

Adaptieve Temperatuurgrenswaarden

Praktijkonderzoek naar de nieuwe Nederlandse richtlijn voor de beoordeling van het thermische binnenklimaat in kantoorgebouwen

Marco van Beek
Augustus 2006

Adaptieve Temperatuurgrenswaarden

Praktijkonderzoek naar de nieuwe Nederlandse richtlijn voor de beoordeling van het thermische binnenklimaat in kantoorgebouwen

Rapportage ten behoeve van het afstudeerwerk van
Marco van Beek

Afstudeeronderzoek voor de opleiding Civiele Techniek bij de afstudeerrichting Building Engineering van de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de Technische Universiteit Delft.

Het afstudeeronderzoek is uitgevoerd bij de afdeling Ingenieurs (unit Bouwfysica) van de directie Advies & Architecten van de Rijksgebouwendienst, onderdeel van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, te Den Haag.

Den Haag, augustus 2006

Auteur: M. van Beek, BSc (1040294)

Begeleiding: Prof. ir. J.J.M. Cauberg (voorzitter afstudeercommissie, namens sectie GCC/CiTG)
ing. S.R. Kurvers (1e begeleider, afd. Building Technology (fac. bouwkunde))
ir. A.C. van der Linden (2e begeleider, afd. Building Technology (fac. bouwkunde))
ir. H.H.E.W. Eijdens (externe begeleider, Rijksgebouwendienst)
ing. J.M.J.M. Mimpfen (externe begeleider, Rijksgebouwendienst)



Voorwoord

Het voor u liggende rapport bevat het afstudeeronderzoek voor de opleiding Civiele Techniek bij de afstudeerrichting Building Engineering van de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de Technische Universiteit Delft. Onderwerp is een praktijkonderzoek naar de nieuwe adaptieve temperatuur grenswaarde (ATG) methode, die eisen stelt aan het thermische binnenklimaat in kantoorgebouwen, in Nederland.

Het afstudeeronderzoek is uitgevoerd bij de afdeling Ingenieurs (unit Bouwfysica) van de directie Advies & Architecten van de Rijksgebouwendienst, onderdeel van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, te Den Haag. Graag wil ik de medewerkers van deze afdeling danken voor de leuke, interessante en leerzame tijd die ik hier heb doorgebracht. Daarnaast ben ik speciale dank verschuldigd aan de leden van mijn afstudeercommissie voor de begeleiding tijdens mijn afstudeerperiode.

Marco van Beek

Samenvatting

In Nederland kan sinds maart 2004 gebruik worden gemaakt van een nieuwe richtlijn voor het thermische binnenklimaat, gepresenteerd in de ISSO publicatie 74, "Thermische behaaglijkheid. Eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen", waarin op grond van omvangrijk internationaal veldonderzoek grenzen voor de binnentemperatuur, de 'Adaptieve Temperatuurgrenswaarden' (ATG), zijn opgesteld. Deze grenzen laten hogere binnentemperaturen toe indien de (gewogen gemiddelde) buitentemperatuur eveneens hoger is. Op deze wijze is het adaptieve vermogen van de mens, welke uit het veldonderzoek naar voren is gekomen, in de eisen verdisconteerd. Hierbij wordt onderscheidt gemaakt in twee type gebouwen, te weten gebouwen van het klimaattype Alpha, waarin de gebruikers goede mogelijkheden hebben het binnenklimaat te beïnvloeden en ramen te openen, en gebouwen van het klimaattype Beta, waarin de gebruikers deze mogelijkheden niet of in mindere mate hebben. Voor gebouwen van het Alpha-type neemt de hoogte van de toegestane binnentemperatuur sneller toe bij stijgende buitentemperatuur dan voor gebouwen van het Beta-type. Daarnaast worden bij deze methode drie kwaliteitsklassen onderscheiden, waarbij 90%, 80% dan wel 65% van de personen gedurende 100% van de werktijd (er worden geen overschrijdingen van de grenswaarden toegestaan) tevreden is.

Deze nieuwe methode om het thermische binnenklimaat te beoordelen is de beoogde opvolger voor de momenteel gebruikelijke Gewogen TemperatuurOverschrijdingen methode (GTO), welke aan de hand van klimaatkameronderzoek uit de jaren '70 is opgesteld. Bij deze methode mag een binnentemperatuur van circa 25,5°C in de zomerperiode gedurende een aantal uren overschreden worden. Hierbij wordt een weegfactor toegepast die groter wordt naarmate de binnentemperatuur de grens verder overschrijdt. Het maximaal toegestane aantal gewogen overschrijdingsuren is voor gebouwen met een niet geheel gesloten gevel gesteld op 150. Op deze wijze wordt er naar gestreefd dat gedurende 90% van de tijd 90% van de mensen tevreden is. In aanvulling hierop eist de Rijksgebouwendienst dat in gebouwen met 'niet vrijelijk te openen' ramen of een geheel gesloten gevel, een operationele binnentemperatuur van 25,5°C niet overschreden mag worden tot een maximum buitentemperatuur van 28°C.

Door het gebrek aan ervaring met de nieuwe richtlijn is het echter nog onduidelijk of de ATG-methode een meerwaarde oplevert ten opzichte van de GTO-methode. In het onderzoek is middels metingen in vier Nederlandse gebouwen in de zomerperiode, waarbij ook enquêtes onder gebruikers van de gebouwen zijn afgenomen, en simulaties van het temperatuurverloop in de gebouwen getracht hier meer duidelijkheid over te krijgen. Hierbij zijn verschillende aspecten beschouwd, te weten:

- toetsbaarheid van de methoden in de praktijk;
- aansluiting van de methoden bij de beoordeling van de personen;
- benodigde installatie om te voldoen aan de eisen.

Daarnaast is de ISSO publicatie 74 aan de hand van het onderzoek geëvalueerd en zijn waar mogelijk verbeterpunten in kaart gebracht.

