

MASTER

Het individu leidend

een omgekeerde benadering van het thermisch comfort ten behoeve van de gebruiker

Noom, P.

Award date:
2008

[Link to publication](#)

Disclaimer

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain

ARR
2009
BWK

4377

**Het individu leidend;
in omgekeerde benadering van het thermisch
comfort ten behoeve van de gebruiker**

**Afstudeerrapport
ing. P. Noom**

**Technische Universiteit Eindhoven
Building Services**

Afstudeercommissie:
prof. ir. W. Zeiler (TU/e)
ir. ing. G. Boxem (TU/e)
ir. J.F.B.C. Haan (Kropman)

A large, stylized handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke at the end.

Datum: maart '08

Voorwoord

Dit rapport is geschreven naar aanleiding van mijn afstudeeronderzoek aan de opleiding Building Services aan de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e). Het onderzoek is uitgevoerd bij Kropman Installatietechniek in Utrecht gedurende 13 maanden, gestart begin februari 2007 tot en met eind februari 2008.

Het rapport beschrijft mijn onderzoek naar het comfort in kantoorgebouwen waarbij één gebouw diende als onderzoeksobject. Hierbij kreeg ik de volledige vrijheid elke willekeurige test uit te voeren met betrekking tot de klimaatinstallatie en het binnenklimaat van het gebouw. Bij dezen wil ik dan ook de firma Kropman bedanken voor hun gastvrijheid en vertrouwen op dit punt.

Gedurende mijn afstudeerperiode ben ik begeleid door afstudeercommissie die bestaat uit prof. ir. W. Zeiler en ir. ing. G. Boxem vanuit de Technische Universiteit Eindhoven en door ir. J.F.B.C. Haan vanuit Kropman. Ik wil hun bedanken voor hun hulp en begeleiding bij mijn afstudeeronderzoek.

Tevens wil ik zowel de medewerkers van het laboratorium van de unit BPS (TU/e) bedanken, voor het ter beschikking stellen van de benodigde apparatuur, alswel de werknemers van Kropman, voor de tijd en behulpzaamheid bij het meerdere malen beoordelen van het binnenklimaat aan de hand van een enquête, bedanken voor hun medewerking aan mijn onderzoek.

Tot slot niet te vergeten wil ik mijn ouders die mij het mogelijk hebben gemaakt dat ik deze studie kon beginnen en voltooien, mijn schoonouders en vriendin, Ilona van Vliet bedanken voor alle ondersteuning.

Paul Noom

Persoonlijke gegevens:

Naam: Paul Noom
Adres: Militaireweg 159
Plaats: Krommenie
Email: p.noom@student.tue.nl
Id. nr: 0577056

Samenvatting

Het afstudeeronderzoek beschreven in dit rapport komt voort uit de wens om de actuele- en toekomstige vraag en behoefte van een gebruiker te kunnen voorspellen. Door deze voorspelling kan een goed comfort aangeboden worden hetgeen leidt tot een minimaal productiviteitsverlies. Tevens kan door de vooruitziende blik de energiebehoefte beter voorspeld worden waardoor een hoger rendement haalbaar is.

De productiviteit van een werknemer staat in direct verband met zijn comfortbeleving. Het comfort is afhankelijk van een tweetal factoren; holistisch en de deterministisch. Op de holistische factoren kan "geen invloed" uitgeoefend worden, te weten gemoedstoestand, omgeving en collega's. Op de deterministische factoren kan wel invloed uitgeoefend worden, zoals luchttemperatuur, luchtsnelheid en relatieve vochtigheid. In dit rapport wordt met deze grootheden, het metabolisme en de kledingweerstand het thermisch comfort bepaald aan de hand van de theorie van Fanger.

Met de methode van Fanger kan de PMV (Predicted Mean Vote) bepaald worden die in verband staat met het aantal ontevreden mensen door invloed van het binnenklimaat. De eisen van de gebruiker aan het binnenklimaat zijn afhankelijk van de verwachting van het thermisch comfort in het gebouw. De verwachtingen van een gebouw met een volledig beheersbaar binnenklimaat, HVAC installatie, zijn groter dan bij een gebouw zonder HVAC installatie. Hierdoor worden er bij het ontwerp van een kantoorgebouw met een HVAC installatie strengere eisen gesteld aan het binnenklimaat. Dit resulteert in een kleinere bandbreedte van het binnenklimaat door de kleinere thermische sensatie van de gebruikers.

Het gewenste binnenklimaat is afhankelijk van het buitenklimaat. Gebruikers passen hun kleding aan de buitensituatie aan, wat leidt tot een ander gewenst binnenklimaat door de aanpassing van kleding. Deze aanpassing heeft een positief effect op het energieverbruik van de klimaatinstallatie. In de zomerperiode kunnen er hogere, en in de winter lagere binnentemperaturen aangeboden worden waarbij het comfortniveau behouden blijft.

In het kantoorgebouw van Kropman te Utrecht zijn een aantal metingen gedaan, aan de hand van de NEN-EN-ISO 7726, om het thermisch comfort in het kantoorgebouw te bepalen. Tevens is er tweemaal onder de werknemers een enquête gehouden om hun beleving t.a.v. het thermisch comfort te meten. De meetgegevens en de enquêtes zijn gebruikt om een aantal aanpassingen te doen aan de klimaatinstallatie, om zodoende een beter thermisch comfort te realiseren tegen een lager energieverbruik.

Om iedere gebruiker een goed thermisch comfort aan te kunnen bieden dienen er mogelijkheden te zijn om het binnenklimaat individueel aan te passen aan de wensen van de gebruiker. Met behulp van de ontwerpmethod, methodisch ontwerpen, zijn er 10 concepten ontwikkeld, die de mogelijkheid geven het gewenste binnenklimaat te creëren voor de gebruiker. Het ontwerp met de grootste potentie is dieper uitgewerkt tot een toepasbaar concept.

Summary

The research described in this report arise from the wish to be able to predict the current and future question and need of the user. With this forecast a good comfort can be offered which leads to a minimum of productivity loss. Also by looking ahead the energy need can be improved as a result of prediction which lead to a higher output.

The productivity of an employee stands in direct relation with his or here comfort perception. Comfort depends on two factors; holistic and deterministic.

The holistic factors can't be influenced, such as mental state, surroundings and colleagues. The deterministic factors however can be influenced, such as air temperature, air speed and relative humidity. In this report these quantities in combination with metabolism and the clothing capacitance result in the thermal comfort on the basis of the theory of Fanger.

With the method of Fanger the PMV (Predicted Mean Vote) can be determined. This stands in direct relation with the number of dissatisfied people in an office building because of the indoor climate. The requirement of the user concerning the indoor climate depends on the expectation on the thermal comfort in the office building. The expectations of a building with a complete manageable indoor climate, a HVAC installation, are higher than in a building without a HVAC installation. Because of this an office building with HVAC installation has stricter requirements concerning the indoor climate. This results in a smaller band width of the indoor climate because of the thermal sensation of the employees.

The desired indoor climate depends on the outdoor climate. Users adapt their clothing to the outdoor situation which leads to a different desired indoor climate because of the adaptation of clothing. This adaptation has a positive impact on the energy usage of the HVAC installation. In the summer period you can offer a higher and in the winter a lower indoor temperature while the comfort level remains preserved.

In the office building of Kropman in Utrecht a number of measurements are done, by means of NEN-EN-ISO 7726, to determined the thermal comfort in the office building. Also two enquiry's has been filled to determined the perception of the employees. The measurements and enquiry's are used for a number of adaptations that have been made to the climate installation which must realise a better thermal comfort against a lower energy usage.

To offer every employee a good thermal comfort their has to be a possibility to adapt the indoor climate to the personal preferences of the user. With the design method, methodical designing, there have been developed 10 concepts which give the possibility to create the desired indoor climate for the user. The design with the largest potential has been developed further to an applicable concept.

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting	3
Summary	4
1. Inleiding	6
1.1 Doelstelling.....	9
1.2 Methode.....	10
2. Individueel comfort	12
2.1 Algemeen	12
2.2 Thermisch comfort.....	13
2.3 Overige invloeden op het thermisch comfort.....	17
2.4 Relatie tussen comfort en productiviteit	18
2.5 Discussie	19
3. Het thermisch comfort in een klasse A kantoorgebouw	20
3.1 Algemeen	20
3.2 Nulmeting: Aangetroffen thermisch comfort	22
3.3 Thermisch comfort na aanpassing	36
3.4 Lichtintensiteit	42
3.5 Discussie metingen.....	45
4. Het concept voor de werkplek	48
4.1 De voorwaarden voor de individuele werkplek	50
4.2 Methodisch ontwerpen op werkplek- en gebruikersniveau.....	53
4.3 Het hoogst gewaardeerde concept.....	69
4.3 Discussie	74
5. Conclusies en aanbevelingen	77
5.1 Conclusies	77
5.2 Aanbevelingen	79
Literatuurlijst	84
Bijlagen	86

1. Inleiding

In de huidige maatschappij wordt steeds meer van de zelfstandigheid van personeel gevraagd. Het tot uiting komen van de capaciteiten van een persoon is afhankelijk van zijn/haar comfortniveau. Het comfortniveau wordt bepaald door vele factoren, dit onderzoek heeft betrekking op het thermisch klimaat van gebruikers in hun directe werkomgeving.

De thermische comfort verwachting op een werkplek is afhankelijk van de klimaat technische installaties in het gebouw. Er is een duidelijk verschil geconstateerd tussen gebouwen met klimaatbeheersing, HVAC, en zonder klimaatbeheersing, "free running buildings". Een gebouw met een HVAC installatie (Heating Ventilation Air Conditioning) heeft de mogelijkheid om de ventilatielucht te verwarmen en te koelen. Volgens Baker [2] en Humphreys [3] is het verwachtingspatroon van de gebruiker bij een gebouw wat beschikt over een HVAC installatie hoger dan wanneer er geen HVAC installatie aanwezig is. Dit wordt deels verklaard door de aanpassing van kleding en metabolisme. De tolerantie van gebruikers in "free running buildings" is groter dan in gebouwen met klimaatbeheersing. In gebouwen met klimaatbeheersing is het aanpassingsvermogen van gebruikers kleiner waardoor hun thermische sensatie gevoeliger is voor temperatuurveranderingen. Hierdoor vallen de comforttemperaturen binnen een kleinere bandbreedte, de gebruikers hebben zich aangepast aan het HVAC klimaat.

Baker [2] stelt uit onderzoek vast dat door de steeds betere mogelijkheden tot het aanpassen van het binnenklimaat het personeel steeds hogere eisen stelt aan het binnenklimaat. Dit heeft weer direct negatieve gevolgen voor het energieverbruik van het gebouw.

Bij klachten van gebruikers over het binnenklimaat, worden er aanpassingen gedaan aan de installatie om het comfortniveau te verhogen. Het gevolg kan zijn, dat de installatie niet meer energetisch optimaal werkt doordat bijvoorbeeld één zelfde ruimte gelijktijdig verwarmd en gekoeld wordt. Dit heeft een slechte invloed op het energieverbruik.

Wetenschappelijke studies van Clements-Croome [4] en Wyon [5, 6] wijzen uit dat bij een verbetering aan de werkomgeving, het aantal klachten en het verzuim zullen afnemen en de productiviteit toeneemt met 10 tot 30%.

Clements-Croome concludeert, dat de productiviteit daalt door onvrede over het thermisch comfort in de kantooromgeving. De onvrede wordt vooral veroorzaakt door het thermisch binnenklimaat, de luchtkwaliteit, "sick building symptomen" en het aantal mensen per ruimte.

Uit verschillende onderzoeken concludeert Wyon dat:

- bij mentale taken die concentratie vergen; de productiviteit daalt vanaf de neutrale temperatuur lineair met 30% bij temperaturen die 6K hoger liggen dan neutraliteit.
- bij routinematige taken zoals typen; de productiviteit lineair daalt met 30% bij temperaturen, die 3K hoger liggen dan neutrale temperatuur en deze blijft dan constant bij toenemende temperatuur.

De personele kosten zijn een orde van grootte hoger zijn dan de huisvestingskosten[1]. Hierdoor is het investeren in de kwaliteit van de werkomgeving de effectiefste wijze om prestatieverlies tegen te gaan. In tegenstelling tot ziekte en ongelukken kunnen vermoeidheid en met tegenzin werken betrekking hebben op een groot aantal mensen. Dit betekent dat hoewel het negatieve effect op de prestatie van ieder individu niet groot hoeft te zijn het voor de organisatie als geheel kan leiden het tot een relatief groot productieverlies.

Een comfortabel thermisch binnenklimaat levert betere prestaties op en een afname van klachten en verzuim. De kosten van een extra investering in een beter comfort zijn in korte tijd terugverdiend.

Om tot een goede afstemming te komen van het gewenste thermische comfort is het van belang de werkzaamheden die de mensen in het gebouw dienen te verrichten te inventariseren. Nadat de functies van een gebouw zijn bepaald wordt hieraan de gewenste gebouwklasse verbonden. Deze klasse bepaalt de bandbreedte van de PMV die in het gebouw mag heersen. De PMV is afkomstig van de theorie van Fanger en wordt in hoofdstuk 2 nader toegelicht. Als de gebouwklasse is bepaald wordt er bij het ontwerp uitgegaan van een standaard kledingweerstand. Voor kantoorgebouwen wordt uitgegaan van een kledingweerstand $[clo]$ van 0,8 wat overeen komt met een licht zomerkostuum.

Gebouwklasse	Criteria PMV
Klasse A	$(-0,2 < PMV < 0,2)$
Klasse B	$(-0,5 < PMV < 0,5)$
Klasse C	$(-0,7 < PMV < 0,7)$

Tabel 1. Gebouwklassen [7].

PMV:	
- M	$[W/m^2];$
- W	$[W/m^2];$
- Θ_a	$[^{\circ}C];$
- Θ_{mrt}	$[^{\circ}C];$
- P_a	$[Pa];$
- I_{cl}	$[-];$
- F_{clo}	$[-];$
- H_c	$[W/(m^2.K)].$

De PMV wordt bepaald door de ruimte- en stralingstemperatuur, de luchtsnelheid, de relatieve vochtigheid, het activiteitsniveau en de kledingweerstand. Het activiteitsniveau en de kledingweerstand worden bepaald aan de hand van een tabel 2 en 3. Beide parameters hebben in verhouding met de andere parameters een grote invloed op de resulterende PMV. De PMV en de daaraan gekoppelde PPD geeft een gemiddelde ontevredenheid weer met betrekking tot het thermisch klimaat dat van toepassing is voor de gebruikers van een gebouw. Er wordt hierbij geen rekening gehouden met de individuele verschillen van de gebruikers met als gevolg dat een groot gedeelte van de personen in het gebouw ontevreden is. Het gerealiseerde klimaat in de kantoorgebouwen heeft effect op de productiviteit van de personen in het gebouw. Dit wordt onderstreept door de experimenten van Roelofsen [1] en Wyon [5].

Omschrijving	Metabolisme	
	(W/m^2)	(met)
Rust	50	0,8
Zittende arbeid	65	1,1
Lage activiteit	100	1,8
Matige activiteit	165	2,8
Hoge activiteit	230	4,0

Tabel 2. Waarden voor het metabolisme op basis van soort activiteit [17].

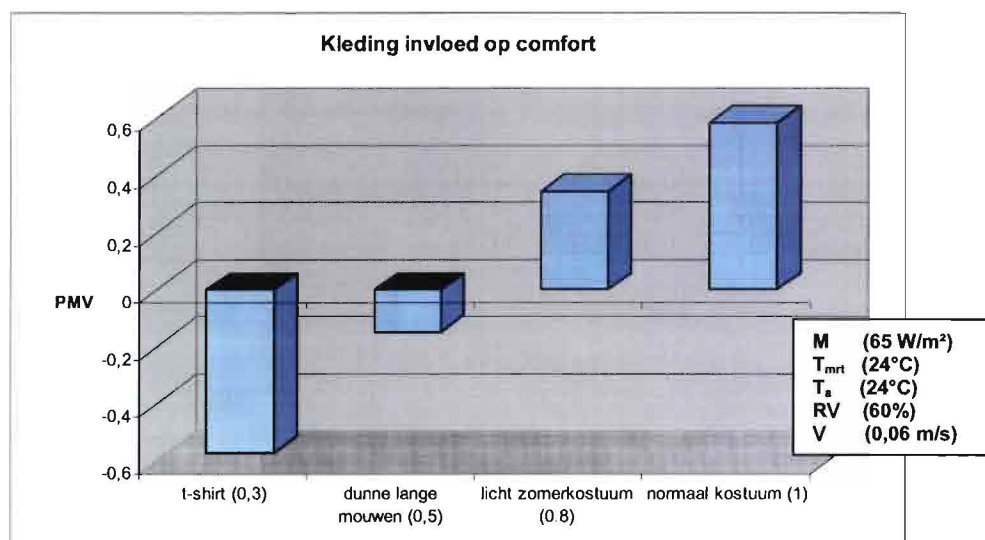
Kleding	(clo)	(m ² .K/W)
Naakt	0	0
Korte broek	0,1	0,016
Lichte zomerjurk	0,3	0,046
Lichte zomerkleding: dunne lange broek, hemd met korte mouwen	0,5	0,077
Licht zomerkostuum met colbert	0,8	0,0124
Normaal kostuum (driedelig)	1	0,155
Winterkostuum met vest, lang ondergoed	1,5	0,23

Tabel 3. Intrinsieke warmteweerstand (I_{clo}) voor enkele kledingcombinaties [17].

De individuele verschillen tussen personen in afkomst zorgen voor verschillende wensen met betrekking tot het binnenklimaat. Uit klimaatkamer onderzoeken van Nakano [10], Kimura [11], Humphreys [3] en Sassa [12] blijkt dat de oorsprong van een persoon van invloed is op de comfort temperatuur. Hierbij is een gemiddeld verschil gemeten van 3°C tussen mensen uit Japan en Londen.

Naast de hierboven genoemde afkomst worden klachten volgens Van der Linden [13] ook veroorzaakt door de aanpassing van de mens met betrekking tot de kledingmode. Het verschil in kleding per seizoen en tussen mannen, vrouwen en mannen en vrouwen onderling zorgen voor een grotere bandbreedte in de PMV. Door verschillen in kledingweerstand is het nuttig zijn de instellingen van de installaties aan te passen. Deze aanpassingen bieden de mogelijkheid bieden energie te besparen op de voorwaarde dat het comfortniveau maximaal blijft.

In figuur 1 wordt de invloed weergegeven van het aanpassen van kleding bij een gelijkblijvend binnenklimaat en activiteitsniveau.



Figuur 1. Effect van verschillende kleding op de PMV bij een gelijkblijvend binnenklimaat.

1.1 Doelstelling

De doelstelling van dit onderzoek is, om een goed comfortniveau voor individuele gebruikers van een kantoorgebouw te verkrijgen, tegen een laag energiegebruik. De nadruk ligt hierbij op het energieverbruik, met de voorwaarde dat het comfortniveau goed blijft. Het comfortniveau dient goed te blijven, omdat deze in direct verband staat met de productiviteit van de gebruiker.

Onderzoeksvragen

- Wat is de invloed van kleding en het activiteitsniveau op het thermisch comfort?
- Welke andere invloeden hebben betrekking op het thermisch comfort?
- Hoe staat het thermisch comfort in relatie tot de ontevredenheid en de productiviteit van personen?
- Hoe staat het thermisch comfort in relatie tot de ontevredenheid en de productiviteit van personen?
- Wat is het werkelijke comfortniveau volgens de theorie van Fanger in het gebouw dat ontworpen is als een klasse A gebouw?
- Hoe beleven werknemers het comfort op hun eigen werkplek in een gebouw dat is ontworpen als een klasse A gebouw?
- Hoe kunnen de onderzoeksresultaten, naar comfort en comfortbeleving gebruikt worden voor een innovatief ontwerp van een werkplek met individuele comfortregeling?

1.2 Methode

Door een literatuur onderzoek is er inzicht verschaft in het thermisch comfort. De belangrijkste theorie, die van invloed is op het onderzoek, is weergegeven in hoofdstuk 2. Er wordt gekeken welke invloeden van belang zijn en wat de bepalende factoren zijn met betrekking tot het thermisch comfort. Er wordt tevens gekeken wat ontevredenheid veroorzaakt.

Het derde hoofdstuk beschrijft het onderzoek dat is uitgevoerd in een bestaand kantoorgebouw dat ontworpen is met als doelstelling, gebouwklasse A. Het gebouw wordt nader omschreven in hoofdstuk 3.2. Het kantoorgebouw huisvest een installatiebedrijf waar de werknemers kantoor werkzaamheden uitvoeren. De werknemers vormen een homogene populatie van mannen. Het bedrijf schrijft geen kledingvoorschriften voor. Hierdoor wordt in het kantoorgebouw over het algemeen informele kleding gedragen waarbij de kledingkeuze beïnvloedt wordt door het buitenklimaat.

Het onderzoek wordt uitgevoerd volgens een stappenplan.

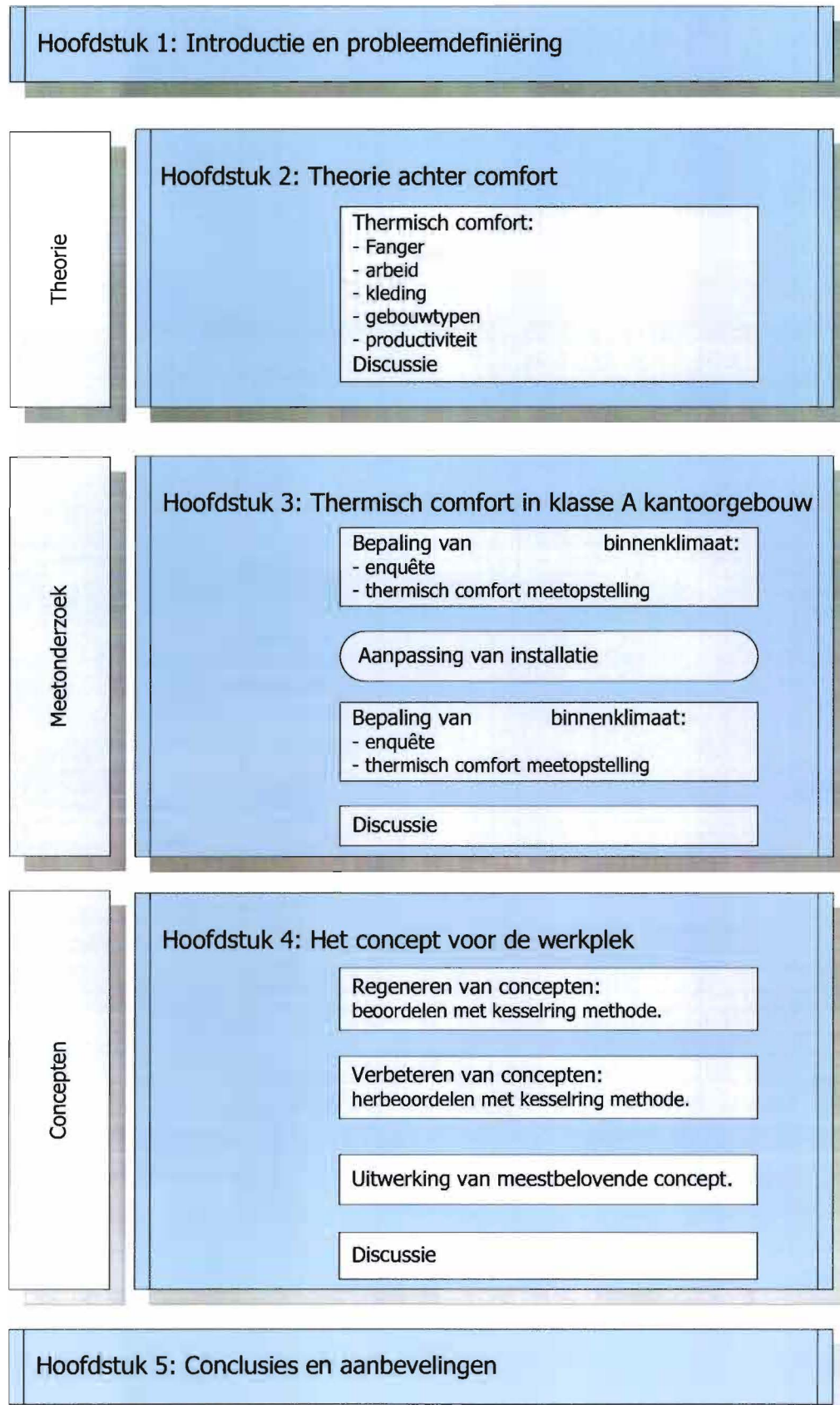
1. Een enquête die de thermische beleving van het comfort meet wordt afgenomen onder het personeel om de persoonlijke beleving te bepalen op de werkplek in het kantoorgebouw.
2. Voor het meten van het comfort wordt een meetopstelling gebruikt die het comfort meet volgens het model van Fanger [14]. Twee opstellingen meten de luchttemperatuur, lucht snelheid en relatieve vochtigheid en worden op verschillende plaatsen geplaatst zodat er ook rekening gehouden wordt met lokale ontevredenheid op bepaalde werkplekken.

De uitkomsten van zowel de enquête als van de meting worden gebruikt bij het aanpassen van de instellingen van de regelinstallatie om zo de klimaatinstallatie optimaler in te zetten. De verwachting is dat na de verstelling van de regelinstallatie het comfort is gestegen en het energiegebruik is gedaald.

3. Na een gewenningsperiode van 5 weken, na het verstellen van de instellingen van de regelinstallatie, wordt nogmaals de enquête afgenomen om het "nieuwe binnenklimaat" te beoordelen.
4. De meting en de enquête worden herhaald na hernieuwde aanpassing van de instellingen van de regelinstallatie om opnieuw het thermisch comfort te bepalen.

De gegevens van de tweede enquête en -meting worden geanalyseerd. Hieruit komen tevens weer een aantal conclusies. Deze gegevens worden vergeleken met de gegevens en conclusies van de eerste enquête en meting.

De meetgegevens en de conclusies uit het onderzoek vormen het uitgangspunt voor het ontwerp wat is weergegeven in hoofdstuk 4. Het doel van het uiteindelijke concept is, om de gebruiker de mogelijkheid te bieden een individueel goed comfort te realiseren met een minimaal energieverbruik. Voor het ontwerp wordt gebruik gemaakt van de ontwerpmethode; methodisch ontwerpen [39].



Figuur 2. Opzet van rapport.

2. Individueel comfort

Er is een discussie in de literatuur omtrent het concept "comfort" [15]. De meerderheid van auteurs is van mening dat het comfort van persoonsgebonden invloed is. Het comfort of het ongemak in een werkomgeving kan daarom slechts door de gebruiker beoordeeld worden. Dit is waarom er veel aandacht besteed moet worden aan hoe de behoefte van de gebruiker betrokken zou moeten worden in het ontwerpproces.

Dit hoofdstuk van het rapport geeft weer op welk specifiek deel van het comfort, het thermisch comfort, het onderzoek zich richt. De invloeden van de betreffende grootheden, die het thermisch comfort uitdrukken worden weergegeven in het PMV model. Het buitenklimaat beïnvloedt onder andere de gevoeligheid, luchttemperatuur, relatieve vochtigheid en luchtsnelheid en dus het comfortniveau en de bandbreedte die aan het binnenklimaat zijn gesteld. Als laatste wordt de relatie tussen de productiviteit en het thermisch klimaat beschreven.

2.1 Algemeen

De Deense Professor P. Ole Fanger heeft belangrijk onderzoek gedaan (1970) dat nog steeds gehanteerd wordt naar het thermisch comfort in gebouwen.

Dit onderzoek geeft het thermisch comfort weer in een PMV model en is de basis voor de belangrijkste binnenklimaat standaard in Europa (NEN-EN-ISO 7730) en Amerika (ASHRAE Standaard 55).

Ashrae omschrijft thermisch comfort als:

"Een gemoedstoestand die de tevredenheid met de thermische omgeving uitdrukt."

De International Standards Organization (ISO 7730) omschrijft thermisch comfort als:

"De staat dat mensen onbewust tevreden zijn met het thermisch milieu waarin zij zich bevinden."

Het thermische klimaat is niet alleen van belang, ook de mentale toestand van een persoon heeft invloed op zijn comfort beleving volgens Zeiler [16].

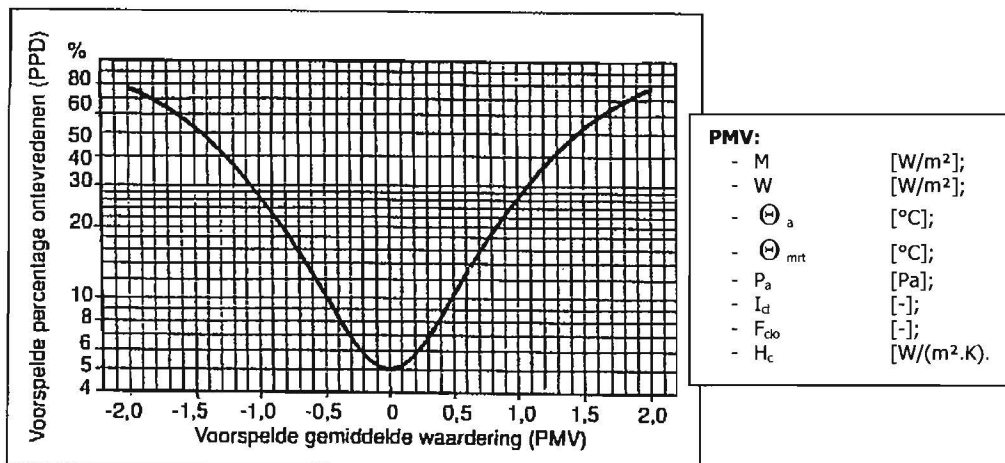
Het comfort kan onderverdeeld worden in:

- **Holistic:** factoren waar geen invloed op kan worden uitgeoefend; o.a. gemoedstoestand, omgeving en collega's.
- **Deterministic:** factoren die bepaald kunnen worden; o.a. fysische eigenschappen van gebouwschil, binnen- en buitenklimaat.

2.2 Thermisch comfort

De meest gehanteerde methode om het thermisch comfort in een ruimte te bepalen is volgens de theorie van Fanger [18]. De gemiddelde thermische beleving van de mens wordt hierbij voorspeld voor een ruimte door een PMV-berekening uit te voeren (Predicted Mean Vote). Deze berekening bestaat uit een aantal meetbare grootheden; het metabolisme (M), de verrichte uitwendige arbeid (W), de luchttemperatuur (Θ_a), de stralingstemperatuur (Θ_{mrt}), de partiële waterdampdruk van lucht (p_a) en de kledingweerstand (i_{clo}) [7].

Aan de hand van de PMV kan het aantal ontevreden bepaald worden, de PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied).



Figuur 3. Het aantal ontevreden (PPD) uit gezet tegenover het thermisch comfortniveau (PMV).

In figuur 3 is te zien dat bij optimale condities, een PMV van "nul", er altijd nog een percentage ontevreden mensen is van 5%, dit komt doordat de voorspelling voor een groep mensen bepaald wordt. In de groep verschillen de mensen van elkaar. Deze verschillen tussen mensen en de verschillen van een ieder persoon over de dag zorgt ervoor dat bij ideale instellingen er toch nog een ontevredenheid blijft van 5% over een groep mensen. De persoonlijke voorkeuren worden nader toegelicht in hoofdstuk 2.2.2.

Er zijn meerdere onderzoeken gedaan naar de ontevredenheid specifiek bij een PMV van "nul". Uitkomsten van onderzoeken van Mayer [19], de Dear, Brager en Cooper [20] wijzen naar een hoger aantal ontevreden, 15% in plaats van de 5% van de theorie van Fanger, bij een PMV van "nul". In dit rapport wordt echter gebruik gemaakt van de waardes van Fanger, die afkomstig zijn uit de NEN-EN-ISO 7730 en algemeen toegepast worden.

2.2.1 Gebouwtipe

Het aantal ontevredenen, dat bepaald is aan de hand van het thermisch comfort en de lokale thermische ontevredenheid (hoofdstuk 2.3) geven de comfort belevingsklasse van het gebouw weer. De bandbreedte van de klasse is onder andere afhankelijk van het type gebouw. Een gebouw van type "Alpha" heeft goede mogelijkheden tot individuele beïnvloeding met o.a. en een open gevel, met de mogelijkheid tot het openen van ramen. Type "Bèta" heeft een gesloten gevel met een centraal geregeld klimaat. De verschillen tussen een gebouwtipe "Alpha" en "Bèta" zitten in de acceptatie van hogere temperaturen door de gebruikers die veroorzaakt worden door de mogelijkheid van persoonlijke beïnvloeding en de interactie met de omgeving [9, 20]. Elk comfortniveau per gebouwtipe is onderverdeeld in drie klassen, die uiteindelijk de bandbreedte van het comfort als mede het aantal ontevredenen. Hierbij is klasse A de zwaarste klasse en C de lichtste klasse (met de grootste bandbreedte).

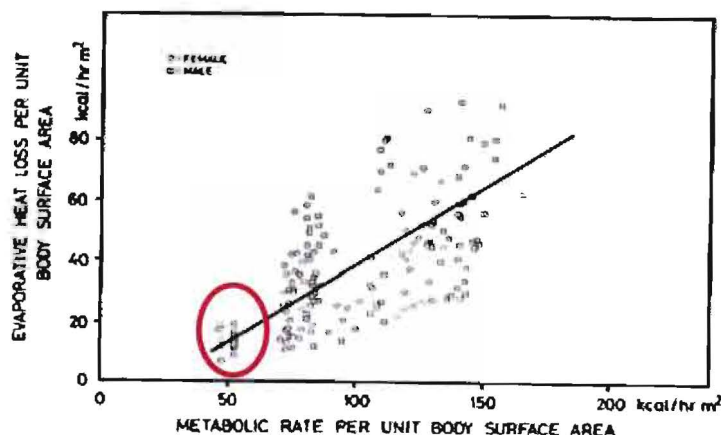
2.2.2 Persoonsgebonden factoren

De persoonsgebonden factoren; kledingweerstand en activiteiten niveau, hebben een grote invloed op de uiteindelijke uitkomst van de PMV. Door de persoonlijke keuze van de kledingweerstand is het mogelijk dat deze afwijkt van de daadwerkelijk gedragen kledingweerstand welke als uitgangspunt is genomen bij het ontwerp. Voor het metabolisme is uit onderzoek een gemiddelde bepaald. Door het middelen van de kledingweerstand en het metabolisme wordt er geen rekening gehouden met de individuele kledingverschillen en wensen van de gebruikers wat kan leiden tot ontevredenheid.

Arbeid

Het metabolisme, de warmteproductie van het menselijk lichaam is afhankelijk van het activiteitsniveau. Naarmate de lichamelijke inspanning groter is neemt de warmte productie toe. De warmteproductie is per persoon afhankelijk en kan ook nog variëren over de dag. De warmteproductie hangt af van een aantal factoren; geografische oorsprong, leeftijd, geslacht, ziekte, geneesmiddelen, mechanische beschadiging en hormonale invloeden [21].

Onderzoek van Fanger naar het warmteverlies van de mens als functie van het metabolisme heeft geleid tot een gemiddelde die eenvoudig te hanteren is. Naarmate het metabolisme ($M > 1,5$) stijgt, worden de verschillen groter, hetgeen kan resulteren in een afwijking van de PMV van $\pm 0,6$. Bij kantoren ($M = 1$) is deze spreiding vele malen kleiner (rood omcirkeld), maar de verschillen kunnen wel leiden tot een persoonlijk discomfort kan leiden [16].



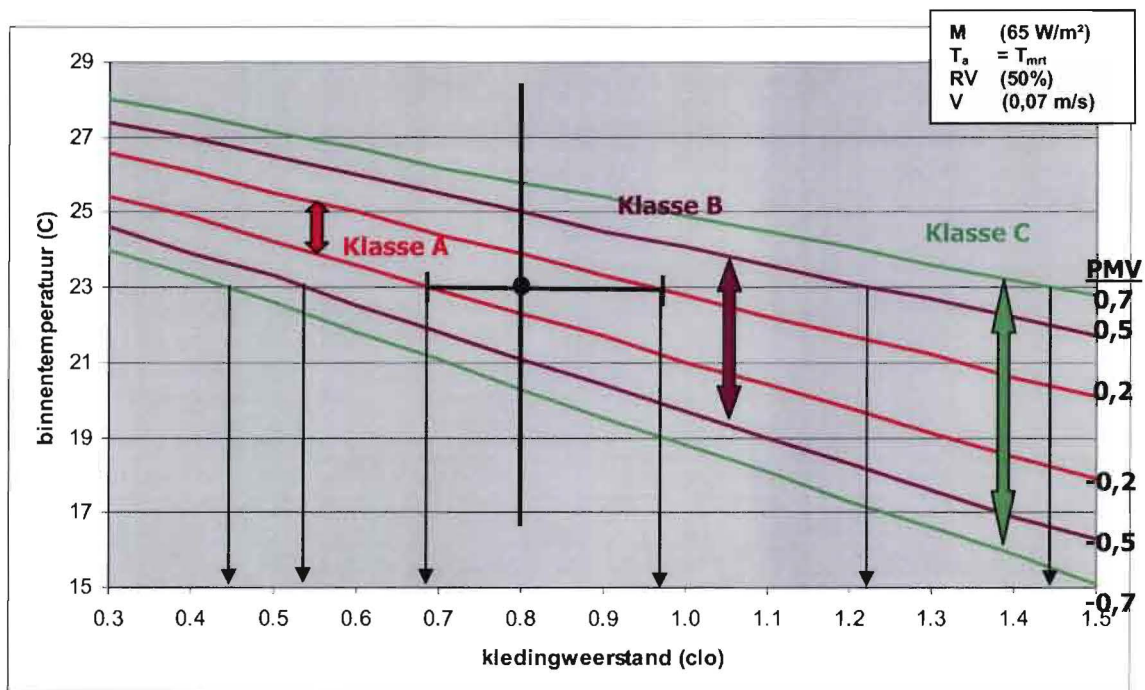
Figuur 4. Vrijkomende verdampingswarmte als functie van het activiteitsniveau voor personen die thermisch comfortabel zijn [22].

Warmteweerstand van de kleding

De warmteafgifte van het lichaam is afhankelijk van de kleding (weerstand). De weerstand is afhankelijk van de gedragen kleding en wordt uitgedrukt in de eenheid "clo" ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$). De I_{clo} is de meest bepalende factor op de uiteindelijke PMV. De keuze door de gebruikers van de te dragen kleding is afhankelijk van "het weer van de afgelopen dagen" [23, 24, 25, 26]. De daadwerkelijke kleding aanpassing is mede afhankelijk van het klimaatbeheersysteem in het kantoorgebouw. Gebruikers van "HVAC gebouwen" neigen ertoe hun kleding minder aan te passen, waardoor hun thermische sensatie gevoeliger is voor temperatuurveranderingen. Hierdoor is de bandbreedte voor comfort temperaturen veel kleiner voor gebruikers dan die in natuurlijk geventileerde gebouwen. De keuze van kleding is afhankelijk van het buitenklimaat en de psychologische aanpassing, gewenning en verwachting [20].

De diversiteit in kleding op zich is weer afhankelijk van de modetrend. De modetrend bepaalt de te gebruiken materialen en dracht, die de warmteafgifte van het lichaam beïnvloed.

De gebouwklasse bepaalt in feite de diversiteit in isolatiewaarde van de kleding die acceptabel is om het gewenste resultaat binnen het thermisch comfort te handhaven. Figuur 5 laat zien dat de hoogste klasse, klasse A, de kleinste spreiding heeft. Dit heeft tot gevolg dat de installatie het binnenklimaat nauwkeuriger geregeld moet worden in verband met het gewenste comfortniveau.



Figuur 5. Verband tussen de kledingisolatie, binnentemperatuur en gebouwklasse.

Gebouwklasse	Spreiding van I_{clo}
Klasse A	0,69 – 0,96
Klasse B	0,54 – 1,23
Klasse C	0,45 – 1,45

M (65 W/m²)
 $T_a = T_{mt}$
RV (50%)
V (0,07 m/s)

Tabel 4. Spreiding van I_{clo} per gebouwklasse bij een binnentemperatuur van 23°C.

Tabel 4 geeft de spreiding in kledingweerstand weer per gebouwklasse bij een binnen- en stralingstemperatuur van 23°C en de hierboven weergegeven metabolisme, relatieve vochtigheid en luchtsnelheid.

Voor de gebruikers van een kantoorgebouw wordt uitgegaan van een I_{clo} van 0,8 [clo] wat overeen komt met een licht zomerkostuum. Bij een I_{clo} van 0,8 [clo] en een gebouwklasse A is de diversiteit in kleding van een I_{clo} van 0,69 tot 0,96 [clo]. Dit komt overeen met de waarden, die in tabel 5 staan weergegeven.

Kleding	I_{clo}
Naakt	0
Korte broek	0,1
Lichte zomerjurk	0,3
Lichte zomerkleding	0,5
Licht zomerkostuum met colbert	0,8
Normaal kostuum (driedelig)	1,0
Winterkostuum met vest, lang ondergoed	1,5

Tabel 5. Warmteweerstand kledingcombinaties [7].

2.3 Overige invloeden op het thermisch comfort

Klachten over het thermisch comfort kunnen optreden ondanks, dat de PMV aan de gestelde eisen voldoet. Dit mede tengevolge van het discomfort dat kan ontstaan als gevolg van de volgende lokale factoren:

- lokale thermische ontevredenheid:
 - tocht;
 - grote temperatuur gradiënten;
 - warme en koude vloeren;
 - asymmetrische straling.
- niet constante thermische omgeving:
 - temperatuur cyclus;
 - temperatuur veranderingen in vloeren en muren;
 - temperatuur schommeling.

Het lokale discomfort wordt weergegeven in PD (Percentage Discomfort) en is afhankelijk van de gebouwklasse van het gebouw.

2.3.1 Lokale thermische ontevredenheid

De PMV en de PPD beoordelen discomfort voor het lichaam als één geheel. Thermische ontevredenheid kan ook ontstaan door een ongewenste beïnvloeding van de lichaamstemperatuur, lokale thermische ontevredenheid.

Lokale thermische ontevredenheid wordt in de meeste gevallen veroorzaakt door tocht. Een andere oorzaak kan zijn grote verticale temperatuurverschillen tussen het hoofd en de enkels veroorzaakt door een te koude of warme vloer of een grote stralingsasymmetrie.

De gevoeligheid met betrekking tot lokale thermische ontevredenheid is afhankelijk van het activiteitsniveau. Bij een laag activiteitsniveau, zoals bij kantoorwerkzaamheden, is de gevoeligheid groter dan bij een hoog activiteitsniveau [7].

2.3.2 Niet constante thermische omgeving

De basismethodes gaan uit van evenwichtsituaties met constante klimaatcondities. De thermische omgeving is echter in de meeste gevallen "niet constant". De temperatuur in een ruimte schommelt door de invloeden van buitenaf en interne factoren. Drie van de volgende niet constante situaties kunnen zich voordoen: temperatuur cyclus (variatie van temperatuur over een dag), temperatuur veranderingen in vloeren en muren en temperatuur schommelingen in een ruimte.

Er zijn meerdere theorieën over de doorwerking van niet constante invloeden op de personen in de thermische omgeving. De variatie in temperatuur dient volgens de NEN-EN-ISO 7730 [7] kleiner te zijn dan 1 K, dan is er geen invloed op het comfort, en de thermische omgeving mag dan als constant aangenomen worden.

