

**Auteur** Prof.dr. W. (Wouter) van Marken Lichtenbelt,  
Universiteit Maastricht

### ISIAQ.nl Voorjaarsymposium

Dit artikel is een samenvatting van de presentatie, die de auteur heeft gegeven op het voorjaarsymposium 2021 van de vereniging ISIAQ NL. ISIAQ is de International Society of Indoor Air Quality and Climate.

## Thermisch comfort, gezondheid en weerstand

*In de loop van de afgelopen decennia zijn we steeds meer gewend geraakt aan een constant binnenklimaat. Deels is dat gekomen door gehanteerde modellen, waaronder het veel gebruikte Fanger model (1) en deels door de technische mogelijkheden. Fanger (1970) wees er in zijn onderzoek al op dat er individuele en groeps-verschillen zijn voor wat betreft thermisch comfort en sensatie. Ondanks meer recente richtlijnen waarin het adaptief comfortmodel (2, 3) is meegenomen gaat men in de praktijk over het algemeen uit van een constant binnenklimaat voor een zogenaamde gemiddeld persoon.*

*Kort door de bocht laat het adaptief comfort model zien dat bij natuurlijke ventilatie, en daar waar mensen zelf controle hebben over het binnenklimaat, een veel grotere range aan temperaturen acceptabel is dan bij een centraal gestuurd binnenklimaat. Het adaptief comfort model is momenteel redelijk geaccepteerd en ook in de meeste standaarden meegenomen, zoals al in de uit 2004 stammende ASHRAE 55 en de Nederlandse ISSO 74. De conservatieve houding over de relatief constante regeling van het binnenklimaat komt deels voort uit de installatiebranche en de bouwondernemers, die gewend zijn geraakt aan het strak regelen. Maar ook de gebouwbeheerders en tenslotte de verwachtingen van de gebruikers zelf spelen een rol. Er zijn diverse voorbeelden van gebouwen te vinden waar veel minder strak wordt geregeld en waar bovenop het primaire centraal aangestuurde, ook een secundair door de gebruiker zelf te manipuleren systeem is gerealiseerd. Maar tot op heden zijn dit soort gebouwen uitzonderingen.*

Onderzoek naar de fysiologie, gezondheid en naar de comfort-beleving zet vraagtekens naar het nut van een constante en vaste instelling van de binnentemperatuur. Bundeling van de huidige kennis laat zien dat meer variatie in temperatuur en blootstelling aan zowel koude als warmte een metabool gezonder lichaam geeft en bovendien een fysiologisch weerbaarder lichaam tijdens extreme hitte en kou. In dit artikel zullen een aantal voorbeelden worden gepresenteerd van wat blootstelling en gewinning aan kou

en warmte doet met het lichaam en vervolgens wordt de potentie van een meer dynamisch binnenklimaat beschreven. Het belang hiervan is groot. Ten eerste brengt de moderne mens meer dan 90% van zijn tijd binnen door en is dus voor zijn welbevinden en gezondheid afhankelijk geworden van de situatie in de gebouwen. Ten tweede zal door klimaatverandering als gevolg van de opwarming van de aarde het weer lokaal extremer worden. Niet alleen hittegolven zullen waarschijnlijk meer optreden, ook is er, tegen intuïtief, een trend van (lokale) toenames van extreme koude periodes (4). Dit is deels te verklaren uit veranderingen in lokale lucht- en zeestromen als gevolg van de opwarming van de aarde. Tenslotte leidt een meer dynamisch geregeld binnenklimaat tot energiebesparingen bij gebouwen, door minder koel- en warmtevraag.