De vier gebouwen waarin de metingen zijn uitgevoerd betreffen de gebouwen van het Paleis van Justitie te 's-Hertogenbosch, van de Rechtbank te Haarlem, van het Openbaar Ministerie te Arnhem en van de Rechtbank te Middelburg. In deze gebouwen zijn gedurende circa vijf weken tijdens de zomerperiode in tien vertrekken per gebouw, waarbij beide klimaattypen goed vertegenwoordigd zijn, de parameters benodigd voor de beoordeling van de vertrekken aan de hand van de ATG- en de GTO-methode gemeten. Daarnaast is middels dagelijkse enquêtes naar de beoordeling van het thermische binnenklimaat en het gebruik van het gebouw door de bewoners gevraagd.

Aan de hand van de verzamelde gegevens is een vergelijking gemaakt tussen de optimale operationele temperatuur volgens de ATG- en de GTO-methode en de comforttemperaturen volgens de oordelen van de personen. Hierbij zijn de verschillen in de afhankelijkheid van deze temperaturen van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur beschouwd. De oordelen van de personen laten zien dat er inderdaad sprake is van adaptatie: bij hogere buitentemperaturen worden hogere binnentemperaturen als comfortabel ervaren. De mate van adaptatie volgens de oordelen blijkt daarbij goed overeen te komen met de adaptatie volgens de ATG-methode. De GTO-methode laat deze overeenkomst, in ieder geval voor gebouwen van het Alpha-type, in aanzienlijk mindere mate zien. Hieruit wordt geconcludeerd dat de ATG-methode beter aansluit bij de oordelen van de personen dan de GTO-methode. Dit blijkt echter alleen het geval te zijn bij een bepaalde indeling van de vertrekken in

klimaattypen die niet geheel overeenkomt met de indeling volgens ISSO publicatie 74. Gezien de grote invloed van de indeling op de grenswaarden voor de vertrekken, is het van groot belang dat de indeling juist is. Aanbevolen wordt hiertoe aanvullend onderzoek te verrichten.

Met de gemeten waarden zijn de onderzochte vertrekken tevens, zo mogelijk, beoordeeld middels de GTO- en de ATG-methode. Doordat bij de ATG-methode geen overschrijdingen van de grenswaarden worden toegestaan, kan middels de meting in een relatief korte periode een beoordeling worden gegeven. Bij de GTO-methode is dit echter niet het geval aangezien het voor deze methode benodigd is het totaal aantal gewogen overschrijdingsuren in de gehele zomerperiode te kennen. Voor deze laatste methode is het derhalve noodzakelijk dat er simulaties worden uitgevoerd om tot een beoordeling te komen.

Om te toetsen of de vertrekken aan de eisen voldoen, zijn in aanvulling op de metingen voor één of meerdere vertrekken per gebouw simulaties uitgevoerd. Teneinde met de simulaties de werkelijkheid zo nauwkeurig mogelijk te benaderen, is het simulatiemodel, waarvoor het softwarepakket VA114 van VABI software B.V. is gebruikt, gefit aan de metingen. Hierbij is geprobeerd om het gesimuleerde temperatuurverloop zo goed mogelijk overeen te laten komen met het gemeten temperatuurverloop. Met deze gefitte simulatiemodellen zijn temperatuuroverschrijdingsberekeningen uitgevoerd, waarbij (overeenkomstig de eisen) de klimaatgegevens uit het jaar 1964/1965 worden gebruikt. Voor de ATG-methode zijn de resultaten van deze berekeningen vergeleken met de gevonden beoordelingen aan de hand van de metingen. Hieruit komt naar voren dat ook bij de ATG-methode geen volledige aansluiting bestaat tussen de beoordeling aan de hand van de metingen en aan de hand van de simulaties. Hierbij spelen het verschil tussen de klimatologische omstandigheden en het gebruik van het gebouw in de meetperiode en de aannamen hieromtrent in de eisen een bepalende rol. Het is, zolang er nog geen gevalideerd meetprotocol is opgesteld, voor een eenduidige beoordeling van de vertrekken aan de eisen dan ook voor beide methoden nodig simulaties uit te voeren, waardoor de toetsbaarheid in de praktijk nagenoeg gelijk is.

Daarnaast zijn de simulatiemodellen gebruikt om de invloed van het gekozen criterium op de benodigde installatie te onderzoeken. Hieruit komt naar voren de ATG-methode, waarbij is gekeken naar de grenswaarden behorende bij 80% acceptatie, tot een aanzienlijk verhoging van het benodigde koelvermogen leidt dan de GTO-methode. Dit is met name het geval voor gebouwen van klimaattype Bèta. Dit blijkt hoofdzakelijk het gevolg te zijn van het geheel niet toestaan van overschrijdingsuren bij de ATG-methode. Indien wordt toegestaan dat gedurende 1% van de werktijd (circa 10 uur) overschrijdingen worden toegestaan leidt de ATG-methode voor gebouwen van het klimaattype Alpha tot een lichte verhoging van het koelvermogen van circa 5 tot 15 W/m². Het benodigde koelvermogen voor gebouwen met te openen ramen die aan de grenswaarden van het klimaattype Bèta moeten worden getoetst neemt echter nog steeds aanzienlijk toe (25 tot 45 W/m²). Een lichte verlaging van het benodigde vermogen wordt daarentegen gevonden voor gebouwen met een geheel gesloten gevel.

Uit simulaties, waarbij naast het gebruikelijke klimaatjaar 1964/1965 ook het warmere jaar 1995 is gebruikt, komt naar voren dat de ATG-methode, voor gebouwen van het klimaattype Alpha, voor de verschillende klimaatjaren constanter is dan de GTO-methode. Het is echter niet zo dat met deze methode voor verschillende klimaatjaren exact hetzelfde benodigde koelvermogen wordt gevonden. Voor warmere klimaatjaren is, net als met de GTO-methode, ook met de ATG-methode een hoger vermogen nodig. Voor gebouwen met een geheel gesloten gevel blijkt de GTO-methode echter constanter te zijn.