Uit klimaatonderzoeken van Fanger [27] en Berglund [28] blijkt, dat wanneer de temperatuur gedurende de dag langzaam oploopt met 0,5°C/uur van 23°C naar 27°C dit niet of nauwelijks opvalt. Een dergelijke temperatuur stijging leidt tot weinig klachten en geeft de mogelijkheid tot een aanzienlijke energiebesparing in de zomer. De eindtemperatuur dient echter niet boven de 27°C komen.

Deze theorie komt gedeeltelijk overeen met het "human" ritme voor licht van Prof.Ir.W. van Bommel [29]. Het verschil echter is, dat men bij het "human" ritme de waarde van de parameter na de pauze weer omlaag wordt brengt ter bevordering van de productiviteit.

2.4 Relatie tussen comfort en productiviteit

Onderzoeken van Roelofsen [1], Wyon [5] en Leaman [8] zoals beschreven in hoofdstuk 1.1 wijzen uit dat bij comfortverhoging het aantal klachten en het verzuim afneemt en de productiviteit toeneemt. Aangezien de personele kosten een orde van grootte hoger zijn dan de huisvestingskosten, het investeren in de kwaliteit van de werkomgeving is volgens Roelofsen de meest effectieve wijze om prestatieverlies tegen te gaan. De investering om de gebouwklasse van C naar B of A op te waarderen staat niet in verhouding tot de financiële consequenties van het productiviteitsverlies [1].

2.4.1 Thermisch klimaat

Uitgangspunt bij het ontwerpen is dat de minste ontevredenheid met betrekking tot het thermisch comfort wordt behaald bij een gebouwklasse A bij de PMV van $\pm 0,2$. In de onderzoeken van Roelofsen [1] en Clements-Croome [30] wordt geconstateerd dat bij een verschuiving van de PMV bij een gebouwklasse A van $-0,2 < PMV < 0,2$ naar een waarde van $-0,5 < PMV < 0$ er geen productieverlies is ten gevolge van het thermisch klimaat. De productiviteit van de mensen ligt in verhouding hoger bij een iets kouder klimaat dan bij een iets warmer klimaat. Hieruit kan geconstateerd worden dat het thermisch comfort bij gebouwklasse A, $-0,2 < PMV < 0,2$, het hoogst is maar de productiviteit het hoogst is bij $-0,5 < PMV < 0$.

2.4.2 Persoonlijke beïnvloeding

De mogelijkheid tot het individueel beïnvloeden van het comfort draagt in grote mate bij aan het klachtenniveau en de productiviteit. Uit onderzoek van Kroner [31] waarbij men individueel de luchttoevoer, lokale temperatuur en luchtsnelheid kon instellen, leidde tot een verhoging van productiviteit van 12,5% (environmental responsive workstations, ERW's). Wyon [32] stelt, dat wanneer de temperatuur beïnvloedt kan worden met $\pm 3^\circ\text{C}$, de productiviteit van werk met een hoog concentratieniveau stijgt met 3% en dat van routinewerk met 7%. Ook Leaman [8], Humphreys [23] en Clements-Croome [8], benadrukken het positieve effect van persoonlijke beïnvloedingsmogelijkheden op de productiviteit.

2.5 Discussie

In dit hoofdstuk zijn een aantal specifieke aspecten toegelicht die van toepassing zijn op het thermisch comfort en de daaraan gerelateerde ontevredenheid en productiviteit.

De meest gehanteerde methode met betrekking tot het thermisch comfort is die van Fanger. Hieronder worden een aantal factoren weergegeven die antwoord geven op een drietal onderzoeksvragen met betrekking tot het onderzochte kantoorgebouw.

- **Wat is de invloed van kleding en het activiteitsniveau op het thermisch comfort?**

Aan de hand van de theorie van Fanger kan het thermisch comfortniveau, de PMV, voor een groep personen bepaald worden. De bepalende factoren die van invloed zijn op het comfortniveau van een persoon zitten in het activiteitsniveau en de kledingweerstand, de persoonsgebonden factoren.

Het activiteitsniveau in het kantoorgebouw van Kropman kan goed voorspeld worden door de veel gelijksoortige werkzaamheden. De kledingkeuze van een groep gebruikers is echter lastiger te voorspellen. Dit is vooral het geval bij kantoorgebouwen waar geen kledingvoorschriften heersen en de kleding per persoon en per seizoen kan verschillen, afhankelijk van de buitencondities.

Door deze verschillen kan er een ander binnenklimaat gewenst zijn dan dat er aangeboden wordt. In het geval dat er geen individuele regelbaarheid mogelijk is, in kantoorcellen of – tuinen, kan er ontevredenheid ontstaan over het aangeleverde klimaat.

- **Welke andere invloeden hebben betrekking op het thermisch comfort?**

Naast het thermisch comfort kunnen ook andere invloeden discomfort veroorzaken, ondanks dat de PMV aan de gestelde eisen voldoet. Dit discomfort kan worden veroorzaakt door lokale thermische ontevredenheid; tocht, grote temperatuur gradiënten, warme en koude vloeren, a-symmetrische straling. Een andere oorzaak wat discomfort kan veroorzaken is een niet constante thermische omgeving; temperatuurcyclus, temperatuur veranderingen in vloeren en muren, temperatuurschommeling.

Het comfort kan niet algemeen gedefinieerd worden omdat deze persoonsgebonden is. Wel kan er een onderscheid gemaakt worden tussen twee factoren:

- Deterministic; deze worden bepaald door o.a. fysische gebouweigenschappen en het binnen- en buitenklimaat. Deze factoren kan men beïnvloeden door bijvoorbeeld de juiste afwegingen te maken tijdens het ontwerp.
- Holistic; deze worden o.a. bepaald door de gemoedstoestand, omgeving en collega's. Deze invloeden kan men, in hoge mate niet beïnvloeden.

Uit hoofdstuk 2 kan men concluderen dat iedereen een ander ideaal beeld kan hebben met betrekking tot het comfort, maar ook over het thermisch klimaat. Deze verschillen in beleving worden alleen maar vergroot doordat de gehanteerde methode van Fanger gemiddelden weergeeft.

3. Het thermisch comfort in een klasse A kantoorgebouw

In dit hoofdstuk wordt het onderzoek van het kantoorgebouw besproken. Het doel van het onderzoek is: de beleving van het binnenklimaat en de comfortwaarde in het kantoorgebouw bepalen.

Het onderzoek met behulp van de meetopstelling, die de parameters meet, die van invloed zijn op de PMV, is uitgevoerd volgens de Internationale Standaard eisen die weergegeven zijn in de NEN-EN-ISO 7726 [14].

3.1 Algemeen

Het kantoorgebouw is gelegen op het bedrijventerrein Papendorp te Utrecht. Het architectenbureau Broekbakema uit Rotterdam heeft het gebouw ontworpen in 2004. "*Het kantoorgebouw is op een integrale manier ontworpen met maximale prefabricage en minimale montage activiteiten op de bouw*".

Er is getracht het gebouw op te laten gaan in het landschap. Door de reflectie van het landschap in de glazen gevels en de doorkijk onder het gebouw, waar de ruimte dient als parkeerplaats die half verscholen onder het maaiveld ligt.

Het kantoorgebouw heeft een flexibele constructie en maakt gebruik van duurzame energie [33]. Een uitgebreidere beschrijving van het kantoorgebouw en de klimaatinstallatie is te vinden in de bijlage A en B.

Het bedrijf Kropman is gevestigd op de begane grond, 1^e en 2^e verdieping. De 3^e verdieping noord wordt verhuurd aan een architectenbureau. Tijdens het onderzoek stond de zuidzijde van de 3^e verdieping leeg, momenteel is deze verhuurd en zal vanaf eind maart in gebruik genomen worden.

Het gebouw is gekozen omdat het voldoet aan de huidige maatstaven van een kantoorgebouw en in de veronderstelling dat de installatie naar behoren werkt. Tijdens het analyseren van de gegevens van de meting, het gebouwbeheersysteem en de technische installatie zijn een aantal onvolkomenheden naar voren gekomen die van invloed zijn op het comfort en energieverbruik.

1. De kantoortuinen stonden gedurende het gehele jaar gelijktijdig te verwarmen en koelen in één ruimte.
2. Het warmtewiel stond stil wat ertoe leidde dat wanneer dat nodig was de buitenlucht verwarmd of gekoeld moest worden door de aquifer en/of warmtepomp.
3. Temperatuur instellingen voor de ruimtes stonden niet juist weergegeven in het gebouwbeheersysteem.
4. De thermostaten in kantoorcellen geven een andere temperatuur aan dan die op hetzelfde tijdstip gemeten zijn met de meetopstelling [bijlage P].
5. De afwezigheids- en standby temperatuurfunctie ten behoeve van het energieverbruik werkte niet. De ruimtes werden constant op de temperatuur gehouden van de aanwezigheids functie.
6. Wanneer LBK uit staat (buiten kantooruren) loopt er flow over de ventilatorconvectoren in de ruimtes, warmte of koude afhankelijk van de ruimtetemperatuur.
7. Er is een stooklijn opgesteld voor een variabele inblaastemperatuur aan de hand van de ISSO 68, EOS.
8. Zonwering zakt in het algemeen te snel naar beneden.
9. Zonwering aan de noordzijde zakt naar beneden aan de hand van de zonintensiteit aan de zuidzijde.

10. De aangepaste instellingen kunnen momenteel nog niet worden opgeslagen, bij spanningsuitval keren de instellingen terug naar de oude waarden.

De bovenstaande punten hebben direct een negatieve invloed op het comfortniveau en het energieverbruik van het gebouw en dienen naar de ontwerpsuitgangspunten om gewerkt te worden om de gestelde comfortklasse A te behalen.

In de onderstaande paragrafen wordt de meting aan de hand van enquêtes besproken met betrekking tot de persoonlijke beleving van het binnenklimaat en de werkelijk gemeten parameters waarbij de meting bestaat uit twee onderdelen:

- De nulmeting, hoofdstuk 3.2; de beleving van de werknemers (enquête 1) en de meetgegevens in het kantoorgebouw, de bij aanvang van mijn afstudeerproject aangetroffen situatie.
- De meting van het experiment, hoofdstuk 3.3; de beleving van de werknemers (enquête 2) en de meetgegevens in het kantoorgebouw na aanpassing van de regeltechnische instellingen van de installatie.

Het thermisch comfort is bepaald aan de hand van de methode van Fanger. Hierbij is in een ruimte de luchttemperatuur, zwarte bol temperatuur, relatieve vochtigheid en de luchtsnelheid gemeten met de meetopstelling.

3.2 Nulmeting: Aangetroffen thermisch comfort

Tijdens de periode van 29-06-2007 tot 27-08-2007 is de PMV bepaald met behulp van een meetopstelling. In deze periode is er door de werknemers een enquête ingevuld. In dit hoofdstuk worden de gegevens van de werknemers, de enquêtes en van de meting geanalyseerd en met elkaar vergeleken.

3.2.1 Enquête 1

In hoofdstuk 2 is beschreven dat het comfort van grote invloed is op de productiviteit van personen. Het meten van het thermisch comfort van het kantoorgebouw van Kropman wordt gedaan door meetgegevens te verzamelen aan de hand van de in hoofdstuk 2 besproken theorie. De enquête geeft een beeld van de gevoelens, ten aanzien van het thermisch comfort van de personen die werkzaam zijn in het kantoorgebouw beleving.

De enquête, "Questionnaire" is bijgevoegd als bijlage C. De enquête is persoonlijk afgegeven aan de medewerkers in de periode van 29-06-2007 tot 27-07-2007.

Om een goed beeld te verkrijgen en de resultaten te kunnen vergelijken, zijn deze omgezet in een éénduidige schaal zoals hieronder is afgebeeld. Deze omzetting is nodig omdat beoordelingen gegeven zijn in de vorm van:

goed	ruim voldoende	voldoende	matig	slecht
1	2	3	4	5

Tabel 6. Weergave van de beoordeling van de enquête in vorm 1.

te warm	enigzins warm	tevreden	enigzins koud	te koud
5	4	3	2	1

Tabel 7. Weergave van de beoordeling van de enquête in vorm 2.

Alle gegevens zijn omgezet naar de beoordeling van tabel 8.

	3		2		1
			4		5
	1		3		5
1	2	3	4	5	

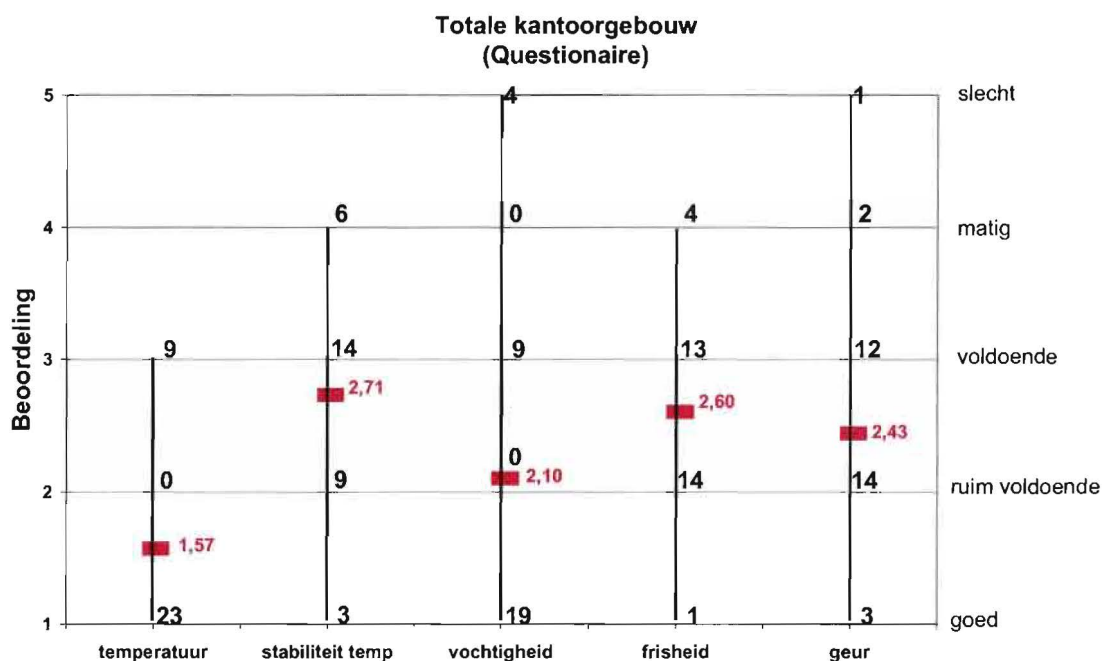
Tabel 8. Weergave van de omzetting van de beoordeling enquête.

Tabel 9 geeft de weergave van het aantal werknemers dat de enquête ingevuld heeft en de plek in het kantoorgebouw waar hij/zij werkzaam is.

Enquête	Aantal	Leeftijd			
		mediaan	gemiddelde	min	max
begane grond	5	44	44	35	54
1 ^e verdieping Zuid	8	37	37	28	45
2 ^e verdieping Noord	11	35	35	25	58
2 ^e verdieping Zuid	8	29	32	22	52
totaal	32	36	36	22	58
mannen	29				
vrouwen	3				

Tabel 9. Deelname van het aantal personen van enquête 1 per afdeling.

In onderstaande figuur is de beoordeling op temperatuur, stabiliteit van temperatuur, vochtigheid, frisheid en geur weergegeven. De uitkomsten per verdieping zijn weergegeven in bijlage D.



Figuur 6. Beoordeling van enquête 1 van het binnenklimaat.

In figuur 6 is te zien dat alle facetten **gemiddeld** worden beoordeeld van voldoende tot goed.

De stabiliteit van de temperatuur wordt door 6 personen van de 32 als matig ervaren. De andere personen beoordelen deze met voldoende tot goed.

De vochtigheid in het kantoor wordt door 4 personen als slecht ervaren. Drie van deze personen zijn werkzaam op de zuidzijde van de 2^e verdieping. Negentien personen beoordelen de vochtigheid met goed. Hiervan zijn ook drie personen werkzaam op de zuidzijde van de 2^e verdieping.

De frisheid van het kantoor wordt door 4 personen als matig ervaren. Één persoon op de begane grond, met een eigen kantoorruimte, beoordeelt de frisheid van het kantoor met goed.

De geur wordt door één persoon met slecht beoordeeld. Drie personen beoordelen deze met goed.

3.2.2 Persoonlijke beoordeling op specifiek tijdstip

Naast de enquête "Questionnaire", is er tijdens de periode van 29-06-2007 tot en met 20-07-2007, op een aantal dagen op specifieke tijdstippen naar de persoonlijke beleving gevraagd. De beoordeling van temperatuur, relatieve vochtigheid en lichtintensiteit is weergegeven in een "PMV-beoordelingschaal", zodat de specifieke beoordeling van het onderwerp bepaald kan worden (tabel 10). Tocht is wel weergegeven in een puntenschaal van 1-5 (tabel 11).

	Temperatuur	Lichtintensiteit	Relatieve vochtigheid
3	heet	fel	nat
2	warm	licht	te vochtig
1	enigzins warm	enigzins licht	vochtig
0	behaaglijk	tevreden	tevreden
-1	enigzins koel	enigzins grauw	laag
-2	koel	grauw	te laag
-3	koud	donker	droog

	Tocht
1	tevreden
2	lichte luchtstroming
3	luchtstroming
4	hevige luchtstroming
5	wind

Tabel 10. Beoordelingschaal temperatuur, licht en RV.

Tabel 11. Beoordelingschaal tocht.

		Temperatuur									
		8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	gemiddelde
1	BG	0	0	0	0	0	-1	0	-1	1	-0.1
2	BG	-1	-1	0	-1	-1	0	0	0	0	-0.4
3	BG	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0	-0.2
4	BG	0	1	0	0	0	2	0	2	0	0.8
5	1e Zuid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
6	1e Zuid	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0.8
7	1e Zuid	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0.0
8	1e Zuid	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-0.1
9	1e Zuid	0	0	1	-1	0	2	0	0	0	0.2
10	2e Noord	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0.6
11	2e Noord	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.1
12	2e Noord	0	0	0	0	-1	1	0	1	1	0.2
13	2e Noord	-1	0	0	1	1	1	1	1	1	0.4
14	2e Noord	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0.1
15	2e Zuid	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0.4
16	2e Zuid	0	1	1	0	0	0	0	2	2	0.9
17	2e Zuid	-1	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-1.6
18	2e Zuid	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
gemiddelde		0.2	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.3	0.1	0.3	0.4	

Tabel 12. Beoordeling temperatuur.

		lichtintensiteit									
		8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	gemiddelde
1	BG	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0.3
2	BG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
3	BG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
4	BG	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1.0
5	1e Zuid	0	0	0	-1	0	0	-1	-1	-1	-0.4
6	1e Zuid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
7	1e Zuid	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-0.4
8	1e Zuid	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.1
9	1e Zuid	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	-0.2
10	2e Noord	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1.0
11	2e Noord	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-0.1
12	2e Noord	-1	-1	-1	0	0	0	1	-1	-1	-0.4
13	2e Noord	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
14	2e Noord	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-0.1
15	2e Zuid	0	1	-1	1	1	1	1	1	1	0.7
16	2e Zuid	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	0	0	-0.4
17	2e Zuid	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1.0
18	2e Zuid	-2	-1	-1	-1	-1	-2	-1	-1	-1	-1.2
gemiddelde		-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.4	-0.3	-0.2	

Tabel 13. Beoordeling lichtintensiteit.

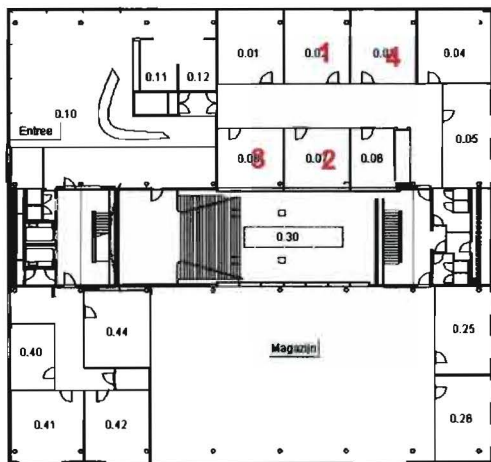
		Relatieve vocht									
		8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	gemiddelde
1	BG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
2	BG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
3	BG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
4	BG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
5	1e Zuid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
6	1e Zuid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
7	1e Zuid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
8	1e Zuid	-1	0	0	0	0	0	0	-1	0	-0.2
9	1e Zuid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
10	2e Noord	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
11	2e Noord	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
12	2e Noord	-1	-1	-1	0	0	0	-1	-1	-1	-0.7
13	2e Noord	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
14	2e Noord	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0.1
15	2e Zuid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
16	2e Zuid	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1.0
17	2e Zuid	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1.0
18	2e Zuid	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2.4
gemiddelde		-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3	

Tabel 14. Beoordeling relatieve vochtigheid.

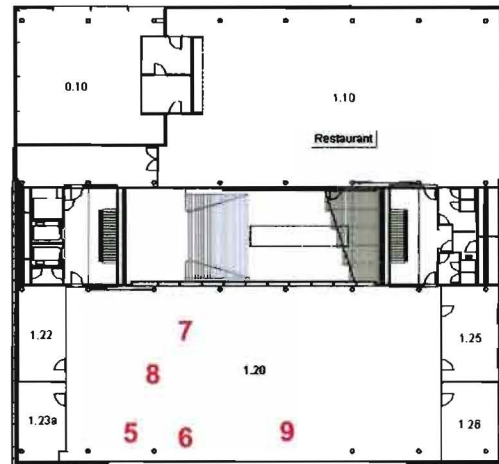
		Tocht									
		8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	gemiddelde
1	BG	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
2	BG	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2.1
3	BG	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
4	BG	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
5	1e Zuid	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
6	1e Zuid	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
7	1e Zuid	2	2	1	2	2	2	1	1	2	1.9
8	1e Zuid	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
9	1e Zuid	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
10	2e Noord	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
11	2e Noord	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
12	2e Noord	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
13	2e Noord	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
14	2e Noord	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
15	2e Zuid	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
16	2e Zuid	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
17	2e Zuid	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.0
18	2e Zuid	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1.9
gemiddelde		1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	

Tabel 15. Beoordeling tocht.

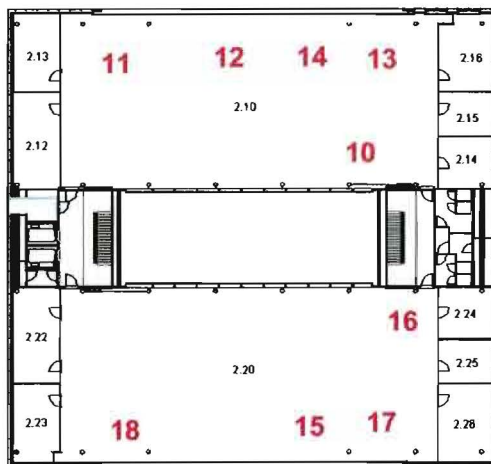
De cijfers in de eerste kolom van tabel 12 t/m 15 komen overeen met cijfers uit de plattegronden van figuur 7 t/m 9. De cijfers geven de werkplekken weer van de werknemers die op specifieke tijdstippen over de dag het binnenklimaat hebben beoordeeld.



Figuur 7. Plattegrond van de begane.



Figuur 8. Plattegrond van de 1^e verdieping.



Figuur 9. Plattegrond van de 2^e verdieping.

In het algemeen kan geconcludeerd worden dat er weinig klachten zijn over het klimaat op de beoordeelde dagen.

Uit tabel 12 kan opgemaakt worden dat op de begane grond over de dag de temperatuur in het algemeen van "behaaglijk" tot "enigszins koel" beoordeeld wordt. Het personeel op 1^e verdieping zuid en de 2^e verdieping noord beoordelen de temperatuur met "behaaglijk" tot "enigszins warm". Op de 2^e verdieping zuid beoordeelt men de ochtend met "behaaglijk" en de middag met "enigszins warm".

Tabel 13 laat zien, dat de lichtintensiteit over de dag dezelfde beoordeling krijgt. De beoordeling van de lichtintensiteit is in zowat alle gevallen, "enigszins grauw" tot "tevreden".

Tabel 14 laat zien dat de relatieve vochtigheid in het gehele gebouw, behalve op de 2^e verdieping Zuid met "tevreden" wordt beoordeeld. Op de 2^e verdieping Zuid beoordeelt men in het algemeen de relatieve vochtigheid van laag tot droog.

Tabel 15 laat zien dat de gebruikers in het algemeen geen last ondervinden van tocht.

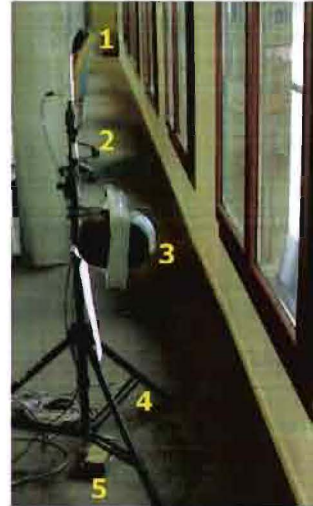
3.2.3 Thermisch comfort meting 1

De meetopstelling voor het verkrijgen van de gewenste grootheden voldoet aan de eisen van de NEN-EN-ISO 7726 [14]. Één van de meetopstellingen is weergegeven in figuur 10.

De opstelling bestaat uit:

1. luchtsnelheidsmeter;
2. relatieve vochtigheid en temperatuur meter (1.10m);
3. zwartebol temperatuur;
4. temperatuurmeter op enkelniveau (0.10m);
5. temperatuurmeter op vloerniveau.

Met de hierboven genoemde gegevens en de kledingweerstand en het activiteitsniveau kan men het thermisch comfort, de lokale ontevredenheid en de thermische verandering in ruimte of op een werkplek bepalen.



Figuur 10. Meetopstelling.

In een groep mensen is de soort kleding met de daarbij behorende kledingweerstand niet bij alle personen gelijk. Om toch een juiste I_{clo} te verkrijgen wordt de gemiddelde kledingweerstand bepaald.

De kledingweerstand bij personen die werkzaam zijn in het kantoorgebouw wordt gedurende de gemeten tijd op basis van meetresultaten gesteld op:

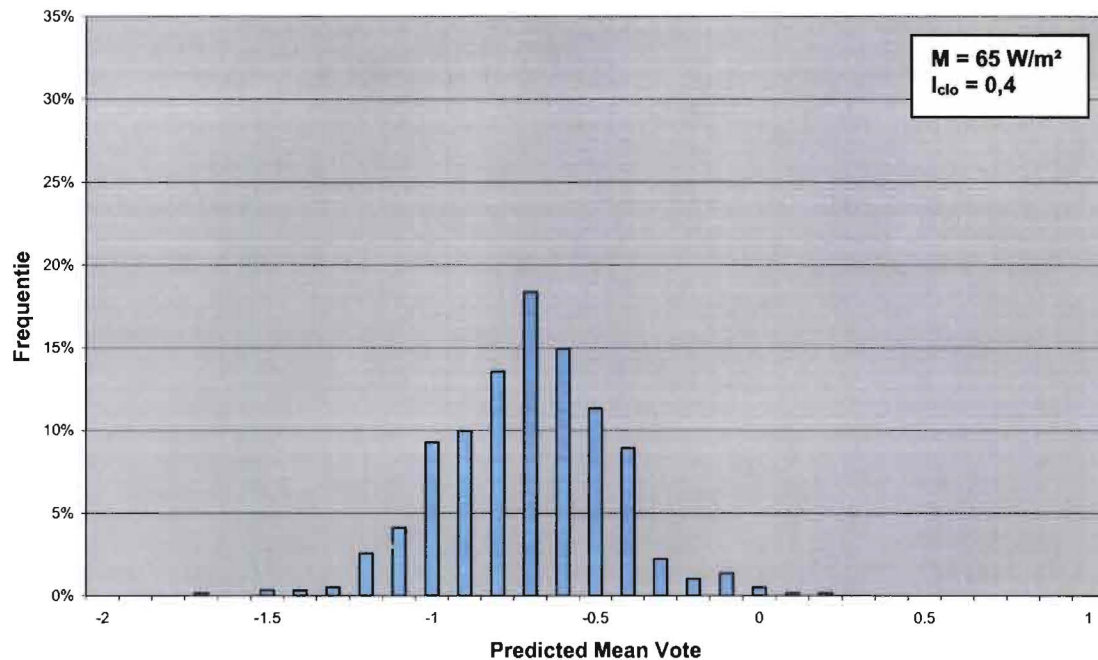
- 50% draagt lichte zomerkleding, T-shirt (0,3);
- 50% draagt lichte zomerkleding, dunne lange mouwen (0,5).

De gemiddelde I_{clo} in het kantoorgebouw wordt voor de PMV-berekening gesteld op **0,4**.

De werkzaamheden in het kantoorgebouw zijn lichte kantoorwerkzaamheden (met = 1,1). Deze werkzaamheden komen overheen met een activiteitsniveau van 65 W/m².

Predicted mean vote

De PMV van het kantoorgebouw over de periode van 29-06-2007 tot en met 20-07-2007 is in figuur 11 weergegeven. De PMV per afdeling is weergegeven in bijlage E.



Figuur 11. Frequentie van voorkomende PMV tijdens kantooruren (07.00 – 18.00).

PMV (07.00 - 18.00)	Criteria PMV	BG noord (%)	1 ^e verd zuid (%)	2 ^e verd noord (%)	2 ^e verd zuid (%)	totaal (%)
Klasse A	$(-0,2 < PMV < 0,2)$	1	1	7	0	3
Klasse B	$(-0,5 < PMV < 0,5)$	42	13	27	21	26
Klasse C	$(-0,7 < PMV < 0,7)$	77	59	53	55	59
Klasse A (Roelofsen)	$(-0,5 < PMV < 0)$	23	41	47	45	41

Tabel 16. Percentage van tijd, tijdens kantooruren, dat de PMV binnen de gestelde eisen valt.

Uit figuur 11 is op te maken dat de PMV bij de meting aan de negatieve zijde verkeerd en dus zal leiden tot een verwacht gevoel van koude bij de gebruikers. Tabel 16 geeft het percentage van gebruikstijd weer, dat aan de bijbehorende comfort klasse wordt voldaan. Uitgaande van klasse A voor het kantoorgebouw van Kropman voldoet deze niet aan de gestelde grenswaarden voor de PMV van $\pm 0,2$.

Er is tevens een zelfde calculatie gemaakt voor een werktijd van 08.00 – 17.00 uur. De verschillen in percentages van de gerealiseerde PMV zijn maximaal 1% hoger dan die van de waarden van 07.00 – 18.00 uur

Aan de hand van de PMV bepaalt men de Predicted Percentage of Dissatisfied, het aantal ontevreden. De PPD is weergegeven in bijlage F.

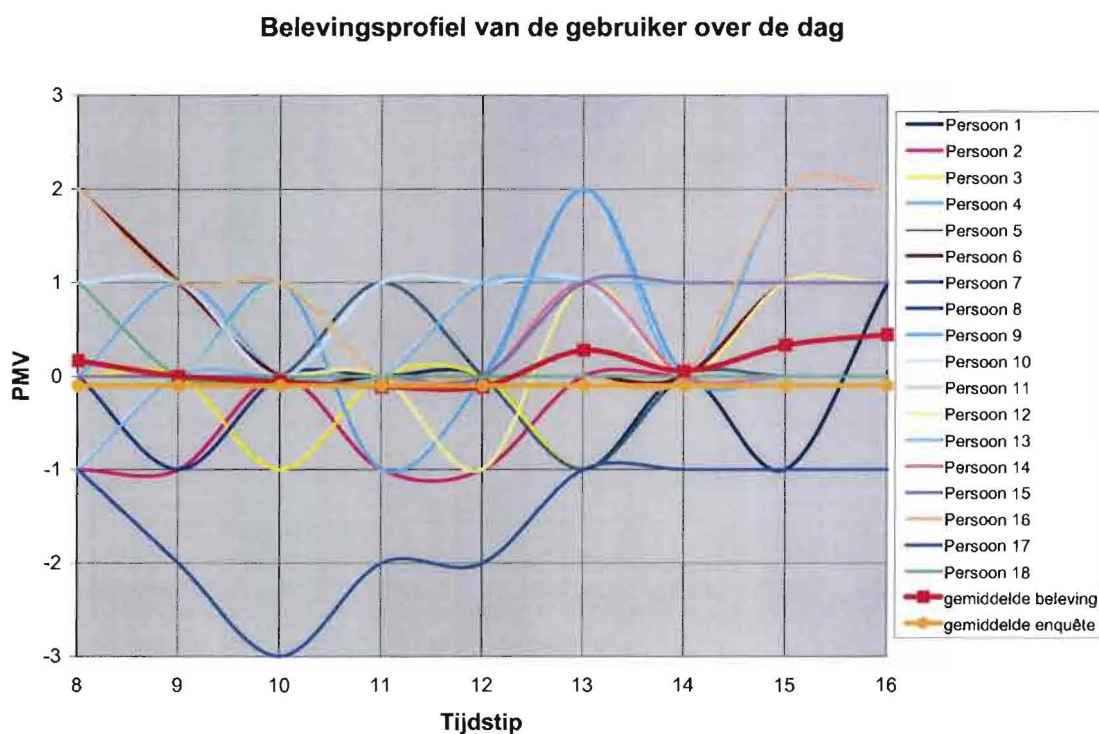
Overige invloeden thermisch comfort

In hoofdstuk 2.3 is beschreven dat discomfort veroorzaakt kan worden door lokale thermische ontevredenheid en een niet constante thermische omgeving. Beide voorwaarden voldoen op de gemeten plekken aan de eis die is vastgesteld aan gebouwklasse A (bijlage G en bijlage H).

3.2.4 Conclusie meting 1

In figuur 12 is tabel 12 weergegeven waarin een grafiek is opgenomen, die de temperatuurbeleving van de werknemers in het kantoor weergeeft over de gehele werkdag. Hieruit is af te leiden dat er vele verschillen zitten in de temperatuurbeleving tussen de werknemers onderling. De metingen zijn momentaan gemeten over verschillende dagen, maar daarin tegen op vaste tijdstippen. Op deze manier wordt de beleving op het specifieke tijdstip gemeten in plaats van het gemiddelde over een periode, met behulp van de enquête.

De specifieke temperatuurbeleving van de werknemers over de gehele werkdag op vaststaande tijdstippen gemeten, wordt gemiddeld gewaardeerd met "tevreden", in PMV-schaal "nul" (rode lijn in figuur 12). De gemiddelde beleving uit de enquête is één getal die de beleving over een periode weergeeft, te weten de zomerperiode (oranje lijn met stip in figuur 12).



Figuur 12. Belevingsprofiel van de gebruiker over de dag.

De enquête wordt gemiddeld op alle facetten met minimaal voldoende beoordeeld. Een klein percentage beoordeeld een aantal facetten van "matig" tot "slecht". Uit de enquête kan geconcludeerd worden dat de werknemers in het algemeen tevreden zijn met het binnenklimaat.

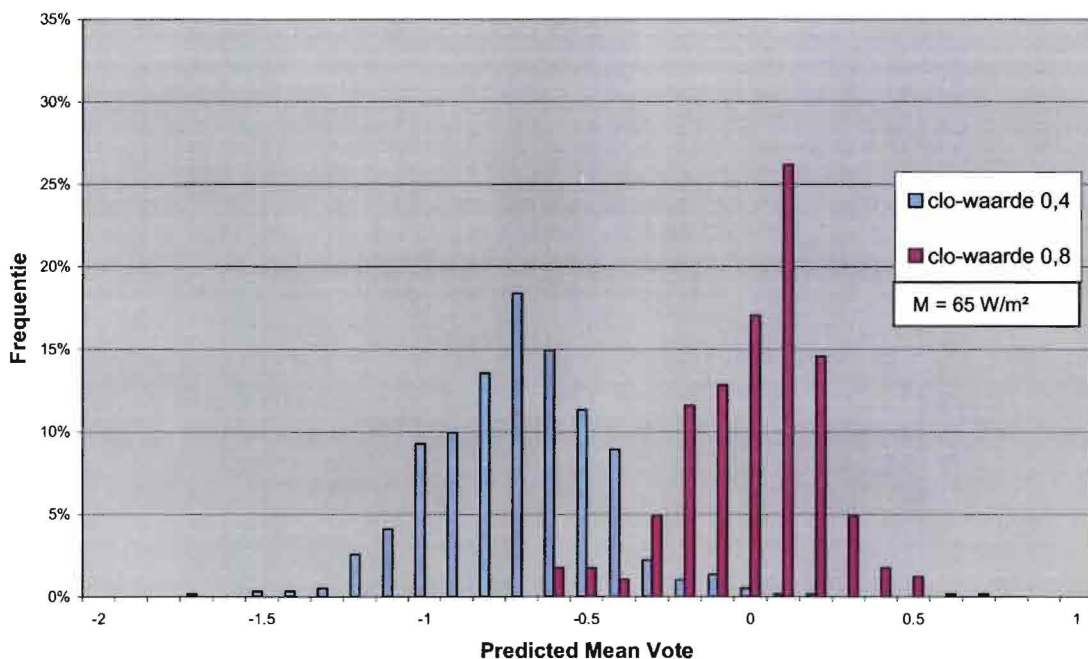
Het thermisch comfort volgens de theorie van Fanger, de PMV, is aan de te lage kant. Het klimaatsysteem van het kantoorgebouw werkt met een vaste setpoint voor de

geconcludeerd worden dat de werknemers in het algemeen tevreden zijn met het binnenklimaat.

Het thermisch comfort volgens de theorie van Fanger, de PMV, is aan de te lage kant. Het klimaatsysteem van het kantoorgebouw werkt met een vaste setpoint voor de ruimtetemperatuur. Dit setpoint is hetzelfde over het gehele seizoen, dus zowel voor zomer als wintersituatie en is bepaald aan de hand van de standaard bestekwaarde voor de I_{clo} van 0,8 [clo].

Het feit, dat de personen die werkzaam zijn in het kantoorgebouw hun kleding wel aanpassen naar aanleiding van de buitencondities, verklaart mede de lage PMV. In figuur 13 is de PMV weergegeven bij gelijkblijvende condities, maar met verschillende " I_{clo} -waarden".

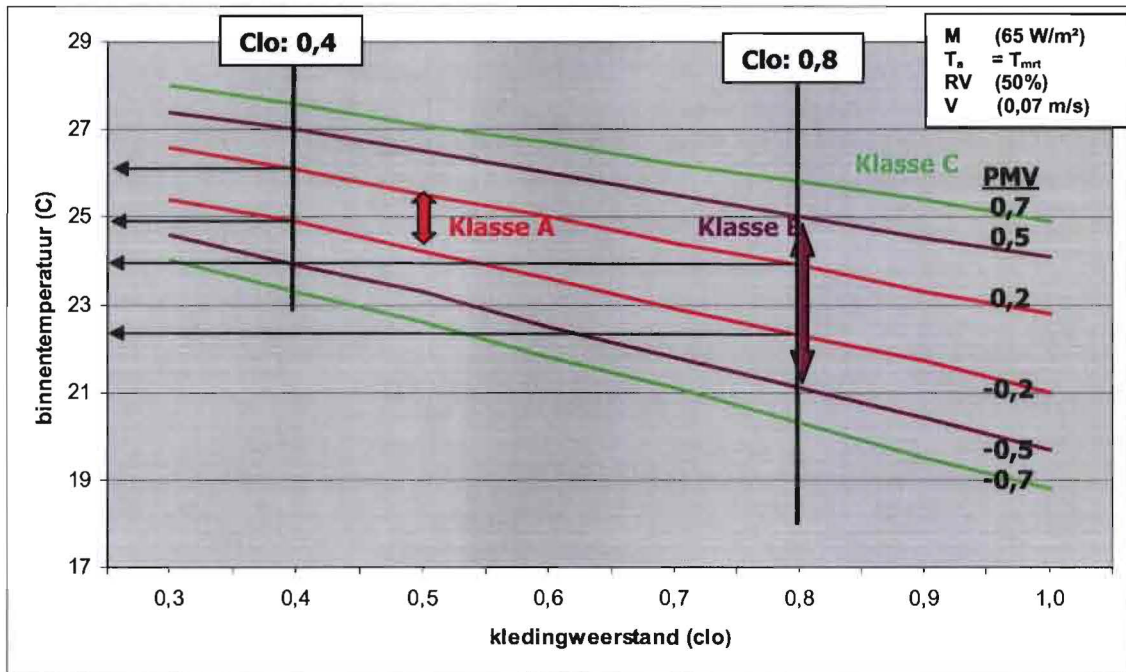
Uit figuur 13 komt naar voren dat een verhoging van de I_{clo} van 0,4 [clo] (de huidige waarde van 50% T-shirt en 50% dunne lange mouwen) naar 0,8 [clo] (licht zomer kostuum met colbert) de PMV zich bevindt rond de "nul" bevindt.



Figuur 13. Weergave van PMV over de gemeten tijd met een I_{clo} van 0,4 en 0,8 [clo].

De conclusie opgesteld aan de hand van het thermisch binnenklimaat, is dat de invloed van het buitenklimaat niet genoeg zichtbaar is ten opzichte van het binnenklimaat. Door de aanpassing van kleding kunnen er hogere temperaturen aangeboden worden in de zomer (zie figuur 14). Hierdoor hoeft er minder gekoeld te worden wat een lager energieverbruik tot gevolg heeft.

Figuur 14 geeft de bovenstaande conclusie grafisch weer. Er is tijdens het ontwerp uitgegaan van de standaard bestekwaarde van 0,8 [clo]. Bij een I_{clo} van 0,8 [clo] mag de binnentemperatuur maximaal 23,9°C worden om aan klasse A te voldoen. Bij de gemeten kledingweerstand, een I_{clo} van 0,4 [clo] is de minimale binnentemperatuur 24,9°C, die boven de maximale binnentemperatuur ligt van I_{clo} van 0,8 [clo]. Hierdoor zal het binnenklimaat nooit kunnen voldoen aan klasse A.



Figuur 14. Verband tussen de ontwerp- en de aanwezige kledingsisolatie, binnentemperatuur en gebouwklasse.

Gebouwklasse A	Spreiding van binnentemperatuur (°C)
0,4 [clo]	24,9 – 26,1
0,8 [clo]	22,3 – 23,9

M (65 W/m²)
T_a = T_{mrt}
RV (50%)
V (0,07 m/s)

Tabel 17. Spreiding van binnentemperatuur bij gebouwklasse A.

3.2.5 Discussie

Het doel van de meting was om inzicht te krijgen in het comfortniveau van het kantoorgebouw in de vorm van beleving, in theorie en praktijk. Door deze twee factoren met elkaar te vergelijken probeer je een goede verhouding te verkrijgen tussen het comfort en het energiegebruik.

