

Bachelorscriptie

Technische Bedrijfskunde

Elsbeth Brandsma

30-11-12



Inhoudsopgave

Voorwoord.....	4
Samenvatting.....	5
1 Inleiding	6
1.1 Aanleiding.....	6
1.2 Hoofdvraag	6
1.3 Relevantie	6
1.3.1 Klimaatverandering	7
1.3.2 Stedelijke warmte.....	9
1.4 Doel	10
1.5 Tussenconclusie.....	10
2 Aanpak	11
2.1 Opbouw verslag.....	11
2.1.1 Empirische cyclus.....	11
2.1.2 Hittestress cyclus	12
3 Hittestress	13
3.1 Wat is hittestress?	13
3.2 Hittestress met betrekking tot klimaatverandering.....	13
3.3 Kwantificering hittestress.....	13
3.3.1 Toepassing gevoelstemperatuurmodellen.....	14
3.4 Tussenconclusie.....	14
4 Maatschappelijke kosten-baten analyse	15
4.1 Doel economische waardering	15
4.1.1 Vaststellen optimaal milieu	15
4.2 Maatschappelijke kosten-baten analyse	16
4.2.1 Methode Boardman	16
4.2.2 Methode Opschoor	17
4.2.3 Overige methodes	18
4.3 Tussenconclusie.....	18
5 Schade functies.....	19
5.1 Fysieke schadefunctie hittestress.....	19
5.2 Toepassing hittestress	20
5.2.1 Term P_j	20
5.2.2 Term T_i	20
5.2.3 Term I_k	22
5.2.4 Term PD	22

5.3	Tussenconclusie.....	22
6	Top-Down benadering.....	23
6.1	Consequenties van hittestress	23
6.2	Causale keten van hittestress.....	23
6.3	Enkele toepassingen causale ketens op hittestress	24
6.3.1	Voorbeeld 1. Gezondheid.....	24
6.3.2	Voorbeeld 2. Evenement.....	24
6.4	Kwantificering van de effecten.....	25
6.4.1	Fysieke schadefunctie.....	25
6.4.2	Economische schadefunctie	26
6.5	Tussenconclusie.....	26
7	Bottom-up benadering.....	27
7.1	Waardering stadsboom	27
7.1.1	Luchttemperatuur	27
7.1.2	Luchtvochtigheid en ‘wet bulb temperature’	27
7.1.3	Wind	27
7.1.4	Mean radiant temperature, globe temperature en zonnekracht.	27
7.2	Baten en kosten stadsbomen	27
7.3	Tussenconclusie.....	28
8	Conclusie	29
9	Aanbevelingen.....	30
10	Literatuurlijst.....	31

Voorwoord

Deze scriptie is geschreven in het kader van bacheloropdracht van de opleiding Technische Bedrijfskunde aan faculteit Management en Bestuur van de Universiteit Twente. In de scriptie die voor u ligt zal worden ingegaan op de economische waardering van hittestress.

Het schrijven van deze scriptie heb ik overwegend met veel plezier gedaan. Het is een interessant project geweest, waarbij ik veel kennis heb opgedaan gedurende het proces en veel heb geleerd van het proces.

Mijn dank gaat uit naar mijn collega's bij Royal HaskoningDHV voor de motiverende en stimulerende werkomgeving, betrokkenheid en bovendien de interessante discussies. Waarbij ik in het bijzonder mijn begeleiders Monique de Groot - Reichwein en Mark Groen bedank.

Mijn speciale dank gaat uit naar mijn begeleider vanuit de Universiteit Twente, Yoram Krozer, voor het geven van vertrouwen en de motiverende besprekingen en het scherp houden van mijn mening.

Tenslotte wil ik mijn vrienden en familie bedanken voor hun steun en betrokkenheid.

Elsbeth Brandsma

Enschede, november 2012

Samenvatting

Door klimaatverandering en de toename verstedelijking zullen de inwoners van Nederland hoogstwaarschijnlijk in toenemende mate overlast ondervinden van een oncomfortabele staat van het lichaam door warmte in het buitenklimaat. Deze oncomfortabele staat van het lichaam wordt in het vervolg beschreven als 'hittestress'.

In de loop van de tijd zijn er maatregelen ontwikkeld of bedacht welke de mate van hittestress zouden moeten doen verminderen. Voor het implementeren van een dergelijke maatregel is het nodig om te kijken of een dergelijke maatregel meer baten met zich meebrengt dan lasten. Dit kan vanuit een economisch perspectief worden gedaan met behulp van een maatschappelijke kosten-baten analyse (MKBA). Hier is nog weinig over bekend, vandaar dat mijn onderzoeksvraag luidt:

Hoe kunnen de effecten verbonden aan menselijke hittestress economisch worden gekwantificeerd in een maatschappelijke kosten-baten analyse?

Opschoor (1974) legt in zijn proefschrift 'Economische waardering van milieuverontreiniging' de basis voor de economische waardering van milieuverontreiniging, langs zijn methode worden in dit verslag de effecten van hittestress in buitenklimaat economisch gewaardeerd. Hij stelt dat voor een adequate kosten-baten analyse een duidelijke scheiding hoort te zijn tussen het kwantificeren en het monetariseren van effecten. Voor het kwantificeren wordt een fysieke schadefunctie gebruikt en voor het monetariseren een monetaire schadefunctie. Hierbij wordt eerst gekeken naar generieke oorzaak-gevolg relaties, welke in alle situaties gelden (top-down benadering). Om een dergelijk model toe te kunnen passen zijn er casestudies van praktijksituaties nodig, waarbij vanuit een bepaalde situatie wordt gekeken naar het hittestress probleem. Dit wordt de bottom-up benadering genoemd. Als praktijksituatie wordt een stadsboom beschouwd.

Om te komen tot een adequate economische waardering van de effecten verbonden aan menselijke hittestress zullen de gegevens verkregen door de bottom-up benadering moeten worden getoetst aan de gegevens gesteld in de top-down benadering. Hierdoor kan er een nauwkeurigere benadering worden gedaan schade veroorzaakt door hittestress. Op basis hiervan kan een benadering worden gedaan van de maatschappelijke kosen en baten van hittestress.

1 Inleiding

Voor u ligt mijn bacheloropdracht waarin ik heb getracht het fenomeen 'hittestress' economisch te ramen in een maatschappelijke kosten-baten analyse. Deze opdracht heb ik uitgevoerd voor het advies- en ingenieursbureau Royal HaskoningDHV in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Deze opdracht volgt uit een deelprogramma van het deltaprogramma: nieuwbouw en herstructurering.

Het deltaprogramma is in het leven geroepen om bescherming te garanderen tegen overstromingen en voldoende zoet water te waarborgen. Bovendien zet het programma aan tot het anticiperen op veranderende omgevingsfactoren zoals onder andere het stijgen van de zeespiegel, het dalen van de bodem en de mondiale temperatuursstijging met als doel een veilig en aantrekkelijk Nederland voor nu en in de toekomst. Het deelprogramma nieuwbouw en herstructurering onderzoekt welke regelgeving en afspraken nodig zijn om de gevolgen van klimaatverandering te betrekken bij plannen voor nieuwbouw en het herstructureren van bebouwde gebieden.

1.1 Aanleiding

Het Deltaprogramma nieuwbouw en herstructurering (DPNH) heeft een klimaatadaptatie maatregelenmatrix ("Maatregelenmatrix," 2009) opgesteld om zoveel mogelijk klimaatadaptatiemaatregelen, welke op verschillende klimaatthema's aangrijpen, te bundelen en deze overzichtelijk te maken voor eindgebruikers. De betreffende klimaatthema's zijn: binnendijkse veiligheid, buitendijkse veiligheid, wateroverlast, droogte overlast, verzilting, maaiveld daling, waterkwaliteit, luchtkwaliteit en hitte.

Van vele van deze maatregelen zijn er reeds berekeningen gedaan om de (maatschappelijke) kosten en baten zo te benaderen, dat deze een afspiegeling zijn van de werkelijkheid. De maatregelen grijpen aan op de klimaatthema's, waarbij aan sommige klimaatthema's reeds veel is berekend en aan andere slechts minimaal. Over de maatregelen welke vallen onder het klimaatthema 'hitte' is momenteel slechts weinig bekend over de eventuele kosten en baten. Er zijn studies gedaan naar zaken als welke invloed temperatuursverandering heeft op bijvoorbeeld de Nederlandse landbouw of het toerisme, European Environment Agency (2012) en in hoeverre het uitwerking heeft op bepaalde beroepsgroepen zoals militairen en sporters (Epstein & Moran, 2006), maar niet in hoeverre hitte een uitwerking heeft op de 'gewone' bevolking. Dit ga ik in onderstaand verslag in beeld proberen te brengen.

Om de effecten van hitte bij mensen in kaart te brengen zal ik in het vervolg de term 'hittestress' gebruiken. Hittestress is een term welke gebruikt wordt om aan te duiden dat een organisme stress ondervindt van de hitte. Pas als die negatieve effecten in kaart zijn gebracht, kan pas worden opgemaakt wat de positieve effecten van een maatregel daarop zijn.

1.2 Hoofdvraag

Hoe kunnen de effecten verbonden aan menselijke hittestress economisch worden gekwantificeerd in een maatschappelijke kosten-baten analyse?

1.3 Relevantie

Er is veel onderzoek geweest naar binnenklimaat en het effect daarvan op mensen, waarbij voornamelijk gekeken is naar arbeid. Aangezien dit een direct effect heeft op de productie en dus kosten, is dat voor werkgevers erg kostbare informatie.

Echter is er over het buitenklimaat met betrekking tot mensen en de samenhangende kosten daarvan, veel minder bekend. Echter met het oog op klimaatverandering zou dit wellicht wel interessant zijn om naar te kijken. Bovendien koelt een dichtbebouwd gebied minder snel af dan een

onbebouwd gebied. Daarbovenop komt dat het in een stad vaak eerder opwarmt door antropogene warmte, zoals warmte van uitlaatgassen van auto's en warmte die vrijkomt door het gebruik van airco's. Door een maatregel economisch te waarderen, kan inzicht worden verkregen of het nuttig kan zijn om een maatregel te implementeren.

1.3.1 Klimaatverandering

Al enkele decennia luidt de consensus van verschillende wetenschappelijke klimaatstudies dat de aarde zeer hoogstwaarschijnlijk opwarmt en dat deze trend zal worden voortgezet in de toekomst.

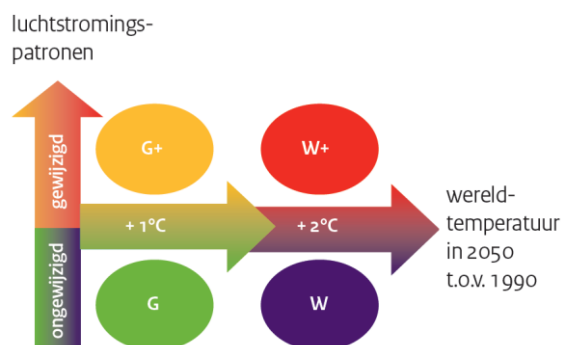
Wereldwijde temperatuurstijging is voor Nederland doorgerekend door het KNMI. Luchttemperatuur is een van de veroorzakers van hittestress bij mensen, hier kom ik later op terug. Een hogere luchttemperatuur kan een toenemende gradatie van hittestress veroorzaken. Het KNMI heeft voorspellingen gedaan over de stijging van de luchttemperatuur op basis van het wereldwijde temperatuursstijgingsscenario's.