Tot slot wordt met betrekking tot de communicateerbaarheid opgemerkt dat signalen uit de praktijk er op duiden dat de ATG-methode, ook voor leken, beter te begrijpen is en daardoor betere communicatie mogelijk maakt.

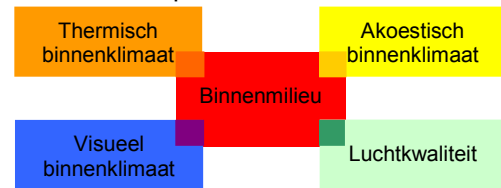
Inhoudsopgave

VOORWOORD	3
SAMENVATTING	4
INHOUDSOPGAVE.....	6
HOOFDSTUK 1 INLEIDING	9
HOOFDSTUK 2 BEOORDELINGSMETHODIEK THERMISCH BINNENKLIMAAT.....	11
2.1 De Adaptieve Temperatuurgrenswaarde (ATG) methode	11
2.1.1 Beschrijving methode (ISSO publicatie 74)	11
2.1.2 Achterliggend onderzoek en theoretische achtergronden	13
2.1.1.1 Internationaal veldonderzoek	13
2.1.1.2 Adaptief model	14
2.1.1.3 Statisch model	16
2.1.1.4 Voorgestelde grenswaarden	17
2.2 Gewogen TemperatuurOverschrijding (GTO) methode	18
2.2.1 Onderzoek van Fanger	18
2.2.1.1 Behaaglijkheidvergelijking	18
2.2.1.2 Voorspelde gemiddelde waardering (PMV)	19
2.2.1.3 Bepaling van het percentage ontevreden (PPD)	19
2.2.2 Ontstaan GTO-methode	20
2.2.3 Gewogen TemperatuurOverschrijding (GTO) methode	21
2.3 Hypothesen ter vergelijking van de ATG- en de GTO-methode	21
HOOFDSTUK 3 VELDONDERZOEK ZOMER 2005	25
3.1 Onderzochte gebouwen	25
3.1.1 Paleis van Justitie te 's-Hertogenbosch	25
3.1.2 Rechtbank Haarlem	26
3.1.3 Openbaar Ministerie Arnhem	26
3.1.4 Rechtbank Middelburg	27
3.1.5 Indeling vertrekken in klimaattypen	28
3.2 De metingen	30
3.2.1 Te meten parameters	30
3.2.2 Meetapparatuur	31
3.2.3 Enquêtes	33
HOOFDSTUK 4 RESULTATEN VELDONDERZOEK ZOMER 2005	37
4.1 Basis meetresultaten	37
4.1.1 Binnen- en buitenklimaat	37
4.1.2 Lokaal discomfort	38
4.1.3 Basisresultaten enquête	38
4.2 Analyse van de resultaten	42
4.2.1 Meetwaarden	42
4.2.1.1 Parameters ATG-methode	42
4.2.1.2 Parameters GTO-methode	44
4.2.2 Beoordeling gebouwen	46
4.2.2.1 Beoordeling gebouwen met de ATG-methode	46
4.2.2.2 Beoordeling gebouwen met de GTO-methode	47
4.2.2.3 Beoordeling gebouwen met thermische sensatiestemmen uit enquête	48
4.2.2.4 Vergelijken beoordeling thermische sensatiestemmen met ATG- en GTO-methode	49
4.3 Analyse optimale operationele temperatuur	50
4.3.1 Vergelijking ATG-methode met oordelen personen	50
4.3.2 Vergelijking GTO-methode en oordelen personen	54

HOOFDSTUK 5 SIMULATIES	57
5.1 Opzet simulaties	57
5.1.1 Gebruikte software	57
5.1.2 Benodigde gegevens	57
5.1.3 Onderzochte vertrekken	58
5.2 Fitten simulatiemodel aan metingen	58
5.2.1 Fitten invoergegevens	58
5.2.2 Ingevoerde gegevens	59
5.2.3 Vergelijken metingen en simulaties voor de meetperiode	61
5.3 Beoordelen gebouwen met de ATG-, de TO- en de GTO-methode	63
5.4 Invloed van het gekozen criterium op de benodigde installatie	65
5.4.1 Eigenschappen gebouw en gebruik	65
5.4.2 Eigenschappen installatie	65
5.4.3 Benodigde koelvermogen per variant volgens de verschillende criteria	66
5.4.4 Nadere beschouwing benodigd koelvermogen	68
HOOFDSTUK 6 VERGELIJKING ATG- EN GTO-METHODE	71
HOOFDSTUK 7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	75
7.1 Conclusies	75
7.2 Aanbevelingen	77
LITERATUUR	79
BIJLAGEN	83
BIJLAGE 1 FORMULES EN TOELICHTINGEN BIJ HOOFDSTUK 2	85
BIJLAGE 2 EIGENSCHAPPEN ONDERZOCHE GEBOUWEN	88
BIJLAGE 3 FORMULES EN TOELICHTINGEN BIJ HOOFDSTUK 3 EN 4	92
BIJLAGE 4 WEBSITE	95
BIJLAGE 5 GRAFIEKEN EN TABELLEN METINGEN BIJ HOOFDSTUK 4	97
BIJLAGE 6 ENQUÊTEONDERDEEL THERMISCHE BEHAAGLIJKHEID	105
BIJLAGE 7 BUITENTEMPERATUUR	106
BIJLAGE 7 BUITENTEMPERATUUR	107
BIJLAGE 8 INVLOED VERSCHILLENDE PARAMETERS OP PMV	109
BIJLAGE 9 BEOORDELING VERTREKKEN (METINGEN)	110
BIJLAGE 10 VERGELIJKING ATG-METHODE MET OORDELEN PERSONEN	112
BIJLAGE 11 INVOERGEGEVENS GEBOUWEN TOETSINGSSIMULATIES	114
BIJLAGE 12 TEMPERATUUR INBLAASLUCHT	118
BIJLAGE 13 GEMETEN EN GESIMULEERD TEMPERATUURVERLOOP	120
BIJLAGE 14 BEOORDELING VERTREKKEN (TOETSINGSSIMULATIES)	121
BIJLAGE 15 INVOERGEGEVENS SIMULATIES BENODIGDE KOELVERMOGEN	122