Uit het onderzoek komen twee punten naar voren, die tevens antwoord geven op een tweetal onderzoeksvragen. Deze vragen zijn gesteld naar aanleiding van de situatie van het kantoorgebouw van Kropman. De conclusies van deze onderzoeksvragen zijn beantwoord in paragraaf 3.2.1 t/m 3.2.3:

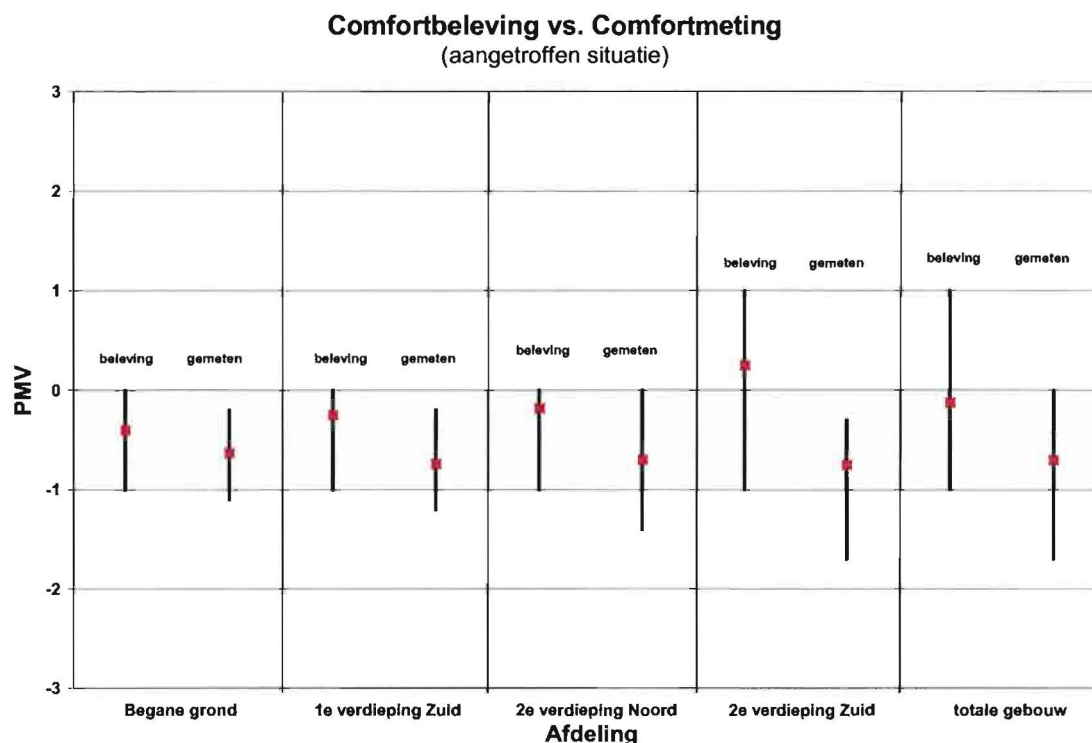
- **Wat is het werkelijke comfortniveau volgens de theorie van Fanger in het gebouw dat ontworpen is als een klasse A gebouw?**

Het thermisch comfort volgens de theorie van Fanger, de PMV, is aan de te lage kant. Het aangeboden klimaat is te koud waardoor er in theorie grote ontevredenheid heerst onder het personeel in het kantoorgebouw.

- **Hoe beleven gebruikers het comfort op hun eigen werkplek in een gebouw dat is ontworpen als een klasse A gebouw?**

Uit de afgenomen enquêtes komt naar voren dat de werknemers in het kantoorgebouw het klimaat van "voldoende" tot "goed" beoordelen. De werknemers zijn tevreden met het aangeboden klimaat. Een aantal werknemers past zijn/haar kleding aan, aan het te verwachten binnenklimaat.

De twee hierboven genoemde punten spreken elkaar tegen. Het aangeboden klimaat is te koud, maar de werknemers zijn tevreden. De gegevens uit de enquête en de meting zijn tegenover elkaar uitgezet in figuur 15. Te zien is dat de gemiddelde beleving op de begane grond goed overeen komt met de gemiddelde meting van de meetopstelling. De 1^e verdieping zuid en de 2^e verdieping noord laten een klein verschil zien tussen de gemiddelde beleving en de gemiddelde meting. De grote verschillen zitten in de beleving van de mensen onderling op de 2^e verdieping zuid.



Figuur 15. De beleving van de werknemers uitgezet tegen de meting in PMV-schaal.

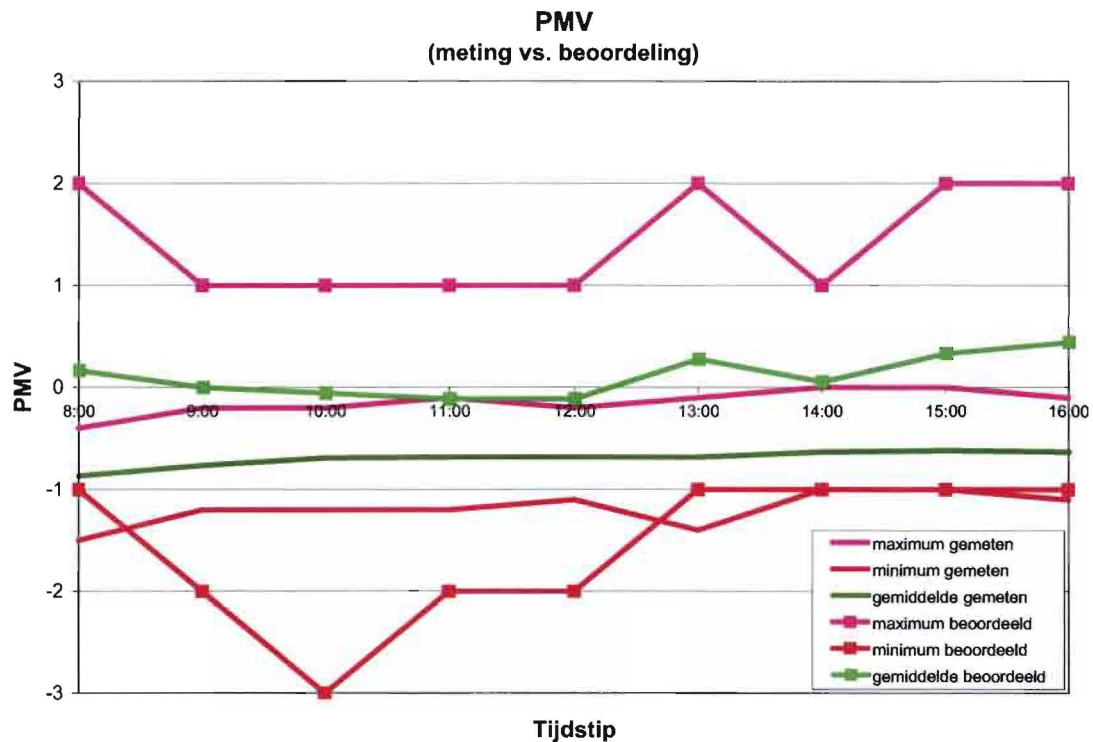
	PMV							
	mediaan		gemiddelde		min		max	
	beleving	gemeten	beleving	gemeten	beleving	gemeten	beleving	gemeten
begane grond	0	-0,6	-0,4	-0,6	-1	-1,1	0	-0,2
1^e verdieping Zuid	0	-0,7	-0,3	-0,7	-1	-1,2	0	-0,2
2^e verdieping Noord	0	-0,7	-0,2	-0,7	-1	-1,4	0	0,2
2^e verdieping Zuid	0	-0,7	-0,3	-0,7	-1	-1,7	1	-0,3
totaal	0	-0,7	-0,1	-0,7	-1	-1,7	1	0,2

Tabel 18. De beleving van de werknemers uitgezet tegen de meting in PMV-schaal.

Om de verschillen op specifieke tijdstippen weer te geven is in figuur 16 de maximale-, minimale- en gemiddelde beleving op vaste tijdstippen uitgezet tegen de maximale-, minimale- en gemiddelde PMV, die bepaald wordt door de metingen.

Figuur 16 laat zien dat de maximaal- en de gemiddeld- gemeten lijn overeen komt met de maximale- en de gemiddelde lijn van de beleving (paars en groen). De beleving laat een grotere bandbreedte zien. Dit wordt mede veroorzaakt door de beoordelingsmogelijkheid tijdens de specifieke beoordeling (zie tabel 10).

De minimale beoordeling uit de enquête laat een heel ander beeld zien. In de ochtend wordt het binnenklimaat kouder beoordeeld dan gemeten, in de middag komt deze overeen met de meting, waarbij op een tweetal momenten de beleving warmer is dan het daadwerkelijke binnenklimaat. In het algemeen kan uit figuur 16 geconcludeerd worden dat de werknemers het klimaat warmer beoordelen dan dat de PMV weergeeft.



Figuur 16. De beleving van de werknemers uitgezet tegen de meting in PMV-schaal over de dag.

Omdat in figuur 16 de extremen en de gemiddelden zijn opgenomen tijdens de gemeten periodes is er ook op een tweetal momenten, de specifieke beleving van één persoon weergegeven (figuur 17 en 18).

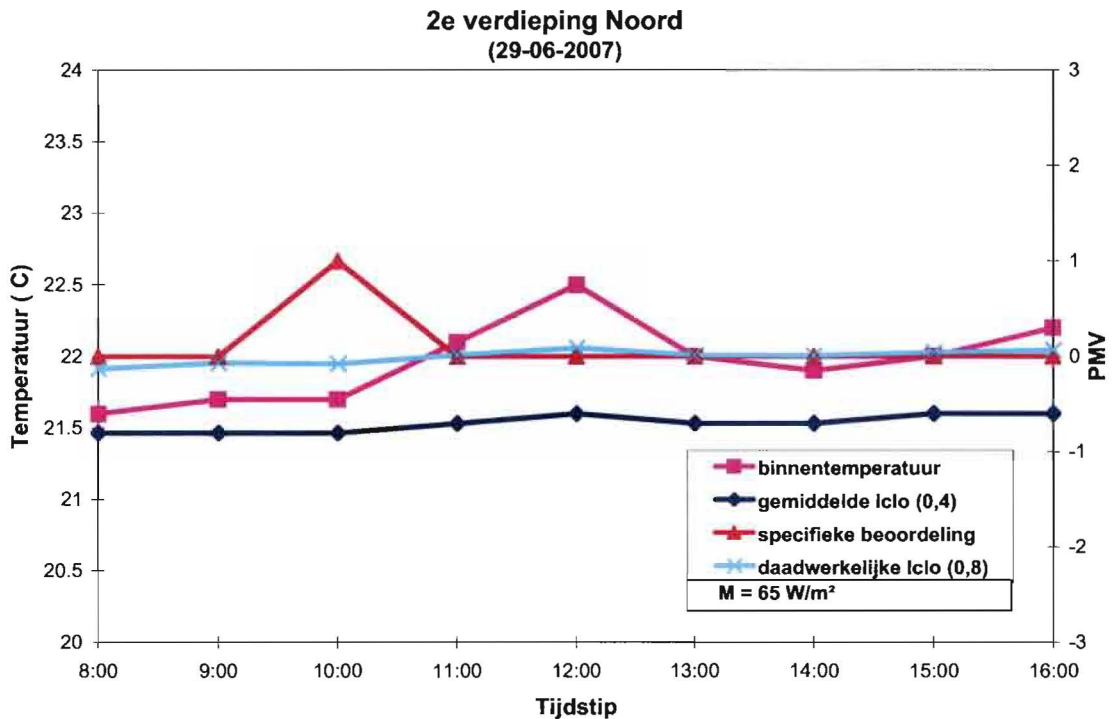
Doordat er met twee meetopstellingen tegelijk wordt gemeten is de beleving- en meting van twee personen weergegeven op hetzelfde tijdstip maar op andere afdelingen, te weten namelijk de 2^e verdieping noord en de 2^e verdieping zuid.

In figuur 17, 2^e verdieping noord, loopt de binnentemperatuur licht op tot 22,5°C tot aan het middaguur. Hierna daalt de temperatuur weer tot rond de 22°C. Het binnenklimaat wordt door de werknemer met "tevreden" beoordeeld waarbij hij het binnenklimaat om 10 uur met "enigszins warm" beoordeelt (PMV-schaal). De verhoging, in de beoordeling, is niet te herleiden aan de hand van de binnentemperatuur of de gemeten PMV.

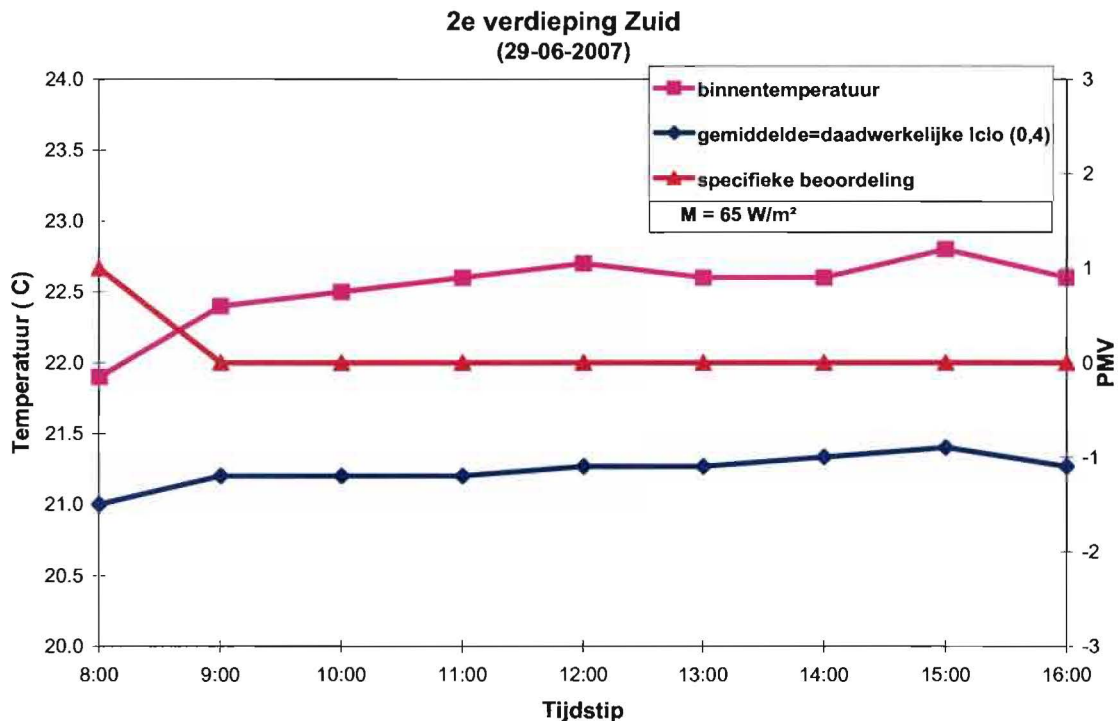
De PMV is bepaald op een I_{clo} van 0,4 [clo] aan de hand van de in hoofdstuk 3.2.3 geconstateerde gemiddelde kledingweerstand en laat een PMV over de dag zien van -0,7. Deze waarde komt overeen met een gebouwklasse C. De werknemer droeg echter kleding die overheen komt met een I_{clo} van 0,8 [clo]. De PMV met een kledingweerstand van 0,8 [clo] komt, op de piek van 10 uur na, overeen met de beoordeling.

In figuur 18, 2^e verdieping zuidzijde, loopt de temperatuur tot het middaguur geleidelijk op tot 22,7°C, waarna de temperatuur schommelt oms de 22,5°C. Het binnenklimaat wordt bij binnenkomst door de werknemers met "enigszins warm" beoordeeld waarna hij de rest van de dag tevreden is met het binnenklimaat.

De PMV van 0,4 [clo] is hier zowel de gemiddelde- als de daadwerkelijke gedragen kledingweerstand. Ook hier bevindt zich de PMV aan de negatieve zijde met een waarde van -1.



Figuur 17. De beleving van één werknemer uitgezet tegen de meting in PMV-schaal over één dag op de 2^e verdieping aan de noordzijde van het kantoorgebouw.



Figuur 18. De beleving van één werknemer uitgezet tegen de meting in PMV-schaal over één dag op de 2^e verdieping aan de zuidzijde van het kantoorgebouw.

Het verschil tussen de hogere PMV aan de noordzijde, ondanks de lagere binnentemperatuur, is te verklaren doordat er op de zuidzijde een hogere luchtsnelheid is gemeten.

Figuur 17 en 18 laten zien dat de beleving nagenoeg constant is over de gehele werkdag, ondanks dat de temperatuur fluctueert. Deze constatering kan op twee manieren verklaard worden:

- de werknemers zijn ongevoelig voor de temperatuur verandering van het binnenklimaat;
- de behoefte van de werknemer, met betrekking tot de temperatuur, verschilt over de gehele werkdag.

Uit figuur 15, 16, 17 en 18 is verder af te leiden dat de beleving van de werknemers niet overeen komt met de gemeten waarde.

Er zijn een aantal artikelen waarin deze tegenstelling al eerder aan het licht wordt gebracht. Uit een onderzoek van Doherty en Arens [33] waarbij een aantal laboratorium experimenten gedaan worden concluderen ze een afwijking in de voorspelde en de actuele thermische sensatie van maximaal 1,3 punten.

Evenals Oseland en Humphreys [3] die de neutralen temperaturen in acht klimaat kamers met elkaar vergeleken en een neutrale temperatuur vond die 0,8°C lager was dan de voorspelde neutrale temperatuur. Hieruit concludeerden Oseland en Humphreys dat *"the use of PMV encourages unnecessary heating in cool conditions and unnecessary cooling in warm conditions"*.

Een andere reden voor het niet overeen komen van de enquête met de geconstateerde PMV van Fanger kan zijn dat de meeste onderzoeken zijn uitgevoerd in klimaatkamers. In dit onderzoek zijn gebruikers ondervraagd in een vertrouwde situatie (kantoor) in plaats van klimaatkamers. Ook kan er verschil optreden door dat de werknemers niet de gehele tijd specifiek bezig waren met wat ze nu precies "voelen", maar "gewoon" met hun dagelijks werk bezig zijn.

Uit de bovengenoemde artikelen en het feit dat de metingen zijn afgenomen in een voor de gebruiker vertrouwde omgeving zou geconcludeerd kunnen worden dat de berekende PMV niet geheel overeen komt met de actuele comfort beleving.

De huidige instellingen van het systeem zijn te verklaren door het feit dat er tijdens het ontwerp uitgegaan is van een vaste I_{clo} van 0,8 [clo]. Bij deze waarde voldoet het kantoorgebouw aan gebouwklasse A (figuur 13).

Een andere constatering is dat wanneer er in één en dezelfde ruimte gelijktijdig verwarmd en gekoeld wordt dit geen invloed heeft op het comfortniveau.

Wat opmerkelijk is, is dat mijn eigen beleving van het binnenklimaat overeen komt met de gemeten PMV, enigszins koud (-1). Meerdere malen constateer ik bij mijzelf een oncomfortabel (koud) gevoel wanneer ik achter mijn bureau zit. Mijn kleding heb ik gedurende mijn werkperiode (< ½ jaar) aangepast aan de te verwachten binnensituatie zodat het oncomfortabele gevoel minder vaak optreedt. Wanneer ik deze constatering van een oncomfortabel koude gevoel met werknemers van het kantoor besprak werd deze beleving van het binnenklimaat door hun bevestigd. De verwachting was dan ook dat de uitkomst van de enquête met een oncomfortabel "koude gevoel" zou worden beantwoord. De werkelijke uitkomst van de enquête is echter dat de werknemers over het algemeen tevreden zijn met het binnenklimaat.

Een oorzaak van het verschil tussen de verwachting en het daadwerkelijke resultaat van de enquête zou kunnen liggen aan het feit dat op het moment van uitrekenen van de enquête het klimaat comfortabel was en dat het binnenklimaat is weergegeven van dat moment.

3.3 Thermisch comfort na aanpassing

In de conclusie van hoofdstuk 3.2.4 wordt geconcludeerd dat de isolatie waarde I_{clo} van de door de werknemers gedragen kleding komt niet overheen met de standaard bestek waarde voor een klasse A gebouw. Het gevolg is dat in de zomerperiode een te lage ruimte temperatuur wordt aangeboden om een PMV van nul te bereiken. Met de uitkomsten van de meting is een verstelling gedaan aan het klimaatsysteem voor de zomer en winterperiode.

2 weken na de aanpassing van de installatie is er nogmaals een "thermisch comfort" meting uitgevoerd over een periode van 3 weken, van 17-11-2007 tot en met 07-12-2007. Aan het eind van de meetperiode is nogmaals de "comfort-enquête" door de werknemers ingevuld.

Figuur 13 geeft weer, dat bij het uitgangspunt van een I_{clo} van 0,8 [clo] de PMV voor het grootste gedeelte aan een gebouwklasse A voldoet. Doordat de tweede meting in de winterperiode gedaan is zal de aanpassing naar verwachting minder energiewinst opleveren ten opzichte van de zomerperiode, de ontwerpuitgangspunten van een licht zomerkostuum met colbert tot alle daagse kleding in de vorm van een spijkerbroek met trui liggen dicht bij elkaar.

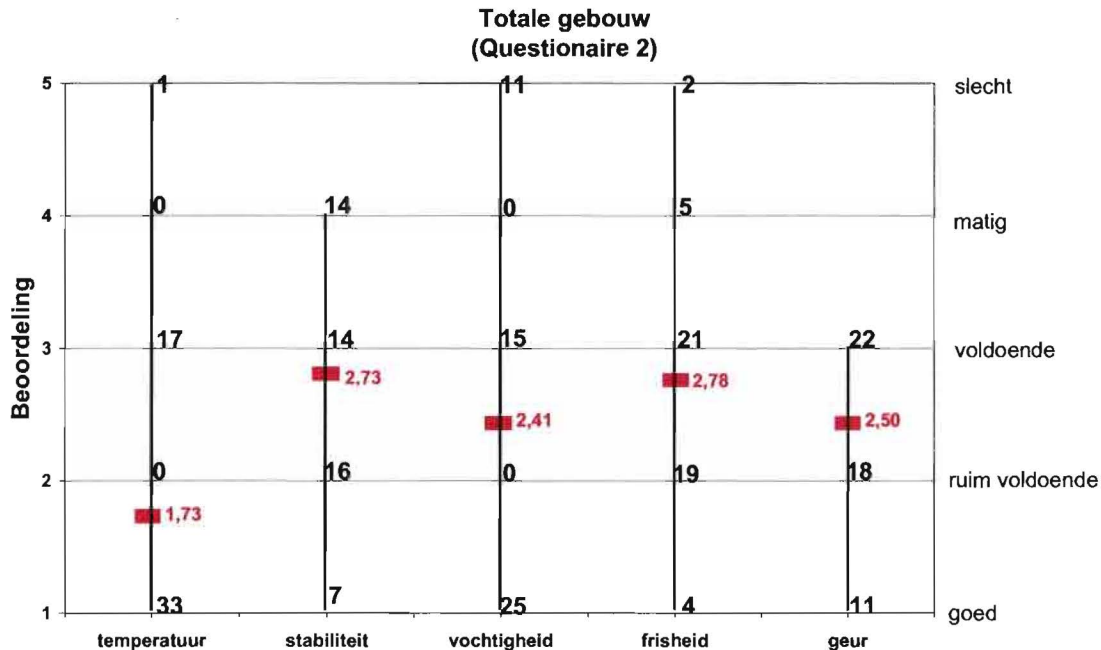
3.3.1 Enquête 2

De enquête die is toegepast in hoofdstuk 3.2.1 is nogmaals gebruikt bij de nieuwe situatie. Deze enquête is persoonlijk afgegeven aan de medewerkers op 07-12-2007.

Enquête	Aantal	Leeftijd			
		mediaan	gemiddelde	min	max
begane grond	8	42	42	35	54
1 ^e verdieping Zuid	11	36	36	23	60
2 ^e verdieping Noord	15	35	35	28	34
2 ^e verdieping Zuid	17	27	28	22	52
totaal	51	34	34	22	60
mannen	47				
vrouwen	4				

Tabel 19. Deelname van het aantal personen van enquête 2 per afdeling.

In figuur 19 is de beoordeling op temperatuur, stabiliteit van temperatuur, vochtigheid, frisheid en geur weergegeven. De uitkomsten per verdieping zijn weergegeven in bijlage I.



Figuur 19. Beoordeling van enquête 2 van het binnenklimaat.

In figuur 19 is te zien dat alle facetten **gemiddeld** worden beoordeeld van voldoende tot goed.

De temperatuur wordt door 33 personen met een "goed" beoordeeld en door 1 persoon met een "slecht".

De stabiliteit van de temperatuur wordt door 14 personen van de 51 als matig ervaren. De andere personen beoordelen deze als voldoende tot goed.

De vochtigheid in het kantoor wordt door 11 personen als slecht ervaren. Drie van deze personen zijn werkzaam op de begane grond, drie op de 1^e verdieping Zuid, 1 op de 2^e verdieping Noord en vier op de 2^e verdieping Zuid. 25 personen beoordelen de vochtigheid met goed. Hiervan is één persoon werkzaam op de begane grond, 7 op de 1^e verdieping Zuid, 9 op de 2^e verdieping Noord en 8 op de 2^e verdieping Zuid.

De frisheid van het kantoor wordt door 2 personen als slecht ervaren; één op de 2^e verdieping Noord en één op de 2^e verdieping Zuid.

3.3.2 Thermisch comfort meting 2

De meetopstelling die is toegepast in hoofdstuk 3.2.1 is nogmaals gebruikt voor de nieuwe situatie.

De kledingweerstand van de werknemers in het kantoorgebouw tijdens de nieuwe situatie wordt gedurende de 2^e meetperiode op basis van meetresultaten vastgesteld op:

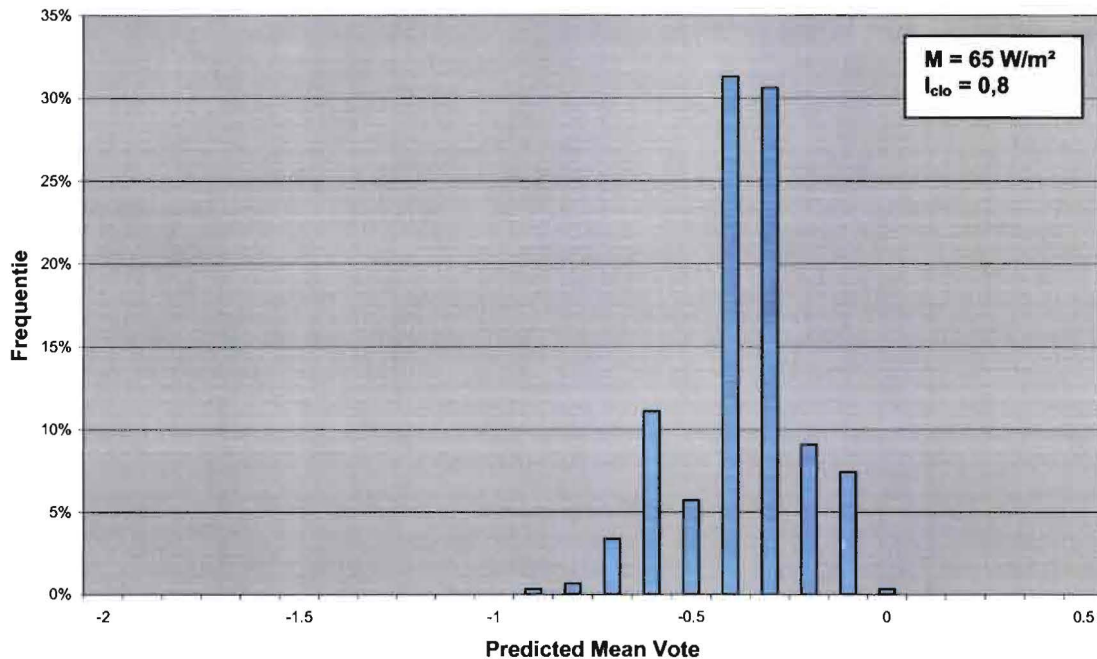
- 50% draagt winterkleding, T-shirt met een overhemd met lange mouwen (0,6);
- 50% draagt winterkleding, T-shirt met een trui (1,0).

De gemiddelde I_{clo} in het kantoorgebouw wordt tijdens deze meettijd gesteld op **0,8** [clo].

De werkzaamheden in het kantoorgebouw blijven gelijk en zijn lichte kantoorwerkzaamheden (met = 1,1). Deze werkzaamheden komen overeen met een activiteitsniveau van 65W/m².

Predicted mean vote

De PMV van het kantoorgebouw over de periode van 17-11-2007 tot en met 07-12-2007 is in figuur 19 weergegeven. De PMV per afdeling is weergegeven in bijlage J.



Figuur 19. Frequentie van voorkomende PMV tijdens kantooruren.

PMV (07.00 - 18.00)	Criteria PMV	BG noord (%)	1 ^e verd zuid (%)	2 ^e verd noord (%)	2 ^e verd zuid (%)	totaal (%)
Klasse A	(-0,2<PMV<0,2)	4	47	20	7	17
Klasse B	(-0,5<PMV<0,5)	84	93	90	85	85
Klasse C	(-0,7<PMV<0,7)	98	100	100	100	99
Klasse A (Roelofsen)	(-0,5<PMV<0)	84	93	90	85	85

Tabel 20. Percentage van tijd, tijdens kantooruren, dat de PMV binnen de gestelde eisen valt.

Uit figuur 19 is op te maken dat de "gemeten" PMV aan de negatieve, koude zijde verkeert. Tabel 20 geeft het percentage weer, dat aan de bijbehorende klasse voldoet. Uitgaande van klasse A voor het kantoorgebouw van Kropman voldoet deze niet aan de gestelde PMV eis. Klasse A volgens Roelofsen [1], voor optimale productiviteit, valt 85% van de tijd binnen de gestelde eis.

Aan de hand van de PMV bepaalt men de Predicted Percentage of Dissatisfied, het aantal ontevreden. De PPD is weergegeven in bijlage K.

Overige invloeden thermisch comfort

De lokale thermische ontevredenheid en een niet constante thermische omgeving voldoen ook na aanpassing van de installatie niet aan de eisen die zijn vastgesteld aan gebouwklasse A (bijlage L en bijlage M).

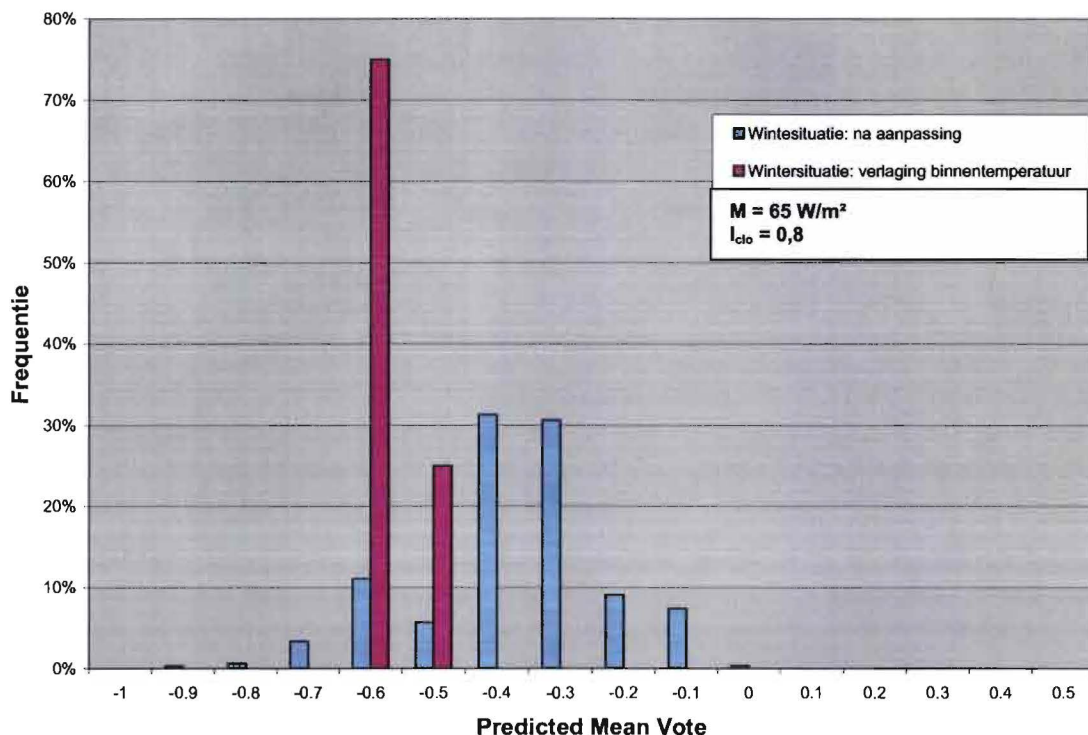
3.3.3 Conclusie meting 2

Enquête nr.2 wordt gemiddeld op alle facetten met voldoende beoordeeld. Een gering percentage beoordeelt een aantal facetten met matig tot slecht. Uit de enquête kan opgemaakt worden dat de werknemers in het algemeen tevreden zijn met het binnenklimaat.

Het thermisch comfort, de PMV, is na aanpassing, voor een gebouwklasse A aan de (te) lage kant volgens de NEN-EN-ISO 7730, 17%. Volgens Roelofsen [1], die na onderzoek de PMV verschoven heeft voor een optimale productiviteit, voldoet deze voor 85% van de tijd aan gebouwklasse A.

Door de minimale verschillen tussen de beoordelingen van de twee afgenomen enquêtes kan geconstateerd worden dat werknemers binnen een bepaalde bandbreedte ongevoelig zijn voor het binnenklimaat. Met deze wetenschap is getracht de temperatuur in de wintersituatie te vinden, waarbij de werknemers begonnen te klagen over het binnenklimaat; "de binnentemperatuur". Op deze manier kan de minimale binnentemperatuur bepaald worden het geen leidt tot lagere energiekosten met betrekking tot het verwarmen van de kantoren in de wintersituatie. Deze situatie, waarbij meerder werknemers op verschillende afdelingen begonnen te klagen, is geconstateerd bij een binnentemperatuur van 20°C. Door de klachten van de werknemers is de test vroegtijdig gestopt.

De geringe gegevens door het vroegtijdig stoppen van de test zijn weergegeven in figuur 20. Hierbij is de PMV weergegeven van hoofdstuk 3.3.2, "wintersituatie na aanpassing", en de PMV waarbij meerdere werknemers begonnen te klagen, "wintersituatie bij verlaging binnentemperatuur". Uit figuur 20 kan afgeleid worden dat bij een PMV kleiner dan -0,5 de werknemers het binnenklimaat negatief beoordelen. Deze constatering komt overeen met de theorie van Roelofsen [1] die aangeeft dat de optimale productiviteit voor een gebouw met gebouwklasse A ligt bij een $-0,5 < PMV < 0$.



Figuur 20. De PMV na aanpassing en bij verlaging van de binnentemperatuur in wintersituatie.

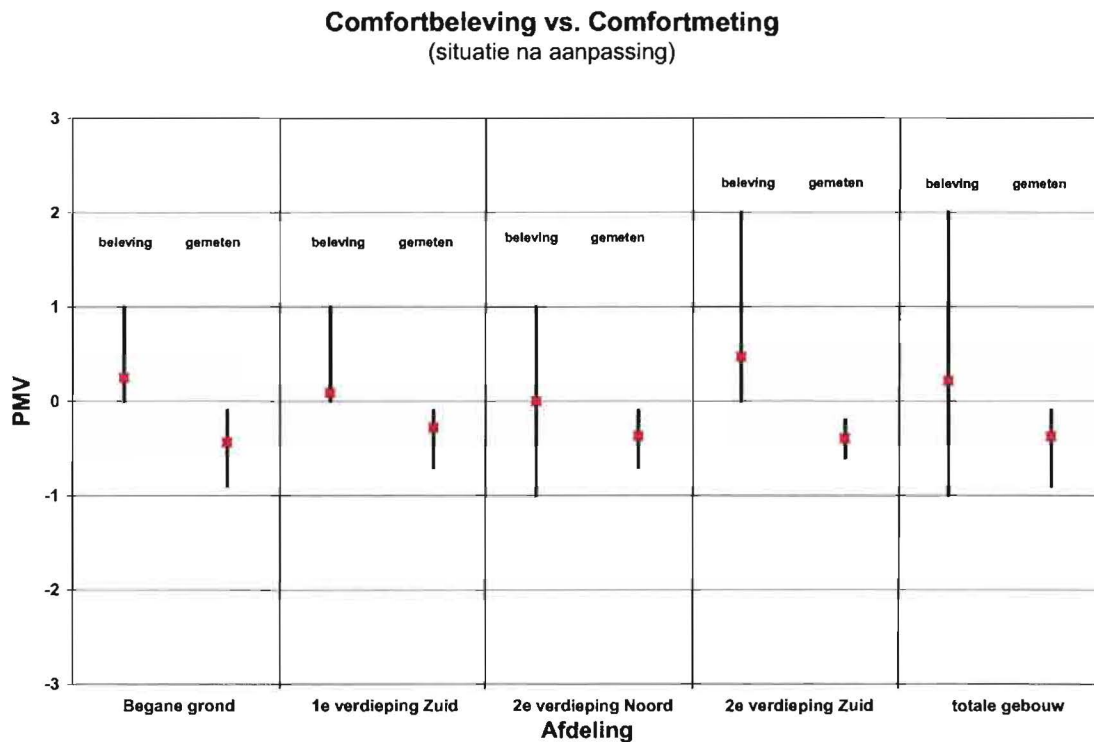
3.3.4 Discussie

In paragraaf 3.3 is geconstateerd dat door de temperatuur te verlagen naar 20°C er klachten ontstonden ten aanzien van de temperatuur. De PMV behorende bij deze situatie is -0,6. De 1^e meting, het aangetroffen binnenklimaat, leverde een gemiddelde PMV op van -0,7 waarbij gemiddeld iedereen tevreden was. Deze twee constatering komen niet met elkaar overeen. Dit zou betekenen dat er in de wintersituatie een minimale PMV van -0,5 mag heersen en in de zomersituatie een minimale PMV van -0,7 of lager, zonder dat er klachten komen over het binnenklimaat.

Er kunnen echter ook een aantal andere factoren van invloed zijn:

- het binnenklimaat, dat in de zomerperiode is aangetroffen. Aan deze situatie zijn de werknemers al een lange periode blootgesteld (meerdere maanden/jaren). Na aanpassing van de installatie waarbij een PMV werd behaald van -0,3/-0,4 gedurende een tijd van 10 weken, is de PMV verder verlaagd met de bedoeling de ondergrens op te zoeken. Hierbij waren de werknemers gewend geraakt aan de hogere PMV waardoor een verlaging als onprettig werd ervaren.
- Er zit een verschil in PMV tussen de zomer- en winterperiode. Hieruit zou men kunnen concluderen dat er een verschil zit in de acceptatie van de PMV in de zomer- en wintersituatie. Hierover is geen literatuur gevonden die een soortgelijke constatering hebben gedaan.

De gegevens van de beleving en van de meting na de aanpassing zijn tegenover elkaar gezet in figuur 21. In het figuur is te zien dat de gemiddelde beleving, de maximale en de minimale waarde op de begane grond en de eerste verdieping zuid niet overeen komen met de gemiddelde, maximale en de minimale meting met de meetopstelling. De 2^e verdieping noord laat hetzelfde beeld zien waarbij alleen de minimale waarde lager ligt in de beleving van het binnenklimaat. Grote verschillen zitten op de 2^e verdieping zuid, tussen de beleving van de mensen onderling, en tussen de beleving en de meting op zich zelf.



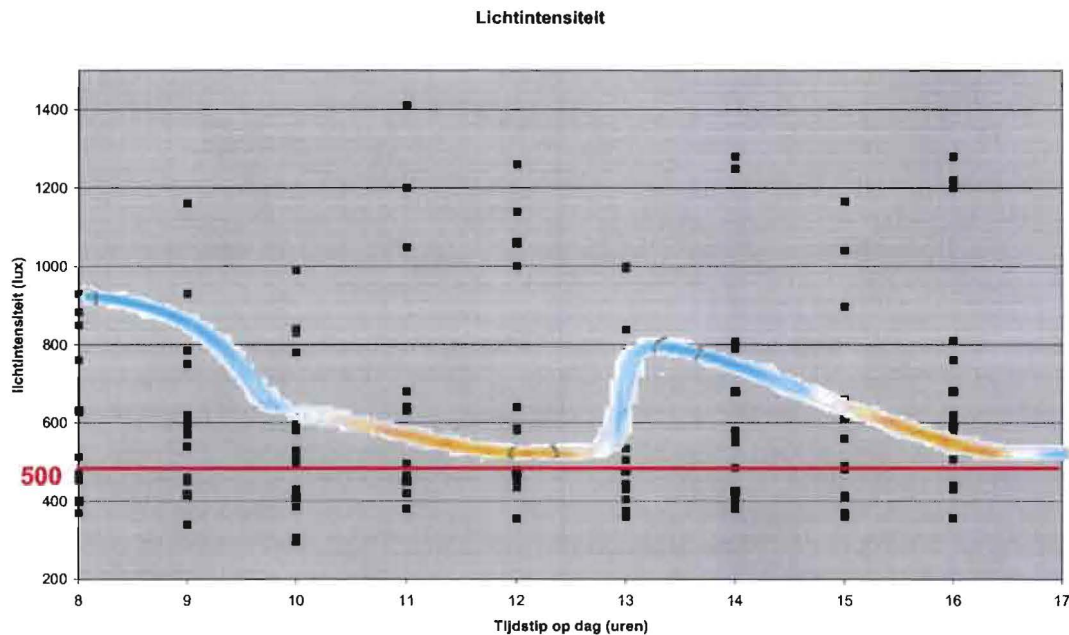
Figuur 21. De beleving van de werknemers uitgezet tegen de meting na aanpassing in PMV-schaal.

	PMV							
	mediaan		gemiddelde		min		max	
	beleving	gemeten	beleving	gemeten	beleving	gemeten	beleving	gemeten
begane grond	0	-0,4	0,3	-0,4	-0	-0,9	1	-0,1
1^e verdieping Zuid	0	-0,3	0,1	-0,3	0	-0,7	1	0
2^e verdieping Noord	0	-0,4	0	-0,4	-1	-0,7	1	-0,1
2^e verdieping Zuid	0	-0,4	0,5	-0,4	0	-0,6	2	-0,2
totaal	0	-0,4	0,2	-0,4	-1	-0,9	2	0

Tabel 21. De beleving van de werknemers uitgezet tegen de meting na aanpassing in PMV-schaal.

3.4 Lichtintensiteit

Tijdens de beoordeling van de lichtintensiteit, is gelijktijdig een momentane lichtintensiteitsmeting op de werkplek gedaan. De gemeten lichtintensiteit op de vaste tijdstippen is weergegeven in figuur 22. De blauw/gele lijn geeft de lichtbehoefte van de gemiddelde werknemer weer, waarbij de blauwe kleur koel witlicht weergeeft en de gele kleur warm witlicht. Dit principe noemt men de "human" ritme [36].



Figuur 22. Gemeten lichtintensiteit en de natuurlijke behoefte van kleur en intensiteit.

De NEN hanteert een minimum lichtintensiteit van 500 lux op werkplekniveau. Uit figuur 22 blijkt dat 36% van de tijd dat de lichtintensiteit momentaan gemeten is deze zich onder de volgens de NEN-gehanteerde 500 lux bevindt. Op 2 plekken in het kantoorgebouw is het zelfs zo dat de waarde zich de gehele dag onder de 500 lux bevindt (tabel 22).

Onderzoeken naar de invloed van licht op de productiviteit in kantoorgebouwen zijn hedendaags nog niet gedaan. Op basis van de gegevens over de invloed van dynamisch licht op de biologie van de mens in het algemeen, is de verwachting dat de productiviteit in een kantooromgeving met dynamische verlichting stijgt.