1.3.1.1 Klimaat in Nederland

Het klimaat in Nederland is een gematigd zeeklimaat, dit betekent koele zomers en gematigde winters. Hierdoor wordt klimaatverandering in Nederland, op het gebied van temperatuur, door velen gezien als een effect welke geen grote effecten zal hebben op Nederland. Dit is de reden waarom er tot voor kort weinig werd gedaan om het 'urban heat island'-effect in de Nederlandse steden te verminderen (Steenefeld, Koopmans, Heusinkveld, Hove, & Holtslag, 2011). In landen met een warmer klimaat kan hittebestrijding echter wel een belangrijk beleidspunt zijn. Hier zijn hittemaatregelen ook gebruikelijker om toe te passen.

1.3.1.2 Klimaatscenario's: toekomstig klimaat in Nederland

In mei 2006 heeft het KNMI vier klimaatscenario's gepresenteerd (KNMI klimaatscenario's '06 (Van den Hurk et al., 2006)) welke een indicatie geven van de verwachte klimaatverandering in Nederland, stellen dat de gemiddelde zomertemperatuur rond 2050 structureel enkele graden zal zijn gestegen ten opzichte van de gemiddelde temperatuur van de periode 1980-1999. (Klein Tank & Lenderink, 2009) Bovendien stellen zij het waarschijnlijk dat er in de toekomst vaker extreme weerscenario's zullen gaan voorkomen, zoals onder andere het plaatsvinden van meer intense en frequente hittegolven. (Van den Hurk et al., 2006). Deze scenario's zijn opgedeeld in G/G+ en de W/W+ scenario's. De G en G+ scenario's gaan uit van een mondiale temperatuursstijging van +1°C in 2050 ten opzichte van de gemiddelde temperatuur van de periode 1980-1999. In de W en W+ scenario's wordt uitgegaan van een mondiale temperatuursstijging van +2°C ten opzichte van de gemiddelde temperatuur van de periode 1980-1999. Bij de G+ en de W+ scenario's wordt er tevens uitgegaan van een wijziging in de luchtstroming boven Nederland, bij de G en de W scenario's is dit niet het geval. Zie Figuur 1: verschillende klimaatscenario's voor Nederland in 2050.



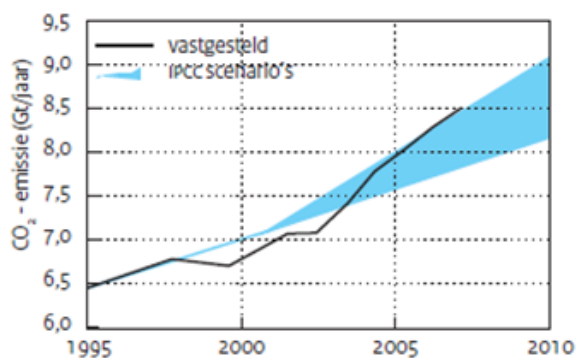
Figuur 1: verschillende klimaatscenario's voor Nederland in 2050.

Er is gekozen is voor 4 scenario's om een overzichtelijk beeld te creëren van de klimaatverandering in Nederland. Bovendien wordt het zo makkelijker toepasbaar gemaakt voor de eindgebruiker, zodat deze scenario's als basis kunnen dienen voor klimaateffectstudies en adaptatiemaatregelen.

De KNMI-scenario's maken gebruik van modelberekeningen die gemaakt zijn voor het vierde rapport van het IPCC, welke in 2007 is gepubliceerd. (Parry, Canziani, Palutikof, Van der Linden, & Hanson, 2007)

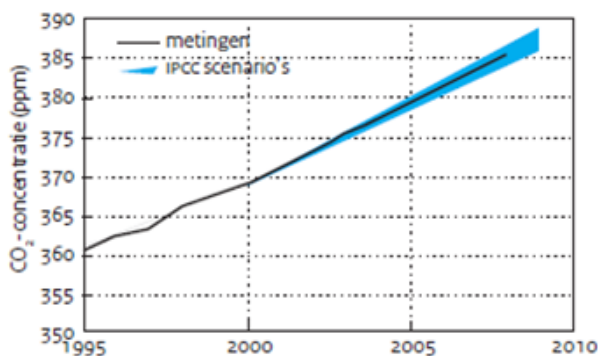
Hoe het klimaat in Nederland veranderd is volgens het KNMI vooral afhankelijk van de mondiale temperatuurstijging en van veranderingen in de stromingspatronen van de lucht in West-Europa en de daarmee samenhangende veranderingen in de wind. Naar verwachting zal het klimaat in Nederland in de zomer steeds meer gaan lijken op het klimaat rondom Parijs in Frankrijk.

De KNMI klimaatscenario's zijn gebaseerd op mondiale temperatuurstijging in combinatie met de emissiescenario's. De KNMI'06 scenario's kunnen optreden bij de meest waarschijnlijke IPCC emissiescenario's voor 2050. Voor 2100 zijn de G/G+ scenario's het meest representatief voor een laag emissiescenario (B1 genaamd) bij een gemiddelde schatting van de klimaatgevoeligheid ten opzichte van de emissies, terwijl de W/W+ scenario's het meest representatief zijn voor een hoog emissiescenario; A1F1 genaamd. In Figuur 2 is zichtbaar dat de vastgestelde CO₂-emissie van 2007 aan de bovengrens zit van de door de IPCC voorspelde emissiescenario's. (Klein Tank & Lenderink, 2009)



Figuur 2: De CO₂-emissie per jaar voorspeld door het IPCC.

De CO₂-concentratie gemeten in 2007 blijkt accuraat met de voorspellingen van de IPCC emissiescenario's, zie Figuur 3: De CO₂ concentratie voorspeld door het IPCC. (Klein Tank & Lenderink, 2009)



Figuur 3: De CO₂ concentratie voorspeld door het IPCC.

Over de bandbreedte die de vier KNMI'06 scenario's samen opspannen kan geen exacte voorspelling worden gedaan. In 80% van de modelberekeningen van het IPCC ligt de wereldgemiddelde opwarming voor de gehanteerde emissiescenario's in 2050 tussen +1°C en de + 2°C ten opzichte van de gemiddelde mondiale temperatuur van 1980 tot 1999. Elk van de modelberekeningen van het IPCC hebben afzonderlijk ook een band van waarschijnlijke modeluitkomsten van meer dan 2/3e kans per emissiescenario.

Lokale en regionale processen zoals de verandering in luchtstroombatronen zijn toegevoegd aan de KNMI scenario's. Deze zijn afgeleid van klimaatmodellen die het klimaat van West-Europa beschrijven. Deze verandering in luchtstroombatronen creëren een extra onzekerheid.

Ten slotte zijn ook de extremen qua luchttemperatuur benaderd en doorgerekend in deze studie. Extremen zijn belangrijk om in acht te houden, aangezien op de dagen van de extremen er het meest last wordt ondervonden aan temperatuurverandering, terwijl een gemiddelde stijging van de luchttemperatuur in Nederland met enkele graden wellicht minder gevolgen zal hebben voor het welzijn van mensen in het algemeen. De extremen zijn te vinden in Figuur 4: voorspelde klimaatverandering voor Nederland in 2050

		Scenario			
Global temperature rise		Moderate +1°C	Moderate +1°C	Warm +2°C	Warm +2°C
Change in atmospheric circulation		No	Yes	No	Yes
Winter	Mean temperature	+0.9°C	+1.1°C	+1.8°C	+2.3°C
	Yearly coldest day	+1°C	+1.5°C	+2.1°C	+2.9°C
	Mean precipitation	+3.6%	+7.0%	+7.3%	+14.2%
	Wet day frequency	+0.1%	+0.9%	+0.2%	+1.9%
	10-year return level 10-day precipitation sum	+4%	+6%	+8%	+12%
	Yearly maximum daily mean wind speed	0%	+2%	-1%	+4%
Summer	Mean temperature	+0.9°C	+1.4°C	+1.7°C	+2.8°C
	Yearly warmest day	+1.0°C	+1.9°C	+2.1°C	+3.8°C
	Mean precipitation	+2.8%	-9.5%	+5.5%	-19%
	Wet day frequency	-1.6%	-9.6%	-3.3%	-19.3%
	10-year return level 10-day precipitation sum	+13%	+5%	+27%	+10%
	Potential evaporation	+3.4%	+7.6%	+6.8%	+15.2%
Absolute sea level rise		12-25 cm	15-25 cm	20-35 cm	20-35 cm

Figuur 4: voorspelde klimaatverandering voor Nederland in 2050 (Van den Hurk et al., 2006).

1.3.2 Stedelijke warmte

Een (dicht)bebouwd gebied koelt in veel mindere mate af dan het buitengebied, het zo genaamde 'urban heat island effect', waardoor de aan de toename van het aantal hittegolven de bevolking in de stad doorgaans meer last wordt ondervonden aan een hittegolf dan in het buitengebied. Dus behoeven zij meer aandacht met betrekking tot eventuele hitte-maatregelen, dan bewoners op het platteland.

Aangezien warme dagen meer overlast veroorzaken in dichtbebouwd gebied, zal ik me beperken tot maatregelen die geschikt zijn voor dat gebied. Verondersteld wordt immers dat een hoge luchttemperatuur grote invloed heeft op warmteoverlast en dus hittestress. Aangezien een hoge luchttemperatuur in bebouwd gebied langer blijft hangen, is dit een voor de hand liggende afbakening. Bovendien wonen er veel meer mensen in de stad per vierkante meter dan op het platteland, waardoor een maatregel hoogstwaarschijnlijk effectiever is.

1.4 Doel

Dit maakt het 'Het uitzoeken of effecten van hittestress economisch kunnen worden gekwantificeerd' het doel van deze studie.

Er zijn twee manieren waarop de klimaatproblematiek kan worden aangepakt: klimaatmitigatie en klimaatadaptatie. Klimaatmitigatie is een methode welke klimaatverandering tracht te af te remmen, door onder andere de uitstoot van broeikasgassen te verminderen, waardoor (volgens de wetenschappelijke consensus) het broeikaseffect vermindert met als gevolg dat de aarde minder snel op zou warmen. Bij klimaatadaptatie ligt de focus op het tijdig aanpassen van de leefomgeving van de mens aan de wijzigende omstandigheden met betrekking tot het klimaat. Hieronder valt onder andere het bouwen van hogere dijken rondom Nederland om zo het binnenland te beschermen tegen de stijging van de zeespiegel. Nederland richt zich op een combinatie van beide methoden: door CO₂ punten wordt de emissie van CO₂ onaantrekkelijker gemaakt en door onder andere het verhogen van de dijken wordt het risico voor een overstroming door het veranderende klimaat verminderd.