### Thermoregulatie: comfort, gezondheid en weerbaarheid

Thermoregulatie omvat diverse aspecten variërend van thermofysiologie en comfort tot (thermisch) gedrag. De stelling die ik hier poneer is dat onze thermische omgeving een significante bijdrage kan leveren aan een gezonde leefstijl. Natuurlijk, voeding en beweging zijn cruciaal, maar er zijn meer aspecten die een rol spelen. Thermoregulatie is er daar één van. In feite kan het lichaam op diverse manieren de (kern)temperatuur van het lichaam handhaven zo rond de 37°C. Allereerst is het goed te weten dat onze stofwisseling permanent warmte genereert. Een basale hoeveelheid tijdens rust en slaap en extra warmteproductie tijdens fysieke activiteit. Er moet dus altijd warmte worden afgegeven aan de omgeving om niet te veel op te warmen. Het warmtetransport van de kern van ons lichaam naar de omgeving wordt met name geregeld door de doorbloeding. Veel bloed naar de huid (onze radiator) geeft een grote warmteafgifte. En omgekeerd. Die variatie in doorbloeding kost het lichaam weinig energie. Vervolgens hebben we voor als het te koud dreigt te worden de mogelijkheid de stofwisseling (energiegebruik) te verhogen door rillen, door chemische extra warmteproductie (*non-shivering* thermogenese) en door verhogen van de fysieke activiteit. Tenslotte, in de hitte kunnen we zweten en met de verdamping van het water in het zweet extra warmte onttrekken aan het lichaam; heel belangrijk tijdens een hittegolf.

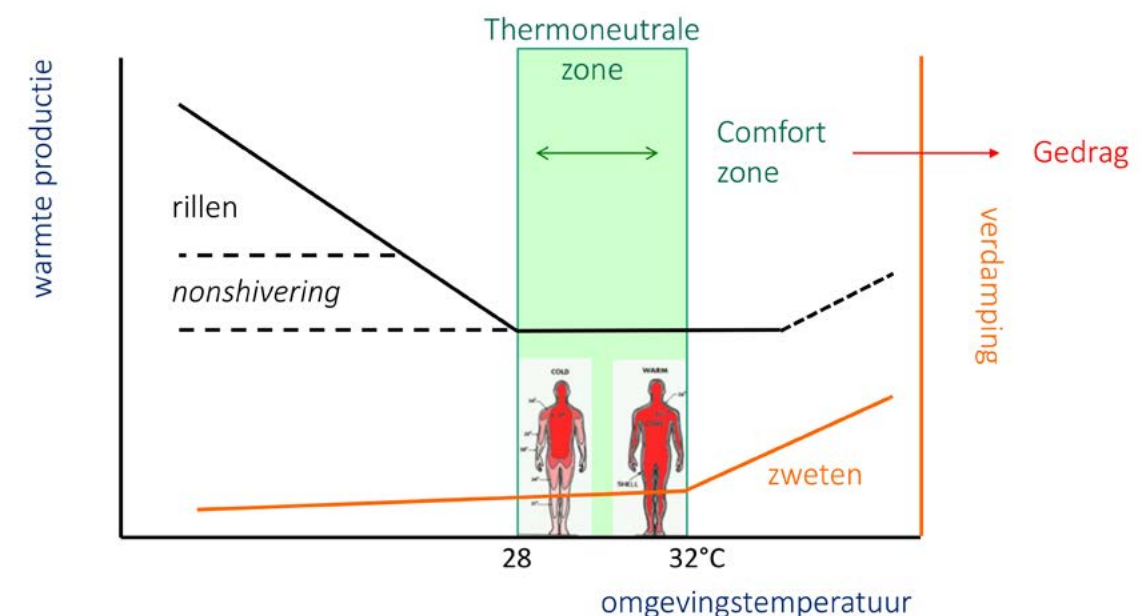
Onder natuurlijke omstandigheden, toen we nog op de savanne rondliepen en schuilen in grotten, moesten we zuinig zijn op water en op energie (uit de voeding die we bij elkaar moesten jagen en verzamelen). Dus het streven was om zo min mogelijk te zweten (kost water), en zo min mogelijk te rillen (kost energie). Helaas is het omgevings-temperatuurstraject waarbinnen onze lichaamstemperatuur met de 'goedkope' doorbloedingsvariatie kan worden geregeld vrij klein. Voor een naakt persoon is dat rond de 30°C met een range van 4 à 5 graden (zie Figuur 1). Deze range noemen we de thermoneutrale zone. De TNZ verschilt per persoon en is onder meer afhankelijk van de lichaamsbouw. Bij mannen en mensen met overgewicht ligt de TNZ meer aan de koude kant ten opzichte van respectievelijk vrouwen en slanke mensen. En nu komen we op een heel belangrijke regelparameter: ons gedrag. Door middel van gedrag kiezen we kleding, en onderdak. Gaan we in de zon zitten of in de schaduw. Dat gedrag wordt aangestuurd door de mate van discomfort. De comfortzone overlapt grotendeels met de thermoneutrale zone. De comfortzone is niet gefixeerd, maar persoonsgebonden en afhankelijk van gewinning aan warmte of kou, van verwachtingen, van thermische historie en zelfs van cultuur (5, 6).