In de industrie is er wel een onderzoek gedaan dat het verband weergeeft tussen dynamische verlichting en productiviteit [36]. Hieruit concludeert men dat verhogen van het verlichtingsniveau van 300 naar 500 lux leidt tot een gemiddelde productiviteitsverhoging van 8%. Bij het verhogen van het verlichtingsniveau van 300 naar 2000 lux stijgt de productiviteit zelfs 15 tot 20%.

In tabel 22 wordt de beleving van de gebruiker in het algemeen tegenover de momentane meting gezet op een bepaald tijdstip. De bovenste rij, die van de gebruiker, geeft de gemeten lichtintensiteit weer. De onderste rij geeft de beleving weer. De beleving van het personeel is weergegeven in kleur en beoordelingschaal aan de hand van tabel 10. De gemeten lichtintensiteit staat weergegeven in getal. De kleur is afhankelijk van de waarde, waarbij er drie mogelijkheden zijn:

- de kleur rood, de lichtintensiteit is < 500 lux;
- de kleur oranje, de waarde van $500 \leq$ lichtintensiteit $<$ menselijke behoefte;
- de kleur groen, de lichtintensiteit is \geq aan de menselijke behoefte.

		lichtintensiteit								
		8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
1	BG	760	1160	990	1048	1640	1510	1280	1165	1280
		0	0	0	0	0	1	0	1	1
2	BG	850	930	515	1200	1260	780	790	1040	1220
		0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	BG	370	415	385	465	460	404	414	414	430
		0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	BG	420	417	530	435	480	430	560	480	440
		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
5	1e Zuid	630	640	700	580	1060	660	680	615	680
		0	0	0	-1	0	0	-1	-1	-1
6	1e Zuid	930	540	525	630	530	838	485	897	760
		0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1e Zuid	600	580	780	1410	1000	995	1250	1110	810
		0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1
8	1e Zuid	470	450	430	300	435	300	420	370	350
		-1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1e Zuid	700	750	525	680	520	596	410	450	507
		-1	-1	0	0	0	0	0	0	0
10	2e Noord	505	570	306	640	355	375	390	360	370
		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
11	2e Noord	560	616	600	565	586	625	580	637	578
		0	0	0	0	0	0	0	-1	0
12	2e Noord	883	784	840	1880	2140	2600	2200	1900	1200
		-1	-1	-1	0	0	1	-1	-1	0
13	2e Noord	453	460	490	480	480	535	570	560	600
		0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	2e Noord	580	600	500	630	580	505	808	660	590
		0	-1	0	0	0	0	0	0	0
15	2e Zuid	513	578	296	610	1139	444	400	408	430
		0	1	-1	1	1	1	1	1	1
16	2e Zuid	400	340	580	420	444	770	306	470	507
		-1	-1	0	-1	-1	1	-1	0	0
17	2e Zuid	400	416	408	450	473	477	425	640	590
		-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
18	2e Zuid	480	620	830	710	640	1000	550	620	620
		-2	-1	-1	-1	-1	-2	-1	-1	-1

Tabel 22. Beleving van de lichtintensiteit ten opzichte van de meting.

Wat opvalt, is werknemer/werkplek met het nummer 3. De lichtintensiteit zit onder het minimum van 500 lux dat gehanteerd wordt door de NEN. De werknemer is echter wel "tevreden" met de aangeboden lichtintensiteit. De werkplek met nummer 4 heeft nagenoeg dezelfde lage lichtintensiteit, maar beoordeelt de lichtintensiteit met "enigszins grauw". Beide werkplekken zijn gesitueerd op de "begane grond noordzijde" aan het atrium.

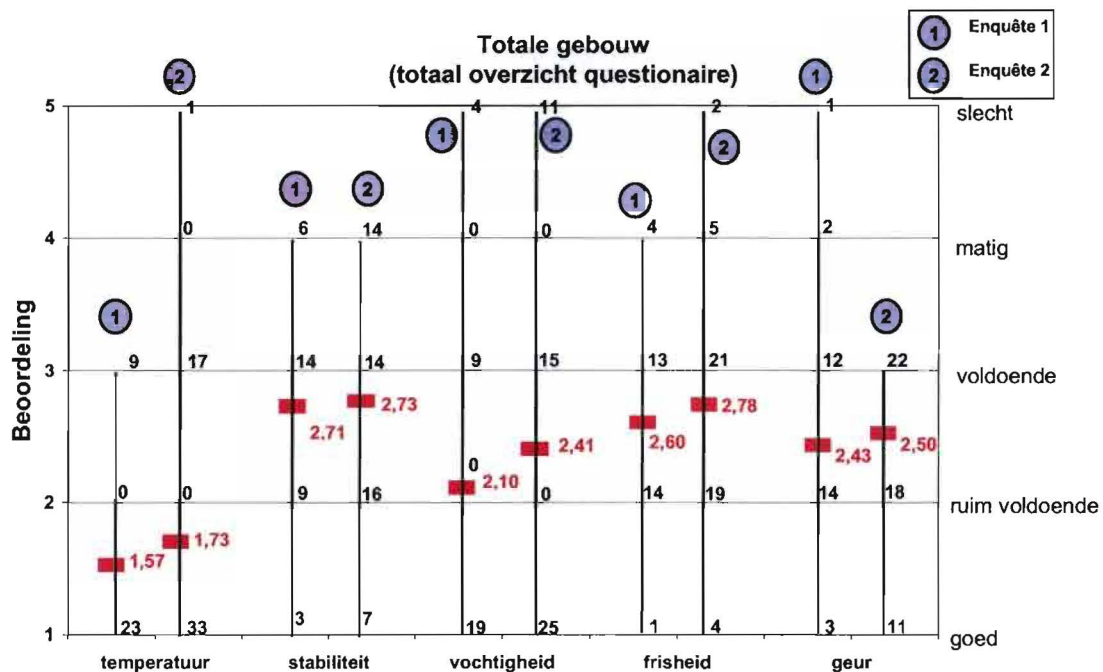
De werknemers van werkpleknummer 8, te weten gesitueerd op de 1^e verdieping zuid, en werkpleknummer 13 beoordelen de lichtintensiteit met "tevreden". Hier komt echter de lichtintensiteit ook niet aan de NEN-gehanteerde 500 lux. Werkpleknummer 8 bevindt zich verder op in het gebouw waardoor er minder lichtval van buitenaf is. Werkpleknummer 13 bevindt zich aan het atrium. Werkpleknummer 7 beschikt de gehele dag over voldoende lichtintensiteit. Deze werkplek wordt echter na de middag met "enigszins grauw" beoordeeld.

De lichtintensiteitsmeting is uitgevoerd in de zomerperiode; juli en augustus, waarin de lichtintensiteit in het algemeen hoger is dan in de winterperiode. De verwachting is dan ook dat de lichtintensiteit zich in de winter op meer werkplekken onder de 500 lux begeeft.

3.5 Discussie metingen

In hoofdstuk 3.2 en 3.3 zijn 2 situaties besproken, het aangetroffen binnenklimaat en het binnenklimaat na aanpassing van de installatie. De doelstelling van dit onderzoek is om een goed comfortniveau voor individuele gebruiker van een kantoorgebouw te verkrijgen tegen een zo laag mogelijk energieverbruik.

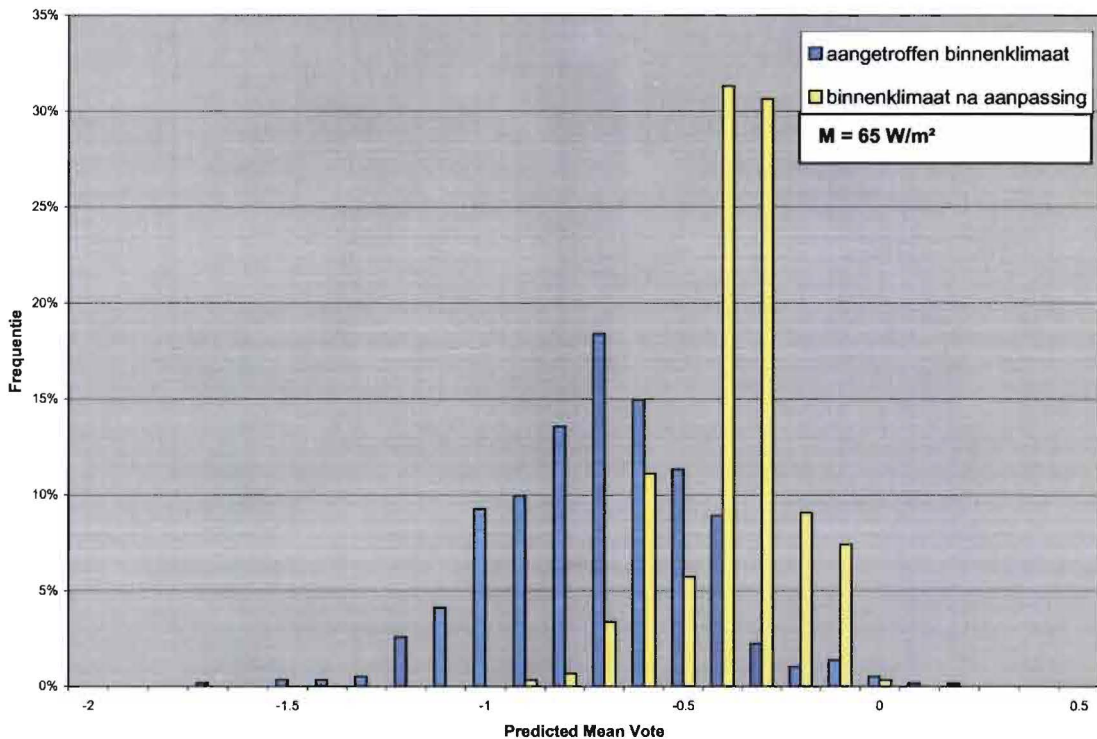
Enquête 1 beoordeeld het binnenklimaat gemiddeld hetzelfde als enquête 2. De klachten, beoordeling van matig en slecht, zijn na de verstelling verminderd van 16% naar 12%. Hieruit blijkt dat de aanpassingen aan de installatie geen negatieve invloeden heeft gehad op de gemiddelde beleving van de werknemers.



Figuur 22. Totaal overzicht van de enquêtes.

Uit figuur 23 is af te leiden dat de aanpassing van het binnenklimaat heeft geleid tot een verbetering van het thermisch comfort. De PMV is dichterbij de waarde "0" verschoven. Uitgaande van klasse A volgens Roelofs [1], voor optimale productiviteit, valt na aanpassing de PMV 85% van de tijd binnen de gestelde eis.

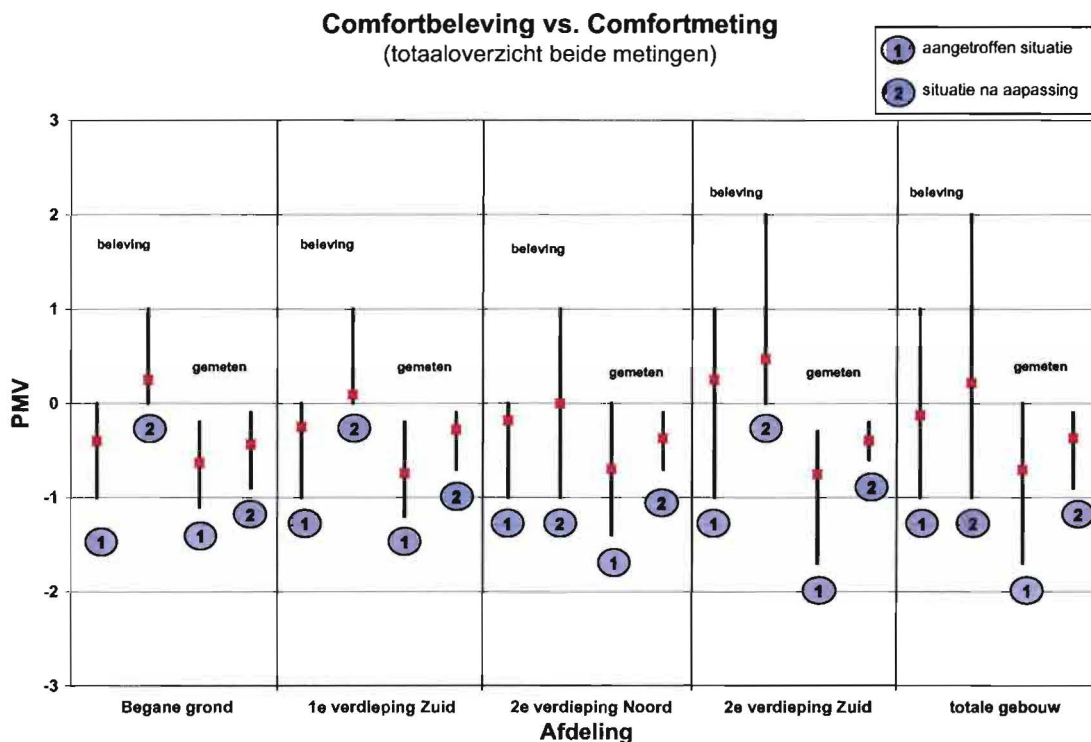
De binnentemperatuur is in de zomer omhoog gebracht door de lagere kledingweerstand in het kantoorgebouw ten opzichte van de ontwerpuitgangspunten. De hogere binnentemperaturen in de zomerperiode leiden tot een lager koelvermogen. Het lagere koelvermogen heeft weer een positief effect op het energieverbruik. De winterperiode zal minder energiewinst opleveren, de ontwerpuitgangspunten van een licht zomerkostuum met colbert tot alle dagse kleding in de vorm van een spijkerbroek met trui liggen dicht bij elkaar.



Figuur 236. Overzicht van de PMV, voor en na aanpassing van het binnenklimaat.

Uit de enquêtes komt naar voren dat, gemiddeld gezien, iedereen tevreden is. Er is echter een aantal personen, die sommige situaties met "matig" of "slecht" beoordelen. Om deze ontevredenen ook een goed comfort aan te kunnen bieden moet er mogelijkheden gecreëerd worden om het binnenklimaat aan te passen aan de wensen van deze personen.

De gegevens van beide enquêtes en metingen zijn tegenover elkaar gezet in figuur 24. De beleving van het binnenklimaat is op de begane grond, 1^e verdieping zuid en de 2^e verdieping noord verbeterd. Wat wel opvalt, is dat van alle werknemers die de enquête hebben ingevuld op de begane grond en de 1^e verdieping zuid hun beleving van het binnenklimaat is verschoven van "tevreden" tot "enigszins koud" naar "tevreden" tot "enigszins warm" wat overeen komt met de aanpassing van het systeem. Op alle verdiepingen is een verbetering waargenomen van het binnenklimaat met behulp van de meetopstelling. Deze verbetering wordt op de begane grond, 1^e verdieping zuid en de 2^e verdieping noord ook beleefd door de werknemers. De beleving op de 2^e verdieping zuid is na de aanpassing iets verslechterd. De verschuiving van de beleving komt echter wel overeen met de aanpassing op alle verdiepingen.



Figuur 24. De beleving van de werknemers uitgezet tegen de meting na aanpassing in PMV-schaal.

Met de bovenstaande constatering kan ook direct de laatste onderzoeksvraag beantwoordt worden:

- **Hoe kunnen de onderzoeksresultaten naar comfort en comfortbeleving gebruikt worden voor een innovatief ontwerp van een werkplek met individuele comfortregeling?**

De werknemers moeten de mogelijkheid hebben om het binnenklimaat binnen een bepaalde "range" aan te kunnen passen aan zijn/haar persoonlijke wensen door de invloed van de verschillen in kledingweerstand.

Hierbij moet de mogelijkheid tot aanpassen van het klimaat op de specifieke werkplek wel aan een aantal eisen voldoen.

1. eenvoudig, de gebruiker moet het doel ervan snappen;
2. weten dat het voor de gebruiker is en niet voor de service medewerker;
3. bekend zijn met de gebruikte interface;
4. het effect van de beïnvloeding weten of inzichtelijk maken.

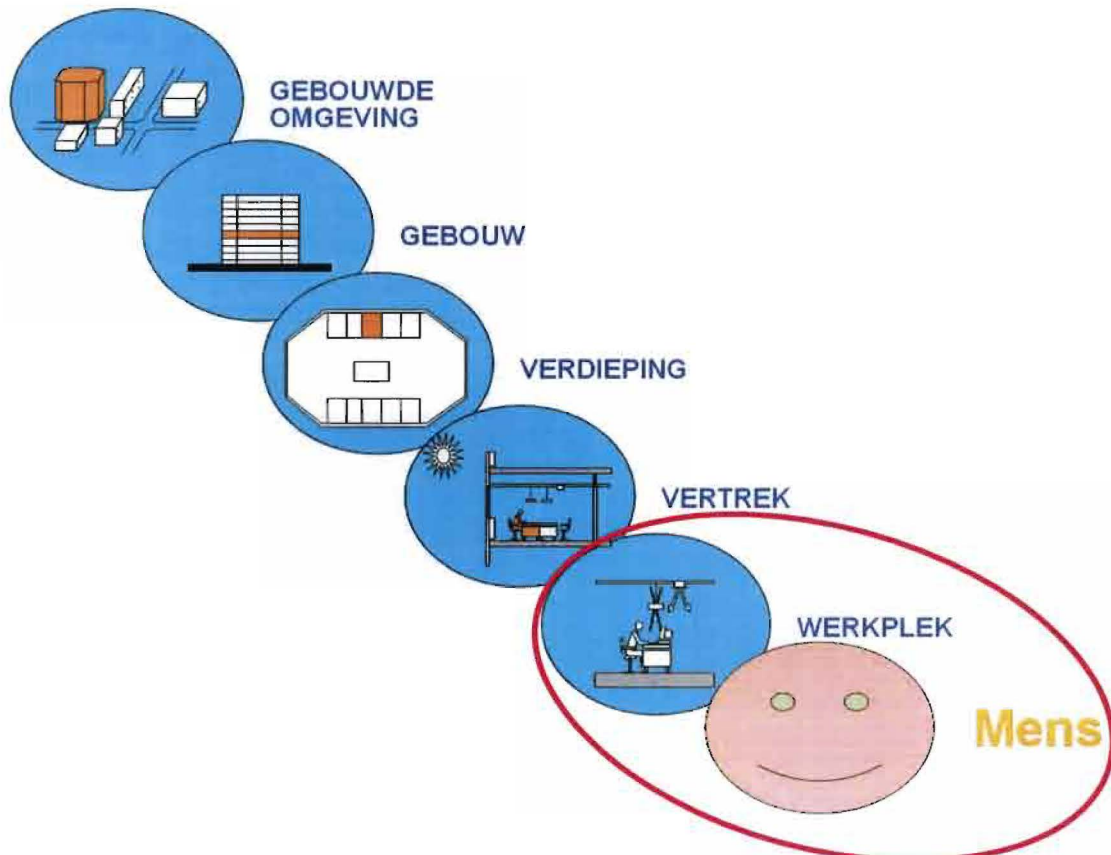
Momenteel is de mogelijkheid tot beïnvloeding van het binnenklimaat in de kantoren en kantoortuinen met behulp van een thermostaat. De thermostaat in de kantoortuinen bevindt zich naast de toegangsdeur en beïnvloedt de gehele kantoortuin. Echter tijdens de specifieke beoordeling heeft maar één persoon aangegeven daadwerkelijk de temperatuurinstelling te veranderen bij discomfort. De andere personen uit de kantoortuinen vinden het wel goed of weten niet dat de mogelijkheid bestaat de temperatuur te veranderen.

4. Het concept voor de werkplek

Om tot een nieuw concept te komen voor het individueel klimatiseren van de werkplek wordt er gebruik gemaakt van een ontwerpmethodede; "methodisch ontwerpen". Methodisch ontwerpen is een bruikbare methode voor een ontwerper om gestructureerd en transparant tot een ontwerp te komen. De traditionele manier van ontwerpen is in vele gevallen niet optimaal ten opzichte van de hoge eisen die aan ontwerpen worden gesteld. Door methodisch ontwerpen toe te passen ontwerp je vanuit een vaste structuur en het gebruik van morfologische overzichten. Op deze manier ziet men bij een nieuw ontwerp alle mogelijke oplossingen in één overzicht. De kans is hierdoor kleiner dat men terugvalt in vastgeroeste methodes, die bij vele voorgaande ontwerpen ook zijn toegepast. Deze methode van ontwerpen vraagt wel kennis van de huidige en toekomstige technieken van (deel)oplossingen, zodat het overzicht van oplossingen "up to date" blijft. Een uitgebreide beschrijving van methodisch ontwerpen is te vinden in bijlage O.

Figuur 28 geeft de verschillende ontwerp niveaus weer. Het onderliggende niveau vormt de basis voor het bovenliggende niveau. Elk niveau heeft eisen en uitgangspunten waaraan de (deel)oplossing moet voldoen.

Door de niveaus apart te benaderen kan er naar specifieke oplossingen gezocht worden per niveau. Hierdoor worden er voor problemen op de betreffende niveaus oplossingen bedacht, waardoor deze geen invloed hoeven te hebben op bovenliggende niveaus.



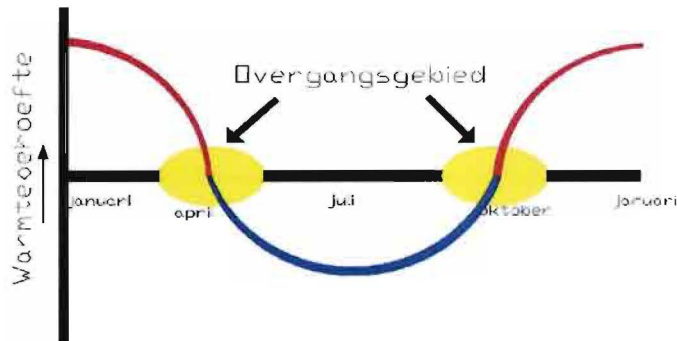
Figuur 28. Abstracte ontwerpproces [37].

Tot nu heeft de werknemer geen deel uitgemaakt van de strategie van de klimaatinstallatie op een kantoorgebouw. De werknemer wordt nu als het ware centraal gesteld in het ontwerpproces en krijgt de mogelijkheid het comfort individueel te regelen. Hierdoor wordt het mogelijk het comfort te verbeteren en efficiënter om te gaan met energie wat kan leiden tot lagere kosten. Omdat het comfort van directe invloed is op de gebruiker wordt er vanuit de eisen van de gebruiker ontworpen met betrekking tot zijn/haar gewenste comfortniveau. De ontwerp niveaus die van directe invloed zijn op het comfort van de gebruiker zijn:

- Werkplekniveau;
- Gebruikersniveau.

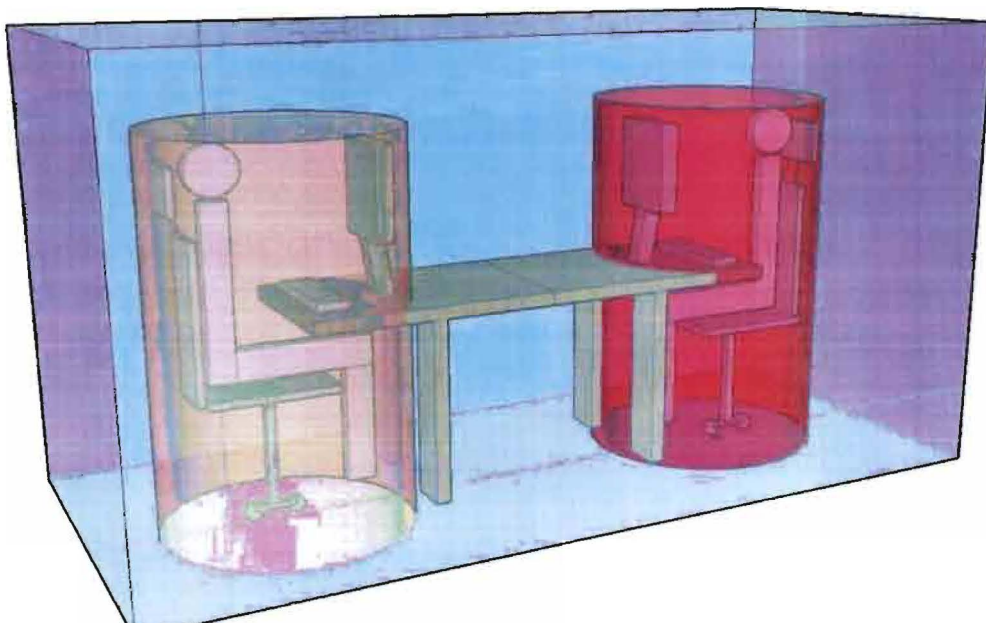
4.1 De voorwaarden voor de individuele werkplek

Uit de voorgaande hoofdstukken is gebleken dat om een goed comfort voor de individuele gebruiker te creëren er de mogelijkheid moet zijn het binnenklimaat individueel te regelen. Om energetisch optimaal het binnenklimaat aan te kunnen passen aan de wens van de gebruiker wordt er een minimaal klimaat aangeboden. Hierdoor wordt onnodig energieverbruik tegen gegaan, bijvoorbeeld één ruimte wordt eerste verwarmd waarna dezelfde ruimte even later weer wordt gekoeld. Deze vorm van onnodig energieverbruik komt vooral voor in het tussenseizoen (figuur 29). De energetisch beste oplossing hiervoor is een binnenklimaat te creëren waarbij de gebruikers allen in dezelfde richting de temperatuur kunnen aanpassen [35].



Figuur 29. Globaal verloop van verwarmingsseizoenen en het koelseizoen over een jaar [35].

Om met een zo laag mogelijk energieverbruik tot een goed comfort voor de gebruiker te komen wordt een minimaal binnenklimaat aangeboden. Het minimale binnenklimaat wordt op gebouwniveau centraal behandeld waarna het naar de vertrekken gebracht wordt. Hierbij kan men het minimale binnenklimaat aanpassen aan het (te verwachte) buitenklimaat om zo in te spelen op de verwachting van de gebruiker. Huidige toepassingen zoals het gebruik van een variabele inblaasttemperatuur op basis van een stooklijn dan wel retourtemperatuur zijn hiervoor al veelvuldig aanwezig. De gebruiker heeft op zijn werkplek zelf de mogelijkheid om het werkplekklimaat aan te passen aan zijn persoonlijke wensen.



Figuur 30. Wintersituatie waarbij het individueel mogelijk is de werkplek na te verwarmen tot de gewenste temperatuur.

Op de specifieke werkplek heerst een ideaal comfortniveau, daarbuiten is het comfortniveau minder. Buiten de directe werkplek mag de temperatuur anders zijn, of het binnenklimaat een lager niveau hebben, voor een korte verblijfsduur. Deze strategie verbruikt minimale energie omdat alleen de specifieke werkplek op een hoog comfortniveau gebracht wordt.

Nog geavanceerder is om het klimaat aan te bieden wat al op de gebruiker is afgestemd. De gewenste beleving van een persoon kan dan al voor een groot gedeelte bepaald worden aan de hand van een aantal persoonlijke gegevens. Deze persoonsgebonden gegevens die van invloed kunnen zijn op het gewenste klimaat zijn bekend bij het bedrijf waar de werknemer werkzaam is (figuur 31). Bij het inloggen op een computer met behulp van je personeelsnummer op een (flexibele)werkplek leest "het systeem" wie er achter de betreffende computer zit.

Eigenschappen P. Noom	
Persoonsgebonden factoren	
geslacht	man
leeftijd	26
oorsprong	west-europees
vestiging	Utrecht
gebouwtype (Alpha/Bèta)	Bèta
gebouwklassie	A

Figuur 31. De persoonsgebonden gegevens die van invloed zijn op het gewenste binnenklimaat.

Maandelijks kan ook de variabele factor van de theorie van Fanger, de kledingweerstand, bepaald worden. De variabele factor komt maandelijks terug (bv. bij aanpassen van het wachtwoord, in het geval van kantoorgebouw van Kropman), zodat er meer rekening gehouden kan worden met de invloed van kleding op het gewenste binnenklimaat.

Eigenschappen P. Noom		
Variabele factor		
gemiddelde kleding gedrag (aankomende maand)	t-shirt	<input type="checkbox"/>
	overhemd	<input type="checkbox"/>
	t-shirt + overhemd	<input type="checkbox"/>
	trui	<input type="checkbox"/>
	zomer pak	<input type="checkbox"/>
	drie deligpak	<input type="checkbox"/>
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Annuleren"/> <input type="button" value="Toepassen"/>		

Figuur 32. De variabele factor van PMV die van invloed is op het gewenste binnenklimaat.

Meer onderzoek moet uitwijzen wat de invloed is van onder andere het geslacht, leeftijd en oorsprong op het metabolisme. Deze factoren in combinatie met de kledingweerstand bepalen het gewenste thermisch comfort. Hierbij moet onderzocht worden wat de grote van de invloed is op het binnenklimaat en of het zinvol is deze al op voorhand aan te passen. Dit

omdat uit het onderzoek naar voren komt dat gewenning ook invloed heeft op het comfortniveau ten aanzien van het binnenklimaat.

In hoofdstuk 3.2.5 wordt gesteld dat de behoefte van de werknemer met betrekking tot de temperatuur over de dag verschilt. Deze constatering is al in meer onderzoeken tot uiting gekomen [38]. Hierdoor is het mogelijk op voorhand de temperatuur aan te passen aan de wensen van de gebruiker. Deze gebruikersprofielen kunnen tevens leiden tot energiewinst wanneer op voorhand de temperatuur in de winter omlaag gebracht kan worden, zonder dat het comfort van de gebruiker hieronder heeft te leiden.

4.2 Methodisch ontwerpen op werkplek- en gebruikersniveau

In bijlage O is de methode "methodisch ontwerpen" beschreven, waarbij gesteld is dat niet alle fasen op alle abstracte niveaus strikt doorlopen dienen te worden. De ontwerper kiest de abstractieniveaus die belangrijk zijn voor het probleem. De abstractieniveaus, die in dit rapport gebruikt zijn om tot een ontwerp te komen zijn: de gebruiker, de werkplek en het vertrek.

1. Probleemdefiniërende fase

In deze fase stelt een ontwerper, uitgaande van het gestelde doel een eisenpakket of programma van eisen samen, welke aan de behoefte van de gebruiker voldoet. Vanuit de doelstelling en het eisenprogramma wordt de te vervullen functie van het ontwerp bepaald.

Ontwerpprobleem

- Doel: de werknemer moet de mogelijkheid hebben het binnenklimaat binnen een bepaalde range aan te passen aan de persoonlijke wensen.
De niveaus, die hierop direct betrekking hebben zijn werkplek- en gebruikersniveau.

Programma van Eisen

Functioneren:

Vaste eisen	Variabele eisen	Wensen
Individueel regelbaar	Gebruiksgemak	Constructie
Veilig	Duurzaam	Energieverbruik
Kleine horz/vert temp.gradiënt	Verwarming	Milieu
Geen tochtklachten	Koeling	Flexibel
Geluidsarm	Betrouwbaarheid	
	Reactie snelheid	
	Individuele temp. aanpassing	
	Individuele ventilatie aanpassing	
	Nauwkeurigheid regeling	

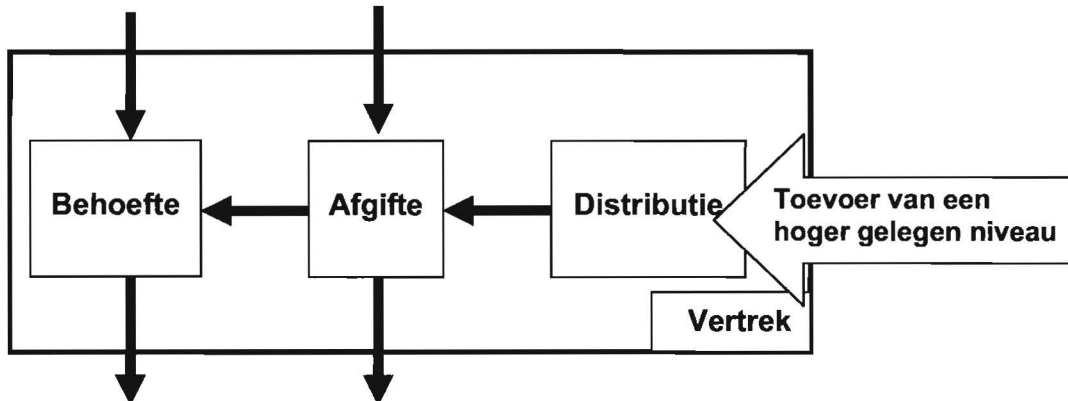
Realiseren:

Vaste eisen	Variabele eisen	Wensen
Ruimtebeslag	Onderhoud	Esthetisch
Gebruikskosten	Investering	Milieu
	Uitvoering	
	Flexibiliteit	

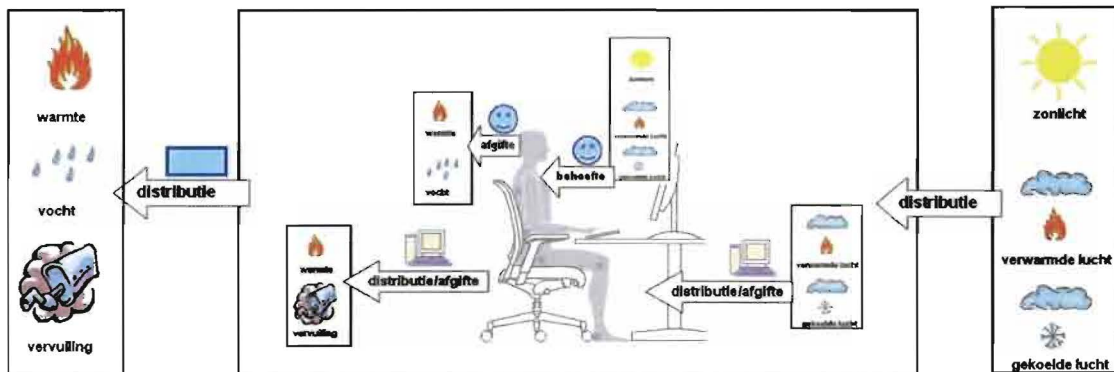
Figuur 33. Programma van Eisen.

Functie

Het ontwerp moet een bepaalde functie vervullen. Deze functie dient om het gestelde doel te bereiken. Om de te verrichten functie goed af te kunnen leiden worden de in- en uitgangstoestanden gedefinieerd. De in- en uitgangstoestand worden bepaald door kenmerken op te stellen. De kenmerken dienen liefst gedefinieerd te worden in termen van fysische grootheden.



Figuur 34. Functie van ontwerp.

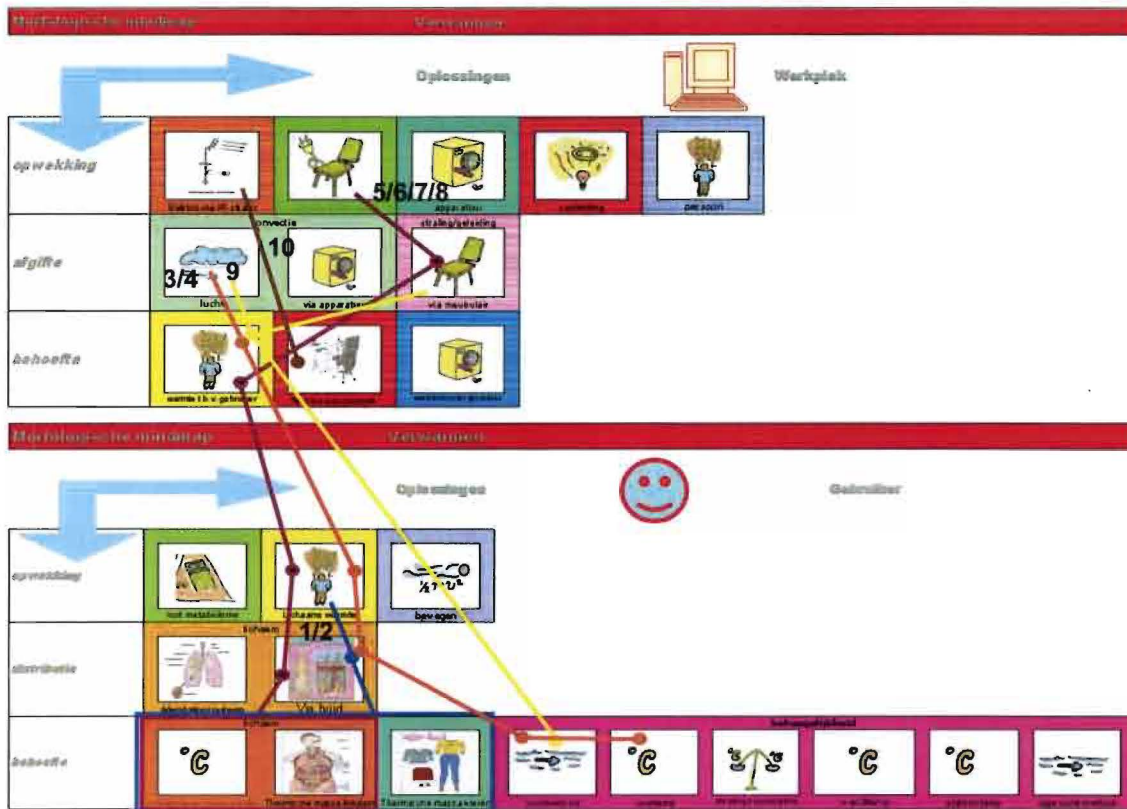


Figuur 35. In- en uitgangskennmerken en de gebruikte abstractieniveaus.

Figuur 34 geeft de functie van het ontwerp weer. Figuur 35 geeft tevens de functie weer waarbij deze is uitgebreid met kenmerken in de termen van fysische grootheden. Verse verwarmde/gekoelde lucht wordt getransporteerd van het vertrek naar de werkplek. Op de werkplek wordt de verse lucht afgegeven ten behoeve van de gebruiker. De afgegeven warmte en vocht van de gebruiker en de warmte van apparatuur wordt getransporteerd van de werkplek naar het vertrek waarna deze wordt afgevoerd.

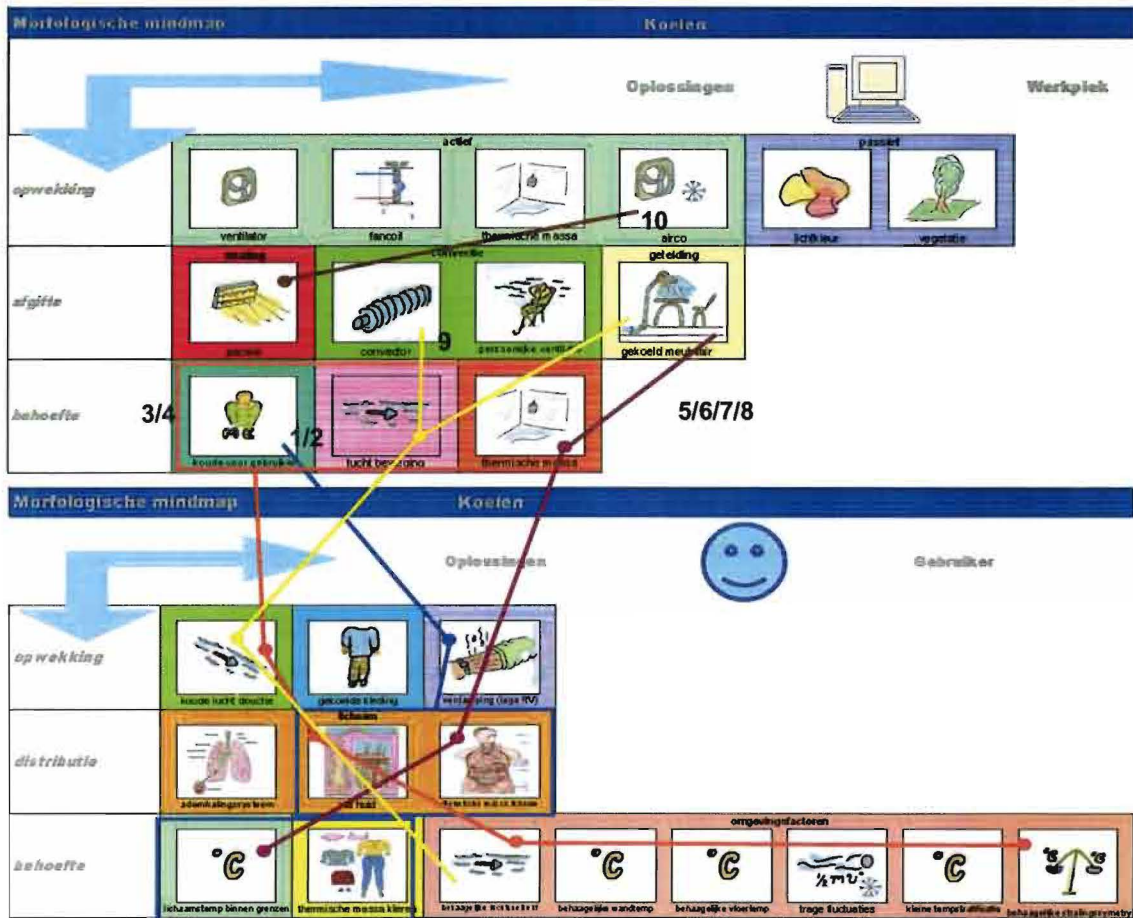
2. Werkwijze bepalende fase

Uitgangspunt voor bij de werkwijze bepalende fase is het functie blokschema, dat in de probleemfase beschreven is. Het doel van deze fase is om verschillende functies te definiëren en de hiervoor mogelijke oplossingen weer te geven in een functie blokschema om zodoende een zo volledig mogelijk overzicht te verkrijgen. Het eindproduct van deze fase is een overzicht van oplossing die als structuur voor de detailleringfase gebruikt wordt.