Hoewel er een duidelijke oorzaak gevolg relatie wordt verondersteld tussen de uitstoot van broeikasgassen en de opwarming van de aarde, is deze dermate complex, dat ik me hier, wegens de tijdsrestrictie, niet aan zal wagen. Bovendien worden er vraagtekens gezet bij de toepasbaarheid van een kosten-batenanalyse van het wereldwijde mitigatiebeleid, omdat Tol (Tol, 2003) bewees dat de onzekerheid rond schattingen van de marginale schade van klimaatverandering oneindig is, zelfs als de totale schade eindig is. Doordat kosten-baten analyse alleen toepasbaar is als de variaties van zowel de kosten als de baten eindig zijn, is kosten-baten analyse, volgens Tol, dus niet mogelijk voor klimaatverandering. Ik zal me daarom in deze opdracht beperken tot klimaatadaptatie.

1.5 Tussenconclusie

In dit verslag wil ik de basis gaan leggen voor het economisch ramen van hittestress bij mensen voor het buitenklimaat. Dit zal worden gedaan door het beantwoorden van onderstaande (hoofd)vraag:

Hoe kunnen de effecten verbonden aan menselijke hittestress economisch worden gekwantificeerd in een maatschappelijke kosten-baten analyse?

2 Aanpak

Het doel van dit verslag is om een antwoord te vinden op de volgende vraag:

Hoe kunnen de effecten verbonden aan menselijke hittestress economisch worden gekwantificeerd in een maatschappelijke kosten-baten analyse?

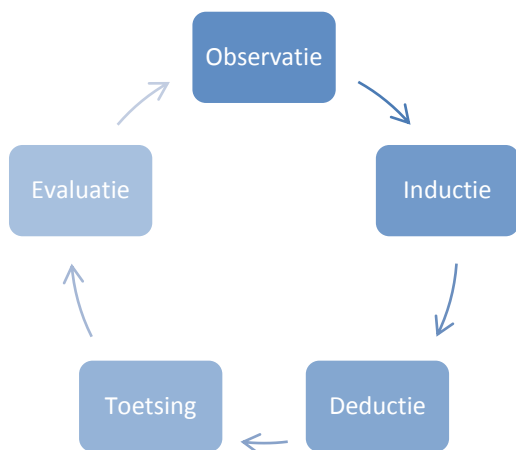
Hieronder wordt de opbouw van het verslag beschreven.

2.1 Opbouw verslag

Om tot een antwoord van bovenstaande vraag te komen, zal eerst moeten worden uitgelegd wat er precies bedoeld wordt met de term hittestress en op welke manieren economisch gewaardeerd kan worden. Deze twee definities zullen moeten worden afgebakend om tot een zinvol antwoord te komen van de vraag.

2.1.1 Empirische cyclus

Daarna zal beginnen met het kwantificeren van het fenomeen hittestress bij mensen. Hierbij zal ik gebruik maken van een aangepaste versie van de empirische cyclus van A.D. de Groot (Groot, 1994). A.D. de Groot omschrijft een empirische cyclus van 5 fasen, zoals te zien in Figuur 5.



Figuur 5: empirische cyclus, A.D. de Groot.

Fase 1: 'Observatie': Verzamelen en groeperen van empirisch feitenmateriaal; vorming van hypothesen;

Fase 2: 'Inductie': Formulering van hypothesen;

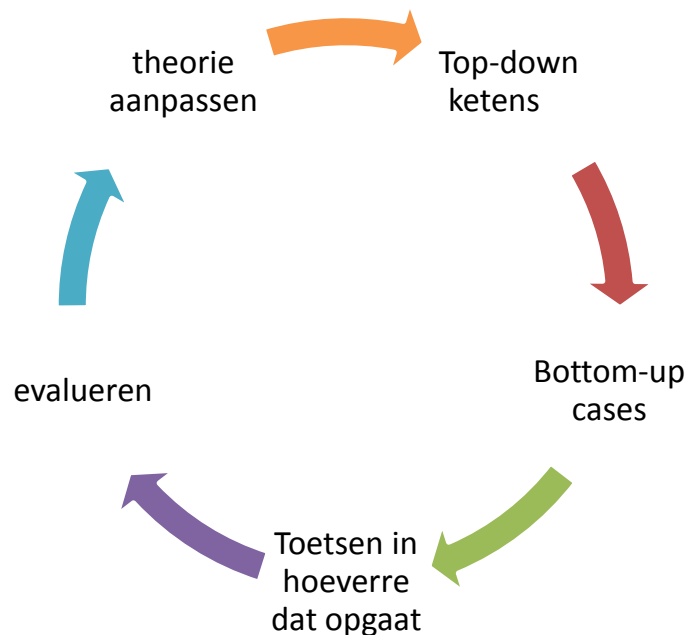
Fase 3: 'Deductie': Afleiding van speciale consequenties uit de hypothesen, in de vorm van toetsbare voorspellingen;

Fase 4: 'Toetsing': van de hypothese(n), aan het al dan niet uitkomen van de voorspellingen in nieuw empirisch materiaal.

Fase 5: 'Evaluatie': van de uitkomsten van de toetsing, in verband met de gestelde hypothese(n), c.q. theorie(en), en in verband met mogelijke nieuwe, aansluitende onderzoeken.

2.1.2 Hittestress cyclus

Door de empirische cyclus toe te passen op de *hittestressproblematiek*, zal de cyclus om tot een zinvol antwoord te komen op de hoofdvraag, er ongeveer uitzien als in Figuur 6.



Figuur 6: Cyclus welke de aanpak beschrijft van de 'hittestressproblematiek'.

Ik zal het probleem eerst top-down benaderen vanuit het thema hittestress. Dit houdt in dat de veronderstelde hitteproblematiek benaderd wordt vanaf de stressfactor hittestress naar een concrete consequentie. Om de consequentie kwantitatief te maken zal ik moeten weten welk deel van de populatie een nadeel of voordeel ondervindt van hittestress. Hiervoor worden twee manieren gebruikt: de causale relatie en een schadefunctie per individu.

Aangezien in de huidige literatuur nog onvoldoende bekend is over de effecten van hittestress in individuele situaties is een alternatieve benadering noodzakelijk. Om toch achter deze gegevens te komen, is er ook gekozen voor een bottom-up benadering. Dit zal ik doen met behulp van een casestudy waarbij ook een schadefunctie wordt gebruikt.

Als zowel een consequentie van hittestress (top-down benadering) als de kwantificering van de hinder bij mensen (bottom-up benadering) bekend zijn, kunnen deze worden samengevoegd,, waardoor een economische waardering van een specifiek hitteprobleem ontstaat.

Ten slotte worden er aanbevelingen gedaan om dit model toe te passen op bepaalde maatregelen, zodat een MKBA kan worden geconstrueerd en de toepassing van het model kan worden geëvalueerd.

3 Hittestress

In dit hoofdstuk zal uitgelegd worden wat er allemaal valt onder de term hittestress en op welke wijze dit zal worden meegenomen in de rest van dit verslag.

3.1 Wat is hittestress?

Hittestress is een term welke gebruikt wordt om aan te duiden dat een organisme stress ondervindt van de hitte. De term hittestress wordt vooral gebruikt om ecologische stress bij dieren aan te duiden, waarbij de stress het gevolg is van een aanhoudende hitteperiode, waardoor de dieren hun warmte niet kwijt kunnen en ziek of minder productief worden.

De relatie tussen productiviteit en hittestress is bij dieren direct zichtbaar en meetbaar, een voorbeeld hiervan is de melkproductie van vee. Bij mensen is de relatie tussen productiviteit en hittestress niet direct zichtbaar en lastig meetbaar.

Door Shapiro and Epstein (1984) wordt hittestress aangeduid als een staat van het lichaam waarin warmteverlies door straling en convector minder is dan de warmteproductie door het metabolisme. In deze staat moet het lichaam interne regelsystemen aan het werk zetten om de temperatuur van het lichaam constant te houden. Zo kan het lichaam onder andere de bloedvaten die tegen de huid liggen verwijden, waardoor het meer warmte kan kwijtraken. Bovendien kan het lichaam gaan zweten, om zo door verdamping warmte kwijt te raken.

Hittestress vormt geen één-op-één relatie met de luchttemperatuur, maar is een fenomeen welke door verschillende factoren wordt veroorzaakt. Hier is de luchttemperatuur slechts een factor van (Stellman, 1998). Daarom is het nodig om naast de klimaatverandering in gradaties van luchttemperatuur ook andere klimaatfactoren mee te nemen.

Hittestress bij mensen kan zich uiten in lichamelijke en psychologische termen. De vertaling van hittestress naar deze termen is echter zeer complex. (Epstein & Moran, 2006)

3.2 Hittestress met betrekking tot klimaatverandering

Klimaatverandering heeft een invloed op de luchttemperatuur en daarmee invloed op de mate van hittestress. Voor het in beeld brengen van de kosten en baten van klimaatverandering vormt het fenomeen hittestress slechts een klein deel van de gehele kosten en baten en wellicht ook een van de meer complexere.

Naast invloed op de mens heeft luchttemperatuur ook invloed op dieren (veehouders, pluimveehouders), op planten (agricultuur) en op andere receptoren die onder invloed van een verhoogde temperatuur andere problemen met zich meebrengen (het water ecosysteem, scheikundige reacties in de natuur).

Temperatuur- en klimaatverandering kunnen in verschillende opzichten invloed hebben op allerlei verschillende zaken, bijvoorbeeld op toerisme, de omzet van ijssalons en de omzet van strandtenten. De oorzaak hiervan ligt in het gedrag van de mens. De manier waarop mensen reageren op warmte of hitte veroorzaakt een bepaald gedrag.

Gezien de tijdlimiet voor deze opdracht en het doel van het deltaprogramma nieuwbouw en herstructurering richt ik me alleen op hittestress bij mensen.

3.3 Kwantificering hittestress.

Er worden verschillende methoden gebruikt om een indicatie te geven van de hoeveelheid hittestress. Er zijn drie verschillende categorieën indexen ontwikkeld: rationele indices, empirische

indices en directe indices. De eerste twee zijn erg geraffineerde indices welke psychologische- en omgevingsfactoren meenemen. De derde soort neemt alleen simpele omgevingsfactoren in acht. Op basis van In onderstaande tabel wordt er een overzicht gegeven van de verschillende modellen welke betrekking hebben op de gevoelstemperatuur (Monteiro & Alucci, 2006). Dit is een selectie van de in hun paper beschreven empirische- en rationele voorspellingsmodellen van gevoelstemperatuur, hierbij zijn de indexen voor een koude omgeving weggelaten, evenals de modellen welke gebruik maken van individuele factoren (waaronder het metabolisme, kleding en andere factoren welke niet te beïnvloeden zijn met behulp van klimaatadaptatiemaatregelen). Deze modellen zouden wel interessant kunnen zijn voor preventiemaatregelen voor burgers, zoals het hitteplan van het ministerie van VWS of de factsheet van de GGD.