Al met al was een streven naar een verblijf in de comfortzone in de prehistorie in een natuurlijke omgeving begrijpelijk: je stond in de spaarstand in een omgeving met beperkte (voedsel en water) bronnen. We werden desondanks gedwongen actief te zijn, en erop uit te trekken, de kou en de warmte in en dat zorgde voor een fysiek actief en weerbaar lichaam. Het huidige binnenklimaat zorgt voor comfort, maar ons lichaam wordt niet meer thermoregulatorisch uitgedaagd. Samen met de overdaad aan voeding en beperkte fysieke activiteit heeft dit geleid tot overgewicht, suikerziekte en

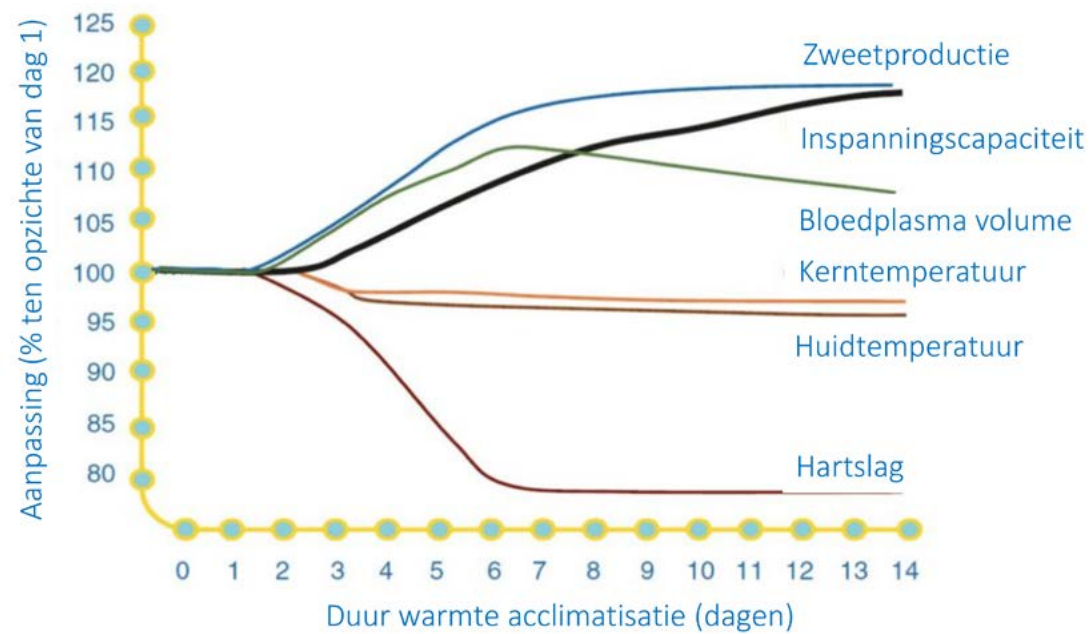
hart- en vaatziekten, samengevat: het metabool syndroom. Extreem in de Verenigde Staten, maar in Europa volgen we de V.S. op de voet.