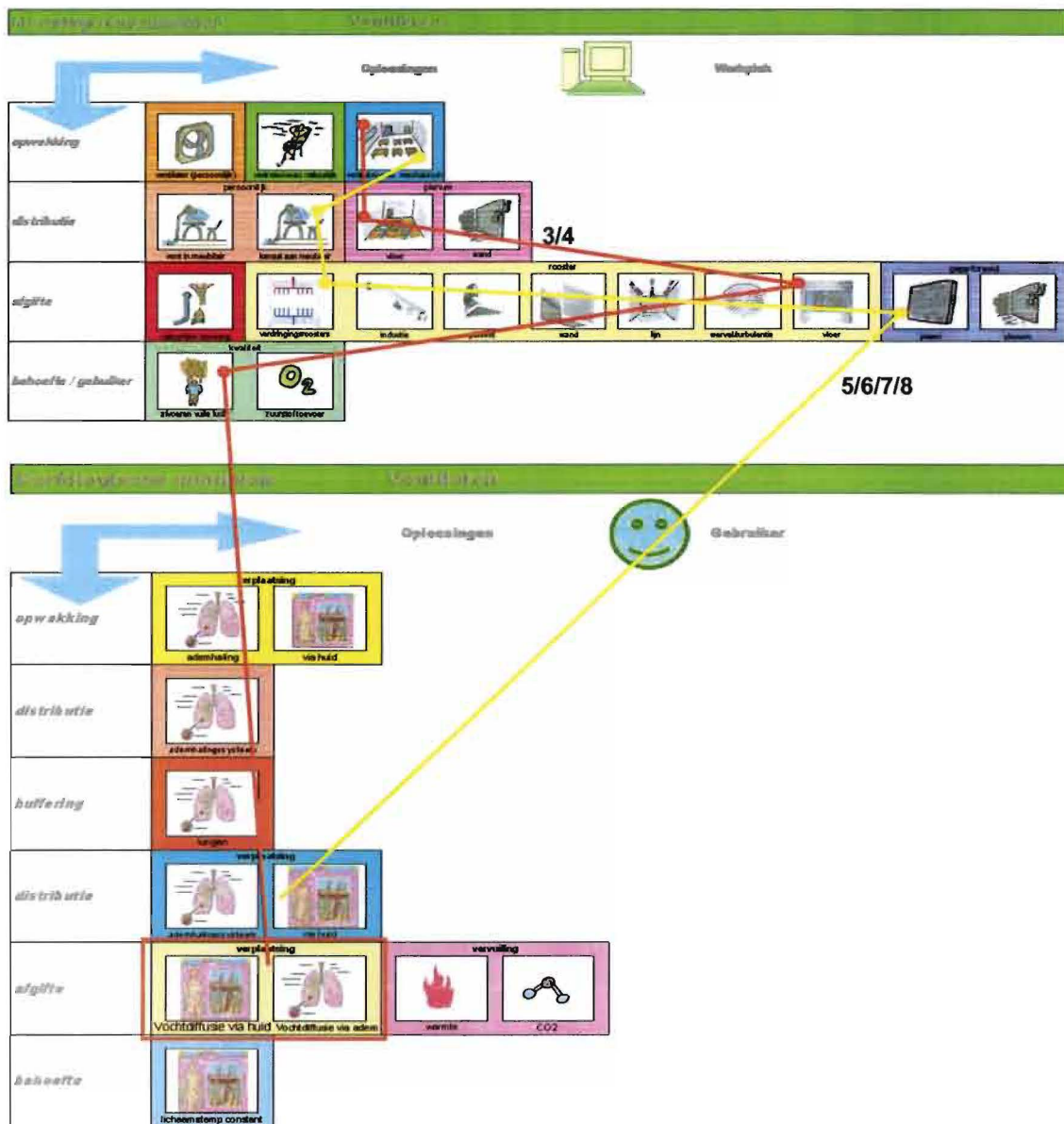
Figuur 36. Morfologisch overzicht verwarmen op werkplek- en gebruikersniveau.

Gebruik maken van lichaamswarmte en kleding	Concept 1 / 2
Warmte en koude via ventilatielucht	Concept 3 / 4
Verwarmen en koelen via meubilair	Concept 5 / 6 / 7 / 8
Verwarmen/koelen en ventileren via meubilair	Concept 9
Stralingsverwarming/koeling van meubilair	Concept 10



Figuur 37. Morfologisch overzicht koelen op werkplek- en gebruikersniveau.

Gebruik maken van lichaamswarmte en kleding	Concept 1 / 2
Warmte en koude via ventilatielucht	Concept 3 / 4
Verwarmen en koelen via meubilair	Concept 5 / 6 / 7 / 8
Verwarmen/koelen en ventileren via meubilair	Concept 9
Stralingsverwarming/koeling van meubilair	Concept 10



Figuur 38. Morfologisch overzicht ventileren op werkplek- en gebruikersniveau.

Gebruik maken van lichaamswarmte en kleding	Concept 1 / 2
Warmte en koude via ventilatielucht	Concept 3 / 4
Verwarmen en koelen via meubilair	Concept 5 / 6 / 7 / 8
Verwarmen/koelen en ventileren via meubilair	Concept 9
Stralingsverwarming/koeling van meubilair	Concept 10

3. Keuze bepalende fase

In de werkwijze bepalende fase worden de alternatieve oplossingen gegenereerd die vervolgens in de keuze bepalende fase getoetst worden op hun prestaties. Alle functies en aspecten worden bekeken en aan de hand van het programma van eisen wordt een selectie gemaakt van uit te werken alternatieven.

Structuur

De kleur van de relatielijnen van de paden die in figuur 36 t/m 38 zijn getrokken voor het structuurconcept zijn hieronder weergegeven.

Gebruik maken van lichaamswarmte en kleding	Concept 1 / 2
Warmte en koude via ventilatielucht	Concept 3 / 4
Verwarmen en koelen via meubilair	Concept 5 / 6 / 7 / 8
Verwarmen/koelen en ventileren via meubilair	Concept 9
Stralingsverwarming/koeling van meubilair	Concept 10

Concept 1:

Kleding ontwikkelen met kleine PCM bolletjes

In de kleding zitten microscopisch kleine PCM bolletjes verweven. De bolletjes nemen de lichaamstemperatuur aan. Bij opwarming van het lichaam wordt er meer warmte afgeven door het lichaam. De extra warmte wordt opgenomen door de PCM in de kleding. Wanneer het lichaam afkoelt wordt de opgeslagen warmte weer afgegeven aan het lichaam. In de warme periode wordt tevens vocht opgenomen waardoor transpireren wordt verminderd. Deze methode is ook toepasbaar in schoenzolen.

Voordelen:

- Stabiliseert temperatuur;
- Voelt koel aan, vermindert transpireren;
- Absorbeert extreme hitte;
- Slaat warmte op;
- Laat warmte vrij;
- Niet zichtbaar met blote oog;
- Werkt in elke omgeving;
- Dynamische buffering (24/7).



Nadelen:

- Niet regelbaar, beleving van de persoon;
- Verplichte kleding/kleding voorschriften.

Concept 2:

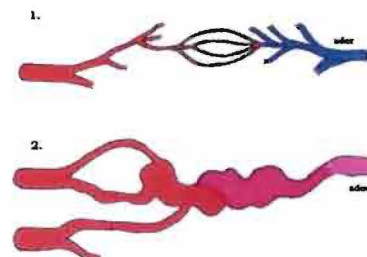
Zelf regulerende kleding (ader principe)

Door kleding te ontwikkelen, dat gebruik maakt van vasodilatatie (verwijding) en vasoconstrictie (vernaauwing). Als het lichaam warmer wordt dan de "normale" 37°C, gaat de "ader" uitzetten waardoor de warmte beter afgevoerd kan worden. De kleding gaat als het ware meer ventileren.

Als het kouder wordt vernauwt de "ader" juist waardoor er minder "geventileerd" wordt en de warmte langer wordt vastgehouden.

Voordelen:

- Stabiliseert temperatuur;
- Voelt koel aan, vermindert transpireren;
- Niet zichtbaar met het blote oog;
- Werkt in elke omgeving;
- Dynamische buffering (24/7).



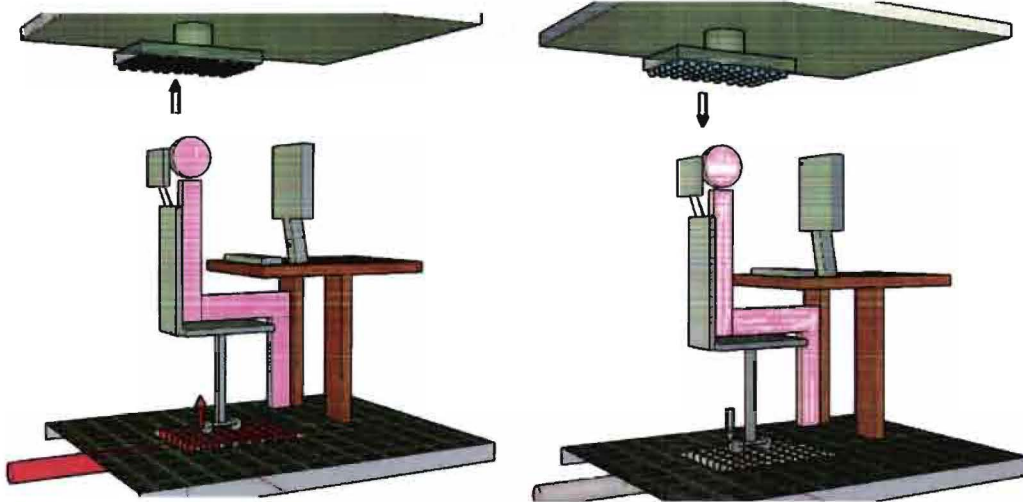
Nadelen:

- Niet regelbaar, beleving van de persoon;
- Verplichte kleding/kleding voorschriften.

Concept 3:

Omkeerbaar ventilatiesysteem

2 situaties, tijdens de winterperiode wordt warme lucht afgegeven vanuit de vloer. Toepassing hiervan kan zijn; een computervloer waarbij men de inblaasplaats bepaalt aan de hand van de werkplekstelling. De lucht wordt afgezogen boven de werkplek. In de zomersituatie wordt koude lucht ingeblazen boven de werkplek en wordt er via de vloer afgezogen. De inblaassnelheid kan individueel geregeld worden via de computer waardoor men meer of minder warmte/koude kan inblazen.



Voordelen:

- Snel reagerend;
- Materiaal voor systeem is eenvoudig te installeren/maken.

Nadelen:

- Systeem kan niet gelijktijdig verwarmen en koelen;
- Het omslagpunt in het tussenseizoen, verwarmen/koelen is lastig te bepalen;
- Grotere kans op tochtklachten;
- Invloed op comfort omliggende werkplekken;
- Grote luchthoeveelheden nodig;
- Een computervloer/-plafond nodig.

Concept 4:

Luchtgordijn

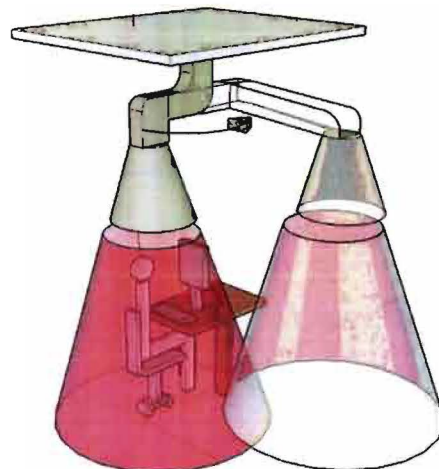
Iedereen heeft een eigen flexibel te verhangen systeem. Verwarming en koeling d.m.v. lucht, eventueel specifieke verlichting.

Voordelen:

- Snel reagerend;
- Zeer eenvoudig toe te passen.

Nadelen:

- Systeem reageert erg nauw;
- Grotere kans op tochtklachten;
- Invloed op comfort omliggende bureaus;
- Beperkte mate van flexibiliteit.



Concept 5:

Gekoelde stoel

Zeer specifieke werkplek/gebruiker koeling.

Kan per persoon geregeld worden, invloed is direct voelbaar (waterbed principe).

De rugleuning en hoofdsteun worden gevoed met koud water dat aangevoerd wordt via de vloer.

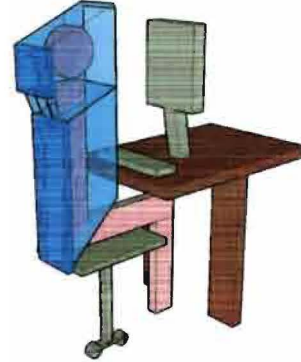
Flexibele koelslang (als stofzuiger elektradraad, oprolsysteem). Het systeem wordt geregeld door gebruiker via zijn computer.

Voordelen:

- Eenvoudig toe te passen;
- Alleen van invloed op persoonlijke werkplek;
- Minimaal energieverbruik.

Nadelen:

- Systeem werkt traag;
- Systeem reageert erg nauw, directe invloed op de rug;
- Binnen bepaald bereik van de stoel blijven;
- 2^e systeem nodig voor standaard comfortniveau.

**Concept 6:**

Verwarmde vloermat

Zeer specifieke werkplek verwarming.

Kan per persoon/wens geregeld worden, invloed is direct voelbaar.

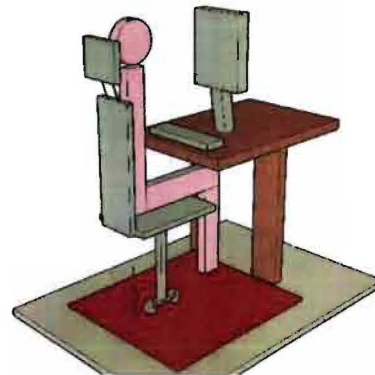
In de vorm van een elektrisch verwarmde mat is deze zeer flexibel toepasbaar onder het bureau. Aansturing via de computer.

Voordelen:

- Snel reagerend;
- Zeer eenvoudig toe te passen;
- Alleen van invloed op persoonlijke werkplek;
- Zeer flexibel.

Nadelen:

- Systeem reageert erg nauw;
- Hoog energieverbruik (elektrisch);
- 2^e systeem nodig voor standaard comfortniveau.



Concept 7:

Verwarmd voetenbankje

Zeer specifieke werkplek verwarming.

Kan per persoon/wens geregeld worden, invloed is direct voelbaar.

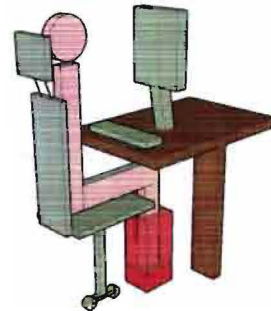
In de vorm van een elektrisch bankje is deze vorm van werkplekverwarming zeer flexibel. Aansturing via de computer.

Voordelen:

- Snel reagerend;
- Zeer eenvoudig toe te passen;
- Alleen van invloed op specifieke persoonlijke werkplek;
- Zeer flexibel.

Nadelen:

- Systeem reageert erg nauw;
- Je moet je voeten op bankje houden;
- 2^e systeem nodig voor standaard comfortniveau.

**Concept 8:**

Stoel en/of bureau met PCM

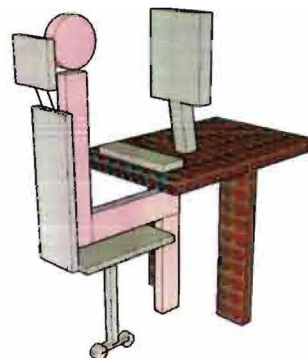
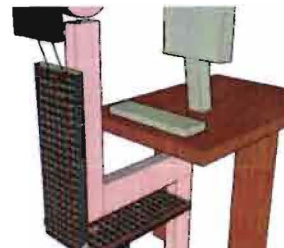
In de stoel en/of in het bureau zitten kleine PCM bolletjes verwerkt. Bij opwarming van de ruimte wordt de warmte opgenomen door de PCM bolletjes. Wanneer de werkplek afkoelt wordt de opgeslagen warmte weer afgegeven aan de werkplek. In de warme periode wordt tevens vocht opgenomen waardoor transpireren wordt verminderd.

Voordelen:

- Stabiliseert temperatuur;
- Voelt koel aan, vermindert transpireren;
- Absorbeert extreme hitte;
- Slaat warmte op;
- Laat warmte vrij;
- Niet zichtbaar met het blote oog;
- Werkt in elke omgeving;
- Dynamische buffering (24/7).

Nadelen:

- Niet regelbaar, naar wens van de persoon;
- Systeem reageert erg traag;
- 2^e systeem nodig voor standaard comfortniveau.



Concept 9:

Verdringingsventilatie in bureaupoot

Aansluiting van luchtkanaal in bureaupoot, flexibele aansluiting in de vorm van een computervloer. Afgifte doormiddel van verdringing van lucht.

Systeem heeft 2 mogelijkheden:

- a. VAV-systeem (variabel volume);
- b. CAV-systeem (constant volume).

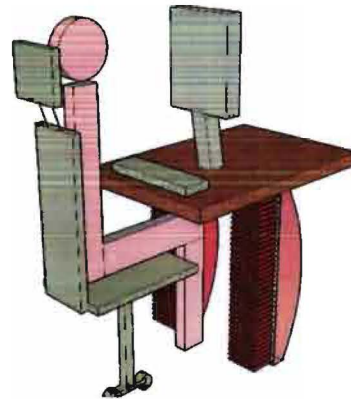
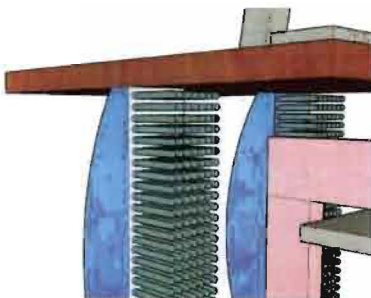
- a. Lucht wordt centraal verwarmd of gekoeld. Het gewenste werkplekklimaat wordt gecreëerd doormiddel van meer of minder luchtafgifte uit bureaupoot.

Voordelen:

- Snel reagerend;
- Eenvoudig toe te passen;
- Alleen van invloed op specifieke werkplek.

Nadelen:

- Systeem reageert erg nauw;
- Vooral in winterperiode kans op tochtverschijnselen;
- Het systeem kan niet gelijktijdig verwarmen en koelen;
- Grote luchthoeveelheden nodig met computervloer.



- b. Lucht wordt centraal verwarmd of gekoeld. Op de specifieke werkplek wordt de lucht op gewenste temp gebracht door de lucht na te verwarmen/koelen.

Voordelen:

- Snel reagerend;
- Alleen van invloed op persoonlijke werkplek;
- Geen last van hogere luchtsnelheden;
- Mogelijkheid om gelijktijdig te verwarmen en koelen.

Nadelen:

- Systeem reageert erg nauw;
- Complexer doordat ieder bureau kan verwarmen en koelen.

Concept 10:

Warmte- en/of koudestraler onder het bureau en/of stoel

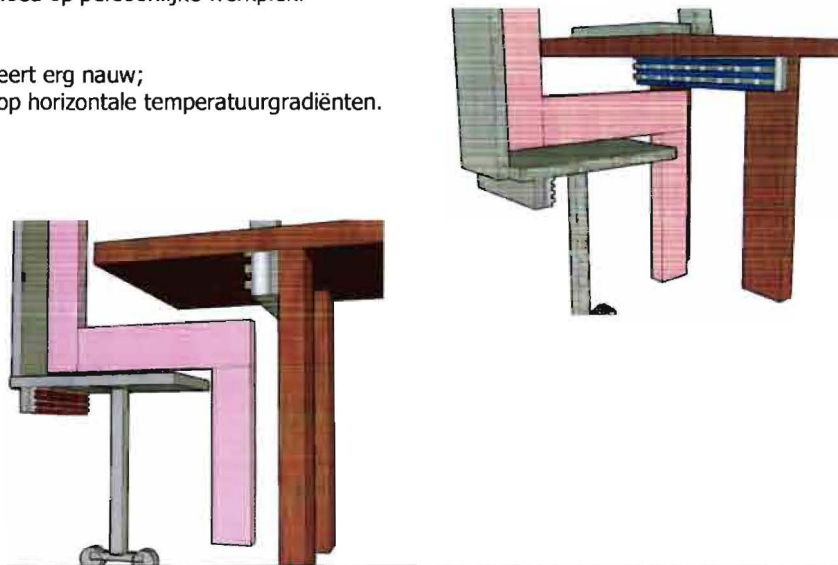
Iedereen heeft een eigen stralingssysteem welke van directe invloed is op de werkplek.
Verwarming onder de stoel t.b.v. de voeten en koeling onder het bureau t.b.v. de romp.

Voordelen:

- Snel reagerend;
- Zeer eenvoudig toe te passen, vooral bij toepassing onder het bureau;
- Alleen van invloed op persoonlijke werkplek.

Nadelen:

- Systeem reageert erg nauw;
- Grotere kans op horizontale temperatuurgradiënten.

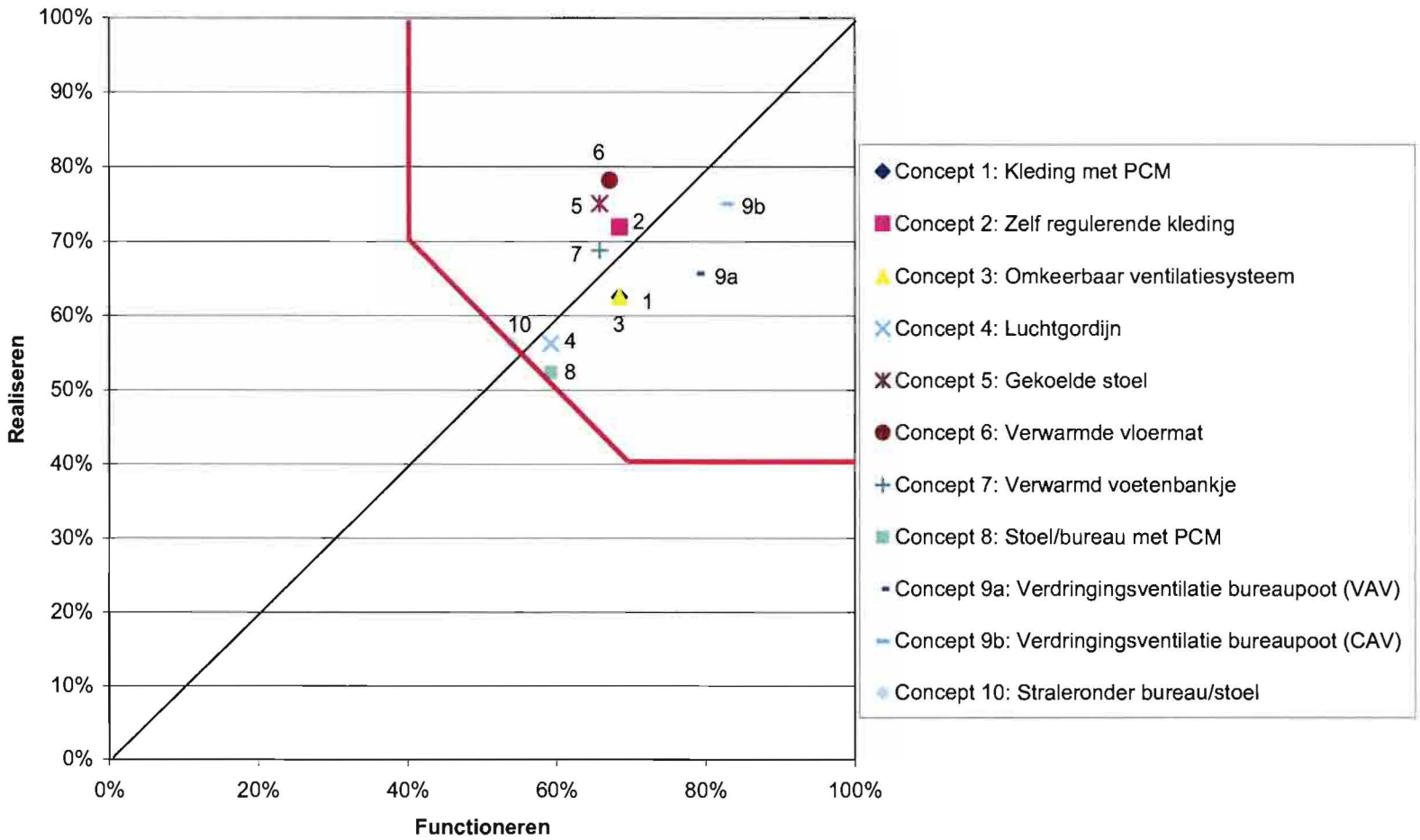


Keuzemodellen/kesseling

Om de modellen goed met elkaar te kunnen vergelijken wordt er gebruik gemaakt van de kesselingmethode. Door deze methode te hanteren wordt er een duidelijk overzicht gecreëerd met betrekking tot het functioneren en realiseren van het concept (zie bijlage O).

functioneren	Concept 1	Concept 2	Concept 3	Concept 4	Concept 5	Concept 6	Concept 7	Concept 8	Concept 9		Concept 10
	Kleding met PCM	Zelf-regulerende kleding	Omkeerbaar ventilatiesysteem	Luchtgordijn	Gekoelede stoel	Verwarmde vloermat	Verwarmd voetsbankje	Luchtgordijn	Verdringingsventilatie bureaupoot (a. VAV)	Verdringingsventilatie bureaupoot (b. CAV)	Straler onder bureau/stoel
comfort	3	3	2	2	3	3	3	2	3	3	2
regelbaarheid	1	1	4	2	3	3	3	2	3	4	3
gebruiks gemak	4	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4
ysiligheid	2	3	4	3	3	3	3	3	4	4	1
duurzaamheid	4	4	2	2	3	2	2	2	3	3	1
constructie	2	2	3	2	2	3	3	2	3	3	2
energieverbruik	4	4	2	2	3	2	2	2	2	2	1
verwarming	2	2	2	2	1	4	4	2	2	3	2
koeling	2	2	3	3	4	1	1	3	4	3	2
betrouwbaarheid	3	2	4	3	3	3	3	3	4	4	4
milieu	4	4	3	2	3	2	2	2	3	3	1
geluid	4	4	2	2	4	4	4	2	2	3	2
flexibel (ruimte)	4	4	2	2	2	4	4	2	2	3	3
horizontale/verticale tempgradient	3	3	2	2	2	3	2	2	2	3	1
aanpassen luchtsnelheid	1	1	3	2	1	1	1	2	4	3	1
reactie snelheid	1	1	4	4	3	3	4	4	4	4	4
individuele temp aanpassing	4	4	2	2	4	4	4	2	3	4	4
individuele ventilatie aanpassing	1	1	2	2	1	1	1	2	4	3	1
nauwkeurigheid van regeling	3	3	2	2	2	2	1	2	3	4	2
	52	52	52	45	50	51	50	45	60	63	41
	68%	68%	68%	59%	66%	67%	65%	59%	79%	83%	54%
realiseren	Concept 1	Concept 2	Concept 3	Concept 4	Concept 5	Concept 6	Concept 7	Concept 8	Concept 9		Concept 10
	Kleding met PCM	Zelf-regulerende kleding	Omkeerbaar ventilatiesysteem	Luchtgordijn	Gekoelede stoel	Verwarmde vloermat	Verwarmd voetsbankje	Luchtgordijn	Verdringingsventilatie bureaupoot (a. VAV)	Verdringingsventilatie bureaupoot (b. CAV)	Straler onder bureau/stoel
onderhoud	2	2	4	2	4	3	3	2	3	3	2
ruimtebeslag	4	4	3	2	4	4	3	2	2	2	3
Investering	1	1	2	3	2	4	3	3	3	3	3
uitvoering	1	1	3	3	3	3	3	3	4	4	3
gebruikskosten	4	4	2	2	3	2	3	2	2	3	2
esthetisch	3	4	1	2	3	3	2	2	2	3	1
flexibiliteit	3	3	3	2	2	4	3	2	3	3	2
milieu	2	4	2	2	3	2	2	2	2	3	2
	20	23	20	18	24	25	22	18	21	24	18
	63%	72%	63%	56%	75%	78%	69%	55%	69%	75%	65%

Figuur 37. Beoordelingsoverzicht van concepten.



Figuur 38. Beoordelingsoverzicht van concepten weergegeven in een S-diagram.

De twee varianten die het beste scoren op functioneren zijn:

- concept 9a: Verdringingsventilatie via bureaupoot (VAV).
- concept 9b: Verdringingsventilatie via bureaupoot (CAV).

en de twee varianten die het best scoren op realiseren zijn:

- concept 5: Gekoelde stoel.
- concept 6: Verwarmde vloermat.

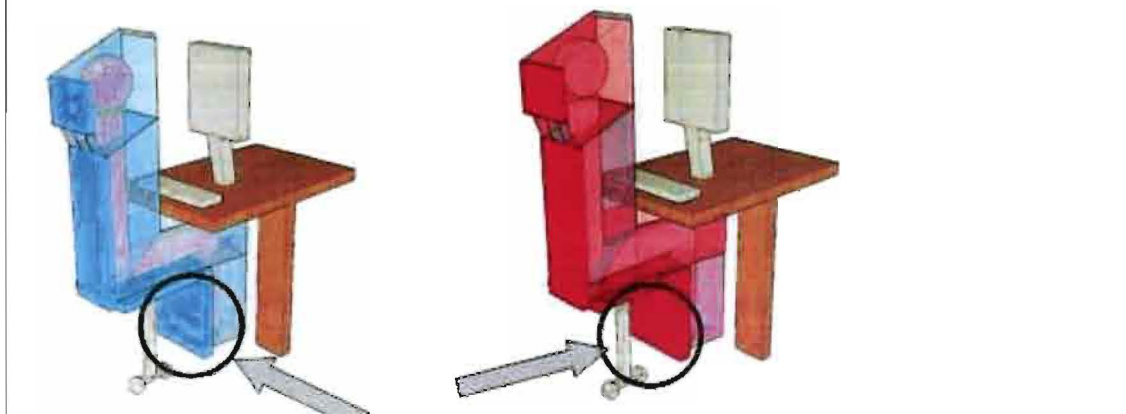
De vier concepten worden nogmaals kritisch bekeken en er wordt geprobeerd de concepten te verbeteren of combinaties te maken, zodat er een nog beter resultaat behaald kan worden door te ontwikkelen.

Concept 5:	Concept 6:	Concept 9a:	Concept 9b:
<u>Voordelen:</u> - Eenvoudig toe te passen; - Alleen van invloed op persoonlijke werkplek; - Minimaal energieverbruik.	<u>Voordelen:</u> - Snel reagerend; - Zeer eenvoudig toe te passen; - Alleen van invloed op persoonlijke werkplek; - Zeer flexibel.	<u>Voordelen:</u> - Snel reagerend; - Eenvoudig toe te passen; - Alleen van invloed op specifieke werkplek.	<u>Voordelen:</u> - Snel reagerend; - Alleen van invloed op persoonlijke werkplek; - Geen last van hogere luchtsnelheden; - Mogelijkheid om gelijktijdig te verwarmen en koelen.
<u>Nadelen:</u> - Systeem werkt traag; - Systeem reageert erg nauw, directe invloed op je rug; - Binnen bepaald bereik met je stoel blijven; - 2 ^e systeem nodig voor standaard comfortniveau.	<u>Nadelen:</u> - Systeem reageert erg nauw; - Hoog energieverbruik (elektrisch); - 2 ^e systeem nodig voor standaard comfortniveau.	<u>Nadelen:</u> - Systeem reageert erg nauw; - Vooral in winterperiode kans op tochtverschijnselen; - Het systeem kan niet gelijktijdig verwarmen en koelen; - Grote luchthoeveelheden nodig met computervloer.	<u>Nadelen:</u> - Systeem reageert erg nauw; - Complexer doordat ieder bureau kan verwarmen en koelen.

Verbeteringen

Verbeterd concept 5: Gekoelde stoel

Door de mogelijkheid van koeling in de stoel, is het ook mogelijk om de stoel te verwarmen in de winterperiode. Door gebruik te maken van een stoel die het gehele lichaam bestrijkt kan er alleen worden volstaan met een stoel voor de verwarming en koeling in een ruimte.



Concept 6: Verwarmde vloermat

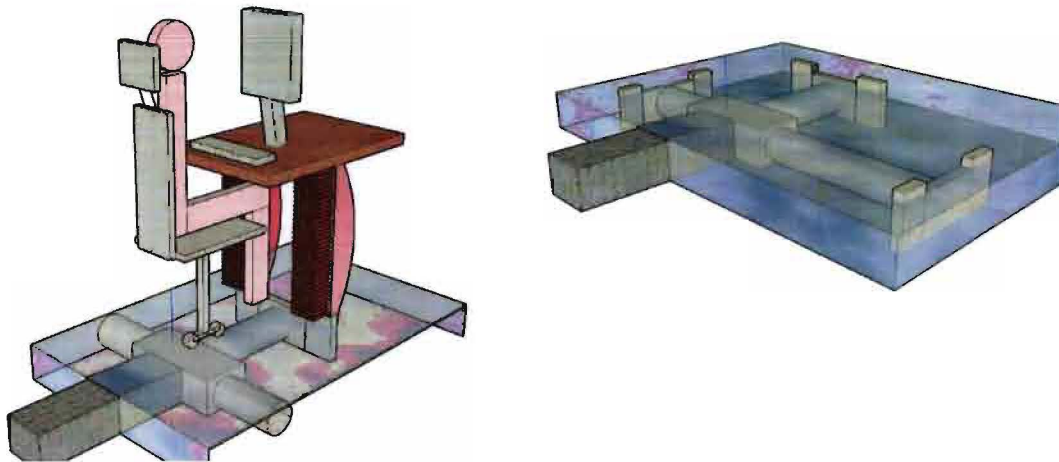
De elektrische verwarmingsvloermat komt niet voor verbetering in aanmerking, optimaal resultaat bereikt.

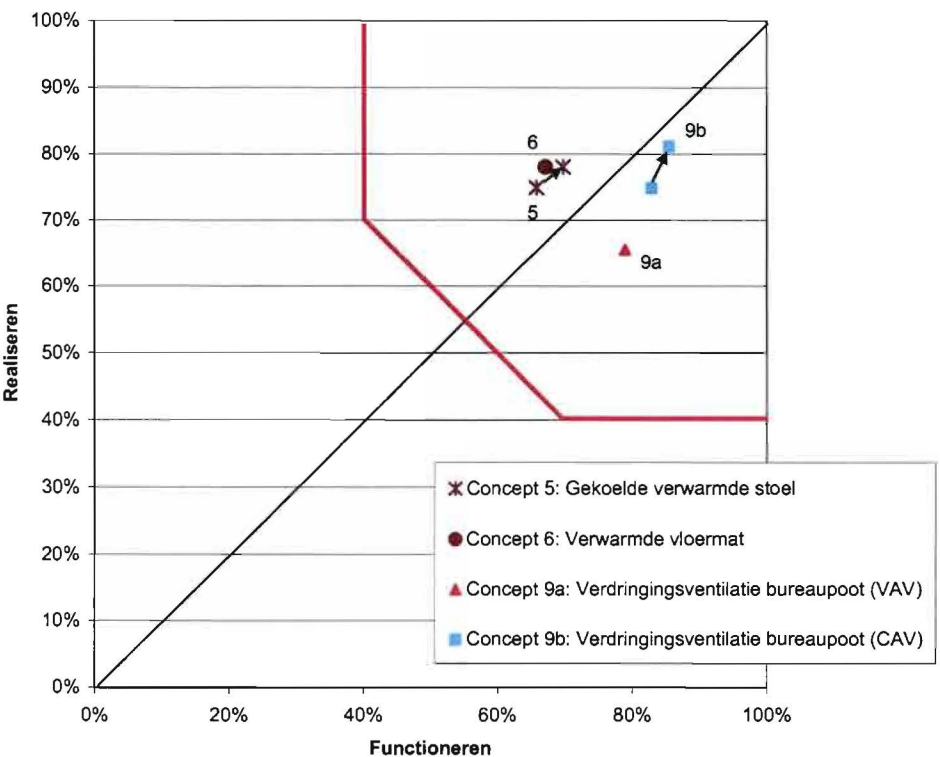
Concept 9a: Verdringingsventilatie in bureaupoot (VAV)

De verbetering(en) van concept 9a werken direct door in concept 9b.
(concept 9b is een perfectionering van concept 9a)

Verbeterd concept 9b: Verdringingsventilatie in bureaupoot (CAV)

Concept 9b is beter individueel regelbaar naar de wensen van de gebruiker dan concept 9a. Het systeem zelf is, in de vorm van ventilatorconvectoren al een gebruikte toepassing. Het principe is dus al een werkend concept. Er wordt nu geen gebruik gemaakt van een computervloer waar lucht doorheen wordt getransporteerd, maar van een kanaalsysteem met een aantal afgifte punten. Hierdoor kunnen de luchthoeveelheden drastisch verminderd worden en hoeft de vloer niet luchtdicht te zijn. Het laatste gedeelte van een afgiftepunt naar het bureau wordt met flexibele slang gemonteerd. De vloer zelf bestaat uit verwijderbare tegels zodat er toch een grote mate van flexibiliteit is.





functioneren	Concept 5	Concept 6	Concept 9	
	Gekoelde/ verwarmde stoel	Verwarmde vloermat	Verdringingsventilatie bureaupoot (a. VAV)	Verdringingsventilatie bureaupoot verbeterd (b. CAV)
comfort	3	3	3	3
regelbaarheid	3	3	3	4
gebruiks gemak	3	3	4	4
veiligheid	3	3	4	4
duurzaamheid	3	2	3	3
constructie	2	3	3	3
energieverbruik	3	2	2	3
verwarming	4	4	2	3
koeling	4	1	4	3
betrouwbaarheid	3	3	4	4
milieu	3	2	3	3
geluid	4	4	2	4
flexibel (ruimte)	2	4	3	3
horizontale/verticale tempgradient	2	3	2	3
aanpassen luchtsnelheid	1	1	4	3
reactie snelheid	3	3	4	4
individuele temp aanpassing	4	4	3	4
individuele ventilatie aanpassing	1	1	4	3
nauwkeurigheid van regeling	2	2	3	4
	53	51	60	65
	70%	67%	79%	86%

realiseren	Concept 5	Concept 6	Concept 9	
	Gekoelde/ verwarmde stoel	Verwarmde vloermat	Verdringingsventilatie bureaupoot	Verdringingsventilatie bureaupoot verbeterd (b. CAV)
onderhoud	4	3	3	4
ruimtebeslag	4	4	2	3
investering	3	4	3	3
uitvoering	3	3	4	4
gebruikskosten	3	2	2	3
aesthetisch	3	3	2	3
flexibiliteit	2	4	3	3
milieu	3	2	2	3
	25	25	21	26
	78%	78%	66%	81%

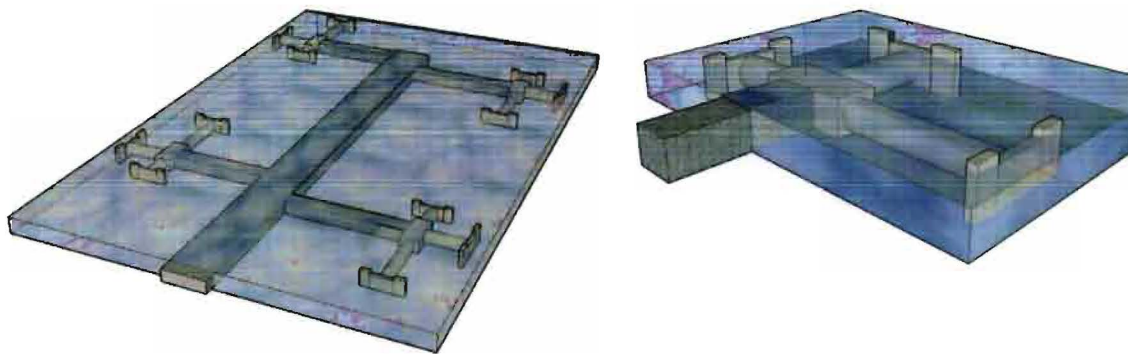
Figuur 39. Beoordelingsoverzicht en S-diagram van verbeterde concepten.

4.3 Het hoogst gewaardeerde concept

Concept: Verdringingsventilatie in bureaupoot (CAV)

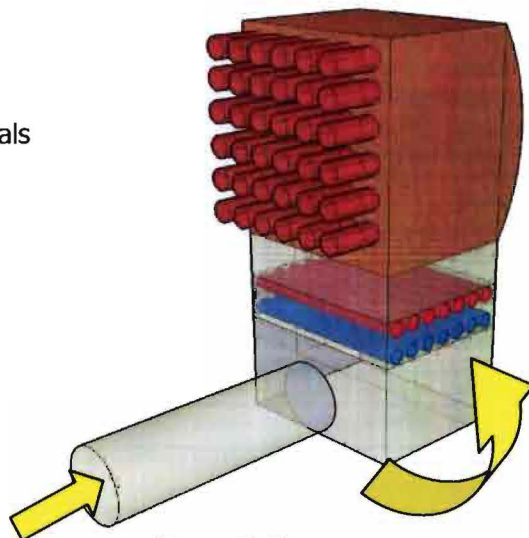
Het concept bestaat uit een bureaupoot, dat dienst doet als verdringingsrooster en dat zijn lucht krijgt via een kanalsysteem in de vloer.

Lucht wordt centraal in een luchtbehandelingkast verwarmd of gekoeld. De verwarmde of gekoelde lucht wordt verplaatst naar de betreffende ruimte via kanalen. De kanalen zijn gemonteerd in de vloer en verdelen de ruimte in een aantal segmenten. Vanaf een vast punt wordt het laatste deel van flexibele slang voorzien. Door de vloer uit te voeren met uitneembare tegels in combinatie met de flexibele uiteinden is er een mate van flexibiliteit mogelijk voor de inrichting van de ruimte.



Figuur 40. Overzicht van verdeling van lucht in de vloer.

Op de specifieke werkplek wordt de lucht op gewenste temp gebracht door de lucht na te verwarmen/koelen. Het principe werkt hetzelfde als een 4-pijpsventilatorconvector waarbij men de mogelijkheid heeft de lucht na te verwarmen/koelen. Doordat er verdringingsventilatie wordt toegepast wordt er gewerkt met lage luchtsnelheden waardoor er geringe kans is op tochtklachten.



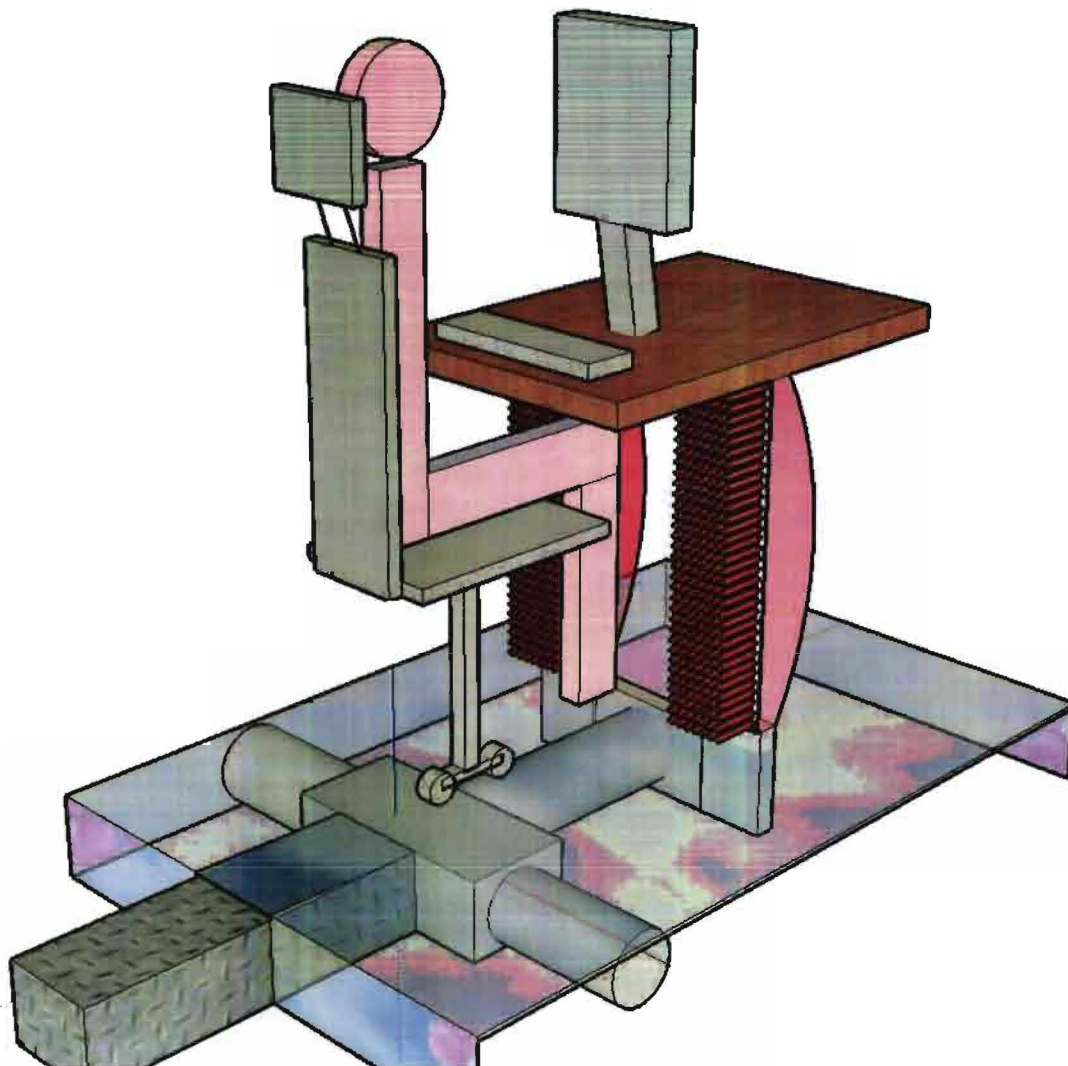
Figuur 41. Naverwarmer/-koeler

Voordelen:

- Snel reagerend door toepassing met lucht;
- Alleen van invloed op persoonlijke werkplek;
- Geen last van tocht;
- Mogelijkheid om gelijktijdig te verwarmen/koelen;
- Kleine luchthoeveelheden.