				Variables						
				Micro-climatic				Other		
				t-ar	p-ar	v-ar	t-rm	t-g	t-bu	R
1	Belding Hatch, 1955	Heat strain index	HSI	x	x	x	x			
2	Yaglou, Steadman 1957; ISO 7243, 1989	Wet Bulb Globe Temperature	WBGT	x				X	x	
3	Winterling, 1978	Heat Index	HI	x	x					
4	Masterton, 1979	Humidex	HU	x	x					
7	Mieczkowski, 1985	Climate Index for Tourism	CIT	x	x	x				x
5	Noguchi & Givoni, 2000	Thermal Sensation	TS	x	x	x	x			x

Verklaring variabelen:

t_{ar} = air temperature, °C
 p_{ar} = pressure ar
 v_{ar} = air speed m/s
 t_{rm} = mean radiant temperature
 t_g = globe temperature
 t_{bu} = wet bulb temperature
 R = solar radiation

3.3.1 Toepassing gevoelstemperatuurmodellen

De gevoelstemperatuurmodellen zouden een goede indicatie moeten geven van de hoeveelheid hinder die wordt ondervonden van hitte. Echter zijn de verschillende modellen lastig te beschouwen in relatie tot hittestress, aangezien ze allemaal gebaseerd zijn op verschillende variabelen. De correlatie tussen deze modellen en hittestress is, voor zover bekend, niet beschreven.

3.4 Tussenconclusie

Hittestress is de mate van stress welke een organisme ondervindt, veroorzaakt door hitte. Dit heeft invloed op het gedrag van mensen en dieren. Hittestress wordt veroorzaakt door verschillende factoren, de gevoelstemperatuur speelt hierin een rol.

Klimaatveranderingsmodellen geven geen ingang om hittestress te meten. Eventueel zou een benadering van hittestress op basis van de gevoelstemperatuurmodellen wel mogelijk zijn. Ik beperk het onderzoek tot de overlast van hittestress bij mensen in het buitenklimaat.

4 Maatschappelijke kosten-baten analyse

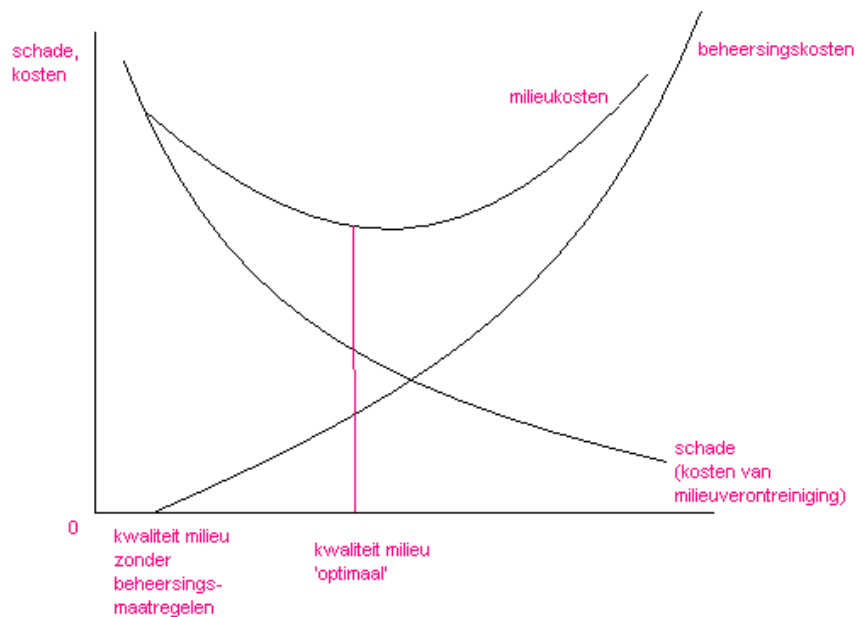
Een maatschappelijke kosten-baten analyse is een methode om een project, vraagstuk, investering of, in het geval van dit onderzoek, een maatregel af te wegen door een economische waarde toe te kennen aan alle factoren. Hieronder zal worden uitgelegd wat de toegevoegde waarde is van een economische waardering en welke manieren er bestaan om een MKBA te beschouwen.

4.1 Doel economische waardering

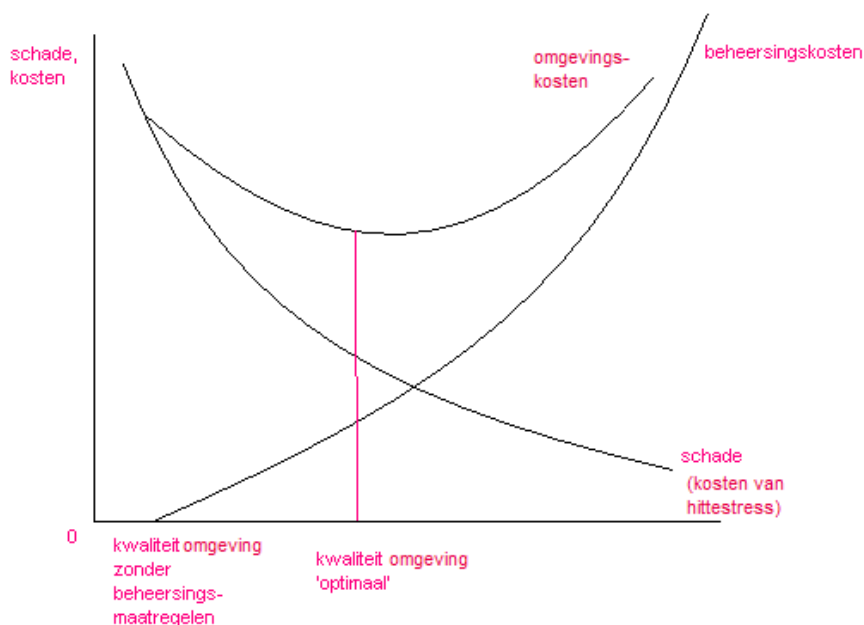
Het economisch waarderen van een maatregel is van belang om te kijken of een investering in een maatregel zich uit zal betalen. Met een maatschappelijk economische waardering wordt er naast de directe baten ook rekening gehouden met indirecte baten en de welvaart en het welzijn van de mensen. Hierbij wordt gestreefd naar een optimaal milieu.

4.1.1 Vaststellen optimaal milieu

De optimale staat van het milieu is bereikt, bij een optimale 'welvaart'. Om het hitteprobleem te introduceren gebruik ik een simplistisch model, welke duidelijk laat zien waar het 'optimaal milieu' zich bevindt (Freeman, Haveman, & Kneese, 1973), zie Figuur 7: Model freeman et al.. Dit is echter een zeer gesimplificeerde weergave van de werkelijkheid. De welvaart is maximaal bij een zodanig milieubeleid, dat de som van schade en beheersingskosten minimaal is. Om dit geschetste model daadwerkelijk uit te werken en te gebruiken is een grote hoeveelheid kennis en informatie nodig, wat te veel is voor dit onderzoek. In Figuur 8 is het model toegepast op hittestress.



Figuur 7: Model freeman et al.



Figuur 8: Model freeman et al toegepast op hitteproblematiek

Externe effecten van projecten of maatregelen en de waardering van deze externe effecten zijn, vanuit economisch perspectief, relevant wanneer ze productie- en/of bevredigingsniveaus beïnvloeden. Dit staat los van de vraag of de externe effecten tot veranderd marktgedrag leiden, of tot veranderingen in marktwaarderingen. (Opschoor, 1974)

4.2 Maatschappelijke kosten-baten analyse

De MKBA kan worden opgedeeld in twee hoofdgroepen: ex ante kosten-baten analyses en ex post analyses. De eerste duidt hierbij op het beoordelen van kosten voordat een besluit heeft plaatsgevonden en de tweede achteraf. De eerste variant heeft tot doel om beslissingen gemakkelijker te maken en de tweede om een project te evalueren. Ik richt me op de ex ante MKBA, aangezien deze als tool dient voor beslissingen, wat bij hittestressmaatregelen van toepassing is. De ex post variant vindt, volgens werknemers van Royal HaskoningDHV, maar zelden plaats. Er zijn verschillende manieren waarop kosten en baten kunnen worden gewaardeerd. Hieronder zal ik twee methoden beschrijven, namelijk de methode in het boek van Boardman en de methode van Opschoor. Daarnaast beschrijf ik de manier waarop vele adviesbureaus tot een MKBA komen.

4.2.1 Methode Boardman

Boardman, Greenberg, Vining, and Weimer (2006) beschrijven dat een kosten-baten analyse een afwegingsmethode is welke de voor- en nadelen van beleid voor alle leden van de maatschappij kwantificeert in monetaire termen. Deze methode kan worden toegepast op beleid, programma's, projecten, maatregelen, demonstraties en andere interventies van de overheid. De totale baten van een beleid worden gemeten door middel van de netto sociale baten, dit zijn de sociale baten minus de sociale kosten.

Boardman et al. (2006) hebben een zeer complete, maar soms enigszins complexe studie verricht naar kosten-baten analyses. Ze beschrijven de stappen die doorlopen moeten worden om een volledige MKBA te maken als volgt:

1. Specificeren van de Alternatieven
2. Bepaal tot welke voordelen en kosten er wordt beperkt
3. Categoriseer impacts van het alternatief en selecteer meetindicatoren.
4. Voorspel/bereken de effecten over de gehele (verwachte) levensduur van het project.
5. Monetariseren van de effecten. (kentallen/ervaringscijfers)
6. Berekenen van de contante waarde (present value), door de kosten af te trekken van de baten
7. Bereken de netto contante waarde (net present value) van alle alternatieven
8. gevoeligheidsanalyse
9. Aanbeveling

De kosten-baten analyse wordt bekritiseerd op twee vlakken. Ten eerste vinden sociale critici de fundamentele utiliteitsaannames van de kosten-baten analyse discutabel. Deze stellen namelijk dat de som van de individuele utiliteit moet worden gemaximaliseerd. Dit is slechts mogelijk door een afweging te maken tussen de winst aan utiliteit voor sommigen tegen utiliteitsverlies van anderen. Deze critici zijn niet bereid om een afweging te maken ten koste van anderen.

Ten tweede wordt de kosten-baten analyse omstreden gevonden door belanghebbenden in het publieke beleidsvorming proces. Zij kunnen het oneens zijn over praktische zaken. Dit zijn zaken als: welke impacts zullen daadwerkelijk plaatsvinden in de tijd, hoe zijn effecten accuraat te monetariseren en hoe kunnen afwegingen worden gemaakt tussen het heden en de toekomst. (Boardman et al., 2006).

Schadeposten komen vaak voor aan het einde van een gecompliceerde reeks van oorzaken, waardoor een relatieve accurate voorspelling nog niet mogelijk is. Bovendien is er vaak een kloof tussen wetenschappelijke kennis en publiek bewustzijn (Boardman et al., 2006).