### Aanpassing aan warmte

Vijf graden maakt het verschil tussen leven en dood. Het lichaam zal er daarom alles aan doen om de kerntemperatuur rond de 37°C te houden. De temperatuur schommelt wel wat, afhankelijk van het tijdstip van de dag of bijvoorbeeld maandelijks bij vrouwen als gevolg van de menstruele cyclus. Bij flinke inspanning zijn temperaturen tot 39°C normaal. Bij een toename van de omgevingstemperatuur wordt de warmteafgifte via straling, geleiding en convectie steeds minder belangrijk en neemt de verdamping het geleidelijk aan over. Mensen kunnen bij een temperatuur van boven de 37°C nog prima overleven, maar dan is er qua koeling nog maar één manier over: verdamping van zweet. Mensen zijn opvallend goede zweters vergeleken met andere zoogdieren. Met zo'n 2-4 miljoen zweetklieren in onze huid kunnen we normaal gesproken 1 L/h zweet produceren, maar als je goed geacclimatiseerd bent aan hoge omgevingstemperaturen kan dat oplopen tot 3 L/h. Voorbeeld bij inspanning: 1 uur rennen kost ongeveer: 3 MJ ( $\pm 700$  kcal). Om die hoeveelheid energie kwijt te raken d.m.v. verdamping heb je ongeveer 1,5 L zweet nodig.



**Figuur 1:** Thermoneutrale zone model. Binnen de thermoneutrale zone kost het ons lichaam weinig energie of water (zweet) om de lichaamstemperatuur te handhaven. De regeling vindt dan plaats met veranderingen in (huid) doorbloeding. Beneden de thermoneutrale zone wordt extra warmte geproduceerd door rillen en chemische warmteproductie (*non-shivering*). Boven de thermoneutrale zone begint het lichaam te zweten om via verdamping warmte van het lichaam af te voeren. De comfort zone en thermoneutrale zone overlappen gedeeltelijk. De mate van comfort bepaalt ons gedrag (kleding, beschutting zoeken, meer activiteit, etc.)



**Figuur 2:** Warmte acclimatisatie verbetert de weerbaarheid van het lichaam bij blootstelling aan warmte door verhoging van de zweetsnelheid, het plasmavolume en de inspanningscapaciteit, en verlaging van de kerntemperatuur van het lichaam, de huidtemperatuur en de hartslag. *Figuur naar Sébastien Racinais, Michael Sawka, Hein Daanen, and Julien D. Périard (2019): Heat Acclimation, in Heat Stress in Sport and Exercise (Julien D. Périard • Sébastien Racinais Editors), Springer, p. 159-179.*

Bij hitte is zweeten dus cruciaal en hitte acclimatisatieproeven laten zien dat al na een paar dagen gewenning aan hitte optreedt (7). Naast extra zweetproductie vinden ook aanpassingen plaats aan doorbloeding, hartslag, bloeddruk en kerntemperatuur. De meeste aanpassingen vinden al na een paar dagen plaats en na een week zijn de meeste aanpassingen al gerealiseerd (Figuur 2).

Tot voor kort werden de aanpassing-studies gedaan met een combinatie van warme omgeving en fysieke inspanning. De laatste jaren hebben wij ons in Maastricht toegelegd op meer milde warme condities en zonder extra inspanning. We zien vergelijkbare aanpassingen bij deze zogenaamde passieve warmte acclimatisatie, dat wil zeggen verbeterde zweetefficiëntie, toename huiddoorbloeding, verlaging van hartslag, bloeddruk en kerntemperatuur (8, 9). Daarbovenop zagen we een aantal belangrijke metabole parameters verbeteren: verlaging van bloedsuikerwaardes, lager insuline gehalte en een toename van insuline gevoeligheid (8). Al met al namen zowel de weerbaarheid tegen hitte als de metabole gezondheid toe.