Hoofdstuk 1 Inleiding

Gebouwen en hun installaties worden ontworpen om de mens veilig, gezond, comfortabel en productief te laten werken. Een belangrijk onderdeel van het bouw- en huisvestingsproces is dan ook het realiseren en het handhaven van een goed binnenmilieu. Naast de aspecten die rechtstreeks van belang zijn voor de gezondheid, zoals bijvoorbeeld de zuiverheid van de binnenlucht en het afwezig zijn van schadelijke straling, zijn er een aantal comfortaspecten eveneens van belang. Hierbij moet worden gedacht aan geluid (akoestisch binnenklimaat), licht (visueel binnenklimaat), luchtkwaliteit en warmte (thermisch binnenklimaat).



Figuur 1.1: Comfortaspecten van invloed op binnenmilieu

Met betrekking tot dit laatste aspect, het thermisch binnenklimaat, wordt in Nederland sinds eind jaren zeventig gebruik gemaakt van richtlijnen. De Rijksgebouwendienst heeft toen namelijk het TO-criterium (TemperatuurOverschrijdingen) geïntroduceerd: in de zomer mocht een temperatuur van 25°C gedurende maximaal 100 uur worden overschreden en een temperatuur van 28°C gedurende 10 tot 20 uur, waarbij het buitenklimaat van het jaar 1964 als referentie geldt. Deze eis is een praktische vertaling van het algemene uitgangspunt dat gedurende 90% van de tijd 90% van de mensen tevreden moet zijn met het thermisch binnenklimaat.

Deze TO-methode hield echter nog geen rekening met het feit dat naarmate de binnentemperatuur hoger is er meer mensen zijn die het thermisch binnenklimaat als onbehaaglijk ervaren. Daarom is eind jaren tachtig, eveneens door de Rijksgebouwendienst, het GTO-criterium (Gewogen TemperatuurOverschrijdingen) ontwikkeld. Hierbij wordt elk uur dat de temperatuur boven de grens van 10% ontevreden uitkomt vermenigvuldigd met de toename van het aantal ontevreden. De richtwaarde voor het aantal gewogen overschrijdingsuren dat een “goed” binnenklimaat representeert is hierbij op 150 gesteld.

Deze beide methoden zijn gebaseerd op het klimaatkameronderzoek dat door P.O. Fanger in de jaren zeventig is uitgevoerd naar de beleving van het thermische binnenklimaat door personen. In de jaren negentig werd uit internationaal veldonderzoek echter duidelijk dat mensen in de praktijk anders reageren dan uit de resultaten van het klimaatkameronderzoek verwacht zou mogen worden. Oorzaak hiervan is de adaptatie van de mens aan zijn omgeving. Om dit aspect in de beoordeling van het thermische binnenklimaat mee te kunnen nemen hebben de Rijksgebouwendienst en de Technische Universiteit Delft, naast een groot aantal andere betrokkenen, de afgelopen jaren meegewerkt aan de totstandkoming van de ATG-methode (Adaptieve TemperatuurGrenswaarden). Deze methode is in maart 2004 gepresenteerd in de ISSO publicatie 74, “Thermische behaaglijkheid. Eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen” (zie figuur 1.2).



Figuur 1.2: ISSO publicatie 74

De temperatuurgrenzen die in deze richtlijn worden gesteld zijn gebaseerd op omvangrijk internationaal veldonderzoek uitgevoerd door Brager & De Dear waarbij onderzoeksgegevens uit verschillende landen en derhalve klimaatzones zijn samengevoegd. De nieuwe richtlijnen zijn echter nog niet in de Nederlandse situatie getoetst. De Technische Universiteit Delft wil in dit kader in Nederland het verloop van de nieuwe grenzen aan de binnentemperatuur in een groot aantal (20 tot 40) gebouwen onderzoeken om de grenzen te valideren.

Ook de Rijksgebouwendienst wil de nieuwe grenswaarden onderzoeken, aangezien deze organisatie de adaptieve temperatuurgrenswaarden wil opnemen in de eigen richtlijnen en in de Prestatie- en Output-specificaties binnen PPS-trajecten, om zo meer inzicht te krijgen in de aansluiting tussen het oude en het nieuwe criterium (tot nog toe wordt in richtlijnen en prestatie-eisen van de Rijksgebouwendienst uitgegaan van het criterium van de GTO-methode) en tevens in de toepasbaarheid van het nieuwe criterium in de praktijk.

In dit afstudeeronderzoek wordt de nieuwe ATG-methode in de praktijk getoetst en vergeleken met de GTO-methode. Hierbij staat de vraag of de ATG-methode een meerwaarde oplevert ten opzichte van de GTO-methode centraal. Daarnaast is het onderzoek er ook op gericht ISSO publicatie 74 te evalueren en verbeterpunten in kaart te brengen.

Hiertoe zijn in vier gebouwen van de Raad van de Rechtspraak gedurende een aantal weken in de zomerperiode metingen uitgevoerd en is middels dagelijkse enquêtes aan de bewoners van de kamers onder andere hun oordeel over het thermische binnenklimaat gevraagd. In aanvulling hierop is het temperatuurverloop in de gebouwen gesimuleerd en zijn de gebouwen met zowel de ATG als met de GTO-methode beoordeeld. De verzamelde gegevens kunnen in het grotere onderzoek van de Technische Universiteit Delft ter bepaling van de exacte ligging van de grenslijnen van de ATG-methode, worden gebruikt.