Ten slotte is het belangrijk dat de manier waarop naar de kosten gekeken wordt consistent is. Volgens Boardman kan er op 2 verschillende manieren naar kosten gekeken worden: als *Guardians* en *Spenders*. Onder de eerste groep valt bijvoorbeeld het ministerie van Financiële zaken, welke het uitgavenbudget van Nederland beheert. Onder de tweede service afdelingen en dergelijke. MKBA's worden meestal uitgevoerd vanuit het spendersperspectief.

4.2.2 Methode Opschoor

Opschoor is een van de voorgangers van Boardman. Opschoor heeft in 1974 als een van de eersten een studie gedaan naar het economisch waarderen van milieuvervuiling, waarin hij de kosten en baten van milieuvervuiling zoals geluidsoverlast, economisch waardeert.

In 1974 schreef JB Opschoor zijn proefschrift over 'Economische waardering van milieuverontreiniging'. (Opschoor, 1974) Dit proefschrift werkt volgens het neo-klassieke economisch denken, dit houdt in dat een prijs voor een bepaald goed wordt gecreëerd op basis van de hoeveelheid vraag en aanbod. In dit proefschrift stelt hij de vraag aan de orde in welke mate c.q. op welke punten het neo-klassieke economische denken, in staat is een bijdrage te leveren bij de oplossing van keuzestukken van de beleidsmaker. Opschoor beperkt zich tot milieuvraagstukken, waarbij hij zich vooral richt op bepaalde vormen van milieuverontreiniging. Dit aangezien een aantal gevallen zich in theorie goed lijkt te lenen voor een economische benadering. Als definitie voor milieuverontreiniging gebruikt Opschoor 'elke door de mens veroorzaakte toevoeging van fysieke milieufactoren of de vergroting van de aanwezigheid daarvan in het huidige of toekomstig welzijn van de mens negatief beïnvloeden, hetzij direct hetzij indirect'. Hij onderscheidt twee soorten milieuverontreiniging. Bij de eerste soort is er sprake van introductie van nieuwe materialen en vormen van energie in de omgeving. Bij de tweede soort is er sprake van een

toename van materialen en vormen van energie die al in 'natuurlijke' ecosystemen voorkomen. Klimaatverandering kan worden beschouwd als milieuverontreiniging van de tweede soort: het is van nature aanwezig, maar verondersteld wordt dat een extreme verhoging hiervan negatieve effecten tot gevolg heeft.

Opschoor maakt een duidelijk onderscheid tussen het kwantificeren en monetariseren van effecten. Opschoor (1974) stelt dat economische evaluatie van externe effecten af hangt van:

- de grootte van het effect in fysieke termen.
- de methode die gebruikt wordt om tot een economische waardering te komen.

4.2.3 Overige methodes

De overheid heeft de leidraad OEI in het leven geroepen om maatschappelijke kosten-baten analyses volgens een vaste structuur uit te voeren. OEI staat voor Onderzoeksprogramma Economische effecten Infrastructuur. Dit is een variatie op de methode die Boardman ook aandraagt, uitgewerkt op een manier waarbij het toepasbaar is voor infrastructurele projecten. Deze leidraad is echter duidelijk ontworpen voor infrastructurele projecten, waardoor het ramen van hittestress binnen de leidraad erg lastig is.

Overige literatuur over maatschappelijke kosten-baten methodes zijn een variatie op de manieren beschreven in Boardman et al. (2006). Ook de maatschappelijke kosten-baten analyses uitgevoerd of ontwikkeld door adviesbureaus zijn slechts een variatie daarop.

4.3 Tussenconclusie

Ik zal me beperken tot Boardman en Opschoor, aangezien Boardman een zeer complete studie heeft verricht naar kosten-baten analyses en Opschoor de basis heeft gelegd voor het waarderen van externe effecten, zoals milieuverontreiniging. Met behulp van de methode van Opschoor, waarmee hij de basis legt voor de economische waardering van milieuverontreiniging, zal ik de effecten van hittestress in buitenklimaat economisch gaan waarderen.

In alle kosten-baten methoden is een duidelijke consensus dat er een scheiding behoort te zijn tussen het kwantificeren en het monetariseren van effecten om tot een goede maatschappelijke kosten-baten analyse te komen. Om de economische waarde te bepalen van een klimaatadaptatiemaatregel zal er dus eerst moeten worden gekeken in hoeverre deze maatregel invloed heeft op bepaalde effecten. Het is daarbij van belang om de effecten op een consistente manier te waarderen.

Bij het kwantificeren van de effecten moet de grootte van het 'probleem' hittestress worden vastgesteld. Opschoor doet dit door middel van een fysieke schadefunctie, welke in feite een modellering is van de effecten welke worden gegenereerd door hittestress bij de mens. In het volgende hoofdstuk zal ik de fysieke schadefunctie van James, Jansen, and Opschoor (1978) beschouwen en toepassen op hittestress.

5 Schade functies

Zoals al eerder beschreven stellen Opschoor & James (James et al., 1978) dat economische evaluatie van externe effecten af hangt van de grootte van het effect in fysieke termen en de methode die gebruikt wordt om tot een economische waardering te komen.

Door dit onderscheid te creëren in deze twee stappen garandeert deze een onderscheid tussen de fysieke *damage functions* en monetaire *damage functions* (James et al., 1978). Het concept 'damage function' (D-functie) wordt hier gebruikt om de relatie aan te geven tussen de mate van blootstelling aan een zekere stof of combinatie van stoffen enerzijds en de kwantitatieve uitdrukking van het effect van blootstelling anderzijds. (Opschoor, 1974)

D-functies beschrijven de onderlinge relaties tussen vooraf vastgestelde stimuli of doses en de systeem-endogene reacties. Als het effect is gemeten in monetaire eenheden dan kan de term *monetary damage function* (MD-functie) worden gebruikt. In alle andere gevallen zal er gesproken worden over 'physical damage functions' (PD-functie). Deze schadefunctie beschrijft alle ketens van samenhangen tussen vooraf bepaalde prikkels en de systeem-endogene reacties daarop.

In dit hoofdstuk zal ik een fysieke schadefunctie voor hittestress beschouwen, zodat ik deze daarna kan gaan toepassen op generieke (top-down) of specifieke (bottom-up) cases.

5.1 Fysieke schadefunctie hittestress

Een PD-functie van een fysiek effect i (in dit geval hitte) voor een individu h , zal er in dit geval uitzien als volgt:

$$PD_i^h = f_i^h(P_j^h, T_l^h, I_k^h) \quad \text{Vergelijking 1: Physical Damage function op basis van James et al. (1978)}$$

Waarbij een individu reageert op de intensiteit (j) van een bepaalde prikkel (P_j). Een voorbeeld hiervan is de intensiteit van zonlicht. Daarnaast hangt het af van de toestand en persoonlijke kenmerken van de individu (T_k) op een bepaald moment (l). Tenslotte wordt het effect van andere inputvariabelen (I_l) ook meegenomen.

Personen die in dezelfde omgeving verkeren op een bepaald moment zullen dus geen verschillende factor P_j hebben, maar wel een verschillende T_l .

Opschoor (1974) geeft aan dat bij een bepaalde waarde P_j waar meer dan één individu aan wordt blootgesteld geldt:

$$PD_i^h = f^h(P_j, T_l^h, I_l^h)$$

Deze functie zal, bij een grote bevolkingsgroep, een scala aan individuele reacties PD_i^h oproepen. Deze zal waarschijnlijk onder een bepaalde statistische verdeling vallen. Zo kan men in het geval van hinder door hitte een indruk krijgen van de totale geleden fysieke 'schade'.

Een complete toepassing van de schadefunctie vereist de volledige beschikbaarheid van een evaluatie van de schade, waarbij alle individuen moeten worden meegenomen; nu en van toekomstige generaties (Opschoor, 1974).

Het is vrijwel onmogelijk om deze PD-functie volledig uit te werken, gezien de enorme hoeveelheid informatie die hiervoor benodigd is. Als dit voor een heel land zou worden uitgevoerd, krijg je zowel te maken met informatie-imperfectie als de enorme populatiegrootte en verschillende omstandigheden. Het is echter wel belangrijk om deze formule in acht te nemen, want zelfs als een individu als een volledige blackbox wordt beschouwd, zijn er gegevens beschikbaar of verwerfbaar, waarmee relaties kunnen worden vastgesteld. Toch zou een versimpelde versie een hoop inzage kunnen geven in de hinder die ondervonden wordt door hittestress. Deze gegevens zouden kunnen

worden verkregen door casestudies uit te voeren. Hierdoor zou de schadefunctie beter benaderd kunnen worden.

5.2 Toepassing hittestress

Hieronder beschrijf ik welke aspecten kunnen worden meegenomen bij de opstelling van een schadefunctie. Dit zal worden gedaan per term van de formule 1.

5.2.1 Term P_j

De eerste term van de schadefunctie is de intensiteit van de prikkel. Als maat voor de blootstelling aan hitte wordt vaak de absolute temperatuur genomen, aangezien deze 'gemakkelijk' is vast te stellen en dit 'harde cijfers zijn' en dus geen benadering. Er zijn in het verleden studies gedaan waarin de relatie tussen temperatuur en het sterftecijfer werd aangetoond. Huynen, Martens, Schram, Weijenberg, and Kunst (2001) hebben deze studie uitgevoerd met betrekking tot de Nederlandse bevolking. Echter geven zij aan dat dit in principe alleen opgaat voor de zwakkeren in de samenleving, wiens gezondheid reeds aangetast is en waarschijnlijk anders ook zouden sterven op de korte termijn (*early harvesting*). Hiermee verklaren ze ook de tijdelijke daling in sterftecijfers vlak na een hittegolf.

Gezien deze relatie zou er een verband kunnen zijn tussen enerzijds de hoogte van de temperatuur en anderzijds de blootstellingduur. Deze relatie is vaker aangetoond bij milieuverontreiniging: dat een organisme een bepaald effect vertoont bij hoge temperatuur gedurende korte periode, is bekend. Echter zijn er vaak meerdere invloeden tegelijkertijd op het organisme en is dit verband niet onomstotelijk aangetoond of ook bij mensen aangetoond.

Bovendien zou het mogelijk zijn dat gegeven een bepaalde herstelduur van een organisme ook de verdeling van piekwaarden over een bepaalde periode van belang kan zijn. Zo blijkt uit de gegevens van de artsbezoeken in Rotterdam 2006, dat er meer hittegerelateerde artsbezoeken waren in het tweede deel van de hittegolf. Natuurlijk kan dit ook door andere factoren zijn veroorzaakt dan de herstelduur, hier moet nog meer onderzoek naar worden gedaan.

De invulling van P_j blijkt dus erg ingewikkeld, mede door de onzekerheid ten aanzien van de mate waarin klimaatparameters hittestress effecten bij mensen veroorzaken. Daardoor is een eenduidige kwantificering van de relatie tussen relevante milieu-indicatoren voor soorten effecten, zoals het ziek worden door hitte (nog) niet mogelijk.