Nadelen:

- Bij onvoldoende kennis van het systeem, wordt door onwetendheid een oncomfortabel klimaat gecreëerd.
- Complexer doordat ieder bureau kan verwarmen en koelen.



Figuur 42. Overzicht van principe op de werkplek.

Om het concept theoretisch te testen met behulp van de theorie van Fanger zijn er een aantal berekeningen uitgevoerd die meer inzicht moeten geven in de bandbreedte van aangeboden luchtsnelheden en temperaturen.

Wintersituatie:

Uit het onderzoek blijkt dat de werknemers in de winter een temperatuur van 20°C als oncomfortabel ervaren. De onderstaande waarden zijn gehanteerd als uitgangspunt voor de wintersituatie:

- temperatuur van 20°C (uit onderzoek, blz.34);
- metabolisme van 65 W/m² (uit onderzoek, blz.24);
- kledingweerstand van 0,8 [clo] (uit onderzoek, blz.24);
- relatieve vochtigheid van 30% (minimale RV, ISSO 19).

Voor een optimale productiviteit wordt de gebouwklasse A van Roelofsen [1] gehanteerd, waarbij de PMV een waarde heeft van $-0,5 < PMV < 0$. De luchtsnelheid die bij de bovenstaande gegevens behoort en waarbij een PMV van $-0,5$ gehanteerd wordt is de luchtsnelheid 0,02 m/s.

Een luchtsnelheid van 0,02 m/s zit onder de minimale luchtsnelheid waarbij klachten optreden volgens de NEN-EN-ISO 7730 [7], 0,05 m/s.

Het systeem krijgt de mogelijkheid om de temperatuur met 3K te beïnvloeden. De range is bepaald naar aanleiding van het onderzoek van Wyon [32] die stelt, dat wanneer de temperatuur beïnvloed kan worden met $\pm 3^\circ\text{C}$, de productiviteit van werk met een hoog concentratieniveau stijgt met 3% en dat van routinewerk met 7% (hoofdstuk 2.4.2).

Metabolisme (W/m ²)	Luchtsnelheid (m/s)	Lucht- en stralingstemperatuur (°C)	PMV (winter) 0,8 clo 30% RV
65	0,02	20,0	-0,5
65	0,02	20,5	-0,4
65	0,02	21,0	-0,3
65	0,02	21,5	-0,2
65	0,02	22,0	-0,1
65	0,02	22,5	0
65	0,02	23,0	0,1

Tabel 19. Overzicht van verschillende temperaturen met de horende PMV voor een wintersituatie.

Zomersituatie:

Bij een constant volume systeem wordt zowel in de winter als in de zomer dezelfde luchtsnelheid gehanteerd, namelijk 0,02 m/s. De onderstaande waarden zijn gehanteerd als uitgangspunt voor de zomersituatie:

- luchtsnelheid van 0,02 m/s (zie bovenstaande);
- metabolisme van 65 W/m² (uit onderzoek, blz.32);
- kledingweerstand van 0,4 [clo] (uit onderzoek, blz.32);
- relatieve vochtigheid van 70% (maximale RV, ISSO 19).

Voor een optimale productiviteit wordt hier ook de gebouwklasse A van Roelofsen [1] aangehouden, met een PMV van $-0,5 < PMV < 0$.

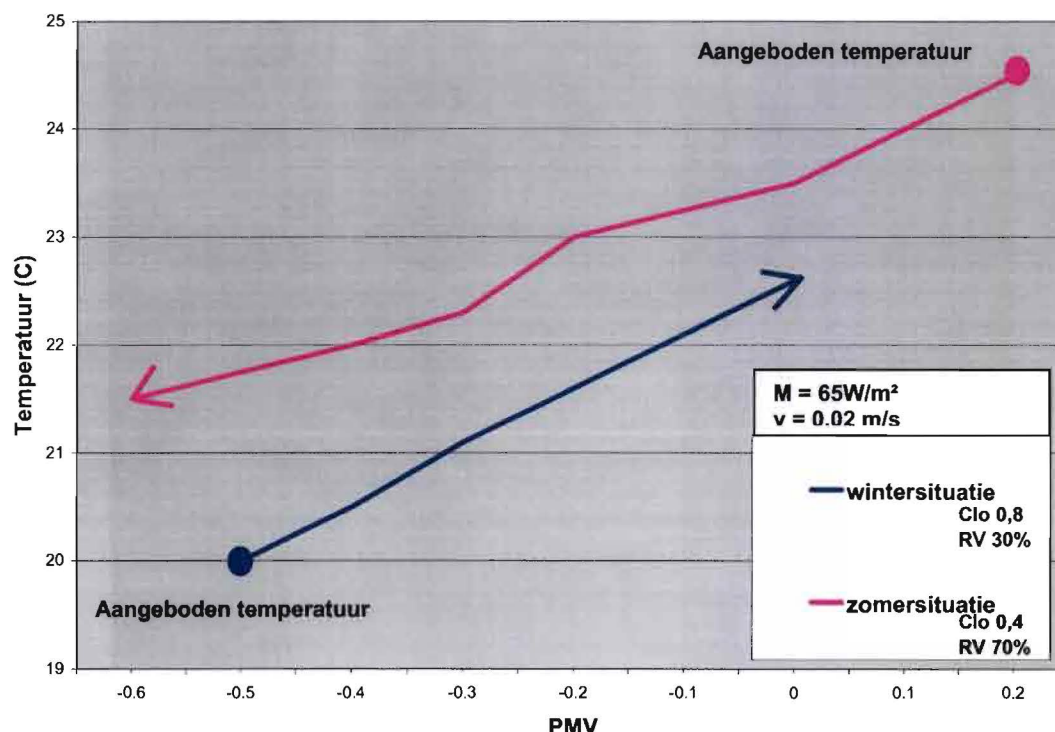
Metabolisme (W/m ²)	Luchtsnelheid (m/s)	Lucht- en stralingstemperatuur (°C)	PMV (zomer) 0,4 clo 70% RV
65	0,02	21,0	-1,6
65	0,02	21,5	-0,6
65	0,02	22,0	-0,5
65	0,02	22,5	-0,3
65	0,02	23,0	-0,2
65	0,02	23,5	0
65	0,02	24,0	0,1
65	0,02	24,5	0,2
65	0,02	25,0	0,4
65	0,02	25,5	0,5

Tabel 20. Overzicht van verschillende luchttemperaturen met de horende PMV voor een zomersituatie.

In tabel 20 is te zien dat bij een temperatuur die lager ligt dan 21,5°C de PMV naar beneden schiet. Hierbij is het dus niet wenselijk de temperatuur onder de 21,5°C te brengen in een zomersituatie met een I_{clo} van 0,4 [clo].

In figuur 43 worden beide tabellen weergegeven waarbij, de standaard aangeboden, temperatuur in de winter 20°C is en in de zomer 24,5°C. De gebruiker heeft nu de mogelijkheid om in de winter de temperatuur van 20°C, bij een PMV van -0,5, te verhogen met 3K tot een temperatuur van 23°C, bij een PMV van 0,1.

In de zomer wordt er een temperatuur aangeboden van 24,5°C, PMV van 0,2, waarbij de temperatuur 3K naar beneden gesteld kan worden naar 21,5°C, PMV van -0,6.



Figuur 43. Overzicht van luchttemperatuur met de bijbehorende PMV in de winter- en zomerperiode.

De voordelen van het concept van de op de vorige pagina weergegeven regelstrategie is dat alleen de werkplek op een hoog comfortniveau wordt gebracht met betrekking tot de wensen van de gebruiker.

Dit heeft als voordelen aangaande het energieverbruik:

- minder lucht nodig;
- minder energie voor het verwarmen en koelen.

Een tweede voordeel is, dat als het binnenklimaat niet wordt naverwarmd/gekoeld, wat dus een laag energieverbruik tot gevolg heeft, het toch als comfortabel ervaren kan worden door gewenning na verloop van tijd.

4.3 Discussie

Om de individuele naregeling optimaal te laten functioneren met betrekking tot het thermisch comfort en het energieverbruik, dient de gebruikers de werking van het systeem te kennen. Hierdoor wordt voorkomen dat mensen constant het systeem verstellen waardoor het comfort als oncomfortabel wordt ervaren door de snelle werking van een luchtsysteem. Het besturen van de regeling met behulp van de computer zal steeds meer geaccepteerd worden. De huidige en aankomende generaties zijn bekend met computers en zullen daardoor niet negatief beïnvloed worden.

Een ander kritisch punt is de bepaling van het omslagpunt tussen de winter- en de zomerperiode, waarbij het systeem alle werkplekken gaat naverwarmen of -koelen. Het toepassen van een weersafhankelijke regeling, die de inblaastemperatuur bepaalt aan de hand van de te verwachte buitensituatie is hiervoor een geschikte oplossing. Hierdoor wordt er energetisch rekening gehouden met het gewenste binnenklimaat, dat afhankelijk is van het buitenklimaat. Hierbij kan er ook nog rekening gehouden worden met het gebruikersprofiel over de dag. Er wordt op deze manier optimaal rekening gehouden met de verwachte wens van de gebruiker met betrekking tot het binnenklimaat.

In hoofdstuk 4.1 wordt de mogelijkheid geschapen het klimaat bij voorbaat aan te passen aan persoonsgebonden factoren zoals; afkomst, leeftijd, geslacht en de kleding. Wat echter het gevaar is, is dat bij een niet overeenkomende isolatiewaarde van de kleding, met die is ingevoerd in het systeem, de daadwerkelijke gedragen kleding een te hoge of te lage temperatuur wordt aangeboden. Dit zou er toe kunnen leiden dat, wanneer er bijvoorbeeld een te hoge temperatuur in de winter wordt aangeboden de gebruiker zijn kleding aanpast, waardoor de isolatiewaarde verlaagd, wat een negatief effect heeft op het energieverbruik.

Het ontwerp werkt met een lucht inblaassysteem dat zich in de directe omgeving van de gebruiker bevindt. De NEN-EN-ISO 7730 [7] werkt met een minimale luchtsnelheid van 0,05 m/s waarbij klachten kunnen optreden. De huidige toepassingen met verdringingventilatie werken met verticale stroming, zoals bij vloer- en plafondsysteem, of met horizontale stroming, zoals toepassingen in kolommen. Deze toepassingen staan niet in de directe omgeving van de werkplek. Een proefopstelling moet dus uitwijzen of er geen hinder wordt ondervonden van tocht door het inblazen van de lucht. Dit zal vooral van toepassing zijn voor de wintersituatie, omdat luchtstroming als verkoelend wordt ervaren.

In tabel 20 is ook te zien, dat in de zomer bij een temperatuur lager dan 21,5°C, de PMV in één keer naar beneden schiet. In de berekening is uitgegaan van de uit onderzoek vastgestelde gemiddelde I_{clo} van 0,4 [clo]. Als we uit gaan van de minimale- en de maximale I_{clo} die tijdens de meting zijn geconstateerd waarbij, I_{clo} van minimaal 0,3 en maximaal 0,5 [clo], levert dit een groot verschil in PMV op tussen de minimale en maximale geconstateerde waarden.

Hierbij is te zien in tabel 21 dat de verschillen in PMV alleen maar groter worden naarmate er kleding gedragen wordt met een lagere isolatieweerstand.

Metabolisme (W/m ²)	Luchtsnelheid (m/s)	Lucht- en stralingstemperatuur (°C)	PMV	PMV	PMV
			(zomer) 0,3 clo 70% RV	(zomer) 0,4 clo 70% RV	(zomer) 0,5 clo 70% RV
65	0,02	21,0	-1,9	-1,6	-0,6
65	0,02	21,5	-1,7	-0,6	-0,4
65	0,02	22,0	-0,6	-0,5	-0,3
65	0,02	22,5	-0,5	-0,3	-0,2
65	0,02	23,0	-0,4	-0,2	0
65	0,02	23,5	-0,2	0	0,1
65	0,02	24,0	-0,1	0,1	0,3
65	0,02	24,5	0,1	0,2	0,4
65	0,02	25,0	0,2	0,4	0,5
65	0,02	25,5	0,3	0,5	0,6

Tabel 21. Overzicht van verschillende luchttemperaturen met de horende PMV voor een zomersituatie bij verschillende I_{clo} waarden.

Hetzelfde is gedaan voor de wintersituatie (tabel 22) waarbij een verhoging van I_{clo} van 0,8 naar 1 [clo] minder effect heeft op de PMV dan dat de I_{clo} verlaagd wordt naar 0,6 [clo]. Beide situaties, in de winter, hebben minder effect op de PMV, dan in de zomerperiode, door de hogere isolatiewaarde van de kleding.

Metabolisme (W/m ²)	Luchtsnelheid (m/s)	Lucht- en stralingstemperatuur (°C)	PMV	PMV	PMV
			(winter) 0,6 clo 30% RV	(winter) 0,8 clo 30% RV	(winter) 1 clo 30% RV
65	0,02	20,0	-0,9	-0,5	-0,2
65	0,02	20,5	-0,8	-0,4	-0,1
65	0,02	21,0	-0,6	-0,3	0
65	0,02	21,5	-0,5	-0,2	0
65	0,02	22,0	-0,4	-0,1	0,1
65	0,02	22,5	-0,3	0	0,2
65	0,02	23,0	-0,1	0,1	0,3

Tabel 22. Overzicht van verschillende luchttemperaturen met de horende PMV voor een wintersituatie bij verschillende I_{clo} waarden.

Men kan zich afvragen of op basis van dit onderzoek er genoeg redenen zijn om over te gaan op een individuele regeling. De klachten, na aanpassing van de installatie, zijn volgens de enquête teruggebracht naar 12% met betrekking tot het thermisch comfort. Zoals vooral tabel 21 laat zien is de kleding van grote invloed op het thermisch comfortniveau op de werkplek. Het aanpassen van de werkplek moet dus zeer nauwkeurig gedaan worden om het thermisch comfort niet juist te verslechteren.

De kosten van een investering in het kantoorgebouw voor het aanbrengen van het ontwerpconcept zullen erg hoog zijn. In het meest ideale geval zullen de klachten met 12% afnemen. Echter volgens Fanger is er altijd een gedeelte, 5% bij een ideale PMV van "nul", waarop men geen invloed heeft, namelijk de holistische factoren. Andere onderzoeken van Mayer [19], de Dear, Brager en Cooper [20] wijzen naar een hogere ontevredenheid; 15% in plaats van de 5% bij de theorie van Fanger, bij een PMV van "nul". In dat geval zou de beleving van de werknemers al op een PMV van "nul" zitten. Dit komt sterk overeen met de uitkomsten van de afgenomen enquêtes.

Het toepassen van dit ontwerp in het onderzochte kantoorgebouw zullen hoge investeringskosten met zich mee brengen met de hoop 10% meer van de gebruikers tevreden te stellen. In dit specifieke geval zijn de investeringskosten vele malen hoger dan de opbrengst in productiviteit.

Wanneer er echter nog geen installatie is geplaatst, of bij nieuwbouw, dan is het concept uit paragraaf 4.2 een eenvoudige, doch goede individuele oplossing waarvan de meerinvestering snel is terugverdiend. Het onderstaande voorbeeld onderbouwt deze opvatting. Meerkosten €150,- per m² bvo en 12m² per werknemer geeft een meerinvestering van €1800,- per werknemer. De besparing is maximaal 10% productiviteit winst van het maximum van circa 20% dwz 2% hetgeen bij een gemiddelde integrale loonkosten van €30.000 per jaar leidt tot een besparing van €600,-. Deze uitgangspunten leiden tot een eenvoudige terugverdientijd van 3 jaar.

5. Conclusies en aanbevelingen

Naar aanleiding van dit onderzoek kunnen een aantal conclusies worden afgeleid en aanbevelingen worden gedaan. De conclusies geven antwoord op de onderzoeksvragen die opzich weer antwoord geven op de doelstelling van dit onderzoek.

5.1 Conclusies

De conclusies van het onderzoek zijn hieronder weergegeven aan de hand van de onderzoeksvragen.

Wat is de invloed van kleding en het activiteitsniveau op het thermisch comfort?

De huidige en meest gehanteerde methode om het thermisch comfort te bepalen is de methode van Fanger. Hiermee bepaalt men de PMV van een ruimte uit een aantal grootheden: lucht- en stralingstemperatuur, luchtsnelheid, relatieve vochtigheid, kledingweerstand en het metabolisme.

De lucht- en stralingstemperatuur, luchtsnelheid en de relatieve vochtigheid kunnen in alle gevallen bepaald worden doormiddel van meting.

De persoonsgebonden factoren, kleding en activiteitsniveau hebben de grootste invloed op het uiteindelijke thermische comfortniveau maar zijn juist de factoren die het lastigst te bepalen zijn.

- Kleding is persoonsgebonden en aan mode onderhevig. Binnen een groep mensen zullen soorten kleding van elkaar verschillen wat verschillende isolatiewaarden tot gevolg kan hebben [blz.14].

De theorie van Fanger gebruikt hiervoor gemiddelde waarden, welke bepaald zijn uit onderzoek. Voor een groep mensen zullen er verschillen optreden in kleding en het metabolisme. Deze verschillen worden niet meegenomen in de theorie, wat zal leiden tot een ontevredenheid van een aantal gebruikers binnen een groep.

Welke andere invloeden hebben betrekking op het thermisch comfort?

De beleving van het 'comfort' kan onderverdeeld worden in twee categorieën, de holistische- en de deterministische factoren. De deterministische factoren zijn factoren, die objectief bepaald kunnen worden, zoals temperatuur, luchtsnelheid en relatieve vochtigheid. De holistische factoren zijn factoren waarop "geen invloed" uitgeoefent kan worden, zoals gemoedstoestand, omgeving en collega's [Zeiler, blz.12].

Hoe staat het thermisch comfort in relatie tot de ontevredenheid en de productiviteit van personen?

Een gebouw is ontworpen met een bepaald bouwtype en bouwklasse. Het bouwtype, Alpha of Beta, bepalen de acceptatie van het binnenklimaat ten opzichte van het buitenklimaat. De verwachting van de gebruikers is hoger en dus thermische sensatie kleiner in een Beta gebouw ten opzichte van een Alpha gebouw. De bouwklasse bepaald in zekere mate de kledingvariatie (figuur 6, blz.15). Bij de laagste klasse, bouwklasse C, is de grootste kledingvariatie mogelijk, waarbij de thermisch comfortgrenzen van de klasse niet overschreden worden. De ontevredenheid is dus afhankelijk van het bouwtype en de bouwklasse [blz.17].

De productiviteit staat in direct verband met het thermisch comfort van de werknemer. De hoogste productiviteit wordt behaald bij een bouwklasse A. Onderzoek van Roelofsen [1] heeft geleid tot een bijgestelde klasse A waarbij de PMV is bepaald bij een optimale productiviteit. Hierbij is de PMV van $-0,2 < PMV < 0,2$ verschoven naar een PMV van $-0,5 < PMV < 0$ [blz.18].

Hoe beleven werknemers het comfort op hun eigen werkplek in een gebouw dat is ontworpen als een klasse A gebouw?

Gebruikers zijn vrij ongevoelig voor een (positieve) verandering van het binnenklimaat. De oorzaak hiervan zit in de acceptatie van het aangeboden klimaat. Na enige tijd is de gebruiker gewend aan het aangeboden klimaat en beoordeelt de gebruiker het klimaat niet als oncomfortabel. Dit wordt bevestigd door het feit, dat de verwachting van het binnenklimaat van invloed is op de beleving van de werknemers met betrekking tot binnenklimaat.

Wat is het werkelijke comfortniveau volgens de theorie van Fanger in het gebouw dat ontworpen is als een klasse A gebouw?

Door de aanpassing van kleding door de gebruikers in de verschillende seizoenen dient de installatie hier rekening mee te houden. Wanneer hier geen rekening mee gehouden wordt door bijvoorbeeld variabele inblaasttemperatuur of verschillende ruimtetemperaturen zal de PMV een grote bandbreedte hebben, gemeten over een seizoen. De bandbreedte van de PMV is afhankelijk van de gebouwklasse en de diversiteit in kleding (figuur 6, blz.15).

Hoe kan ik de resultaten gebruiken voor een ontwerp van een werkplek met individuele comfortregeling?

Om alle gebruikers de mogelijkheid te geven een ideaal klimaat te creëren dient er individueel de mogelijkheid te zijn om het werkplekklimaat na te regelen.

Door de verschillen in metabolisme en kleding van de gebruikers kan "nooit" voor een groep mensen een PMV van "nul" aangeboden worden. Door de gebruiker zelf de mogelijkheid te geven het klimaat op zijn persoonlijke werkplek aan te passen kan hij zelf het gewenste klimaat bereiken.

De doelstelling van dit onderzoek is:

"Om een goed comfortniveau voor individuele gebruikers van een kantoorgebouw te verkrijgen, tegen een zo laag mogelijk energieverbruik. De nadruk ligt hierbij op het energieverbruik, met de voorwaarde dat het comfortniveau goed blijft. Het comfortniveau dient goed te zijn, omdat deze in direct verband staat met de productiviteit van de gebruiker."

Om aan de doelstelling; "om een goed comfortniveau te kunnen realiseren voor de individuele gebruiker", te voldoen, moet er de mogelijkheid zijn om het binnenklimaat aan te kunnen passen aan zijn of haar persoonlijke wensen. Zonder deze mogelijkheid is het niet mogelijk, iedere gebruiker een goed comfort aan te bieden. Om voor een concept te kiezen, dat alleen het klimaat op de werkplek op een goed comfortniveau brengt verlaag je het energieverbruik ten opzichte van een systeem dat de gehele ruimte op een goed comfortniveau moet brengen.

5.2 Aanbevelingen

Tijdens en na het onderzoek zijn er een aantal punten naar voren gekomen die niet konden worden uitgezocht of onvolledig waren in verband met tijd of niet aanwezige informatie.

Methodisch ontwerpen

De morfologische schema's met hun functies en (deel)oplossingen geven een goed overzicht van "alle" mogelijke oplossingen. Het aantal mogelijke oplossingen op het gebruikersniveau zijn (nog) zeer gering. De invloed op de gebruiker zelf is gering, de kleding en de activiteit kunnen enigszins bepaald worden. Op de specifieke werking van het menselijke lichaam met betrekking tot het verhogen of verlagen van het comfort en de oplossingen hiervoor, is naar de van invloed van de lichaamsdelen nog te weinig onderzoek gedaan voor relevante oplossingen. Hierdoor is het aantal mogelijke oplossingen weergegeven in de morfologische schema's voor de gebruiker nog gering.

Relatie van het functioneren van het menselijk leven en de thermische behaaglijkheid

Er dient meer onderzoek naar de precieze werking van het lichaam gedaan te worden. Welke lichaamsdelen beïnvloeden het comfortgevoel in bepaalde situaties en welke oplossingen/systemen kunnen ontwikkeld worden die het lichaam comfortabel houden. Op werkplekniveau zijn meer oplossingen mogelijk. Momenteel wordt er bij het ontwerpen van kantoorgebouwen nog weinig gebruik gemaakt van verwarmen, koelen en ventileren voor een specifieke werkplek.

Gebruikersprofielen

Uit het onderzoek komt niet één specifiek gewenst temperatuur profiel naar voren. Om een goed éénduidig profiel te bepalen dient er meerdere malen, onder verschillende strak geregelde temperatuurmetingen aangeboden te worden. Hierdoor kan er per werknemer onder gelijkblijvende condities een profiel bepaald worden. Met de gebruikersprofielen kan de energiebehoefte beter voorspeld worden waardoor de mogelijkheid tot energie besparen beter mogelijk is. Een onderzoek dat gebruikersprofielen heeft bepaald is het SMART-project.

Ontwerp

Het ontwerp dat is uitgewerkt in hoofdstuk 4.3 dient, voordat het in de praktijk getest wordt, eerst onderzocht te worden met behulp van een testopstelling. Dit om de invloed van eventuele hinder van luchtstroming op de gebruiker te onderzoeken.

De mogelijkheid om individueel het binnenklimaat aan te kunnen passen moet doormiddel van een helder en simpel te bedienen realiseerbaar systeem. Dit om onnodig energie verbruik door verkeerde instellingen en hierdoor het comfortniveau te verlagen.

Ontwerpstrategie

Er dient een ontwerpstrategie ontwikkeld te worden die de eisen en wensen van de eindgebruiker mee neemt in zijn ontwerp.

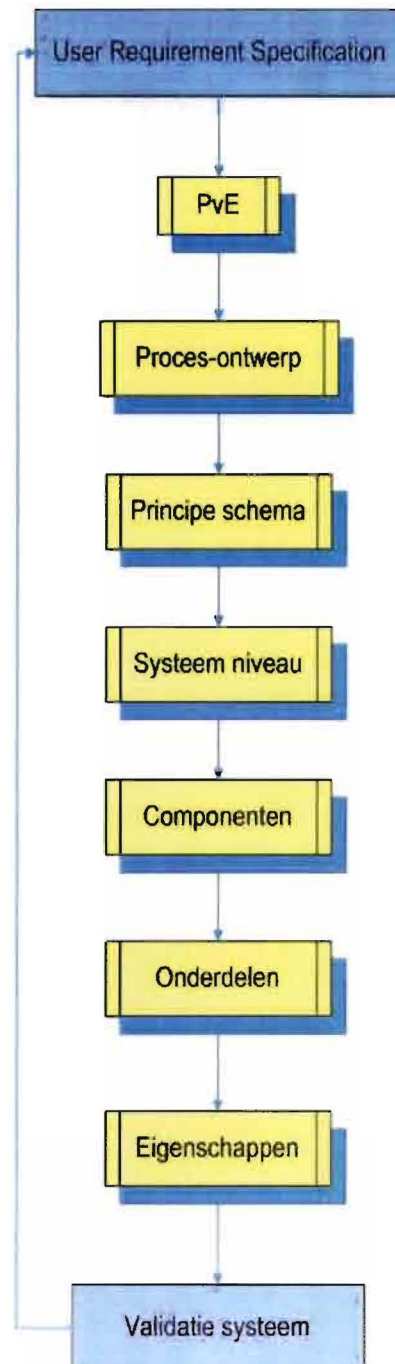
In onderstaande worden een aantal punten doorlopen aan de hand van figuur 40. Dit figuur is opgezet om de kans op problemen tijdens het ontwerp te verkleinen met betrekking tot de eisen en wensen van de gebruiker/opdrachtgever.

Het tot stand komen van een (kantoor)gebouw bestaat uit een aantal verschillende stappen. Voordat er overgegaan wordt tot het daadwerkelijk bouwen van een gebouw zijn de belangrijkste en meest bepalende beslissingen al genomen. In vele gevallen worden de installaties, met betrekking tot het comfort, in het kantoorgebouw, bepaald door een werktuigbouwkundige installateur met behulp van de ISSO 43. De meet- en regeltechnicus "knoopt" de systemen daarna via software aan elkaar en bepaalt een regelstrategie. Deze twee disciplines zijn echter, om tot een goed werkend concept te komen, onlosmakelijk aan elkaar verbonden. Een goed ontwerp dient aan de hand van een regelstrategie te worden gekozen. De werktuigbouwkundige ontwerper dient verstand te hebben van regelstrategieën en de meet en regeltechnicus van de werktuigbouwkundige installaties.

In de huidige ontwerprichtlijnen van klimaatinstallaties, ISSO 43, wordt geen rekening gehouden met strategieën, die van belang zijn om tot een goed concept te komen. Voor de meet- en regelsystemen bestaan er geen vaste ontwerprichtlijnen vanuit bijvoorbeeld een ISSO-publicatie.

Ook wordt de gebruiker niet in de ontwerpstechnieken mee genomen terwijl deze uiteindelijk wel wordt blootgesteld aan het aangeboden binnenklimaat.

Om voor iedereen tot goede concepten te komen dient er een handleiding/richtlijn te komen die de twee disciplines met elkaar combineert om tot een goed werkend installatieconcept te komen. Hierbij kan men het gehele ontwerpproces opdelen in een aantal fasen, die het gemakkelijker maken om tot een goed ontwerpconcept te komen (figuur 44).



Figuur 44. Ontwerpstrategie

User Requirement Specification

De gebruiker/opdrachtgever heeft een uniek inzicht in zijn taak, werk of activiteit. Om de gebruiker/opdrachtgever zijn taak optimaal te kunnen laten uitvoeren maakt hij zijn eisen en wensen aan de installateur/adviseur kenbaar.

De gebruiker weet vaak niet precies wat hij wil en daarom krijg je vaak eisen die niet relevant of onhaalbaar zijn.

Programma van Eisen

De eisen en wensen van de opdrachtgever worden vertaald in een programma van eisen.

De vertaalslag van de wensen en eisen van de gebruiker, door de adviseur/installateur, wordt mede bepaald door de wel/niet realiseerbaarheid van de wensen van de opdrachtgever.

Procesontwerp

Uit het programma van eisen wordt het proces bepaald. Het proces "vertelt" de functie van de installatie. De morfologische schema's geven een goed overzicht van de mogelijke (deel)oplossingen per proces.

De processen die mogelijk zijn verwarmen, koelen, ventileren, verlichting en stroom.

Principe schema

Het principe schema bepaalt het opwekkingsstelsel voor het proces daar waarvoor gekozen is in het bovenliggende "blok". Het opwekkingsstelsel maakt onderscheid tussen:

- centrale/decentrale opwekking;
- centrale/decentrale en lokale opwekking;
- lokale opwekking.

De principes kunnen bepaald worden aan de hand van de **regeldoelen**.

Het werktuigbouwkundige installatieconcept kan bepaald worden m.b.v. de ISSO 43, "basisblokken voor klimaatinstallaties of de morfologische schema's".

De regelstrategie kan onder andere bepaald worden met behulp van de ISSO 69.

Het probleem dat zich hier voordoet is dat er geen koppeling tussen het installatieconcept en de regelstrategie. De keuze van het installatieconcept is afhankelijk van de regelstrategie, net zoals de regelstrategie afhankelijk is van je installatieconcept.

Systeem niveau

Het principe bepaalt het aantal opwekkingsstelsels per proces. Bij meerdere opwekkingsstelsels met dezelfde functionaliteit binnen één proces is de regelstrategie van belang.

Per basisblok wordt bepaald wat de verdeling is o.b.v. capaciteit, regelbereik of beschikbaarheid/redundantie van de opwekkingsstelsels. Bij meerdere opwekkers is onder andere de verhouding van vollast/deellast van belang. De verdeling wordt vaak pas gemaakt aan het eind van het proces waardoor installaties in deellast slechte rendementen behalen.

Component niveau

Per opweksysteem wordt de strategie bepaald. De regelstrategie is afhankelijk van de verdeling, beschikbaarheid/redundantie en of de verhouding van vollast/deellast.

Omdat de regelstrategie van het componentniveau afhankelijk is van het systeemniveau kan deze ook pas op het eind bepaald worden, waardoor de "beste" keuzes niet altijd meer mogelijk zijn.

Onderdeel niveau

Per component worden de onderdelen bepaald. De regelstrategie van de onderdelen wordt weer bepaald door de componenten met de daarbij behorende regelstrategie.

Omdat de regelstrategie van het onderdeelniveau afhankelijk is van het componentniveau kan deze ook pas op het eind bepaald worden, waardoor de "beste" keuzes niet altijd meer mogelijk zijn.

Eigenschappen

De specifieke eigenschappen en randvoorwaarden waaraan de onderdelen moeten voldoen c.q. waarbinnen het functioneren wordt bepaald.

Om de gebruiker een goed comfort aan te kunnen bieden dient de opnemer van de ruimte/werkplek naar juistheid en bereik te werken. Wanneer aan dit uitgangspunt niet wordt voldaan is het moeilijk om het vereiste comfortniveau te behalen, omdat er al bij de bron een afwijking zit tussen vraag en aanbod.

Validatie

Uiteindelijk dient na uitvoering het totale systeem gevalideerd te worden, of het aan de eisen en wensen van de opdrachtgever voldoet. Op deze manier van ontwerpen is de kans aanzienlijk kleiner dat het systeem niet aan de eisen en wensen van de opdrachtgever voldoet. Voldoet deze niet aan de eisen en wensen van de opdrachtgever, die zijn aangegeven in het PvE dan kunnen deze via de instellingen van de eigenschappen van de onderdelen gecorrigeerd worden

Als de installatie na oplevering niet voldoet aan de eisen en wensen van de opdrachtgever bestaat er de mogelijkheid deze eenvoudig aan te passen met behulp van de eigenschappen van de onderdelen. In de praktijk moeten er vaak grote veranderingen doorgevoerd .

Na verloop van tijd is het mogelijk dat door aanpassingen, of andere wensen en eisen, de installatie niet meer energetisch optimaal draait. Instellingen werken elkaar tegen of worden niet gebruikt waardoor veel energie verloren gaat en/of niet benut wordt. Bij de wens energie te besparen met betrekking van het binnenklimaat dient er kritisch te worden gekeken naar de huidige instellingen en eventueel achterhaald worden waarom de ontwerpinstellingen zijn aangepast.

Op deze manier van ontwerpen wordt de kans op problemen of het niet voldoen aan de eisen en wensen van de opdrachtgever en het onnodig energie verbruiken om het gewenste resultaat te behalen, aanzienlijk verkleind.

5.2.1 Aanbevelingen kantoorgebouw Kropman

Tijdens de metingen, het analyseren van het gebouwbeheersysteem en de installatie zijn er een aantal punten naar voren gekomen die van invloed zijn op het uiteindelijke comfortniveau en energieverbruik van het kantoorgebouw.

- Het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp werd in het verleden niet "historisch" opgeslagen waardoor er geen precieze vergelijking kan worden gemaakt met voorgaande jaren.
- Om het exacte effect van alle aanpassingen te meten dient er nogmaals in een zomerperiode een toetsing te worden gedaan in de vorm van een enquête en een meting. Hierbij kunnen dan de beleving, PMV en het energieverbruik vergeleken worden met de eerdere meting(en). Tevens kan dan de maximale temperatuur bepaald worden voor de zomerperiode waardoor je meer energie zou kunnen besparen. Wel moet er rekening gehouden worden met de situatie van de afgelopen winter; de warmste sinds jaren.
- Tijdens het onderzoek zijn er ook geregeld metingen gedaan t.b.v. de lichtintensiteit op de werkplek. Aangezien de lichtintensiteit niet wordt meegenomen in de theorie van Fanger, en er nog weinig bekend is over de invloed van licht op kantoorwerkzaamheden is dit niet meegenomen in dit rapport. Wat wel geconstateerd kan worden is dat de intensiteit van de armaturen aan de lage kant is en dat bij onvoldoende lichtinval van buitenaf de lichtintensiteit binnen in het kantoorgebouw in zijn geheel te laag is. De metingen zijn gedaan in de zomerperiode waarbij de huidige NEN-normen op een aantal plekken in het gebouw niet worden behaald [bijlage S]. Het verhogen van de lichtintensiteit zal volgens de theorie leiden tot een verhoging van de productiviteit in de vorm van kwaliteit en kwantiteit.
- Tijdens het analyseren van de meetgegevens en van het gebouwbeheersysteem werd duidelijk dat de installatie niet energetisch optimaal draaide. Instellingen werkten elkaar tegen of werden niet gebruikt, waardoor veel energie verloren ging en/of niet benut werd. Wanneer men in een gebouw energie wil besparen dient er eerst kritisch naar de huidige instellingen te worden gekeken (de relatie tot beheer en monitoren).
- De productiviteit van werknemers staat in direct verband met het thermisch comfort. Om het klimaat op de werkplek goed te kunnen regelen dient de opnemer naar behoren te werken. De thermostaten in de kantoorcellen geven een dermate afwijkende waarde aan, zodat hierdoor niet een juiste temperatuur aangeboden kan worden. De temperatuuropnemers in de kantoorruimten werken wel naar behoren.
- Het attenderen op de mogelijkheid, tot het individueel kunnen aanpassen van de temperatuur, kan leiden tot een beter comfort voor de individuele werknemer mits dit niet te veel negatieve invloed heeft op de andere werknemers.

Literatuurlijst

- [1] Roelofsens, C.P.G., 2001, "Strategie voor productiviteitsverbetering: Ontwerpen van de werkplek", TVVL Magazine, 1, 2001.
- [2] Baker, N., 1991. Comfort and Passive Cooling. AIVC Paper 11159. Building Service Research and Information Association, Verenigd Koninkrijk.
- [3] Humphreys, M.A. 1994, "Field studies and climate chamber experiments in thermal comfort research", In Thermal comfort: past, present and future, Proceedings of a conference held at the Building Research Establishment, Garston, 9-10 June 1993, Edited by N.A. Oseland and M.A. Humphreys.
- [4] Clements-Croome D., Baizan, L., 2000, "Productivity and Indoor Environment", "The effect of Indoor Climate on Productivity", Proceedings of Healthy Buildings 2000, Vol. 1, pp 629-634.
- [5] Wyon, D.P., 2000, "Individual control at each workplace: the means and the potential benefits", in creating the productive workplace, edited by Derek Clements-Croome, London, New York
- [6] Wyon, D.P., "The effects of indoor climate on productivity and performance". VVS & Energi.1986
- [7] NEN-EN-ISO 7730, Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, 2005
- [8] Leaman, A., Bordass, B., 2000, "Productivity in Buildings: the 'killer' variables", in Creating The Productive Workplace – Edited by Derek Clements-Croome, ISBN 0-419-23690-2.
- [9] Kurvers, S.R., Van der Linden, A.C., Boerstra, A.C., 2002, "Individuele beïnvloeding: lager energiegebruik, gezonder, comfortabeler en productiever binnenmilieu", TvVL Magazine, maart 2002, 31, 3.
- [10] Nakano J., Okuda A., Lee S., Tanabe S., Kimura K., 1999. "Seasonal evaluation of office environment with high amount of heat load". Proceedings Indoor Air 1999, vol.2, pp 314-319.
- [11] Kimura, K., 1994, "Climate chamber studies for hot and humid regions", in Thermal comfort: past, present and future, Proceedings of a conference held at the Building Research Establishment, Garston, 9-10 June 1993, Edited by N.A. Oseland and M.A. Humphreys.
- [12] Sassa N., Kubo H., Isoda N., Yanase T., 1999, "The individual differences of preferred air temperature at the direct determination and exposure to established air temperature", Proceedings Indoor Air 1999, Vol.1.
- [13] Van der Linden, A.C., Kerssemakers, M., Boerstra, A.C., Raue, A.K., 2000, "Thermisch Binnenklimaat als Gebouwprestatie", Bouwfysica vol. 11, no. 4.
- [14] NEN-EN-ISO 7726, Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities, second edition 1998.
- [15] Positive outcomes of participatory ergonomics in terms of greater comfort and higher productivity Applied Ergonomics, Volume 37, Issue 4, July 2006, Pages 537-546
Peter Vink, Ernst A.P. Koningsveld and Johan F. Molenbroek
- [16] Zeiler, W, De mens weer central bij comfortbenadering, vv+ jan 2007.
- [17] ISSO 74, Thermische behaaglijkheid, Eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen, 2004.
- [18] P.O. Fanger, 1972, Thermal Comfort, Analysis and applications in environmental engineering, McGraw-Hill Book Company USA.
- [19] Mayer E., 1997, "A new correlation between predicted mean votes (PMV) and predicted percentages of dissatisfied (PPD)", Proceedings of Healthy Buildings 1997, Vol.2.
- [20] de Dear, R., Brager, G., Cooper, D., 1997, "Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference", Final report ASHRAE RP-884.
- [21] ISSO, 1990. Thermische behaaglijkheid: binnencondities en comfort in gebouwen, ISSO researchrapport 5. ISSO, Rotterdam.
- [22] Humphreys, M.A., Nicol, J.F., 2001, The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every day thermal environments. Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century, 5th – 8th april 2001, Windsor, UK.
- [23] Nicol, J.F., Humphreys, A., 2001, "Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings", Conference Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century, 5th – 8th april 2001, Windsor, UK.
- [24] Nicol, J.F., Raja I.A., 1996. "Thermal Comfort, time and posture: explanatory studies in the nature of adaptive thermal comfort". ISBN 899404 03 1. School of Architecture Oxford Brookes University, Oxford, UK.

- [25] Nicol, J.F., Raja I.A, 1997, "Modelling temperature and Human Behaviour in Buildings", *ibpsaNEWS*, vol. 9, number 1: april 1997.
- [26] McCartney, K.J., Nicol, J.F, 2001, "Developing an adaptive control algorithm for Europe", *Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century*, 5th – 8th april 2001, Windsor, UK
- [27] P.O. Fanger, 1978, *The prediction of comfort and acceptable of complex thermal environments*.
- [28] Berglund, G.B., 1978, "Occupant Acceptance of Temperature Drifts", *Proceedings of the 1st international indoor climate symposium*. Copenhagen, Denmark.
- [29] Bommel van, W.J.M, Betekenis van niet-visuele, biologische effecten van licht voor kantoorverlichting, *ISSO ThemaTech*, september 2007.
- [30] Clements-Croome, D, "Naturally Ventilated Building," London, 1997.
- [31] Kroner, W.M., 2000, "Employee productivity and the intelligent workplace", in *Creating The Productive Workplace* – Edited by Derek Clements-Croome, ISBN 0-419-23690-2.
- [32] Wyon, D.P., 1996, "Individual microclimate control: required range, probable benefits and current feasibility", *Proceedings of Indoor Air*, Vol. 1, 1996.
- [33] Doherty, T.J. & Arens, E.(1988). Evaluation of the physiological bases of thermal comfort models. *ASHREA Transactions*, 94(1), 1371-1385.
- [34] www.broekbakema.nl
- [35] ISSO 68, 2002. Energetisch optimale stooklijn- en koellijnen voor klimaatinstallaties in kantoorgebouwen. ISSO, Rotterdam.
- [36] Bommel van, W.J.M, Beld van den, Ir.G.J, Ooyen van, Ir.M.H.F, Industriële verlichting en productiviteit, *Philips Lighting*, August 2002.
- [37] Zeiler, W, Flexergy; a Methodical systemen approach for user oriented agent based process management of energy flows in the built environment.
- [38] Kamphuis, I.G.; Warmer, C.J.; Jong, M.J.M.; Wortel, W., IIGO. Intelligent Internet mediated control in the built environment. Description of a large-scale experiment in a utility building setting, *ECN-C--05-084*, oct 2005.
- [39] Siers, F.J., *Methodisch ontwerpen, volgens H.H. van den Kroonenberg*, derde druk, Wolters Noordhoff, ISBN 90-01-50901-0

Bijlagen

Bijlage A: Het kantoorgebouw.

Bijlage B: De klimaatinstallatie.

Bijlage C: Questionnaire.

Bijlage D: Uitkomst enquête 1 per verdieping.

Bijlage E: Predicted mean vote per afdeling.