In het rapport worden in hoofdstuk 2 allereerst de ATG- en de GTO-methode met bijbehorende achtergronden besproken. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met enkele hypothesen, welke zijn opgesteld om de meerwaarde van de ATG- ten opzichte van de GTO-methode te kunnen toetsen. Vervolgens komt in hoofdstuk 3 de opzet en de uitvoering van het veldonderzoek aan bod, waarna de resultaten van het veldonderzoek in hoofdstuk 4 worden belicht. De opzet en de resultaten van de simulaties komen in hoofdstuk 5 aan bod en in hoofdstuk 6 wordt ingegaan op de vergelijking van de ATG- en de GTO-methode, waarbij de opgestelde hypothesen worden geëvalueerd. Afgesloten wordt in hoofdstuk 7 met de conclusies en de aanbevelingen.

Hoofdstuk 2 Beoordelingsmethodiek thermisch binnenklimaat

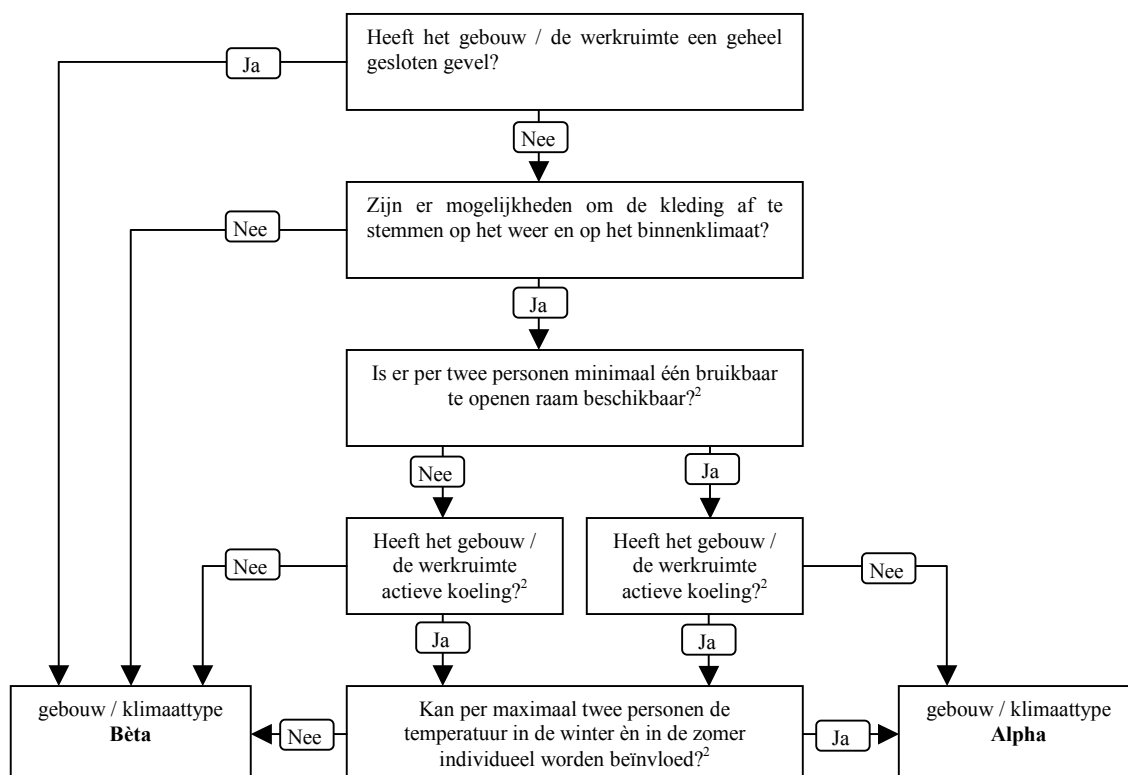
In dit rapport staan de ATG- en de GTO-methode centraal. Allereerst zal derhalve aandacht worden besteed aan deze beide methoden en hun achtergronden. Het hoofdstuk wordt afgesloten met enkele hypothesen, welke zijn opgesteld om de meerwaarde van de ATG- ten opzichte van de GTO-methode te kunnen toetsen.

2.1 De Adaptieve TemperatuurGrenswaarde (ATG) methode

2.1.1 Beschrijving methode (ISSO publicatie 74)

De Adaptieve Temperatuur Grenswaarde methode geeft richtlijnen voor het thermisch binnenklimaat van gebouwen. Deze richtlijnen vormen de basis voor zowel hulpmiddelen bij het ontwerpen van nieuwe gebouwen of renovatieprojecten, als voor de beoordeling van bestaande situaties.

Bij deze richtlijnen wordt er onderscheid gemaakt tussen twee gebouw/klimaattypen, kortweg aangeduid als gebouw/klimaattype Alpha en gebouw/klimaattype Bèta. De gebruikers van een gebouw van het Alpha-type hebben goede mogelijkheden om het binnenklimaat individueel te beïnvloeden en om de ramen te openen. Gebruikers van gebouwen van het Bèta-type hebben deze mogelijkheden niet of in mindere mate. Om te bepalen tot welk type een gebouw behoort is er in ISSO publicatie 74 het keuzeschema weergegeven in figuur 2.1, opgenomen. Opgemerkt dient te worden dat in ISSO publicatie 74 nog een soortgelijk keuzeschema is opgenomen, dat in sommige gevallen echter tot een andere indeling kan leiden. Hier wordt in hoofdstuk 3.2 op teruggekomen.