5.2.2 Term T_i

De tweede term in de schadeformule is de term T_i . Deze geeft de toestand en de persoonlijke kenmerken aan van een individu op een bepaald moment (I).

Een belangrijk kenmerk is de lichaamstemperatuur van het individu. Er zijn meerdere factoren van invloed op het ervaren van hinder gerelateerd aan het thermoregulerende systeem van de mens. Een van deze factoren is een te hoge lucht temperatuur, welke stress kan veroorzaken op het thermoregulerende systeem van de mens.

Luchttemperatuur op zichzelf is zelden de oorzaak van hittestress: het is slechts één en zelden de meest belangrijke van verschillende factoren die samen de 'hittestress' veroorzaken. Daarom richt ik mij op een aantal modellen die de gevoelstemperatuur berekenen en daardoor meerdere factoren meenemen.

De belangrijkste voorwaarde voor het normaal functioneren van het menselijk lichaam is dat de interne lichaamstemperatuur moet worden gehandhaafd in een beperkte bandbreedte van ongeveer $\pm 1^\circ\text{C}$ rond de acceptabele lichaamstemperatuur in rust van 37°C .

Om de lichaamstemperatuur in evenwicht te houden vindt er een continue uitwisseling plaats van warmte tussen het lichaam en de omgeving. De hoeveelheid warmte welke uitgewisseld kan worden, wordt volgens de tweede basisregel van de thermodynamica (waarbij een gesloten systeem constant is) beschreven met onderstaande warmtebalans:

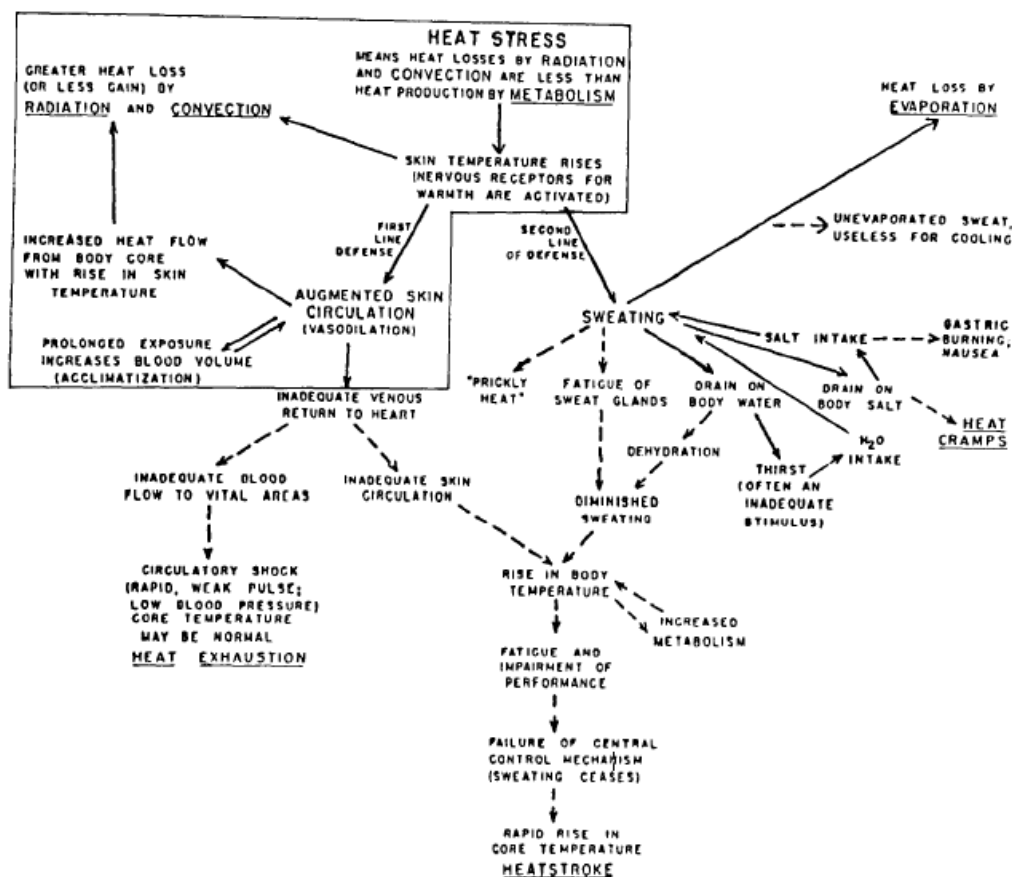
$$\Delta Q = M - W \pm R \pm C - E \quad (\text{Stellman, 1998})$$

Waarbij:

- ΔQ = de verandering van lichaamswarmte
- M = de netto warmteproductie door de stofwisseling
- W = de energie geassocieerd met externe arbeid.
- R = warmte uitwisseling door middel van straling
- C = warmte uitwisseling door middel van convectie
- E = verdampingswarmte

In een staat van thermische balans nadert ΔQ nul. Deze staat wordt tevens thermisch comfort genoemd. Warmtetoeename wordt dan in evenwicht gehouden door warmteafname: er wordt geen warmte opgeslagen en de lichaamstemperatuur blijft gelijk.

Thermisch discomfort wordt geassocieerd met het warmteregelende beschermingssysteem. Wanneer het lichaam niet het zweetmechanisme in hoeft te schakelen zijn $S=0$ en $E=0$ en is het lichaam in fysiek thermisch comfort ($M-W = R+C$). Tijdens een ernstige blootstelling aan warmte, kan de hitte worden opgeslagen in het lichaam en leidt tot: $M - W \pm R \pm C > E$. Wat kan leiden tot ernstige gevolgen. (Stellman, 1998) zie in detail Figuur 9: Diagram van hittestress. Indien het thermoregulerende systeem werkzaam is binnen het frame is er sprake van thermisch comfort.



Figuur 9: Diagram van hittestress.

Uit de warmtebalans beschreven in Stellan (1998) blijkt dat verschillende factoren invloed hebben op de temperatuur van ons lichaam. In de schadefunctie moet aandacht worden besteedt aan al deze factoren, enkel de luchttemperatuur meenemen is daarin niet altijd toerikend.

5.2.3 Term I_k

In de derde term uit de schadefunctie kunnen andere, overige input variabelen worden meegenomen.

Een van deze input variabelen is de omgeving. Hittestress kan ontstaan wanneer de omgeving van een persoon (luchttemperatuur, straling, luchtvochtigheid en luchtsnelheid), kleding en lichamelijke activiteit die de lichaamstemperatuur kunnen doen stijgen.

5.2.4 Term PD

Ten slotte de uitkomsten van de vergelijking: PD. Aan deze zijde komen termen voor die het fysieke effect van hittestress weergeven. Dit kan worden uitgedrukt in bijvoorbeeld mortaliteitscijfers, sterftekans, productiviteit, gezondheidsklachten, etc. En daarmee worden gebruikt in de bepaling van de effectiviteit van maatregelen en het verminderen van de effecten van hittestress.

5.3 Tussenconclusie

Met een schadefunctie kan de kwantitatieve 'schade' op een persoon worden vastgesteld. Met een dergelijke functie wordt de schade gemodelleerd waarna er een waarde uit kan komen welke meer inzicht geeft in de hinder die wordt ondervonden door hittestress.

Hiervoor is volledige informatie van alle factoren bij alle individuen vereist. Voor vele gevallen is het namelijk zeer aannemelijk dat eenzelfde blootstelling bij het ene individu tot een andere intensiteit van het effect kan leiden dan bij een ander individu.

Het zou kunnen dat een 'gevoelstemperatuurmodel' zoals beschreven in paragraaf 3.3 toereikend is als indicator voor schade, hier zou nader onderzoek naar moeten worden gedaan. Alleen luchttemperatuur als factor meenemen lijkt niet toerikend te zijn.

In een MKBA wordt een tweedeling gemaakt in het waarden van effecten. De eerste daarin is het kwantificeren van de effecten. De schadefunctie berekent de fysieke schade en zou daarmee onderdeel kunnen zijn van de kwantificering in een MKBA. Het tweede deel bestaat uit een monetaire schadefunctie. In vervolg onderzoek zal er gekeken moeten worden of ook een monetaire schadefunctie kan worden gebruikt in het monetariseren van de effecten van hittestress.

In de volgende hoofdstukken zal ik dus eerst de effecten gaan beschrijven, om deze vervolgens te kwantificeren en te monetariseren, zodat een MKBA mogelijk is. Hiervoor kies ik twee benaderingen: top-down en bottom-up. In de top-down benadering gaat het om de effecten die voortkomen uit hittestress. Deze bekijk ik vanuit twee verbanden, enerzijds gebruik ik een causale relatie diagram en anderzijds een schadefunctie van individuen. Hierbij wordt tegemoet gekomen op de kritiek van de utiliteitsaannames van een MKBA. Bij de bottom-up benadering gaat het om de effecten in een bepaalde casestudy waarbij een maatregel is geïmplementeerd.

6 Top-Down benadering

Om een maatregel met betrekking tot het verminderen van hittestress te kunnen waarderen is het van belang om te weten te komen welke effecten van hittestress daarmee worden verminderd. Deze effecten kunnen daarna economisch worden gewaardeerd.

Het is dus van belang om de consequenties van hittestress in kaart te brengen, zodat er bekend is welke effecten worden gereduceerd bij het implementeren van een maatregel. Dit kan gedaan worden door een zogenaamde top-down benadering, waarbij wordt 'teruggedeneerd' vanaf de stressfactor: in dit geval hittestress.

6.1 Consequenties van hittestress

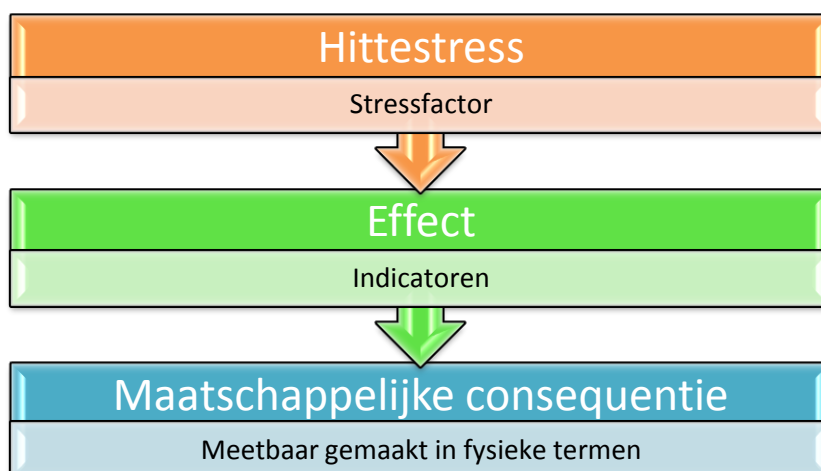
In de encyclopedie van 'Occupational Health and Safety' (Stellman, 1998) staat beschreven dat er bij hittestress, tijdens arbeid, zes categorieën te onderscheiden zijn, welke aanduiden op een toenemende mate van hittestress. Deze categorieën zijn:

- Discomfort
- Inefficiënte arbeid
- Continue arbeid zonder lichamelijk risico
- Continue arbeid voor een bepaalde duur
- Hitte-inzinking (heat collapse).
- Pijnlijke blootstelling

Deze zes aspecten hebben betrekking op arbeid. In het buitenklimaat zal hittestress voornamelijk worden ervaren door discomfort. Hoewel er waarschijnlijk andere aspecten zijn die ook van toepassing zijn op hittestress in het buitenklimaat, houd ik discomfort aan als leidraad.