#### Aanpassing aan kou

Ook van kou hebben we wat te duchten. Onderkoeling kan levensbedreigend zijn. In de kou treedt in eerste instantie bloedvaatvernauwing in de huid en ledematen op. Die koelen af waarmee de kerntemperatuur gehandhaafd kan blijven. Bij meer kou gaat de chemische warmteproductie omhoog waarbij

bruin vet een rol speelt. Bruin vet is, in tegenstelling tot wit vet (energieopslag), verantwoordelijk voor energie gebruik (soort kacheltje van het lichaam). Het is aanwezig bij baby's omdat die snel kunnen afkoelen. Maar volwassenen hebben het ook, zij het in mindere mate (10). Omdat je (nog) niet rilt is het niet per se oncomfortabel. Tenslotte gaan we de spieren aanspannen gevolgd door rillen. Dat is zeker op de lange duur oncomfortabel en kan tot vermoeidheid leiden. Koude gewenningsproeven laten ook hier aanpassingen zien. Bij herhaalde koude blootstelling gaat het lichaam minder rillen en meer over op *non-shivering* en bruin vet neemt toe (11). Een aantal jaren geleden kwamen we er tot onze verrassing achter dat gewenning aan milde kou ook gunstig was voor allerlei stofwisselingsparameters. Niet alleen ging het energiegebruik omhoog (gunstig voor het lichaamsgewicht), maar ook nam de glucoseopname in de spieren toe en leidde het tot een significante verhoging van de insuline gevoeligheid (12). Een verbeterde suikerhuishouding is cruciaal voor mensen met (aanleg voor) suikerziekte.

De eerste proeven die we uitvoerden onder relatief milde omstandigheden vergelijkbaar met onze dagelijkse omgeving waren met kou. Dus schreven we de gezondheidseffecten toe aan kou. Maar toen we later ook gunstige effecten op warmte zagen (weliswaar via andere cellulaire mechanismen), kwamen we tot het inzicht dat niet zozeer warmte of kou alleen het werk verrichten, maar dat waarschijnlijk de wisseling van temperaturen gunstig

is voor onze gezondheid. We noemen het, parallel aan sport en inspanning: temperatuur training. Dus regelmatig buiten of aan de randen van je comfortzone en thermoneutrale zone treden is gunstig voor je metabole gezondheid en maakt je lichaam weerbaarder voor extreme hitte en kou (13).

#### Dynamisch binnenklimaat

De algemene conclusie is dus dat variatie in temperatuur, dagvariatie en seizoensvariatie, gunstig is voor de weerbaarheid en gezondheid. Bovendien is een minder strakke regeling van de binnentemperatuur in lijn met (fossiele) energiebesparing van gebouwen. Tenslotte blijkt uit veel veldmetingen in gebouwen met natuurlijke ventilatie dat mensen een grote range aan temperatuur acceptabel vinden. Twee aspecten zijn daarbij van groot belang. Ten eerste dat mensen de tijd krijgen te wennen aan die variatie, wat met name voor de seizoensvariëaties geldt. Ten tweede dat mensen een zekere mate van controle over het binnenklimaat hebben. Kunnen ramen worden geopend? Is er een thermostaatknop in de ruimte? In de praktijk betekent het dat die mate van controle weer dient te worden ingevoerd en dat slimme ventilatiesystemen moeten worden toegepast. In feite zijn er dus twee, wat tegenstrijdige belangen. Aan de ene kant de gewenningsaspecten en de temperatuur training en aan de andere kant de grote individuele variatie in temperatuur-ervaringen. In de praktijk moet je niet opeens doorslaan en iedereen extra kou of warmte voorschrijven. Je zou in gebouwen om aan de individuele behoefte tegemoet te kunnen komen, bijvoorbeeld temperatuurgradiënten kunnen toestaan, een dynamisch binnenklimaat regelen en tenslotte een personal control systeem kunnen gebruiken.