Bijlage F: Predicted percentage of dissatisfied per afdeling.

Bijlage G: Lokale thermische ontevredenheid.

Bijlage H: Niet constante thermische omgeving.

Bijlage I: Uitkomst enquête 2 per verdieping.

Bijlage J: Predicted mean vote meting 2 per afdeling.

Bijlage K: Predicted percentage of dissatisfied meting 2 per afdeling.

Bijlage L: Lokale thermische ontevredenheid meting 2.

Bijlage M: Niet constante thermische omgeving meting 2.

Bijlage N: Meetopstelling.

Bijlage O: Theorie methodisch ontwerpen.

Bijlage P: Temperatuurverschil tussen thermostaat en meetopstelling.

Bijlage Q: Lichtintensiteit.

Bijlage A: Het kantoorgebouw

Het kantoorgebouw bestaat uit:

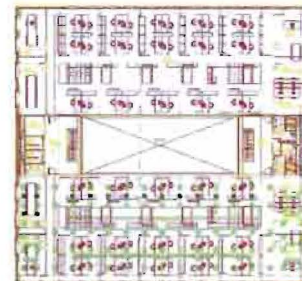
- een open parkeerplaats die zich half onder het maaiveld bevindt;
- de begane grond, noordzijde cellenkantoren, entree en zuidzijde magazijn;
- 1^e verdieping, noordzijde kantine en zuidzijde kantoortuin;
- 2^e verdieping, noordzijde en zuidzijde kantoortuin;
- 3^e verdieping, noordzijde kantoor, zuidzijde kantoor en technische ruimte.

De gevel op begane grond niveau bestaat uit een vliesgevel, op de andere niveaus is er een 2^e huidfaçade geconstrueerd. Het gebouw heeft een constructie die is gebaseerd op IFD (Industrial Flexible Dismountable) bouwen. Hierdoor kunnen grote aanpassingen in het gebouw plaats vinden door kleine werkzaamheden uit te voeren. Tijdens de bouw is er tevens de mogelijkheid gecreëerd om nog een extra verdieping te plaatsen boven op het gebouw.



Figuur 45. Buitenzijde kantoorgebouw Kropman.

Het kantoorgebouw heeft een totaal vloeroppervlak van 5500 m². Hiervan is 3300 m² kantooroppervlak. Het overige oppervlak bestaat uit magazijn, trappenhuisen en atrium. In de kantoortuinen bevinden zich aan de oost- en westzijde kantoorcellen.



Figuur 46. Plattegrond kantoortuinen



Figuur 47. Binnenzijde kantoorgebouw Kropman.

Bijlage B: De klimaatinstallatie

De gevel bestaat uit een dubbele huidfaçade die een hoge isolerende waarde heeft. De zonwering in de gevel werkt automatisch via het gebouwbeheerssysteem en rolt in/kantelt/rolt uit afhankelijk van de zonintensiteit.

Het binnenklimaat wordt gecreëerd door middel van mechanische ventilatie. Het gebouw maakt gebruik van duurzame energie opwekking. Een luchtbehandelingsysteem behandelt verse buitenlucht voor, doormiddel van een warmtewiel, die zijn energie verkrijgt uit retourlucht. Hierna wordt de lucht indien nodig, verwarmd of gekoeld door energie uit de aquifer. Bij onvoldoende energie of capaciteit wordt de warmtepomp ingeschakeld. Het gebouw heeft tevens voor de verwarming een stadsverwarmings aansluiting, die bij storing de warmtelevering op zich neemt.

De kantoorcellen en –tuinen worden lokaal nabehandeld door convectoren, die de ruimte op de gewenste temperatuur brengt.

De retourlucht wordt via de armaturen naar het atrium getransporteerd. De lucht in het atrium wordt afgezogen en de lucht wordt door het warmtewiel naar buiten getransporteerd. In de winter, bij zonstraling, werkt het atrium als extra warmer. De lucht in het atrium wordt extra verwarmd waardoor er meer warmteoverdracht plaats vindt in het warmtewiel. In de vloer van de parkeergarage van de begane grond is tevens vloerverwarming/-koeling aangelegd. Dit om de koude afgifte op te vangen.

De ruimten zijn voorzien van bewegingssensoren, die gekoppeld zijn aan het lichtnet en het klimaatsysteem van de betreffende ruimte. Het systeem heeft 3 standen, aanwezig, stand-by en afwezig, wat bij afwezigheid het energieverbruik terugdringt.

Het gehele systeem is zichtbaar en verstelbaar doormiddel van het gebouwbeheerssysteem

Bijlage C: Questionnaire**Welbevinden van u in de zomer/winter**

Ruimte:.... Begane grond 1^e verdieping Oriëntatie gevel: N O Z W

Temperatuur in de winter

comfortabel oncomfortabel
 te warm te koud
 stabiel varieert gedurende de dag

Luchtkwaliteit in winter

droog vochtig
 fris bedompt
 geurloos stinkend
 bevredigend onbevredigend

Ventilatie

Hoe vaak zet u de volgende voorzieningen open in de **winter**?

tijdens **kantooruren**: ramen: ... % van de tijd deur: ... % van de tijd

in **pauze**: ramen: ... % van de tijd deur: ... % van de tijd

Om welke redenen laat u bewust ramen/roosters dicht **tijdens** kantooruren?

Tocht Geluidsoverlast anders, nl.

Om welke redenen laat u bewust ramen/roosters dicht **buiten** kantooruren?

Warmteverlies Inbraakveiligheid anders, nl.

Regelbaarheid (thermostaat, ventilator en ramen en/of roosters) **per kamer/ruimte**

Temperatuur: volledige controle geen controle

Luchtafvoer (ventilator) volledige controle geen controle

Gezondheidsklachten

Zijn er veel gezondheidsklachten van u gerelateerd aan luchtkwaliteit:

Hoofdpijn veel weinig

Duftheid/vermoeidheid veel weinig

Ademhaling (hoesten) veel weinig

Reinheid

Hoe zou u de reinheid van uw kamer/ruimte willen omschrijven? (stof, hygiëne etc.)

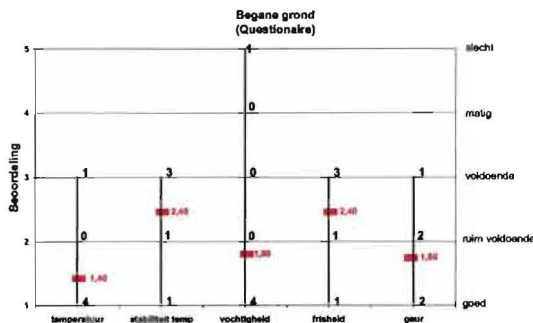
Voldoende onvoldoende

Heeft u nog **opmerkingen** t.a.v deze aspecten? Vermeldt u deze dan op de **achterzijde** alstublieft.

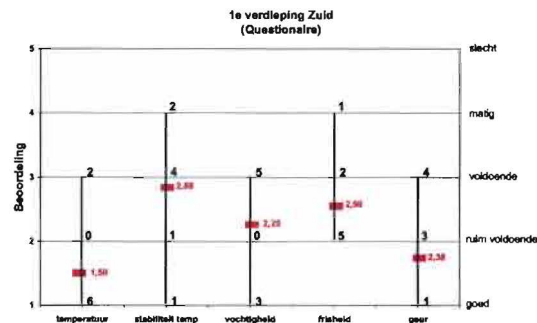
Dank u wel voor het invullen van deze enquête!!

Bijlage D: Uitkomst enquête 1 per verdieping

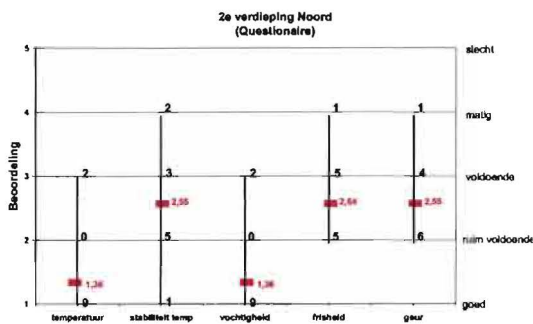
Periode van 29-06-2007 tot 27-07-2007.



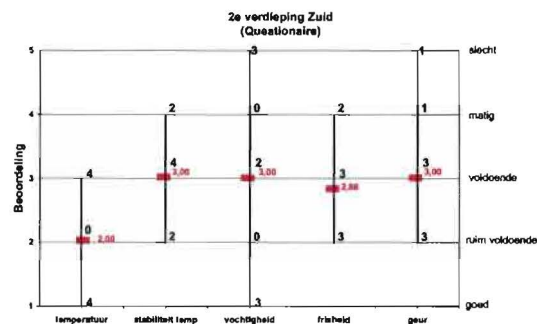
Figuur 48. Begane grond.



Figuur 49. 1^e verdieping Zuid.



Figuur 50. 2^e verdieping Noord.



Figuur 51. 2^e verdieping Zuid.

In alle bovenstaande figuren is te zien dat alle facetten **gemiddeld** worden beoordeeld van voldoende tot goed.

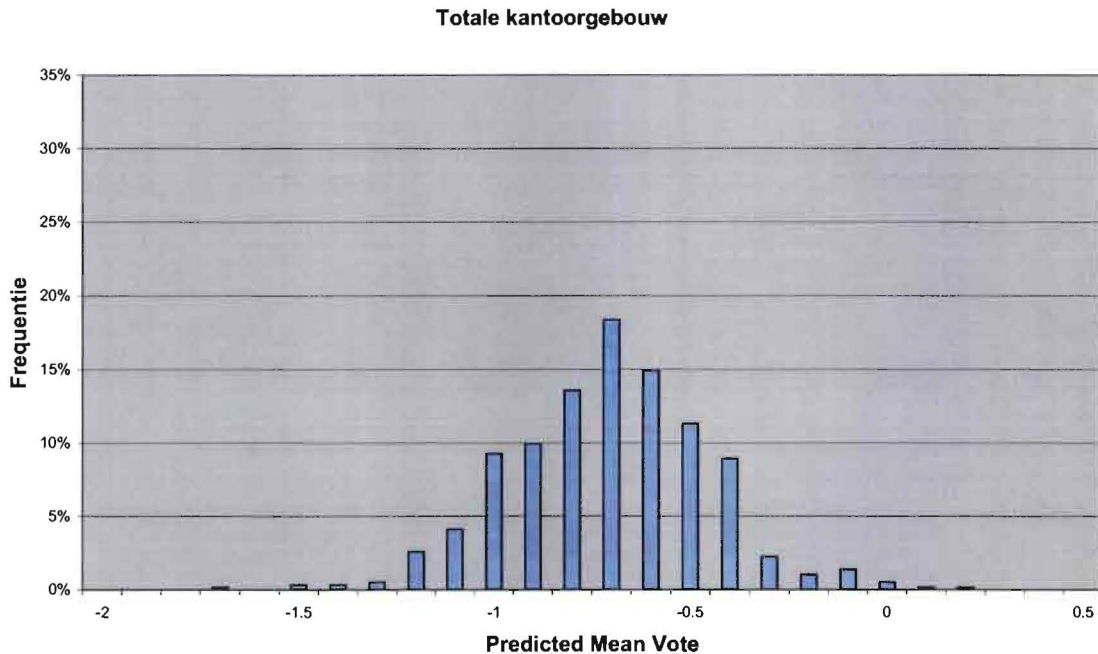
Een uitschieter is te zien in figuur 48 (begane grond). De vochtigheid wordt door 1 persoon als erg droog ervaren, de andere 4 personen beoordelen deze als goed.

In figuur 49 (1^e verdieping Zuid) is er een grote spreiding te zien bij de stabiliteit van de temperatuur. Deze wordt door 1 persoon beoordeeld als goed en door 2 personen als matig. In figuur 50 (2^e verdieping Noord) is ook een grote spreiding te zien bij de stabiliteit van de temperatuur. Ook hier wordt de stabiliteit door 1 persoon als goed beoordeeld en door 2 personen als matig.

In figuur 51 (2^e verdieping Zuid) is er een grote verdeeldheid te zien tussen de vochtigheid en geur. De vochtigheid wordt door 3 personen als goed beoordeeld en door 3 personen als slecht. De geur wordt door 1 persoon als slecht beoordeeld en door 3 personen als ruim voldoende.

Bijlage E: Predicted mean vote per afdeling

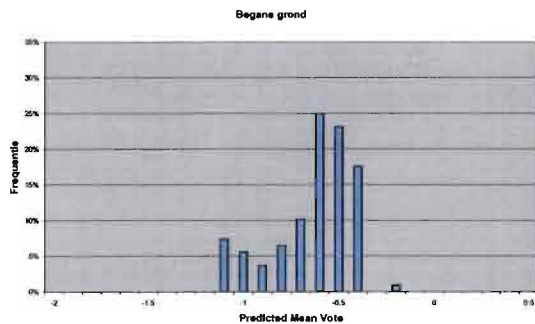
Periode van 29-06-2007 tot 27-07-2007.



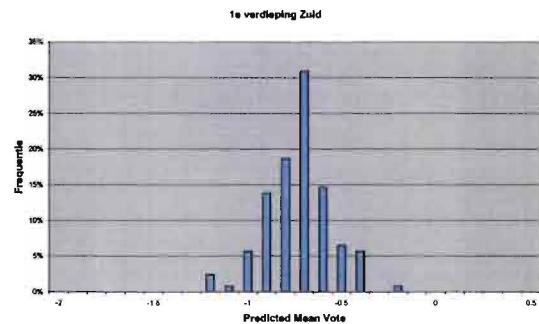
Figuur 52. Frequentie van voorkomende PMV tijdens kantooruren (07.00 – 18.00).

	PMV				Binnen temperatuur (°C)		Relatieve vochtigheid (%)	
	mediaan	gemiddelde	min	max	min	max	min	max
begane grond	-0,6	-0,6	-1,1	-0,2	21,1	23,6	50	69
1^e verdieping Zuid	-0,7	-0,7	-1,2	-0,2	22,5	24,8	39	65
2^e verdieping Noord	-0,7	-0,7	-1,4	0,2	21,3	25	35	66
2^e verdieping Zuid	-0,7	-0,7	-1,7	-0,3	21,2	24	43	64
Totaal	-0,7	-0,7	-1,7	0,2	21,1	25	35	64

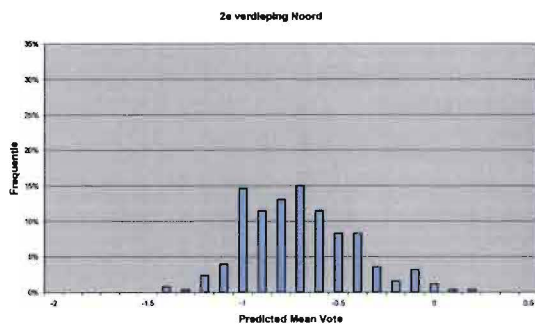
Tabel 23. Voorkomende PMV, temperatuur en relatieve vochtigheid.



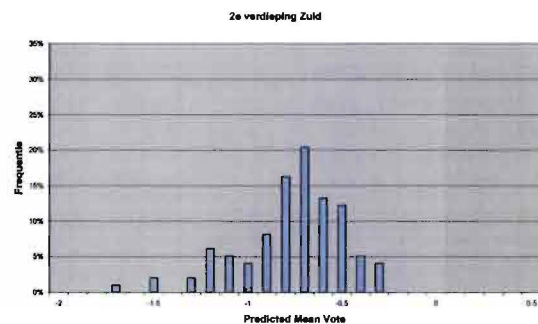
Figuur 53. Frequentie van voorkomende PMV op de begane grond tijdens kantooruren.



Figuur 54. Frequentie van voorkomende PMV op de 1^e verdieping Zuid tijdens kantooruren.



Figuur 55. Frequentie van voorkomende PMV op de 2^e verdieping Noord tijdens kantooruren.



Figuur 56. Frequentie van voorkomende PMV op de 2^e verdieping Zuid tijdens kantooruren.

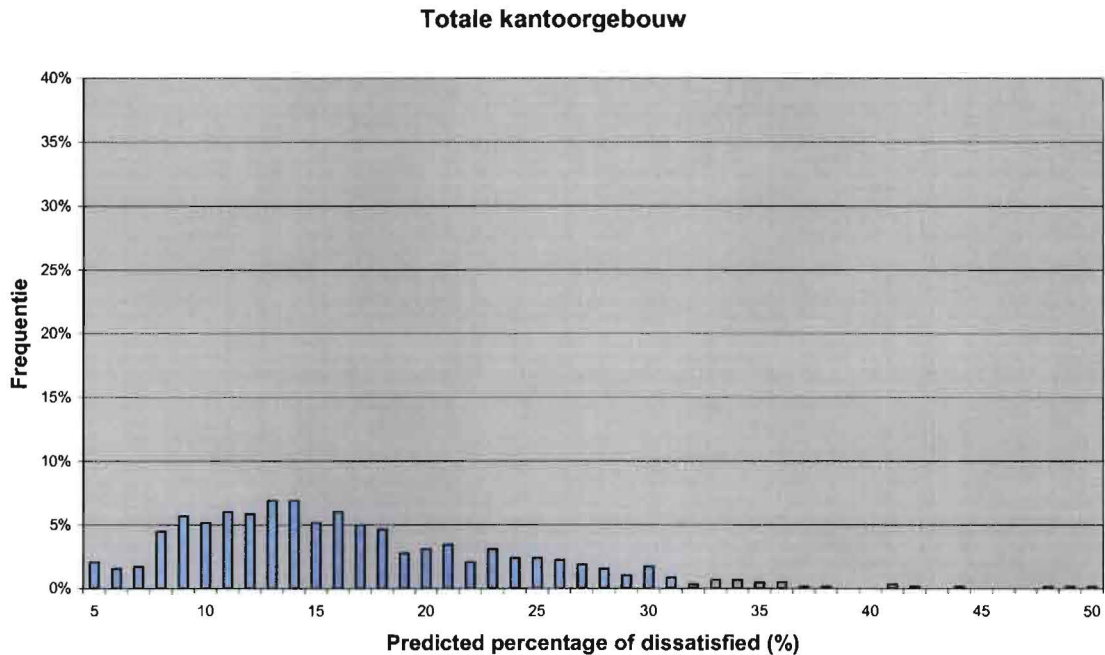
Uit figuur 53 t/m 56 is op te maken dat de "gemeten" PMV aan de negatieve, koude zijde verkeert.

Figuur 53 laat zien dat de PMV op de begane grond zich altijd aan de negatieve zijde begeeft. Dit zelfde geval is geconstateerd op de 1^e verdieping aan de zuidzijde, figuur 54. Hierbij is de PMV van de 1^e verdieping zuidzijde ten opzichte van de begane grond nog meer verschoven naar hogere negatieve waarden.

Bij de 2^e verdieping zowel aan de noord- als zuidzijde geven de grafieken een gelijkmatiger beeld.

Bijlage F: Predicted percentage of dissatisfied

Aan de hand van de PMV bepaalt men de Predicted Percentage of Dissatisfied, het aantal ontevredenen. In onderstaande figuren is de PPD weergegeven over de periode van 29-06-2007 tot 27-07-2007.



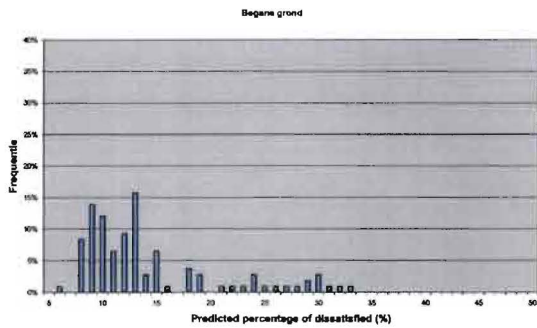
Figuur 57. Frequentie van voorkomende ontevredenheid tijdens kantooruren over het gehele gebouw.

PPD (07.00 - 18.00)	Criteria PPD	BG noord (%)	1 ^e verd zuid (%)	2 ^e verd noord (%)	2 ^e verd zuid (%)	Totaal (%)
Klasse A	< 6	100	100	95	100	98
Klasse B	< 10	77	93	81	91	85
Klasse C	< 15	31	63	56	61	54

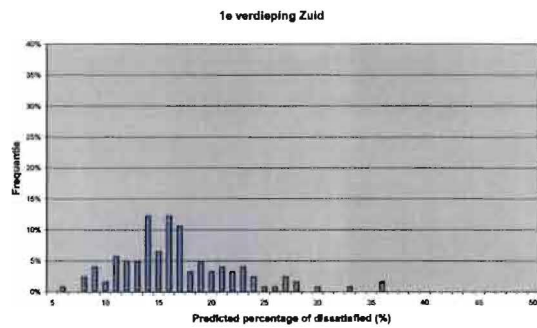
Tabel 24. Percentage ontevredenen tijdens kantooruren (PPD).

Uit figuur 57 is op te maken dat de PPD, die afhankelijk is van de PMV, zeer hoog is. Tabel 24 geeft het ontevredenheidspercentage weer van het personeel, waarbij de criteria van de klasse, het maximale aantal ontevredenen weergeeft. Uitgaande van klasse A voor het kantoorgebouw van Kropman voldoet deze **niet** aan de gestelde PPD.

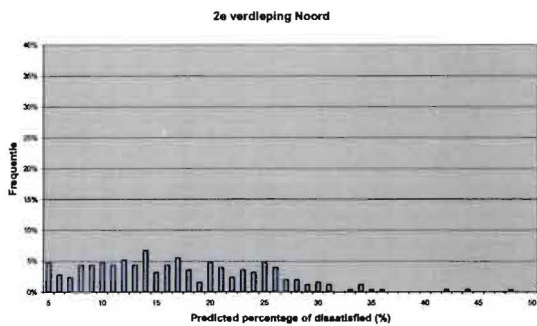
De PPD weergegeven per afdeling



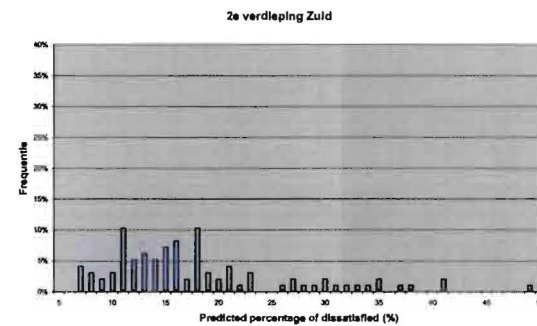
Figuur 58. Frequentie van voorkomende PPD op de begane grond tijdens kantooruren.



Figuur 59. Frequentie van voorkomende PPD op de 1^o verdieping Zuid tijdens kantooruren.



Figuur 60. Frequentie van voorkomende PPD op de 2^o verdieping Noord tijdens kantooruren.



Figuur 61. Frequentie van voorkomende PPD op de 2^o verdieping Zuid tijdens kantooruren.

Bijlage G: Lokale thermische ontevredenheid [12]

De PMV en PPD drukken de thermische behaaglijkheid uit van een ruimte, daarnaast zijn er nog een aantal voorwaarden gesteld aan het binnenklimaat, ter voorkoming van onbehaaglijkheid als gevolg van tocht, grote temperatuurgradiënten, warme/koude vloeren en asymmetrische straling.

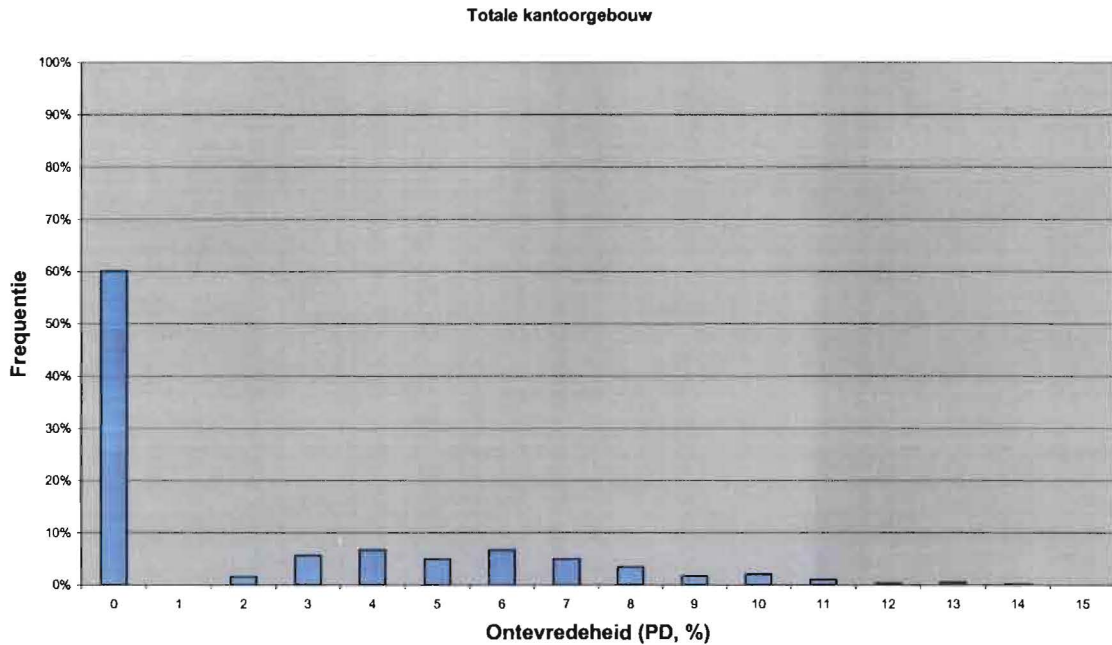
Tocht	Criteria PD klasse A (%)	luchtsnelheid (m/s)	Ontevredenheid (PD) (%)
Min		0	0
Max	< 10	0,137	13
Verticale temperatuur gradiënten		Temperatuur verschil (K)	Ontevredenheid (PD) (%)
Min		0	0,3
Max	< 3	1,91	1,6
Vloer temperaturen		Temperatuur (°C)	Ontevredenheid (PD) (%)
Min		20,60	5,5
Max	< 10	23,19	7,6
Asymmetrische straling		Stralingstemperatuur verschil (°C)	Ontevredenheid (PD) (%)
Koele wand			
Min		0	0,1
Max	< 5	1,3	0,2
Warme wand			
Min		0	x
Max	< 5	1,3	x

Tabel 25. Overzicht van de lokale thermische ontevredenheid tijdens kantooruren.

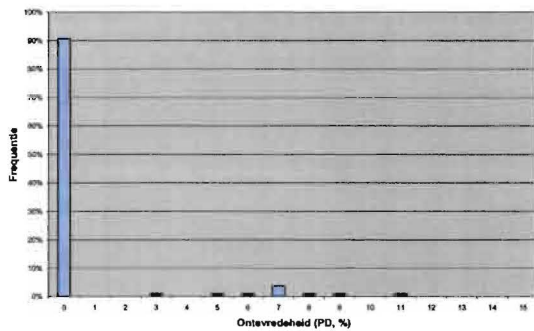
Tabel 25 geeft de ontevredenheid weer door lokale thermische invloeden.

- Tocht: De tabel geeft een waarde weer van 13% ontevredenheid, klasse A geeft een maximale waarde van 10%. Echter 96% van de tijd zit de PD onder de 10% en kan men concluderen dat deze aan de eis van klasse A voldoet.

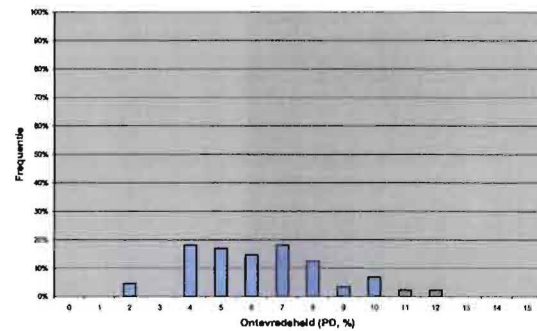
De grootste ontevredenheid komt door tocht, die de meeste invloed heeft op mensen, die zittend administratief (licht) werk verzetten. De tocht wordt het meest hinderlijk bevonden in de nek, armen en voeten daarentegen ondervinden minder hinder.



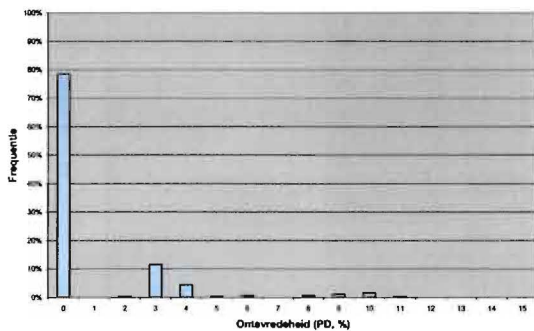
Figuur 62. Frequentie van voorkomende ontevredenheid door tocht.



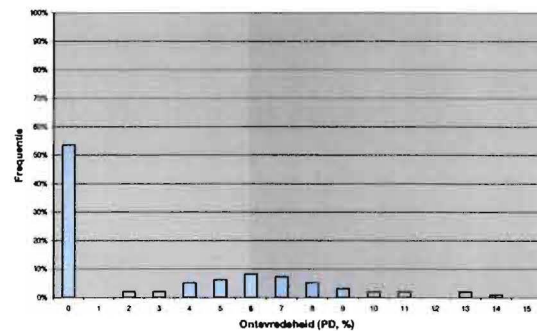
Figuur 63. Frequentie van voorkomende lichtsnelheid op de begane grond tijdens kantooruren.



Figuur 64. Frequentie van voorkomende lichtsnelheid op de 1^o verdieping Zuid tijdens kantooruren.



Figuur 65. Frequentie van voorkomende lichtsnelheid op de 2^o verdieping Noord tijdens kantooruren.



Figuur 66. Frequentie van voorkomende lichtsnelheid op de 1^o verdieping Zuid tijdens kantooruren.

- Verticale temperatuur gradiënten: in alle gemeten gevallen voldoet de waarde voor de verticale temperatuur gradiënt aan klasse A.
- Vloer temperaturen: in alle gemeten gevallen voldoet de waarde voor vloertemperaturen aan klasse A. De grootste ontevredenheid (7,6%) doet zich voor op de begane grond, dit werd veroorzaakt door de vloerverwarming/koeling die op dat moment actief was.
- Asymmetrische straling: in alle gemeten gevallen voldoet de ontevredenheid voor warme en koude wanden aan klasse A. Het stralingstemperatuurverschil (Δt_{pr}) met betrekking tot warme wanden is zelfs dermate klein ($<8^{\circ}\text{C}$) dat deze totaal geen invloed heeft op de ontevredenheid.

De Δt_{pr} in de kantine is groter dan de maximale Δt_{pr} hier weergegeven ($2,3^{\circ}\text{C}$).

Deze is niet weergegeven in de tabel, om een beter beeld te vormen, vanwege de korte verblijftijd in de kantine. Echter de PD in de kantine is ook zeer gering, namelijk 0,3%, zodat deze ook geen invloed op de ontevredenheid uitoefent.

Bijlage H: Niet constante thermische omgeving

De basis methodes gaan uit van constante condities. De thermische omgeving is echter in de meeste gevallen "niet constant". De variabele condities die voorkomen zijn: temperatuurveranderingen in vloeren en muren, temperatuurschommelingen en de temperatuurcyclus. Deze uitkomsten zijn uitgebreider weergegeven in bijlage G.

Temperatuur veranderingen in vloeren en muren	Temperatuur verschil van vloer per uur (K/h)	Constante thermische omgeving (K/h)
Min	0	
Max	0,63	< 2
Temperatuur schommelingen		
Stapverandering in ruimtetemperatuur is direct voelbaar		Niet waarneembaar

Tabel 26. De temperatuurveranderingen van de vloer en schommelingen per een uur tijdens kantooruren.

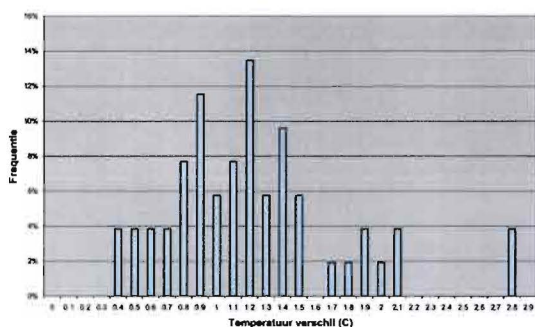
Tabel 26 geeft de ontevredenheid weer bij een niet constante thermische omgeving.

- Temperatuur veranderingen in vloeren en muren: De tabel laat zien dat de waarde van 2K/h variatie per uur tijdens werktijd nooit gehaald wordt. De temperatuur verschillen van de vloer in de kantoren op de 1^e en 2^e verdieping liggen onder de 0,1 K per uur. De verschillen op de begane grond waar vloerverwarming/koeling wordt toegepast zijn iets groter in een aantal gevallen. Dit valt te verklaren doordat er op die momenten warmte door het systeem gepompt werd. Echter de temperatuurverschillen zijn dermate laag, dat het comfort hierdoor niet nadelig wordt beïnvloed.

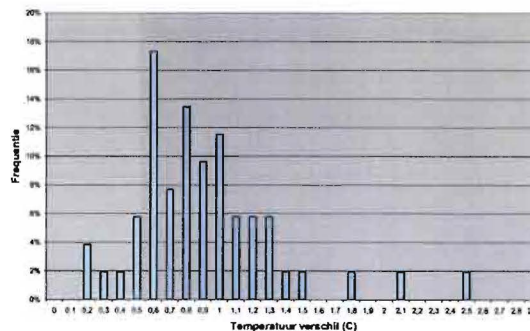
Temperatuur cyclus

De temperatuur cyclus is hieronder nader weergegeven omdat deze niet voldoet aan de eisen van de NEN-EN-ISO 7730 [7].

De temperatuur in een ruimte wordt als constant ervaren, wanneer de variatie in temperatuur kleiner is dan 1 K. De variatie in temperatuur over de dag, tijdens kantooruren, is weergegeven in figuur 67.



Figuur 67. Frequentie van de variatie van voorkomende ΔT tijdens kantooruren.



Figuur 68. Frequentie van de variatie van voorkomende ΔT tijdens kantooruren.

	Temperatuur verschil over de dag (K)	Constante temperatuur cyclus (K)
Min	0,4	
Max	2,8	< 1

Tabel 27. Het temperatuurverschil van de ruimte over een dag tijdens kantooruren.

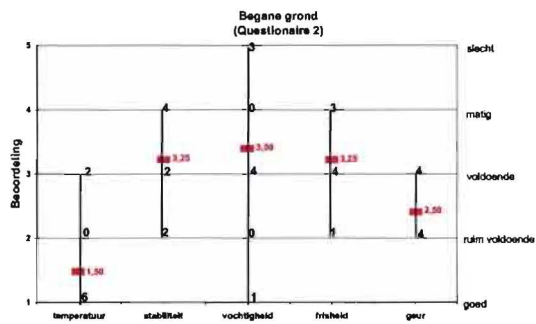
Tabel 27 geeft het temperatuurverschil over een dag weer. Volgens klasse A dient de variatie tijdens kantoordagen, in temperatuur kleiner te zijn dan 1K. Figuur 67 laat zien dat 65% van de dagen deze waarde wordt overschreden. Hoge variaties van 2,1K zijn op alle afdelingen gemeten.

Er is eveneens zo'n grafiek gemaakt (figuur 68) voor de kantooruren tussen 08.00 – 17.00 uur. De grafiek laat een grote verschuiving naar links zien, waarbij de waarde van < 1K maar in 38% van de gemeten dagen wordt overschreden.

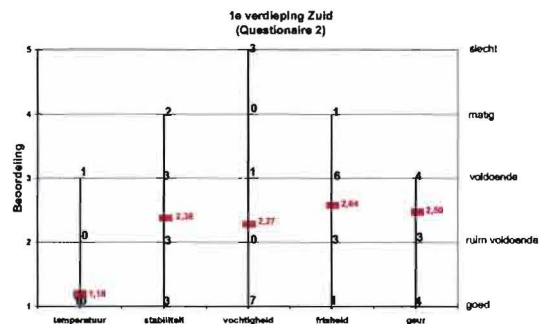
Volgens, de in hoofdstuk 2.3.2 beschreven theorie van Fanger [27] en Berglund [28], heeft een verhoging van de temperatuur van 0,5°C/uur van 23°C naar 27°C minimale invloed op het comfort. Onder deze omstandigheden voldoet het temperatuurverschil over een dag wel aan de gestelde eis.

Bijlage I: Uitkomst enquête 2 per verdieping

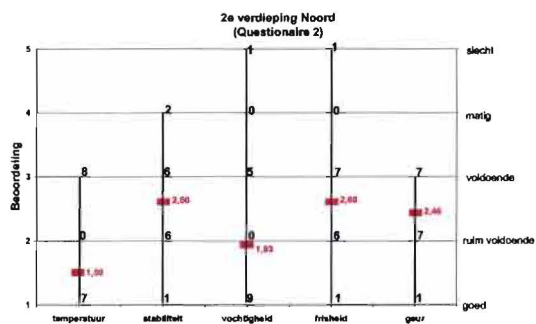
Afgegeven op 17-12-2007.



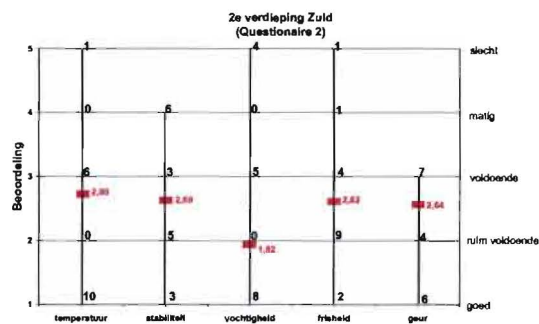
Figuur 69. Begane grond.



Figuur 70. 1^e verdieping Zuid.



Figuur 71. 2^e verdieping Noord.



Figuur 72. 2^e verdieping Zuid.

In alle bovenstaande figuren is te zien dat op de begane grond bijna alle facetten **gemiddeld** worden beoordeeld van voldoende tot goed.

Op de begane grond (figuur 69) wordt de stabiliteit, vochtigheid en de frisheid als onvoldoende beoordeeld. De waarderingen als "matig" en "slecht", worden door zowat 50% procent van de werknemers gegeven.

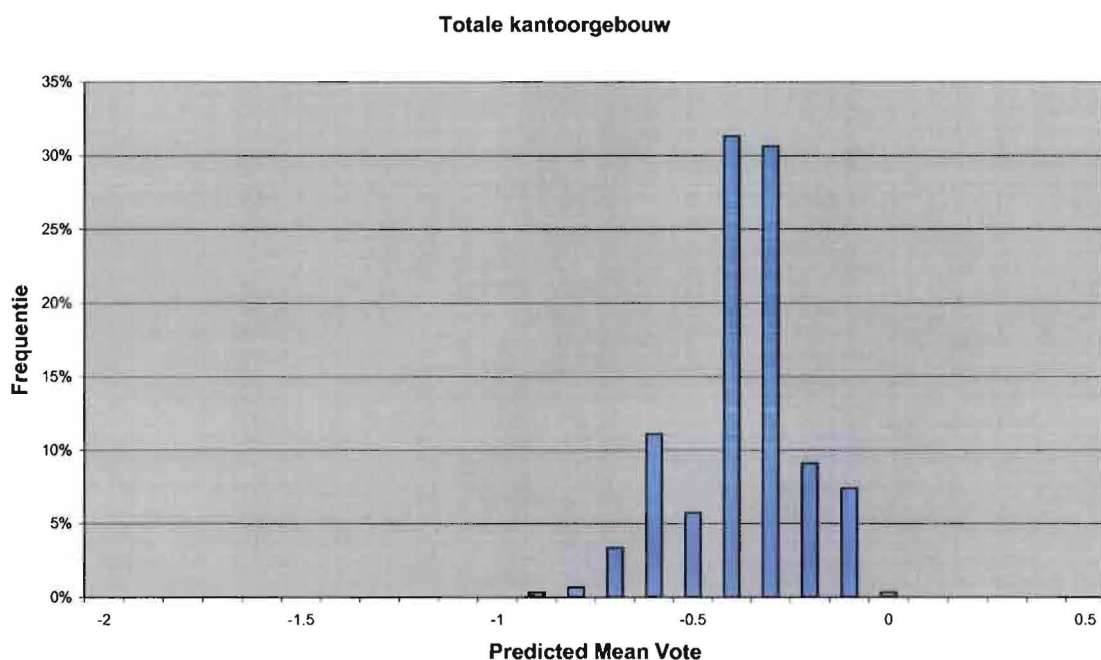
In figuur 70 (1^e verdieping Zuid) is er een grote spreiding te zien bij de stabiliteit van de temperatuur. Deze wordt door 3 personen beoordeeld als goed en door 2 personen als matig. Dit geldt tevens voor de frisheid, deze wordt door 1 persoon met goed beoordeeld en door 1 persoon als matig. De vochtigheid heeft nog een grotere spreiding, 7 personen beoordelen deze met goed en 3 met slecht.

In figuur 71 (2^e verdieping Noord) is ook een grote spreiding te zien bij de stabiliteit van de temperatuur, vochtigheid en frisheid. Ook hier wordt de stabiliteit door 1 persoon als goed beoordeeld en door 2 personen als matig. De vochtigheid en frisheid wordt eveneens door één persoon als slecht ervaren terwijl de andere personen op de afdeling deze met voldoende tot goed beoordelen.

In figuur 72 (2^e verdieping Zuid) is in zowat alle facetten een grote verdeeldheid te zien. Één persoon beoordeelt alle facetten met de minst weergegeven waarde.

Bijlage J: Predicted mean vote meting 2 per afdeling

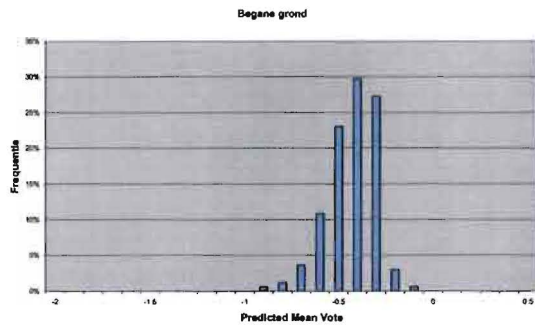
Periode van 17-11-2007 tot en met 07-12-2007.



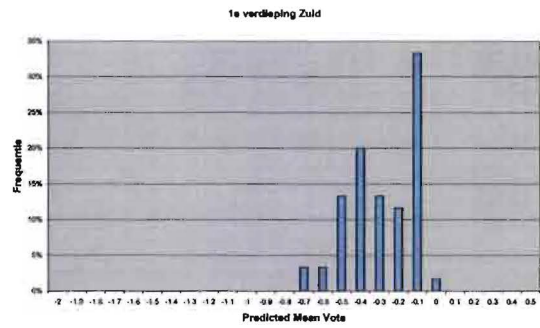
Figuur 73. Frequentie van voorkomende PMV tijdens kantooruren

	PMV				Binnen temperatuur (°C)		Relatieve vochtigheid (%)	
	mediaan	gemiddelde	min	max	min	max	min	max
begane grond	-0,4	-0,4	-0,9	-0,1	18,3	22,5	26	45
1 ^e verdieping Zuid	-0,3	-0,3	-0,7	0	20,4	22,8	24	36
2 ^e verdieping Noord	-0,4	-0,4	-0,7	-0,1	20,7	22,2	24	40
2 ^e verdieping Zuid	-0,4	-0,4	-0,6	-0,2	20,4	22	25	41
Totaal	-0,4	-0,4	-0,9	0	18,3	22,8	24	45

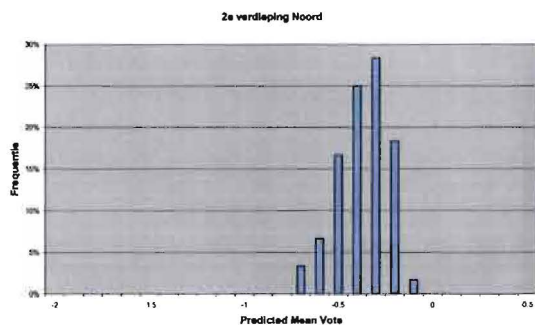
Tabel 28. Voorkomende PMV



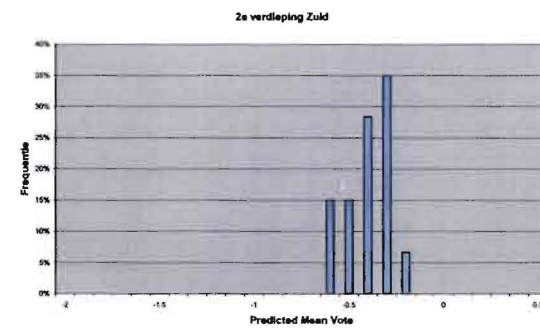
Figuur 74. Frequentie van voorkomende PMV op de begane grond tijdens kantooruren.