Figuur 2.1: Bepaling van het gebouw/klimaattype van een gebouw of ruimte, afhankelijk van de adaptatiemogelijkheden

Ook wordt er onderscheid gemaakt in drie gedefinieerde kwaliteitsklassen die weergegeven zijn in tabel 2.1. De classificatie berust op het onderscheid in acceptatie van het klimaat door de gebouwgebruikers. Daarbij betekent bijvoorbeeld een acceptatie van 80% (gedurende 100% van de gebruikstijd minimaal 80% acceptatie), dat 80% van de gebouwgebruikers het binnenklimaat als thermisch comfortabel beoordeelt. Thermisch comfort wordt hierbij gedefinieerd als 'die toestand

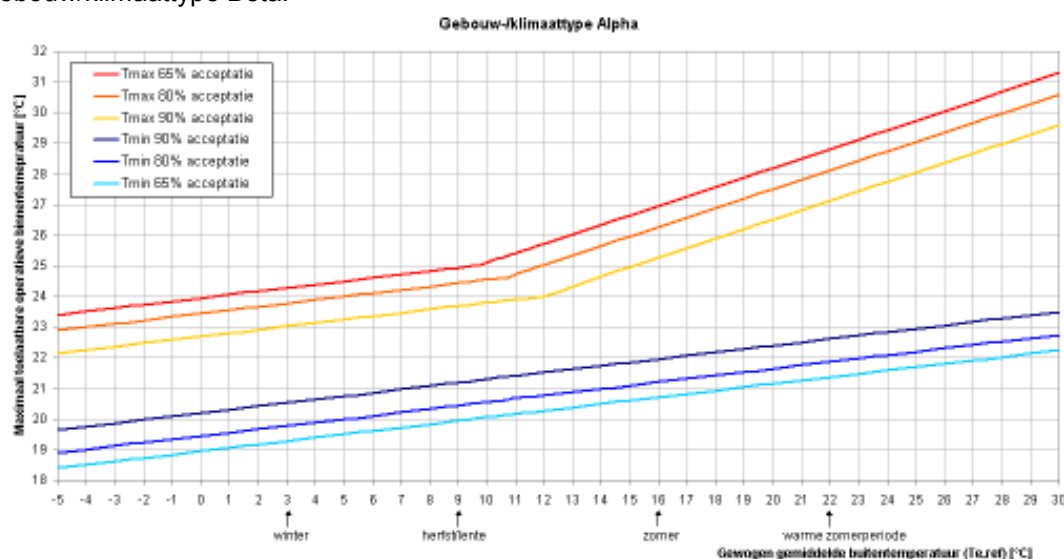
¹ Zie bijlage 1 voor een nadere toelichting

waarin de mens tevreden is over zijn thermische omgeving en geen behoefte heeft aan een warmere of koudere omgeving’.

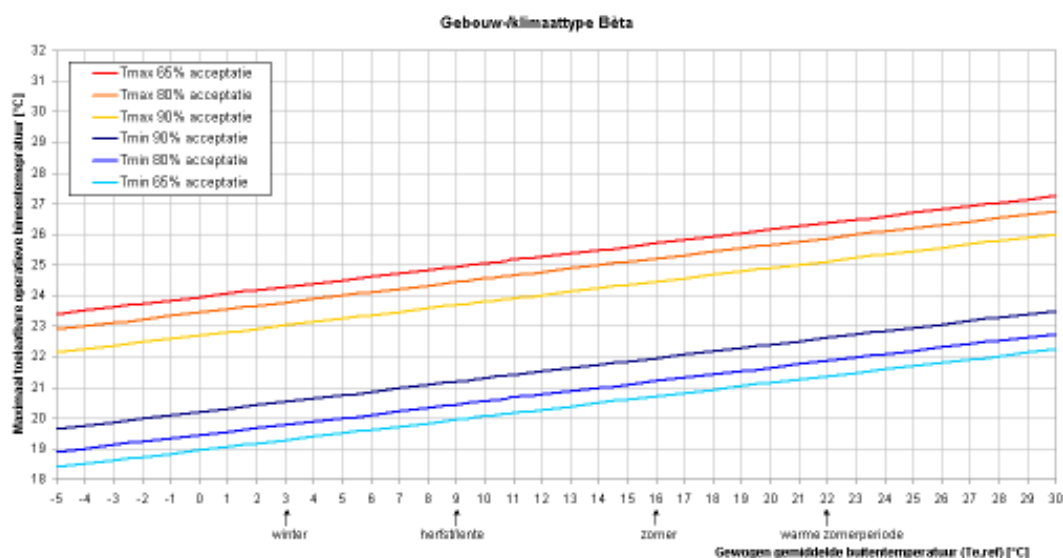
Tabel 2.1: Classificatie thermisch binnenklimaat

Klasse	Acceptatie	Toepassing
A	90%	Gebouwen met een relatief gevoelige groep gebouwgebruikers of gebouwen waarin extra hoge eisen aan het comfort worden gesteld
B	80%	Centrale classificatie voor een “goed binnenklimaat” voor algemene toepassing in standaard situaties
C	65%	“Tijdelijke situaties”; deze klasse wordt in beginsel niet toegepast in een ontwerpsituatie voor nieuwe huisvesting; alleen toelaatbaar geacht als aanpassing van de situatie een onevenredige grote technische of financiële inspanning zou vergen of niet mogelijk is vanwege de status van het gebouw; in alle gevallen moet duidelijk worden omschreven waarom klasse B in het betreffende geval niet haalbaar is

De criteria worden in de richtlijnen gegeven als de maximaal en minimaal toelaatbare operationele binnentemperatuur als functie van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur². In figuur 2.2 en figuur 2.3 zijn deze weergegeven voor respectievelijk het gebouw/klimaattype Alpha en het gebouw/klimaattype Bèta.



