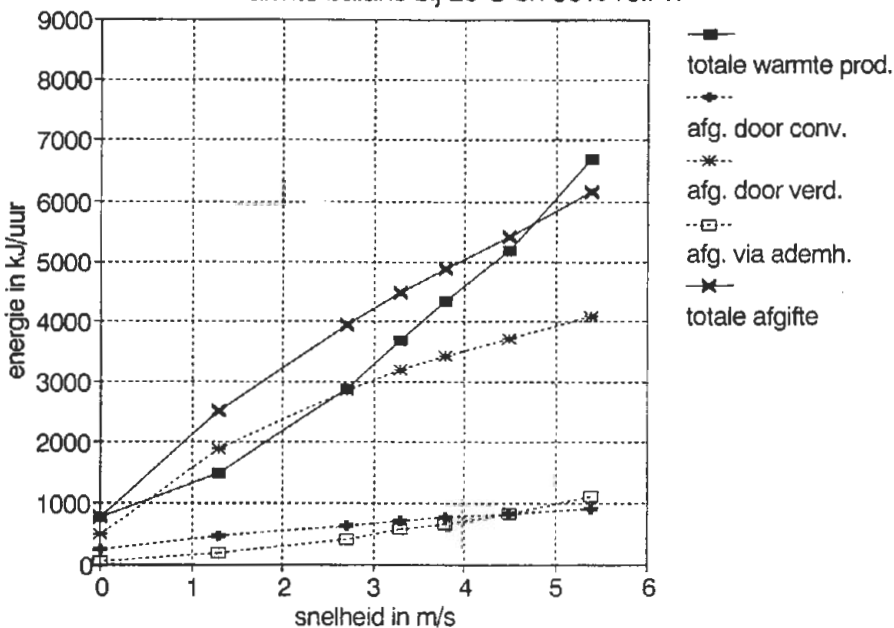
De stralingsbalans van een loper is vrij complex. De rechtstreeks ontvangen kort-

warmte balans bij 10 C en 50% rel. v.



Figuur 1.

warmte balans bij 20 C en 50% rel. v.



Figuur 2.

golvige straling en gereflecteerde straling via het wegdek en de omringende gebouwen, tesamen met de langgolvige straling van het wegdek en de atmosfeer wordt (gedeeltelijk) gecompenseerd door de langgolvige uitstraling van de loper en zijn (kortgolvige) albedo die bijvoorbeeld afhankelijk is van de kleur van zijn kleding. De energie die hij door de langgolvige uitstraling kwijtraakt zal o.a. ook van zijn huidtemperatuur afhangen. Op een stralende zomerse dag zal de netto energie bijdrage van de straling aan de warmtebelasting (de Freitas, 1985) ongeveer 500 kJ per uur zijn, bij een bewolkte dag vrijwel niets.

### TWEE VOORBEELDEN

In de figuren 1 en 2 staan de bijdragen van de genoemde processen grafisch weergegeven. Er is verondersteld dat het windstil is, de effectieve windsnelheid is de snelheid van de loper. Tevens is er aangenomen dat 25% van de opgewekte energie in snelheid wordt omgezet en de resterende 75% resulteert in warmte, die afgevoerd moet worden. In tabel 1 zijn de snelheden in m/s omgerekend in eindtijden op de marathon. In figuur 1 zijn de berekeningen uitgevoerd voor een luchttemperatuur van 10 °C en een relatieve vochtigheid van

marathon tijd	snelheid m/s
2:10	5,4
2:40	4,5
3:00	3,8
3:30	3,3
4:20	2,7
8:40	1,3

Tabel 1.

50 %, terwijl figuur 2 geldt voor een luchttemperatuur van 20 °C en ook voor een vochtigheid van 50 %, alles voor een onbewolkte hemel, midden op de dag. We zien in figuur 1 dat de totale warmteproductie (inclusief de straling) voor alle snelheden lager is dan er afgestaan kan worden, m.a.w. de weersomstandigheden hoeven de eindtijd niet nadelig te beïnvloeden. In figuur 2 echter zullen de sub 2:30 lopers het moeilijk kunnen gaan krijgen. De balans is hier ongeveer in evenwicht, productie en afgifte zijn ongeveer even groot. De afgifte via verdamping is met zo'n 20 % afgenomen, terwijl de warmteafgifte via convectie tot de helft is gereduceerd! We zien verder in beide figuren duidelijk dat het zweten (verdamping) het belangrijkste afkoelingsmechanisme is en dus blijkbaar een belangrijke thermoregulator is. Zweten heeft echter alleen een functie wanneer het uitgescheiden transpiratievocht ook daadwerkelijk kan verdampen. Zweet dat van het lichaam afdruipt is wat dat betreft verloren gegaan. Verder zal, wanneer het zweet verdampt, zout op de huid achterblijven. Het water zal daardoor minder gemakkelijk verdampen, zodat het afkoelingsmechanisme minder effectief zal gaan werken. "Sponsen" is niet alleen verfrissend, we kunnen daarmee ook de huid schoonmaken zodat het verdampingsmechanisme optimaal kan blijven functioneren.