#### Referenties

1. Fanger PO. Thermal comfort. New York: Danish Technical University; 1970.
2. Nicol JF, Humphreys MA. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*. 2002;34:563-72.
3. DeDear RJ, Bragger GS. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*. 2002;34:549-61.
4. Johnson NC, Xie SP, Kosaka Y, Li X. Increasing occurrence of cold and warm extremes during the recent global warming slowdown. *Nat Commun*. 2018;9(1):1724.
5. Kingma B, Frijns A, van Marken Lichtenbelt W. The thermoneutral zone: implications for metabolic studies. *Front Biosci (Elite Ed)*. 2012;4:1975-85.
6. Kingma B, Marken Lichtenbelt W. Energy consumption in buildings and female thermal demand. *Nature Climate Change*. 2015;5(12):1054-6.
7. Périard JD, Racinais S, Sawka MN. Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: Applications for competitive athletes and sports. *Scand J Med Sci Sports*. 2015;25 Suppl 1:20-38.
8. Pallubinsky H, Phielix E, Dautzenberg B, Schaart G, Connell NJ, de Wit-Verheggen V, et al. Passive exposure to heat improves glucose metabolism in overweight humans. *Acta physiologica (Oxford, England)*. 2020.
9. Pallubinsky H, Schellen L, Kingma BRM, Dautzenberg B, van Baak MA, van Marken Lichtenbelt W. Thermophysiological adaptations to passive mild heat acclimation. *Temperature (Austin)*. 2017;4(2):176-86.

Wat betreft het dynamisch binnenklimaat hebben we onlangs in een gecontroleerde lab-studie laten zien dat zowel een stabiel als een dynamisch (met variatie van 8°C) binnenklimaat tot comfortabele situaties leidde, zij het dat het dynamisch binnenklimaat net wat lager scoorde (14). Een dynamisch binnenklimaat kan echter bijdragen aan onze gezondheid. In vervollexperimenten hebben we laten zien dat een *personal control* systeem (lokale verwarming handen en voeten en een ventilatiesysteem voor hoofdcooling) het thermisch comfort verbeterde, terwijl de gunstige gezondheidseffecten op het hele lichaam in stand bleven (15). Bovendien vonden we indicaties dat de z.g. *alliesthesia* (thermische aangenaamheid) en mate van alertheid verbeterde.

#### Link met de standaarden

In de standaarden wordt naar mijn mening nog te weinig rekening gehouden met de gunstige effecten van een dynamisch binnenklimaat. Op zich is er een gunstige ontwikkeling van standaarden en richtlijnen waarbij de gezondheid en *well-being* van de gebruiker centraal staan, zoals de Well Building Standaard en Fitwel. Echter voor wat betreft thermisch comfort staat in deze standaarden helaas nog steeds dat naar maximaal comfort wordt gestreefd. Bijstellen van de standaarden naar de recente wetenschappelijke inzichten met een goede link naar certificeringsmethodes die meer gericht zijn op de duurzame gebouwen, zoals LEED en BREEAM, wordt in de komende jaren cruciaal om te komen tot gezonde en energiezuinige gebouwen.

10. van Marken Lichtenbelt WD, Vanhommerig JW, Smulders NM, Drossaerts MAFL, Kemerink GJ, Bouvy ND, et al. Cold-activated brown adipose tissue in healthy adult men. *New Engl J Med*. 2009;360(15):1500-8.
11. Blondin DP, Labbe SM, Tingelstad HC, Noll C, Kunach M, Phoenix S, et al. Increased brown adipose tissue oxidative capacity in cold-acclimated humans. *J Clin Endocrinol Metab*. 2014;99(3):E438-46.
12. Hanssen MJ, Hoeks J, Brans B, van der Lans AA, Schaart G, van den Driessche JJ, et al. Short-term cold acclimation improves insulin sensitivity in patients with type 2 diabetes mellitus. *Nat Med*. 2015;21(8):863-5.
13. van Marken Lichtenbelt WD, Hanssen MJ, Pallubinsky H, Kingma B, Schellen L. Healthy excursions outside the thermal comfort zone. *Building Research & Information*. 2017;45(7):819-27.
14. Ivanova YM, Pallubinsky H, Kramer R, van Marken Lichtenbelt W. The influence of a moderate temperature drift on thermal physiology and perception. *Physiology & behavior*. 2021;229:113257.
15. Luo W, Kramer R, Kort Y de, Rense P, van Marken Lichtenbelt WD. The effects of a novel personal comfort system on thermal comfort, physiology and perceived indoor environmental quality, and its health implications -Stimulating human thermoregulation without compromising thermal comfort. *Indoor Air*. 2021.