6.2 Causale keten van hittestress

Een adequate causale keten is wellicht de belangrijkste factor in het economisch waarderen van hittestress, aangezien zonder deze basis een berekening snel op aannames gebaseerd kan zijn. Bij een causale keten draait het om het effect (de indicatoren/stressfactoren) welke een maatschappelijke invloed heeft (bijvoorbeeld onderbreking van bezigheden) welke een bepaalde klacht oplevert (invloed van psychosociale, politieke en economische factoren) welke gewaardeerd kan worden door de receptor (de mens). Dit is een evaluatiemethode van 'boven-af'. Een dergelijke causale keten is weergegeven in Figuur 10.



Figuur 10: Causale keten van hittestress.

Waarna tenslotte de maatschappelijke consequentie, welke meetbaar is gemaakt in fysieke termen, kan worden gewaardeerd.

6.3 Enkele toepassingen causale ketens op hittestress

Hieronder beschrijf ik twee voorbeelden van een causale keten van hittestress. Aangezien er nog nauwelijks onderzoek is gedaan naar de effecten van hittestress op mensen in het buitenklimaat.

Mogelijk kunnen de effecten van studies naar hittestress in een binnenklimaat gebruikt worden voor het bepalen van de effecten van hittestress in het buitenklimaat. Dit is alleen niet meegenomen in dit onderzoek.

6.3.1 Voorbeeld 1. Gezondheid



6.3.2 Voorbeeld 2. Evenement

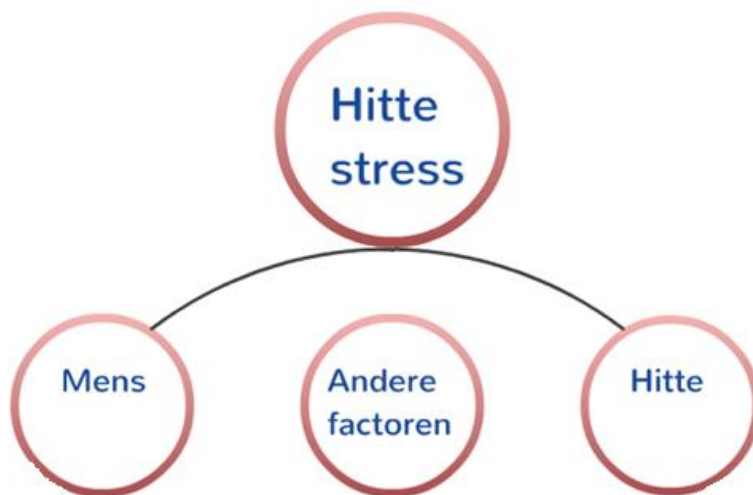


6.4 Kwantificering van de effecten

De fysieke schadefunctie (James et al., 1978) zal, bij een grote bevolkingsgroep, een scala aan individuele reacties PD_i^h oproepen. Deze zal waarschijnlijk onder een bepaalde statistische verdeling vallen. Door deze gegevens te combineren met de frequentie van de klimaatfactoren die hittestress veroorzaken, kan men in het geval van hinder door hittestress een indruk krijgen van de totale geleden fysieke 'schade'. Indien deze schade economisch kan worden gewaardeerd, wordt er een beeld verkregen van de totaal geleden monetaire schade.

6.4.1 Fysieke schadefunctie

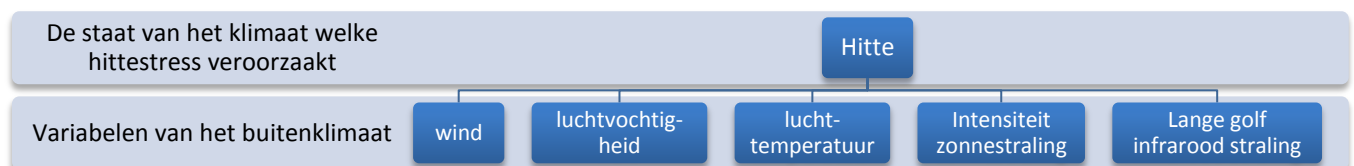
De schadefunctie kan in dit geval zo worden toegepast op discomfort. Als intensiteit van de prikkel kan een benadering worden genomen van de gevoelstemperatuur en als omgevingsfactor de 'staat' van de persoon. De gegevens van de 'mens' worden gecombineerd met de gegevens van het klimaat, dit levert hittestress op. Hittestress is een combinatie van eigenschappen van de mens en de 'hitte' van het klimaat. Een economische waardering van hittestress kan door het combineren van de frequentie van hittestress en het deel van de bevolking wat er last van heeft.



Figuur 11: hittestress ontstaat uit een combinatie van factoren.

6.4.1.1 Hitte

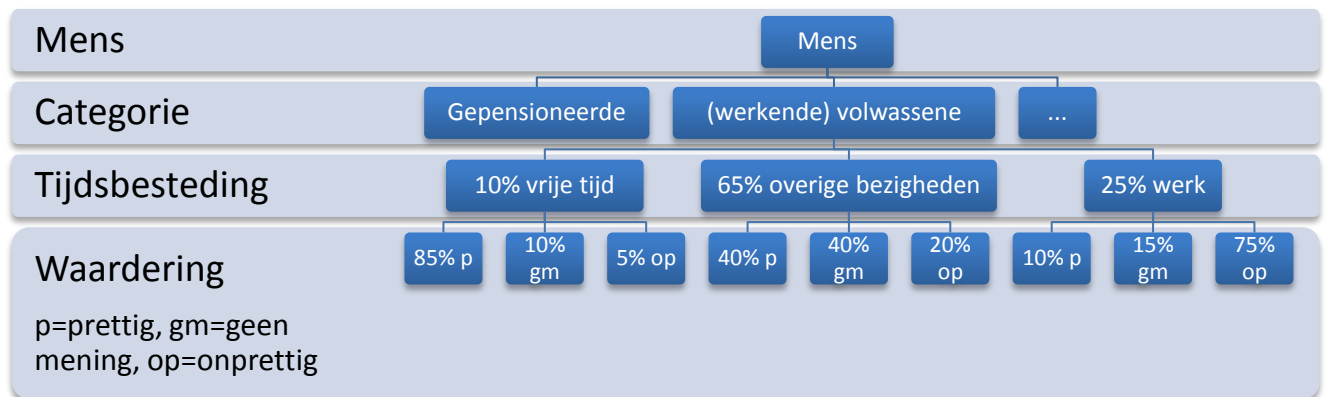
Voor het vaststellen van de mate van hittestress is de frequentie nodig hoe vaak deze voorkomt enerzijds en de mens en de factoren anderzijds. Hitte kan worden gesteld als een staat van het klimaat waarbij een persoon last krijgt van hittestress. Deze staat van het klimaat hangt af van een combinatie van verschillende factoren zoals te zien in Figuur 12, deze factoren zijn beschreven door Matzarakis and de Freitas (2001)



Figuur 12: factoren welke hittestress kunnen veroorzaken.

6.4.1.2 Mens

Uit verder onderzoek naar de beleving van personen van de hittestress, zou kunnen blijken dat de mens grofweg in verschillende categorieën worden ingedeeld. Onderstaand Figuur 13 geeft een voorbeeld van hoe een dergelijke verdeling er uit zou kunnen zien. Deze gegevens dienen tot voorbeeld. Voor het verkrijgen van deze gegevens is verder onderzoek nodig.



Figuur 13: De beleving van hittestress bij verschillende personen

6.4.2 Economische schadefunctie

Afgaande van bovenstaande gestelde gegevens zou een economische waardering van de geleden schade door hittestress er als volgt kunnen uitzien:

Stel: alle werkende volwassenen, die werken en hittestress als onplezierig ervaren, lijden daadwerkelijk onder concentratieverlies door hittestress. Dit concentratieverlies leidt tot een productiviteitsverlies van 20%. Is de economische schadefunctie gelijk aan de frequentie van het vóórkomen van de klimaatfactoren welke leiden tot hittestress, maal het deel daarvan wat ingevuld wordt door arbeid, maal het deel van de personen die hittestress als onprettig ervaart maal 0,80 van de productiviteit.

6.5 Tussenconclusie

Dit hoofdstuk geeft een aantal voorbeelden van effecten van hittestress bij mensen in het buitenklimaat. Causale relaties bieden een goede ingang om de effecten van hittestress in beeld te brengen. Maar lang niet alle effecten zijn reeds in kaart gebracht. Hiervoor is er meer onderzoek nodig.

Daarna wordt er een voorbeeld van een kwantificering gegeven met behulp van een fysieke en monetaire schadefunctie. Hoewel deze functie is gebaseerd op aannames, geeft het een duidelijke indicatie welke gegevens er nog verworven moeten worden om een dergelijke waardering sluitend te krijgen. Een dergelijk model is een generiek model van de schade. Om een dergelijk model toe te kunnen passen zijn er casestudies nodig, waarbij vanuit een bepaalde situatie wordt gekeken naar het hittestress probleem. Dit wordt de bottom-up benadering genoemd. Deze aanpak zal geïllustreerd worden in het volgende hoofdstuk.

7 Bottom-up benadering

Bij deze bottom-up benadering van het hittestressprobleem worden de effecten met betrekking tot hittestress bekeken vanuit een specifieke situatie: een casestudy. Onderstaand wordt een stadsboom beschouwd, aangezien uit verschillende gesprekken met betrokkenen bleek dat groen momenteel een van de meest toegepaste maatregelen in Nederland tegen hittestress is, maar er is weinig bekend over de baten van deze maatregel met betrekking tot hittestress.

7.1 Waardering stadsboom

In deze kosten-baten raming zal ik het nul alternatief (geen boom, maar bestrating) afwegen tegen een stadsboom. Als eerste rijst natuurlijk de vraag: helpt een stadsboom überhaupt tegen hittestress? Daarvoor zal ik de verschillende factoren die van invloed zijn op hittestress beschouwen met betrekking tot de boom. Hieronder beschouw ik verschillende meteorologische variabelen.

7.1.1 Luchttemperatuur

Uit de data van een nog niet gepubliceerd onderzoek van de University of Manchester, *a comparison of the growth and cooling effectiveness of five commonly planted urban tree species*, (Ennos, 2012) blijkt uit metingen dat er geen significant verschil is tussen de luchttemperatuur in de schaduw van een boom en de luchttemperatuur naast de boom. Hoewel er ook studies zijn die een minimale afname van de luchttemperatuur in de schaduw beweren, komt hier geen significante relatie uit naar voren. Ik neem aan dat deze factor niet veel invloed heeft en laat deze factor in het vervolg dan ook buiten beschouwing.