## DE MARATHONS VAN BOSTON EN PEKING

Als eerste voorbeeld van een onderzoek naar de invloed van het weer op marathonprestaties bekijken we het onderzoek naar recordprestaties van de Boston marathon uitgevoerd door Trapasso en Cooper (1989). De Boston marathon werd in 1897 voor het eerst gelopen en is daarmee de oudste jaarlijks gelopen marathon. Voor het genoemde onderzoek zijn de gegevens van de laatste dertig jaar gebruikt. Voor die periode zijn de weergegevens goed bekend en is het parcours sinds 1957 vrijwel ongewijzigd

gebleven. In het onderzoek werden de prestaties van de eerste drie aankomenden betrokken, zodat we met 90 individuele eindtijden te maken hebben. De resultaten werden in drie groepen verdeeld:

- 1) parcours records,
- 2) gemiddelde tijden (tijden die binnen 4 1/2 minuut van het dan bestaande parcours record lagen) en
- 3) langzame tijden (dus langzamer dan 4 1/2 minuut van het bestaande parcours record).

Deze methode leverde de volgende verdeling op: in groep 1 vielen 31 tijden, in groep 2 lagen 35 tijden en groep 3 bevatte 24 tijden. Door deze methode wordt het probleem van het verbeteren van de prestaties in die periode van dertig jaar geëlimineerd. Nu bleek dat bij de groep snelle tijden de luchttemperatuur nooit hoger dan 18 °C bedroeg en de relatieve vochtigheid varieerde van 17 tot 93 %. Gebruiken we echter een andere maat voor de vochtigheid, namelijk de natte-boltemperatuur, dan wordt de vochtigheidsinvloed duidelijker. Bij de Boston marathon werd gevonden dat tijdens het behalen van de resultaten die in groep 1 vielen de natte-boltemperatuur in 25 van de 31 gevallen altijd lager dan 8 °C was. In even zoveel gevallen was het geheel bewolkt. In de resterende 6 gevallen was de relatieve vochtigheid 28 % of lager, terwijl het in 18 van de 31 gevallen af en toe licht regende. Tijdens de langzame wedstrijden bedroeg de natte-boltemperatuur in 22 van de 24 gevallen meer dan 8 °C. Hoewel de uitkomsten duidelijk genoeg zijn, kan men er ook nog wat statistiek op los laten. Zo blijken de snelle eindtijden goed te correleren met de natte-boltemperatuur; de correlatiecoëfficiënt bedraagt 0,74. Toevoeging van de bewolgingsgraad verhoogt dit getal tot 0,84. Toevoegen van andere weerfactoren, zoals de

luchttemperatuur, maakt niet veel meer uit, terwijl de luchttemperatuur alleen een correlatiecoëfficiënt van 0,57 geeft.

De Peking marathon wordt sinds 1981 jaarlijks gelopen op hetzelfde parcours en altijd in de herfst. In het onderzoek zijn de resultaten van 1981 tot en met 1989 bekeken. De prestaties zijn op verschillende manieren onderzocht. Bijvoorbeeld de gemiddelde tijd van de eerste tien aankomenden, het aantal lopers onder de 2:20 of 2:30 etc. Ook in dit onderzoek werd een hoge correlatie met de natte-boltemperatuur gevonden (0,76), maar nog hoger met de luchttemperatuur (0,89) voor de gemiddelde tijd van de eerste tien lopers. Verder werden er verschillende soorten "warmtegetallen" onderzocht. Hieruit volgde dat bepaalde combinaties van verschillende weersomstandigheden nog betere correlatie met de eindtijden opleverden zoals de combinatie luchttemperatuur, vochtigheid en windsnelheid reeds vermeld in het begin bij het onderzoek van de marathon van Amsterdam. Hoewel in beide rapporten uitdrukkelijk vermeld wordt dat de resultaten niet zomaar over de hele wereld toepasbaar zijn, is het natuurlijk toch interessant om naar de Nederlandse situatie te kijken. Daarvoor werden de gepubliceerde resultaten van de Nederlandse marathons gelopen in 1990 en 1991 gebruikt, zoals ze in het tijdschrift "Runners" verschenen zijn. Daarbij werd een uitspraak van Roelof Veld geciteerd naar aanleiding van de daling van het aantal sub 3 lopers in 1990 ten opzichte van de voorgaande jaren: "alle marathons waren te warm, behalve die van Berlijn". In 1991 waren de weersomstandigheden beter volgens het begeleidende verhaal. Om te zien of dit ook uit onze berekeningen blijkt staan in tabel 2 de percentages deelnemers van acht Nederlandse marathons die binnen de

	percentage sub 3 lopers		warmteafgifte-getal		verschil	
	1990	1991	1990	1991	A	B
Apeldoorn	16,5	20,0	-2,5	-19,3	+	+
Schoorl	9,4	17,8	10,6	-0,3	+	+
Westland	31,3	23,5	1,0	11,9	-	-
Rotterdam	6,7	9,6	9,5	-4,3	+	+
Utrecht	26,0	18,4	9,4	2,0	-	+
Amsterdam	19,4	10,7	4,0	8,1	-	-
Eindhoven	19,8	27,1	16,2	6,9	+	+
Etten-Leur	26,0	25,5	-0,1	-0,4	*	*