Figuur 2.2: Gebouw/klimaattype Alpha. Maximaal en minimaal toelaatbare operationele binnentemperatuur voor een bepaalde acceptatie, afhankelijk van de buitentemperatuur



Figuur 2.3: Gebouw/klimaattype Bèta. Maximaal en minimaal toelaatbare operationele binnentemperatuur voor een bepaalde acceptatie, afhankelijk van de buitentemperatuur

² Zie bijlage 1 voor de bijbehorende formules

De operationele temperatuur is hierbij het gemiddelde van de lucht- en stralingstemperatuur in het vertrek³:

$$t_{oper} = \frac{t_{lucht} + t_{straling}}{2} \text{ [}^{\circ}\text{C]} \quad (1)$$

De gewogen gemiddelde buitentemperatuur kan worden bepaald met de volgende formule:

$$t_{e,ref} = \frac{1 \cdot t_{vandaag} + 0,8 \cdot t_{gisteren} + 0,4 \cdot t_{eergisteren} + 0,2 \cdot t_{eer-eergisteren}}{2,4} \text{ [}^{\circ}\text{C]} \quad (2)$$

Waarin		
$t_{vandaag}$	=	gemiddelde etmaaltemperatuur buiten, vandaag (gemiddelde van de maximum en minimum temperatuur)
$t_{gisteren}$	=	gemiddelde etmaaltemperatuur buiten, gisteren
$t_{eergisteren}$	=	gemiddelde etmaaltemperatuur buiten, eergisteren
$t_{eer-eergisteren}$	=	gemiddelde etmaaltemperatuur buiten, eer-eergisteren

Toetsing van het thermische binnenklimaat van een gebouw aan deze criteria geschiedt in de ontwerpfase aan de hand van simulaties waarbij het referentie buitenklimaat van De Bilt voor 1964/1965 (1 april 1964 – 31 maart 1965; zomerperiode 27 april – 27 september 1964) wordt gebruikt. Om in een bepaalde binnenklimaatkwaliteitsklasse te vallen mag de operationele temperatuur niet buiten de grenswaarden van de betreffende klasse komen.

Beoordeling van praktijksituaties aan de criteria is eenvoudig. De binnentemperatuur moet immers binnen de afgesproken grens behorende bij een kwaliteitsklasse blijven. Echter kan aan de hand van metingen in praktijksituaties niet direct worden vastgesteld of aan de gewenste “gebouwprestatie” wordt voldaan, aangezien hiervoor het referentiejaar 1964/65 geldt en de omstandigheden tijdens de metingen volledig anders kunnen zijn. Voor toetsing van de gebouwprestatie geldt daarom de voorwaarde $t_{e,ref} < 22^{\circ}\text{C}$ voor de meetperiode.

In die gevallen waarin een harde uitspraak over het al dan niet voldoen aan de criteria wordt verlangd, is het uitvoeren van computersimulatieberekeningen voor het betreffende gebouw en het “fitten” van het betreffende model op de meetresultaten, de meest aangewezen weg. Daarna kan worden beoordeeld of het gebouw bij het klimaat waarbij de prestatie was gevraagd (klimaatjaar 1964/1965) al dan niet voldoet.

N.B.

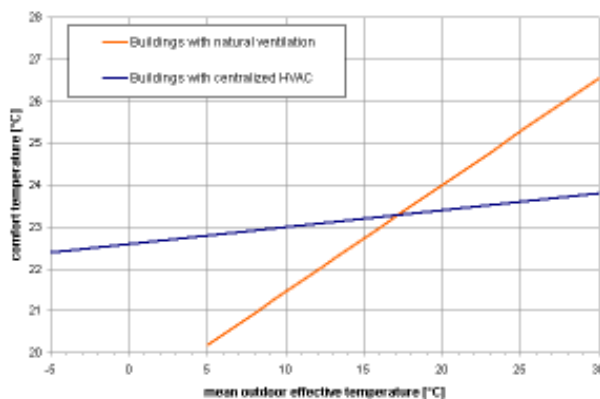
De $t_{e,ref}$ tijdens de meetperiode moet worden bepaald op basis van gegevens gemeten bij een meetstation van het KNMI in de buurt.

2.1.2 Achterliggend onderzoek en theoretische achtergronden

Het verloop van de grafieken die de criteria aan het thermisch binnenklimaat volgens de ATG-methode weergeven, is afgeleid uit internationaal veldonderzoek. In deze paragraaf wordt ingegaan op dit onderzoek, de theoretische modellen die het verloop van de grafieken die uit dit onderzoek zijn voortgekomen verklaren en op de voorgestelde grenswaarden.

2.1.1.1 Internationaal veldonderzoek

Door Brager, De Dear en Cooper, is een omvangrijke studie uitgevoerd, waarin een analyse is gemaakt van veldonderzoek in 160 gebouwen met 20693 respondenten verspreid over de hele wereld. In dit onderzoek wordt eveneens onderscheid gemaakt in een tweetal gebouw/klimaattypen, te weten airconditioned en natuurlijk geventileerde gebouwen. Airconditioned gebouwen definiëren zij als “sealed, centrally airconditioned buildings with open plan floor layouts that provide minimal adaptive opportunity. The occupants are presumed to have no option to open/close windows.” en natuurlijk geventileerde gebouwen als “buildings with operable windows and ceiling fans within small single- or dual occupant offices



Figuur 2.4: Comforttemperaturen voor gebouwen met centraal geregelde klimaatregeling en gebouwen met natuurlijke ventilatie

³ zie bijlage 1 voor de exacte formule

that afford high degrees of adaptation". In figuur 2.4 is de comforttemperatuur voor beide gebouwtypen weergegeven als functie van de daggemiddelde buitentemperatuur zoals deze uit het onderzoek zijn voortgekomen.

Er blijkt dat in airconditioned gebouwen de aanwezigen bijna twee keer zo gevoelig zijn voor temperatuurverandering als in natuurlijk geventileerde gebouwen.

2.1.1.2 Adaptief model

In de grafiek die de comforttemperaturen voor gebouwen met airconditioning en voor gebouwen met natuurlijke ventilatie weergeeft (figuur 2.4), is te zien dat hogere binnentemperaturen worden toegestaan wanneer ook de buitentemperaturen hoger zijn. Daarnaast worden in gebouwen met te openen ramen en eigen mogelijkheden om het thermisch binnenklimaat te beïnvloeden (buildings with natural ventilation) hogere binnentemperaturen toegelaten dan in gebouwen waarin deze mogelijkheden niet of in mindere mate aanwezig zijn (buildings with central HVAC).