7.1.2 Luchtvochtigheid en 'wet bulb temperature'

Een stadsboom verandert niets aan de algehele luchtvochtigheid. (*Trees, people and the built enviroment.*, 2011) Wel is bekend dat als de temperatuur hoog is, maar de luchtvochtigheid relatief laag, dat er dan vocht uit de boom verdampt. Dit kan zorgen voor een minimale luchttemperatuurverlaging (want de waterdamp onttrekt de warmte uit de lucht) en een minimale verhoging van de luchtvochtigheid, maar omdat dit proces zich grotendeels voltrekt boven de boom, heeft dit geen uitwerking op hittestress die mensen ervaren op een hoogte van 1.50 meter boven de grond.

7.1.3 Wind

Een boom blokkeert de wind, tenzij deze in een laan geplaatst staat en de wind recht de laan in stroomt. Deze factor zal dus geen positieve uitwerking, en wellicht zelfs een negatieve uitwerking, op de afkoeling van mensen hebben.

7.1.4 Mean radiant temperature, globe temperature en zonnekracht.

De mean radiant temperature, globe temperature en zonnekracht zullen afnemen op de plaats van de stadsboom. Dit effect wordt versterkt naarmate het bladerdak een grotere dichtheid bereikt, aangezien er dan meer schaduw is.

7.2 Baten en kosten stadsbomen

De meeste baten zullen dus worden behaald doordat een boom de zonnestraling blokkeert. De vraag is wat mensen er voorover hebben om onder een boom te kunnen staan op (bijvoorbeeld) een druk plein waar veel mensen staan te wachten (bushalte), of tijdens hun pauzewandeling.

Deze gegevens kunnen worden verkregen door een schadefunctie toe te spitsen op een specifieke situatie.

Het planten van een stadsboom is geen structurele oplossing voor het voorkomen van het UHI effect.

7.3 Tussenconclusie

Om een benadering te geven van het hitteprobleem vanaf een specifieke situatie, zullen er gegevens moeten worden verworven welke een beeld geven van de grootte van de hitteproblematiek zoals in hoofdstuk 6 beschreven. Hierna kan een evaluatie worden gedaan op basis van deze gegevens.

Aangezien deze gegevens niet beschikbaar zijn en hierboven slechts beschouwend beschreven staan, beveel ik aan om hier vervolg onderzoek naar te doen. Daarna kan een dergelijke maatregel worden geëvalueerd en worden nagegaan in hoeverre deze past op de theorie toegepast in de top-down benadering.

8 Conclusie

Hoe kunnen de effecten verbonden aan menselijke hittestress economisch worden gekwantificeerd in een MKBA?

Causale ketens geven een duidelijke weergave van de effecten welke kunnen ontstaan door hittestress. De gevolgen van hittestress, zoals discomfort of lichamelijke klachten, zullen op lokaal niveau moeten worden beoordeeld en economisch gewaardeerd. Dit aangezien er op lokaal niveau sprake is van een kleine populatie en minder factoren dan op landelijk niveau. Als de effectiviteit van een bepaalde maatregel is bepaald door een casestudy, kunnen de maatschappelijke baten worden vastgesteld van een dergelijke maatregel.

Indien dit is vastgesteld kan een maatregel worden opgeschaald naar andere plaatsen in Nederland waar vrijwel gelijke condities gelden.

Veel hittemaatregelen zijn momenteel slechts gericht op het verlagen van de luchttemperatuur van 'probleemgebieden' zoals hitte-eilanden in de stad, terwijl de luchttemperatuur alleen zelden de oorzaak is van hittegerelateerde gezondheidsklachten of hittestress. Hittestress ontstaat doordat het lichaam zijn warmte niet kwijt kan door straling of convectie, waardoor het andere thermoregulerende mechanismen in werk moet zetten om het lichaam op de juiste temperatuur te houden.

Factoren welke hittestress veroorzaken zijn onder te verdelen in verschillende factoren. Generieke factoren zijn goed te meten. Hieronder vallen onder andere luchttemperatuur, luchtdruk, windsnelheid, de intensiteit van de zonnestraling etc. Deze factoren zullen in verschillende combinaties een verschillende uitwerking hebben op verschillende personen. Ieder mens reageert anders op een combinatie van deze factoren. Vervolgens zijn er factoren welke fluctueren, zoals het metabolisme van de mens, deze kunnen worden benaderd. Tenslotte hebben we te maken met intersubjectieve factoren, zoals psychologische factoren, deze zijn moeilijk te observeren.

9 Aanbevelingen

Deze studie is een eerste indicatie hoede effecten van hittestress bij mensen economisch kan worden geraamd. Om dit daadwerkelijk te kunnen toepassen zijn er vervolgstudies nodig. Vooral de fysieke schadefunctie is een belangrijke 'tool' om dit in kaart te brengen. Deze modellering van de schadefuncties zouden interessant kunnen zijn voor preventiemaatregelen voor burgers, zoals het hitteplan van het ministerie van VWS of de factsheet van de GGD.

Een dergelijke studie zou wellicht ook interessant zijn voor landen met een warmer klimaat dan wij, zoals landen in het midden-oosten of rond de evenaar.

Het in kaart brengen van hittestress in het buitenklimaat heeft waarschijnlijk de meeste waarde voor evenementen of plaatsen waar mensen niet weg kunnen of weg willen, zoals een voetbalwedstrijd in een open stadion.

Bij het uitvoeren van een MKBA zou er gekeken moeten worden naar de discussie rondom de utiliteitsaannames van de MKBA en hoe verschillende belanghebbenden effecten waarderen, zoals uitgelegd in hoofdstuk 4.

Ik heb alleen gekeken naar de waardering van hittestress met gevoelstemperatuurmodellen die gebruik maken van externe factoren, welke door herstructurering eventueel aan te passen zijn. Echter is het wellicht efficiënter om in plaats van klimaatadaptatiemaatregelen op het gebied van hitte, spotjes op televisie of de radio uit te zenden om mensen bewust te maken van de gevaren van hitte, zodat de uitwerkingen beperkt blijven.

In plaats van het uitvoeren van een maatschappelijke kosten-baten analyse, zou ook gekozen kunnen worden voor een andere manier van het beoordelen van de baten van een klimaatadaptatiemaatregel. Zo zou er een multicriteria-analyse kunnen worden uitgevoerd waarmee de meest optimale klimaatadaptatiemaatregelen op het gebied van hitte met elkaar vergeleken kunnen worden. Deze analyse kan zo worden toegespitst dat de maatregelen per locatie en omgeving kunnen worden beoordeeld.

Een andere manier om klimaatadaptatiemaatregelen te kunnen beoordelen en vergelijken is met behulp van een kosten-effecten analyse. Een dergelijke analyse heeft tot doel een gegeven doelstelling te bereiken met minimale kosten. Zo kunnen er, met een bepaald beschikbaar budget, zo veel mogelijk baten worden gegenereerd op het gebied van hitte.

Indien er nu geïnvesteerd wordt in klimaatadaptatiemaatregelen met betrekking tot hitte, dan kunnen deze over een paar jaar worden geëvalueerd door experts en de eindgebruikers, zodat er een betere klimaatadaptatiemaatregel kan worden ontwikkeld.

10 Literatuurlijst

- Agency, E. E. (2012). Urban adaptation to climate change in Europe. Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies. Copenhagen: European Environment Agency.
- Boardman, A. E., Greenberg, D. H., Vining, A. R., & Weimer, D. L. (2006). *Cost-Benefit Analysis, Concepts and Practice*.
- Ennos, R. (2012). *A comparison of the growth and cooling effectiveness of five commonly planted urban tree species*.
- Epstein, Y., & Moran, D. S. (2006). Thermal Comfort and the Heat Stress Indices. [Review Article]. *Industrial Health*, 44(388-398).
- Freeman, A. M., Haveman, R. H., & Kneese, A. V. (1973). *The Economics of Environmental Policy*. New York: John Wiley.
- Groot, A. D. d. (1994). Methodologie. Grondslagen van onderzoek en denken in de gedragswetenschappen. Retrieved from http://www.dbnl.org/tekst/groo004meth01_01/groo004meth01_01.pdf
- Huynen, M. M. T. E., Martens, P., Schram, D., Weijenberg, M. P., & Kunst, A. E. (2001). The Impact of Heat Waves and Cold Spells on Mortality Rates in the Dutch Population. *Environmental Health Perspectives*, 109(5).
- James, D. E., Jansen, H. M. A., & Opschoor, J. B. (1978). *Economic Approaches to Environmental Problems* (Vol. 3). Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Klein Tank, A. M. G., & Lenderink, G. (2009). Klimaatverandering in Nederland; Aanvulling op de KNMI'06 scenario's., 34. Retrieved from <http://www.knmi.nl/klimaatscenario's/documents/brochure09.pdf>
- Maatregelenmatrix. (2009). Retrieved from <https://deltaprogramma.pleio.nl/file/download/3954162>
- Matzarakis, A., & de Freitas, C. R. (2001, 5 -10 October 2001). *Proceedings of the First International Workshop on Climate, Tourism and Recreation.*, Porto Carras, Neos Marmaras, Halkidiki, Greece.
- Monteiro, L. M., & Alucci, M. P. (2006). *Outdoor thermal comfort: comparison of results of empirical field research and predictive models simulation*. Paper presented at the Comfort and energy use in buildings: getting it right. , Cumberland Lodge. Windsor Great Park.
- Opschoor, J. B. (1974). *Economische waardering van milieuverontreiniging*. Amsterdam/Assen: Van Gorcum.
- Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., Van der Linden, P. J., & Hanson, C. E. (2007). Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. In I. p. o. c. change (Ed.), *Climate Change 2007*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Shapiro, Y., & Epstein, Y. (1984). Environmental Physiology and Indoor Climate - Thermoregulation and Thermal Comfort. *Energy and Buildings*, 7(29-34).
- Steenefeld, G. J., Koopmans, S., Heusinkveld, B. G., Hove, L. W. A. v., & Holtslag, A. A. M. (2011). Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in the Netherlands. *Journal of Geophysical Research*, VOL. 116(D20129).
- Stellman, J. M. (1998). *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*: International Labour Organization.
- Tol, R. S. J. (2003). Is the Uncertainty about Climate Change too Large for Expected Cost-Benefit Analysis? *Climatic Change*, 56(3), 265-289. doi: 10.1023/a:1021753906949
- Trees, people and the built environment*. (2011, 13-14 April 2011). Paper presented at the Urban Trees Research Conference The Clarendon Suites, Edgbaston, Birmingham, UK.

Van den Hurk, B., Klein Tank, A., Lenderink, G., Van Ulden, A., Van Oldenborgh, G. J., Katsman, C., . . . Drijfhout, S. (2006). KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. 82. Retrieved from <http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/knmi06/WR23mei2006.pdf>