Tabel 2. Kolom A: + betekent in 1991 beter gelopen dan in 1990; - betekent andersom. Kolom B: + betekent in 1991 betere weersomstandigheden dan in 1990; - betekent andersom; \* betekent geen verschil.

drie uur de finish bereikten vermeld voor de jaren 90 en 91. Tevens zijn in de tabel de warmteafgiftegetallen (berekend aan de hand van de effectieve temperatuur zoals gedefinieerd door Missenard, 1937) gegeven, waarin meegenomen de hersende temperatuur, luchtvochtigheid en windsnelheid. In dit geval geldt: hoe lager het warmteafgiftegetal, hoe beter het weer is om te lopen.

We zien dat in 6 van de 8 gevallen het gedrag van het warmtegetal correspondeert met de prestatie: een + in kolom A correspondeert met een + in kolom B, evenals de -. Alleen in het geval Utrecht voldoet het niet, terwijl voor de marathon van Etten-Leur de verschillen te klein zijn om een uitspraak te kunnen doen. Gezien het feit dat er nogal wat onuitgesproken veronderstellingen zijn gemaakt, bijvoorbeeld dat het deelnemersveld in beide jaren even sterk was etc, is het resultaat verrassend goed te noemen.

## CONCLUSIES

Welke weersfactoren bepalen nu, en in welke mate, de eindtijd op de marathon? Belangrijk is dat de natte bol temperatuur lager dan 8 °C is. Dat betekent dat bij een temperatuur hoger dan 8 °C de relatieve vochtigheid (veel) lager dan 100 % moet

zijn. Bijvoorbeeld bij 15 °C zal de relatieve vochtigheid minder dan 40 % moeten bedragen; we kunnen dan nog van optimale omstandigheden spreken. Een lichte motregen en een bewolkte hemel leiden veelal tot een betere prestatie. Veel wind werkt altijd in het nadeel; een licht windje zal echter voor de broodnodige circulatie kunnen zorgen. Dat betekent dat bij lopen in een groep een slechtere warmteafgifte plaatsvindt. Tevens zal ook de luchttemperatuur in een groep vaak hoger zijn dan voor de solo loper. Zo vond De Freitas (1985) tijdens de "Round the Bays" loop van 10,4 km in Nieuw Zeeland, die overigens 80 duizend deelnemers kende, dat de temperatuur in de groepen zo'n twee graden hoger was dan daar buiten. Naast de afname via de stroming langs het lichaam is er sprake van een verhoogde stralingsbelasting hetgeen betekent dat de klimatologische belasting voor een loper in een groep aanzienlijk hoger ligt dan voor de solo loper. Een ander, niet genoemd aspect is de acclimatisatie. In het voorjaar is de sporter duidelijk minder lichamenlijk aangepast aan een warme omgeving. Zo steeg enkele dagen voor de Westland marathon 1991 de temperatuur nogal snel zodat ook daardoor een nadelige invloed op een goede eindtijd ontstond. In de literatuur wordt voor

extreme omstandigheden voor het acclimatisatieproces wel 4-7 dagen opgegeven. Tijdens de acclimatisatie leert men niet alleen om meer te zweten maar juist om effectiever te zweten. Tenslotte een laatste opmerking: door het verwarmend effect van de straling op zwarte kleding zal er 2 à 3 graden bij de omgevingstemperatuur moeten worden opgeteld. Het dragen van lichte kleren, die de straling beter reflecteren, kunnen bijdragen tot een betere warmte afgifte.

## Literatuur

- C.R. de Freitas, N.J. Dawson, A.A. Young en W.J. Mackey; Microclimate and heat stress of runners in mass participation events. *J. of Climate and Applied Meteorology*, 1985, 24, 184-191.
- C.R. de Freitas en M.G. Ryken; Climate and physiological heat strain during exercise. *Int. J. of Biometeorology*, 1989, 33, 157-164.
- A. Missenard, L'homme et le climat. 1937, Paris.
- L.M. Trapasso en J.D. Cooper; Record performances at the Boston Marathon: Biometeorological factors. *Int. J. of Biometeorology*, 1989, 33, 233-237.
- H.F. Vugts. *Je dag hebben en de rest ....*; De Veteaan, 1985, 19, 8-9.
- K.C. Young; The influence of environmental parameters on heat stress during exercise. *J. of Applied Meteorology*, 1979, 18, 886-898.
- Zhang Suping, Meng Guanglin, Wang Yanwen en Li Ji. Study of the relationships between weather conditions and the marathon race, and meteorotropic effects on distance runners. *Int. J. of Biometeorology*, 1992, 36, 63-68.