Figuur 75. Frequentie van voorkomende PMV op de 1^e verdieping Zuid tijdens kantooruren.



Figuur 76. Frequentie van voorkomende PMV op de 2^e verdieping Noord tijdens kantooruren.

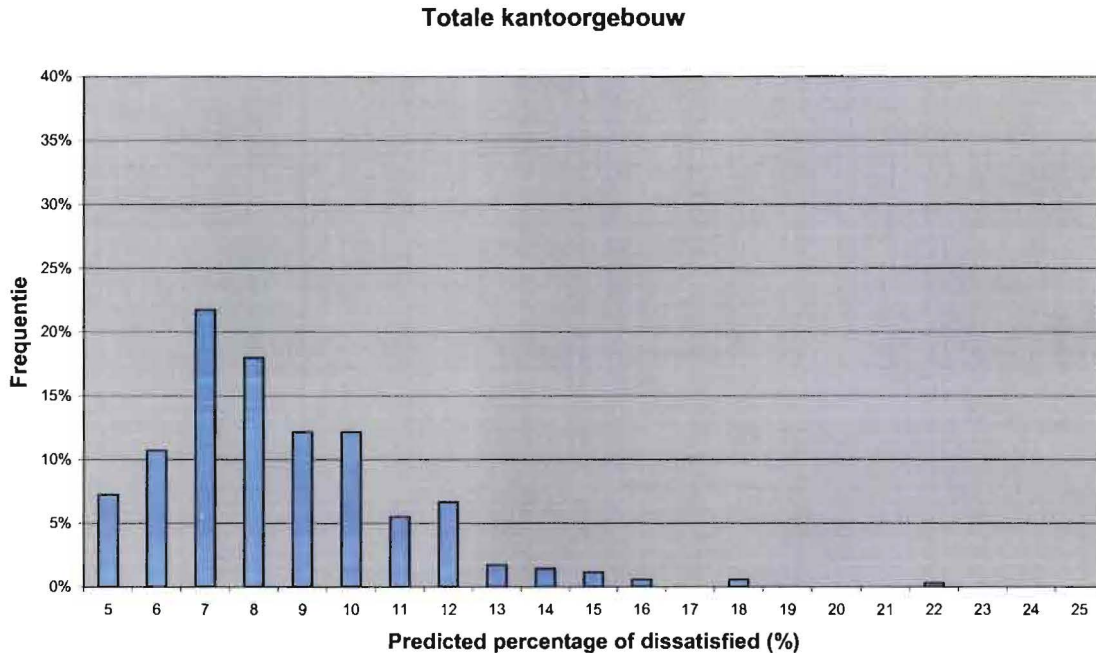


Figuur 77. Frequentie van voorkomende PMV op de 2^e verdieping Zuid tijdens kantooruren.

Uit figuur 74 t/m 77 is op te maken dat de "gemeten" PMV aan de negatieve, koude zijde verkeert. De waardes zitten echter wel veel dichterbij de waarde "0" hetgeen een beter thermisch comfort weergeeft, ten opzichte van de aangetroffen situatie.

Bijlage K: Predicted percentage of dissatisfied meting 2

Aan de hand van de PMV bepaalt men de Predicted Percentage of Dissatisfied; het aantal ontevredenen.



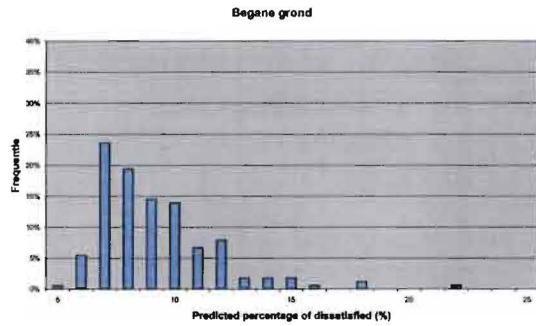
Figuur 78. Frequentie van voorkomende ontevredenheid tijdens kantooruren (07.00 – 18.00).

PPD (07.00 – 18.00)	Criteria PPD	BG noord (%)	1 ^e verd zuid (%)	2 ^e verd noord (%)	2 ^e verd zuid (%)	totaal (%)
Klasse A	< 6	99	62	98	100	93
Klasse B	< 10	36	18	27	28	30
Klasse C	< 15	4	2	2	0	3

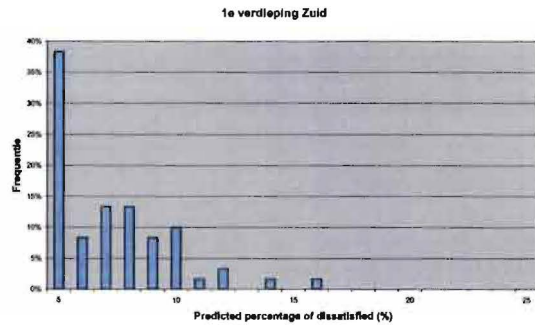
Tabel 29. Percentage ontevredenen tijdens kantooruren (PPD).

Uit figuur 78 is op te maken dat de PPD afhankelijk is van de PMV. Tabel 29 geeft het ontevredenheidspercentage weer van het personeel waarbij de criteria van de klasse, het maximale aantal ontevredenen weergeeft. Uitgaande van klasse A voor het kantoorgebouw van Kropman voldoet deze **niet** aan de gestelde PPD.

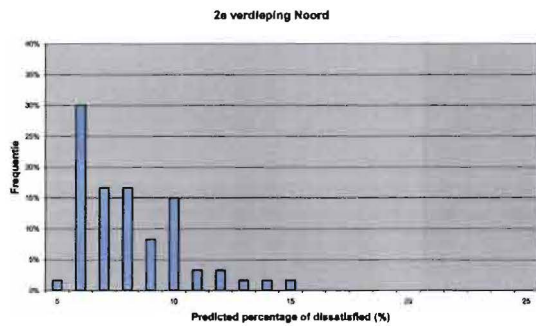
De PPD weergegeven per afdeling



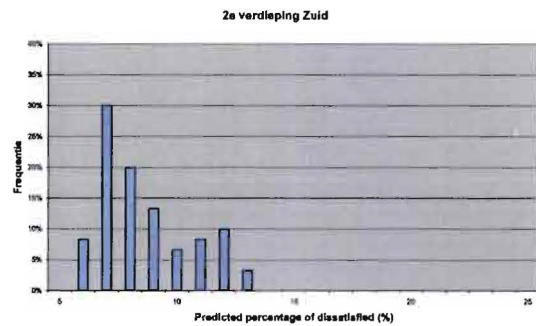
Figuur 79. Frequentie van voorkomende PPD op de begane grond tijdens kantooruren.



Figuur 80. Frequentie van voorkomende PPD op de 1^o verdieping Zuid tijdens kantooruren.



Figuur 81. Frequentie van voorkomende PPD op de 2^o verdieping Noord tijdens kantooruren.



Figuur 82. Frequentie van voorkomende PPD op de 2^o verdieping Zuid tijdens kantooruren.

Bijlage L: Lokale thermische ontevredenheid meting 2

De PMV en PPD drukken de thermische behaaglijkheid uit van een ruimte. Daarnaast zijn er nog een aantal voorwaarden gesteld aan het binnenklimaat, ter voorkoming van onbehaaglijkheid als gevolg van tocht, grote temperatuurgradiënten, warme/koude vloeren en a-symmetrische straling.

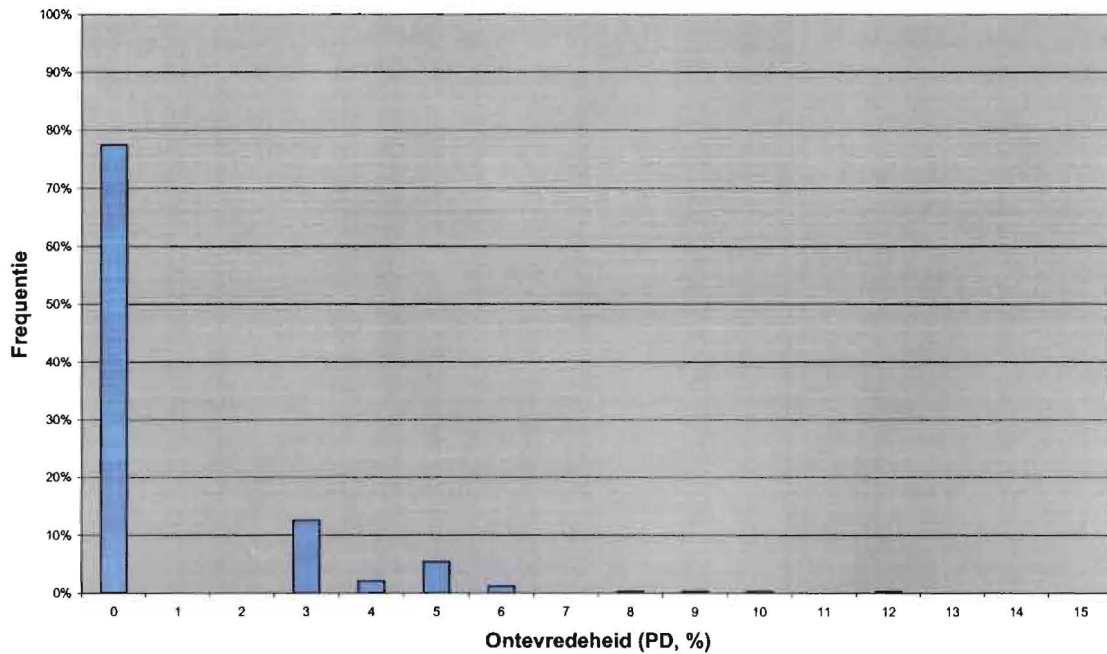
Tocht	Criteria PD klasse A (%)	luchtsnelheid (m/s)	Ontevredenheid (PD) (%)
Min		0	0
Max	< 10	0,115	12
Verticale temperatuur gradiënten		Temperatuur verschil (K)	Ontevredenheid (PD) (%)
Min		0	0,3
Max	< 3	2,45	2,5
Vloer temperaturen		Temperatuur (°C)	Ontevredenheid (PD) (%)
Min		19,50	6,7
Max	< 10	21,59	8,7
Asymmetrische straling		Stralingstemperatuur verschil (°C)	Ontevredenheid (PD) (%)
Koele wand min		0	0,1
max	< 5	0,7	0,2
Warme wand min		0	X
max	< 5	0,7	X

Tabel 30. Overzicht van de lokale thermische ontevredenheid tijdens kantooruren.

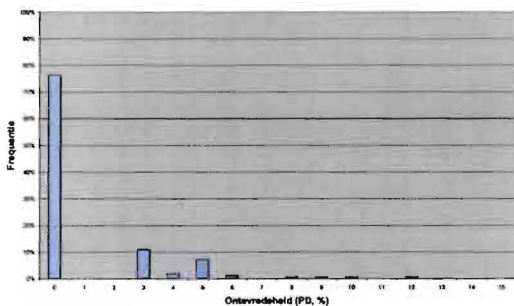
Tabel 30 geeft de ontevredenheid weer door lokale thermische invloeden.

- Tocht: De tabel geeft een waarde weer van 12% ontevredenheid, klasse A geeft een maximale waarde van 10%. Echter 98% van de tijd zit de PD onder de 10% en kan men concluderen dat deze aan de eis van klasse A voldoet.

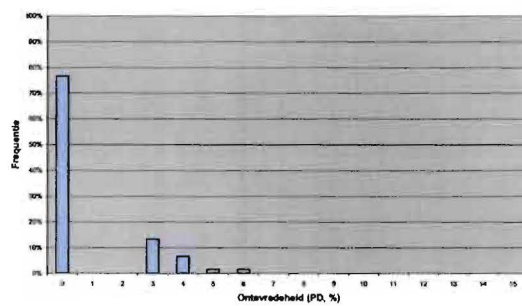
De meest voorkomende ontevredenheid wordt veroorzaakt door tocht, die de grootste invloed heeft op mensen die zittend administratief (licht) werk verzetten. De tocht wordt het meest hinderlijk bevonden in de nek, armen en voeten daarentegen ondervinden minder hinder.



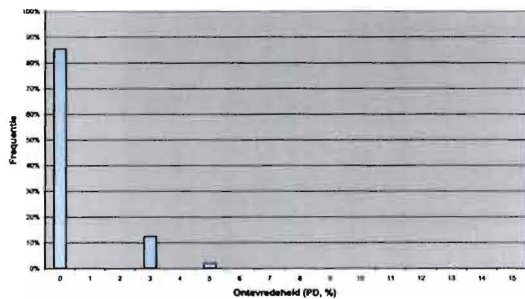
Figuur 83. Frequentie van voorkomende ontevredenheid door tocht.



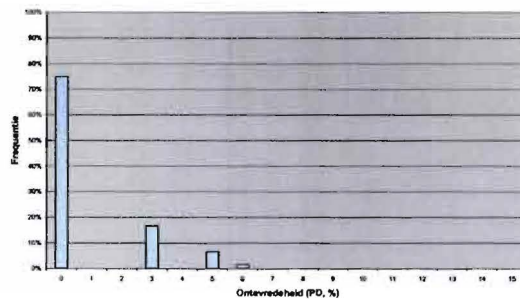
Figuur 84. Frequentie van voorkomende luchtsnelheid op de begane grond tijdens kantooruren.



Figuur 85. Frequentie van voorkomende luchtsnelheid op de 1° verdieping Zuid tijdens kantooruren.



Figuur 86. Frequentie van voorkomende luchtsnelheid op de 2° verdieping Noord tijdens kantooruren.



Figuur 87. Frequentie van voorkomende luchtsnelheid op de 1° verdieping Zuid tijdens kantooruren.

- Verticale temperatuurgradiënten: in alle gemeten gevallen voldoet de waarde voor de verticale temperatuurgradiënt aan klasse A.
- Vloer temperaturen: in alle gemeten gevallen voldoet de waarde voor vloertemperaturen aan klasse A. De grootste ontevredenheid (8,7%) doet zich voor op de begane grond, dit werd veroorzaakt door de vloerverwarming/koeling die op dat moment actief was.
- A-symmetrische straling: in alle gemeten gevallen voldoet de ontevredenheid voor warme en koude wanden aan klasse A. Het stralingstemperatuurverschil (Δt_{pr}) met betrekking tot warme wanden is zelfs dermate klein ($<8^{\circ}\text{C}$) dat deze totaal geen invloed heeft op de ontevredenheid.

Bijlage M: Niet constante thermische omgeving meting 2

De basis methodes gaan uit van constante condities. De thermische omgeving is echter in de meeste gevallen "niet constant". De niet constante condities die voorkomen zijn: temperatuurveranderingen in vloeren en muren, temperatuurschommelingen en de temperatuurcyclus.

Temperatuur veranderingen in vloeren en muren	Temperatuur verschil van vloer per uur (K/h)	Constante thermische omgeving (K/h)
Min	0	
Max	0,72	< 2
Temperatuur schommelingen		
Stapverandering in ruimtetemperatuur is direct voelbaar		Niet waarneembaar

Tabel 31. De temperatuurveranderingen van de vloer en -schommelingen per een uur tijdens kantooruren.

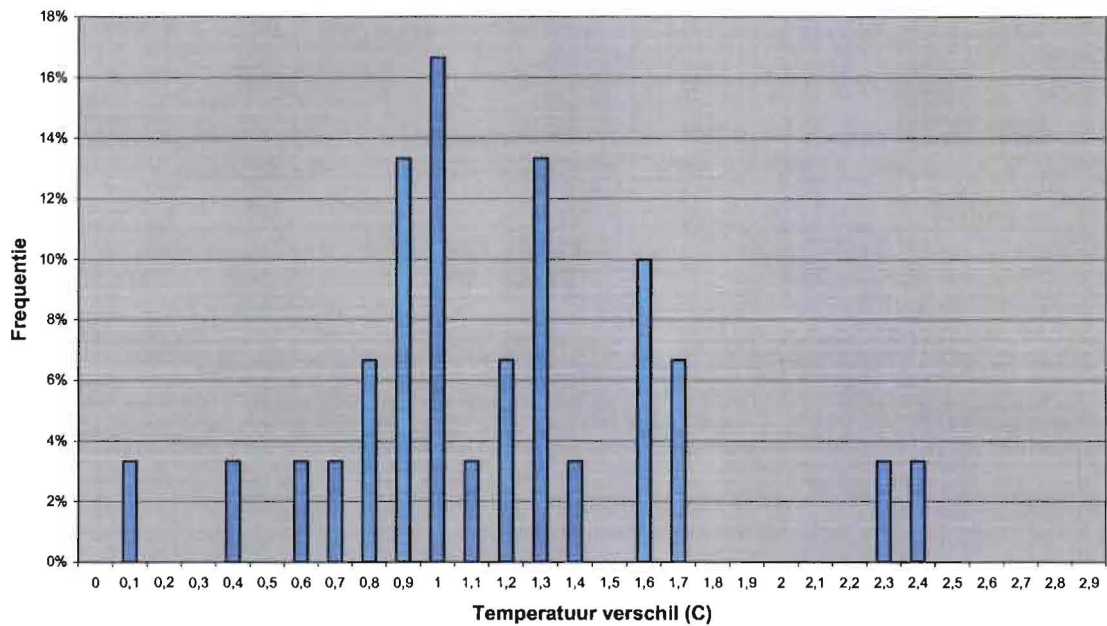
Tabel 31 geeft de ontevredenheid weer bij een niet constante thermische omgeving.

- De verschillen op de begane grond, waar vloerverwarming/koeling wordt toegepast, zijn iets groter in een aantal gevallen. Dit valt te verklaren doordat op die momenten warmte door het systeem gepompt werd. Echter de temperatuurverschillen zijn dermate laag dat het comfort hierdoor niet nadelig wordt beïnvloed.

Temperatuur cyclus

De temperatuur cyclus is in figuur 88 nader weergegeven omdat deze niet voldoet aan de eisen van de NEN-EN-ISO 7730 [7].

De temperatuur in een ruimte wordt aangenomen constant te zijn, wanneer de variatie in temperatuur kleiner is dan 1 K. De variaties in temperatuur over de dag tijdens kantoor uren is weergegeven in figuur 88.



Figuur 88. Frequentie van de variatie van voorkomende ΔT tijdens kantooruren (07.00 – 18.00).

	Temperatuur verschil over de dag (K)	Constante temperatuur cyclus (K)
Min	0,1	
Max	2,4	< 1

Tabel 32. Het temperatuurverschil van de ruimte over een dag tijdens kantooruren.

Tabel 32 geeft het temperatuurverschil over een dag weer. Volgens klasse A dient de variatie tijdens kantoordagen in temperatuur kleiner te zijn dan 1K. Figuur 88 laat zien dat 50% van de dagen deze waarde wordt overschreden.

Volgens de in hoofdstuk 2.3.2 beschreven theorie van Fanger [27] en Berglund [28] heeft een verhoging in temperatuur van 0,5°C/uur van 23°C naar 27°C minimale invloed op het comfort. Onder deze omstandigheden voldoet het temperatuurverschil over een dag wel aan de gestelde eis.

Bijlage N: Gegevens meetopstelling

Functie	Type	TU/e ID	Output	Bereik	Opstelling nr	Nauwkeurigheid
Lucht temperatuur	Rense HT-732-T-00	180	0-10V	-20/80°C	1	± 0,3°C
	Rense HT-733-M-06	139	0-10V	0/100°C	2	± 0,3°C
	NTC 5K	53	Ω	-20/100°C	1	± 0,4°C
	NTC 5K	60	Ω	-20/100°C	1	± 0,4°C
	Pt-100 (enkel)	566	°C	-20/100°C	1	± 0,4°C
	Pt-100 (vloer)	580	°C	-20/100°C	1	± 0,4°C
	NTC 5K	56	Ω	-20/100°C	2	± 0,4°C
	NTC 5K	57	Ω	-20/100°C	2	± 0,4°C
	NTC 5K orgineel(enkel)	32	Ω	-20/100°C	2	± 0,4°C
	NTC 5K (vloer)	54	Ω	-20/100°C	2	± 0,4°C
Buitentemperatuur	weerstation		°C			
Functie	Type	TU/e ID	Output	Bereik	Opstelling nr	Nauwkeurigheid
Lucht snelheid	Dantec no 2171	104	0-2V	0-100 cm/s	1	± 5% m.w. + 1cm/s
	Dantec no 2271	116			2	
Functie	Type	TU/e ID	Output	Bereik	Opstelling nr	Nauwkeurigheid
Lucht vochtigheid	Rense HT-732-T-00	180	0-10V	0-100%	1	± 3%
	Rense HT-733-M-06	139	0-10V	0/100°C	2	± 3%
Functie	Type	TU/e ID	Output	Bereik	Opstelling nr	Nauwkeurigheid
Lichtintensiteit	Hagner EC1	0216	lux	0,1 – 99900 lux		
Functie	Type	TU/e ID	Output	Bereik	Opstelling nr	Nauwkeurigheid
Datalogger	Grant 1200 8x Temp 8x V/I	441		-20/20 V 0/20 Ω	1	n.v.t
		439		0/20 kΩ	2	

Tabel 33. Toegepaste meetapparatuur.

Bijlage O: Theorie methodisch ontwerpen

Methodisch ontwerpen is een wetenschappelijke methode die bruikbaar is voor een ontwerper om te komen tot een ontwerp.

Er zijn twee vragen die men stelt bij methodisch ontwerpen:

- a. wat is de essentie van het gebouw of ontwerp;
- b. hoe moet het ontwerpproces aangepakt worden zodat deze effectief en efficiënt bruikbaar is.

Deze twee vragen kun je vertalen in een viertal hoofdfases:

1. probleemdefiniërende fase;
2. werkwijzebepalende fase;
3. keuze bepalende fase;
4. vormgevende fase.



Figuur 89. Verschillende fasen van het ontwerpproces.

Het doorlopen van deze fasen zal hulp bieden om te komen tot een ontwerp. Het is echter niet zo dat men het proces in één keer doorloopt. In elke fase kom je onjuistheden of onvolledigheden tegen, die het resultaat kunnen beïnvloeden. Hierdoor is het noodzakelijk terug te keren naar de bovenliggende fase en de nieuwe informatie mee te nemen bij de keuze van de oplossing.

Niet alle fasen dienen strikt doorlopen te worden. De ontwerper kiest de fasen die belangrijk zijn voor het probleem. De fasen die in dit rapport gebruikt zijn om tot een ontwerp te komen zijn: de probleemdefiniërende-, werkwijze bepalende- en de keuze bepalende fase.

1. Probleemdefiniërende fase

In deze fase stelt een ontwerper, uitgaande van het gestelde doel een eisenpakket of programma van eisen samen die aan de behoefte van de gebruiker voldoet. Vanuit de doelstelling en het eisenprogramma wordt de te vervullen functie van het ontwerp bepaald.

Ontwerpprobleem

In dit deel gaat het er om, een zo volledig mogelijk overzicht te krijgen van de informatie die nodig is bij het opstellen van het programma van eisen.

Allereerst wordt het doel van het ontwerp nader bepaald. Hierbij stelt men ook vast op welk niveau(s) het probleem zich voordoet. Wanneer het probleem zelf en de plaats(en) waar het zich afspeelt bekend zijn kan men doeltreffender te werk gaan.

Programma van Eisen

Wanneer de doelstelling en het niveau bepaald zijn kan men een programma van eisen opstellen. Een programma van eisen stelt men op als hulpmiddel voor evaluaties en beslissingen. Het programma vormt een houvast voor een ontwerper bij het ontwerpen van een vooraf gesteld doel en de daarbij behorende uitgangspunten.

De eisen hebben betrekking op de betreffende niveau(s) waar het ontwerpprobleem zich voordoet.

Er wordt een ordening in het programma van eisen aangebracht zodat er snel inzicht komt in ontbrekende eisen. Hierdoor zal het programma van eisen zo volledig mogelijk uitgebreid worden. De hoofdordening bestaat uit:

- functionele eisen;
- realisatie eisen.

Binnen deze twee eisen kan men weer een onderverdeling maken tussen:

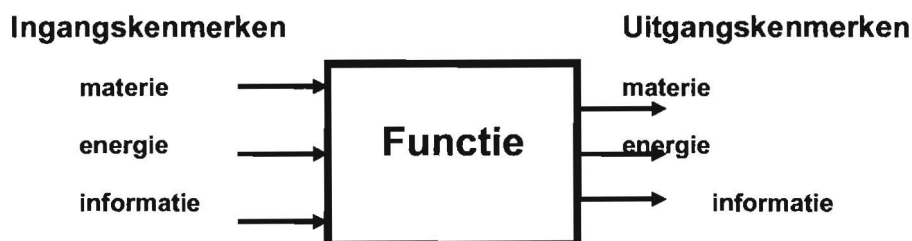
- vaste eisen;
 - variabele eisen;
 - wensen/behoefte.
- *Functionele eisen*: hebben betrekking op het functioneren van het ontwerp, denk hierbij aan comfort, energieverbruik, gebruiksgemak, enz.
 - *Realisatie eisen*: hebben betrekking op het realiseren van het ontwerp, denk hierbij aan vervaardiging in de vorm van complexiteit, kosten, aantal, enz.
 - *Vaste eisen*: voorwaarden waar in alle gevallen aan moet worden voldaan.
 - *Variabele eisen*: voorwaarden waaraan men moet voldoen maar waarbij men een bepaalde bandbreedte heeft, bijvoorbeeld een boven- en/of ondergrens.
 - *Wensen/behoefte*: voorwaarden die niet noodzakelijk zijn maar waar meestal wel veel waarde aan wordt gehecht.

Soms helpt het om de eisen te ordenen naar intern- en extern gestelde eisen. Intern gestelde eisen komen van ontwerper(s), productieafdeling en verkoopafdeling. Extern gestelde eisen komen van opdrachtgevers, wetgever en maatschappelijke omgeving.

Bij het afwegen van keuzes zijn vooral de variabele voorwaarden van groot belang. Wanneer een oplossing aan de vaste eisen voldoet, zal het aantal en het gewicht/belang van de variabele wensen in de meeste gevallen doorslaggevend zijn. Zo niet dan vervalt deze oplossing. De wensen vullen in dit opzicht meestal een aanvullende rol. Elk ontwerpniveau heeft zowel overeenkomende als eigen eisen die bepalend zijn voor het ontwerp.

Functie

Het ontwerp moet een bepaalde functie vervullen. Deze functie helpt mee om het gestelde doel te bereiken. Om de te verrichten functie goed af te kunnen leiden kan men een in- en uitgangstoestand definiëren. De in- en uitgangstoestand kunnen bepaald worden door kenmerken op te stellen. De kenmerken dienen gedefinieerd te worden in termen van fysische grootheden.



Figuur 90. In- en uitgangskkenmerken.

De in- en uitgangstermen kan men onderscheiden in materie-, energie en informatieaspecten. Op deze manier verklein je het risico dat belangrijke kenmerken over het hoofd worden gezien.

	accumuleren	transformeren	transporteren	
				materie
				energie
				informatie

Figuur 91. Aspecten.

- Materieaspecten: te verwerken of te bewerken materiële objecten, etc.
- Energieaspecten: bewegingen, krachten, snelheden, etc.
- Informatieaspecten: sturen en regelen, meetsignalen, kwaliteitskenmerken, etc.

De in- en uitgangstermen vervullen ook een functie voor de aspecten. De functie is afhankelijk van de toepassing van het aspect.

- Transporteren: het vervoeren en/of overbrengen van de materie.
- Transformeren: omzetten naar de gewenste vorm.
- Accumuleren: opslaan van materie.

Uitkomsten van de probleemdefiniërende fase

- een overzicht van de benodigde informatie;
- een toetssteen voor beslissingen en evaluaties;
- een overzicht van in- en uitgangskennmerken;
- de functionele relatie tussen in- en uitgangskennmerken in de vorm van tekst, grafieken, tabellen, diagrammen, vergelijkingen, enz.

2. Werkwijzebepalende fase

Uitgangspunt voor de werkwijzebepalende fase is het functieblokschema dat in de probleemfase beschreven is. Het doel van deze fase is om verschillende functies te definiëren en de hierbij mogelijke oplossingen weer te geven in een functieblokschema en zodoende een zo volledig mogelijk overzicht te verkrijgen. Het resultaat en eindproduct van deze fase is een overzicht van oplossingen, die als structuur voor de detailleringfase gebruikt wordt.

Werkwijze

Door de opsplitsing van de hoofdfunctie in deelfuncties wordt het eenvoudiger om oplossingen te bepalen voor een kleiner specifiek probleem. De deelfuncties worden weergegeven in fysische verschijnselen. Door de verschijnselen weer te geven in principeschetsen wordt onduidelijkheid voorkomen.

Morfologisch overzicht

Het morfologisch schema is opgedeeld in deelfuncties, verticale as, en oplossingen op de horizontale as. Door de vele oplossingen per deelfunctie aan te brengen naar specifieke fysische verschijnselen, kun je vaker minder voor de hand liggende bruikbare toepassingen of mogelijkheden onderscheiden.

		oplossingen					
deel functies	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6
	4	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6
	5	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6
	6	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6

Figuur 92. Morfologisch overzicht met oplossingen.

Uitkomsten van de werkwijze bepalende fase

- alternatieve oplossingen voor de te vervullen functies of deelfuncties.

3. Keuze bepalende fase

In de detailleringfase worden de alternatieve oplossingen getoetst op hun prestaties. Alle aspecten worden bekeken en aan de hand van het eisenpakket wordt de keuze gemaakt welke alternatieven verder uitgewerkt worden.

Structuur

Het onderstaande overzicht laat een drietal mogelijke combinaties van oplossingen zien. In het overzicht zijn nog veel meer combinaties mogelijk dan de drie weergegeven oplossingen. Niet alle combinaties in het schema zijn mogelijk en het schema dient dan ook alleen als hulpmiddel.

		oplossingen						
		1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
deel functies	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	
	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	
	4	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	
	5	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	
	6	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	

Figuur 93. Morfologisch overzicht met mogelijke combinaties.

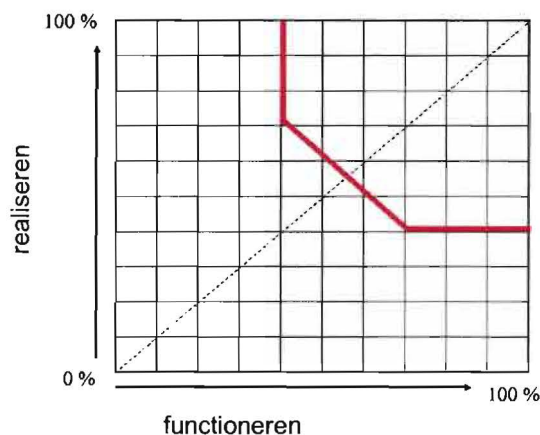
Verantwoording

Elke gekozen structuuroplossing wordt getoetst en vergeleken met elkaar. De toetsing en de zwaarte van een bepaalde eis wordt bepaald aan de hand van het eisenpakket. Het gewicht van de eis wordt weergegeven doormiddel van weegfactoren.

Door het toekennen van een waarde aan de verschillende oplossingen ontstaat er een gradatie, die goed zichtbaar maakt welke keuze de meest optimale oplossing is.

Keuzemodellen

Om de modellen goed met elkaar te kunnen vergelijken wordt er gebruik gemaakt van de kesselringmethode. Deze grafiek bestaat uit het functioneren (x-as) en het realiseren (y-as) van de installatie (figuur 94). De meest optimale oplossing bevindt zich rechts bovenaan, waarbij de oplossing niet meer dan 5% verschilt met de diagonale lijn in het diagram.



Figuur 94. Kesselring/S-diagram.

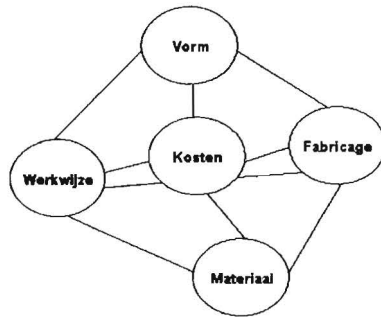
Uitkomsten van de detailleringfase

- één of meerdere oplossingen die verder uitgewerkt worden.

4. Vormgevende fase

In de vormgevende fase probeer je te komen tot een overzicht van verschillende zinvolle combinaties van componenten en onderdelen, die samen voldoen aan de structuur. Uit dat overzicht moet je vervolgens aan de hand van de gestelde eisen een keuze maken die leidt tot het definitieve ontwerp.

Bij het uiteindelijk definitieve ontwerp wordt er gestreefd naar een zo optimaal mogelijke afstemming op elkaar van vorm, werkwijze, fabricage en kosten. De onderlinge factoren zijn weergegeven in figuur 95 waarbij de kosten centraal staan.



Figuur 95. Onderlinge relaties van het definitieve ontwerp.

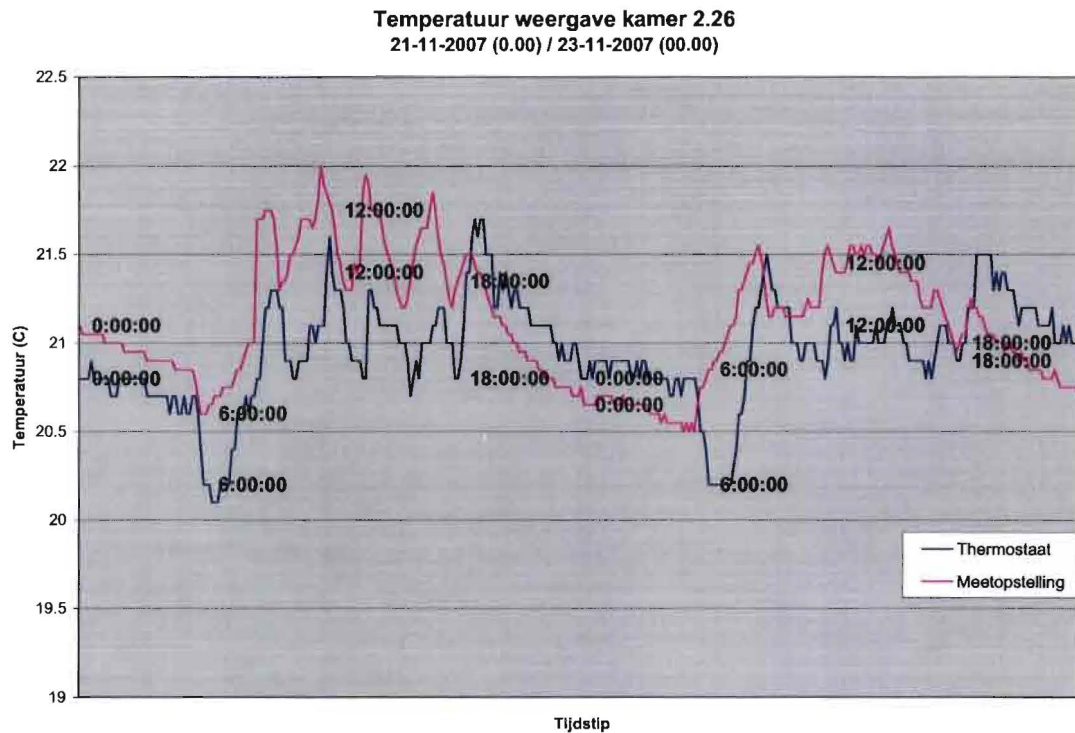
Door het combineren en variëren van de componenten kom je tot meerdere mogelijkheden die voorgelegd worden. Na verantwoording van het uiteindelijk gekozen ontwerp wordt de informatie verwerkt tot bruikbare gegevens.

Uitkomsten van de vormgevende fase

- bestektekeningen, werktekeningen, montage-, gebruiks- en onderhoudsvorschriften

Bijlage P: Temperatuurverschil tussen thermostaat en meting

De weergave van temperaturen die aangegeven worden door de thermostaat in kantoorcellen komt niet overeen met gemeten waarde. Het lastige in dit geval is dat er niet een vaste constante afwijking.



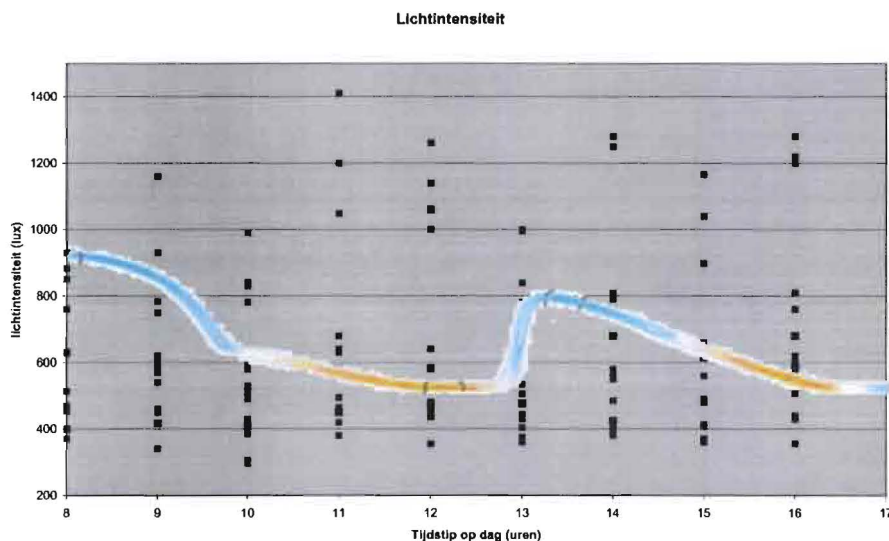
Figuur 96. Weergave van de temperatuur door de thermostaat en de meting.

Bijlage Q: Lichtintensiteit

Onderzoeken naar de invloed van licht op de productiviteit in kantoorgebouwen zijn tot nu toe nog niet gedaan. Op basis van de gegevens over de invloed van dynamisch licht op de biochemie van de mens in het algemeen, is de verwachting dat de productiviteit in een kantooromgeving met dynamische verlichting stijgt.

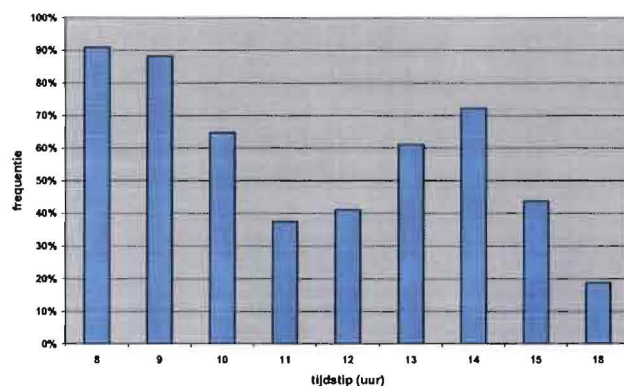
In de industrie is er wel een onderzoek gedaan dat het verband weergeeft tussen dynamische verlichting en productiviteit [36]. Hieruit concludeert men dat het verhogen van het verlichtingsniveau van 300 naar 500 lux leidt tot een gemiddelde productiviteitsverhoging van 8%. Bij het verhogen van het verlichtingsniveau van 300 naar 2000 lux stijgt de productiviteit zelfs 15 tot 20%.

De gemeten lichtintensiteit op vaste tijdstippen zijn weergegeven in figuur 97. De blauw/gele lijn geeft de lichtbehoefte van een mens weer, waarbij de blauwe kleur koel witlicht weergeeft en de gele kleur warm witlicht. Dit principe noemt men het "human" ritme.



Figuur 97. Gemeten lichtintensiteit en de natuurlijke behoefte van kleur en intensiteit.

De NEN hanteert een minimum lichtintensiteit van 500 lux op werkplekniveau. Uit figuur 98 blijkt dat 36% van de tijd, dat de lichtintensiteit momentaan gemeten is deze zich onder de volgens de NEN-gehanteerde 500 lux bevindt. Op 2 plekken in het kantoorgebouw is het zelfs zo dat de waarde zich de gehele dag onder de 500 lux bevindt (tabel 34).



Figuur 98. Percentage dat lichtintensiteit onder gewenste niveau zit op een bepaald tijdstip.

	lichtintensiteit									
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	
BG	700	1150	990	1048	1040	1510	1280	1165	1280	
BG	850	930	515	1200	1280	780	790	1040	1220	
BG	270	815	585	495	490	490	415	615	435	
BG	420	415	530	485	485	430	580	485	440	
1e Zuid	630	640	700	580	1060	690	880	615	480	
1e Zuid	630	540	625	630	530	638	485	897	760	
1e Zuid	600	580	780	1410	1000	995	1250	1110	810	
1e Zuid	475	465	430	380	425	380	420	370	350	
1e Zuid	700	750	525	680	520	590	410	490	507	
2e Noord	505	570	385	640	315	375	380	380	375	
2e Noord	560	616	600	585	565	625	580	637	578	
2e Noord	883	784	840	1890	2140	2600	2200	1900	1200	
2e Noord	455	485	485	485	485	535	570	560	600	
2e Noord	560	600	500	530	580	505	808	680	590	
2e Zuid	513	578	390	610	1130	444	480	480	435	
2e Zuid	600	640	580	425	440	770	380	470	507	
2e Zuid	600	415	485	485	473	477	425	640	580	
2e Zuid	455	620	830	710	640	1000	550	620	620	

Tabel 34. Weergave van de specifieke lichtintensiteit per afdeling.

De verlichting in het kantoorgebouw is bij lage lichtintensiteit van buiten aan de lage kant. Door de onvoldoende capaciteit van de armaturen is er behoefte aan licht van buitenaf op de werkplek. Het licht van buitenaf zal in veel gevallen, dus op de meeste plekken op de afdelingen, de behoefte enigszins bevredigen. Een aantal plekken die enige aandacht vragen zijn de begane grond aan atriumzijde en de werkplekken aan de blinde muur, eveneens aan de atriumzijde.

Betere verlichting zal leiden tot positieve effecten op het welzijn en de productiviteit.

De mogelijkheid tot het aanpassen van de lichtintensiteit in het kantoorgebouw van Kropman is gering. De verlichting heeft alleen de mogelijkheid tot schakelen van aan/uit. Er is maar één type verlichtingsarmatuur mogelijk waarbij het vermogen, lichtintensiteit vast staat. De enige mogelijkheid om de lichtintensiteit in zijn huidige vorm te verhogen is door het bijplaatsen van extra verlichtingsarmaturen.