Verklaring hiervoor wordt gevonden in adaptief gedrag van mensen. Het concept van adaptieve thermische behaaglijkheid wordt door Nicol en Humphreys als volgt omschreven: *"Als er een verandering optreedt die thermische onbehaaglijkheid veroorzaakt, reageren mensen op zo'n wijze dat hun thermische behaaglijkheid wordt hersteld."* Er worden drie hoofdcategorieën van adaptatie onderscheiden:

1. Gedragmatige adaptatie

Dit zijn alle aanpassingen die een persoon bewust of onbewust maakt om de warmtebalans van het lichaam te herstellen. Er zijn drie subcategorieën:

a. Persoonlijke adaptatie

Dit zijn aanpassingen aan de thermische omgeving door bijvoorbeeld dikkere of dunner kleding aan te doen, door meer of minder te bewegen, door in een andere houding te gaan zitten, door het eten en drinken van warme of koude maaltijden en dranken of door op een andere plaats te gaan zitten.

b. Technische of omgevingsadaptatie

Het openen of sluiten van ramen, het inschakelen van ventilatoren, bijstellen van koeling en verwarming met een wandthermostaat, het dichtplakken van ventilatieroosters.

c. Culturele en organisatorische adaptatie

Voorbeelden zijn het aanpassen van werktijden, het instellen van een tropenrooster, het houden van een siësta en het tijdelijk loslaten van kledingvoorschriften.

2. Fysiologische adaptatie

Dit betreft aanpassingen van de fysiologische reacties van het lichaam die het gevolg zijn van thermische omgevingsfactoren, die leiden tot een geleidelijke afname van de belasting. Er zijn twee subcategorieën:

a. Genetische adaptatie

Aanpassingen die deel uitmaken van de genetische erfenis van een individu of een groep, die veranderen gedurende periodes die langer zijn dan een mensenleven. Bijvoorbeeld het verschil in zweetproductie tussen Japanners en Amerikanen.

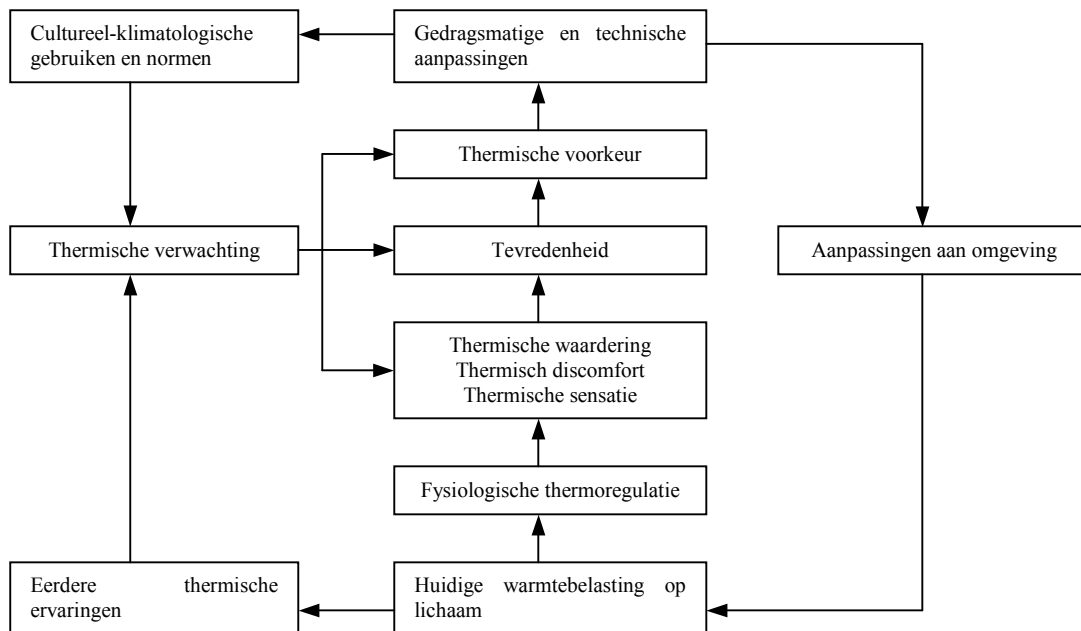
b. Acclimatisatie

Dit is een verandering van de setpoint van het thermoregulatesysteem van het individu, als reactie op een thermische belasting die meerdere dagen of weken duurt.

3. Psychologische adaptatie

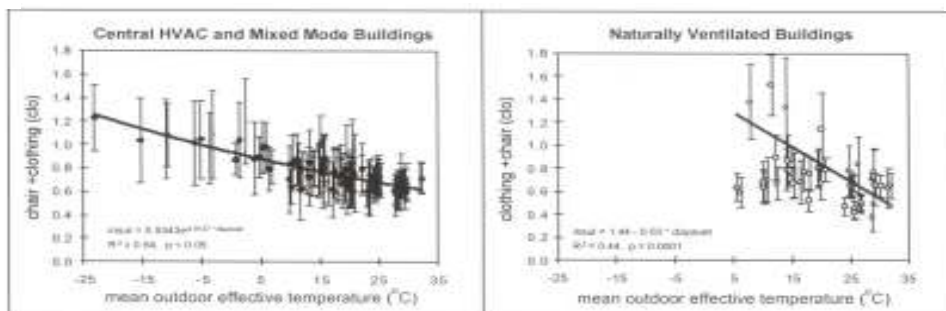
Dit is een veranderde perceptie van, en een reactie op, zintuiglijke informatie. Thermische gewaarwordingen worden direct beïnvloed door iemands ervaringen en verwachtingen. Hierdoor varieert het thermische comfort van de mens in tijd en plaats.

Een zeer belangrijk aspect bij adaptief thermisch comfort is wat men van een binnenklimaat 'verwacht'. In figuur 2.5 is het door Auliciems ontwikkelde model weergegeven dat tevredenheid in direct verband brengt met verwachtingen. Hierbij geldt dat een thermische omgeving op een bepaalde plaats en een bepaald moment tot tevredenheid stemt, indien de thermische condities overeenkomen met de verwachtingen die iemand heeft van het binnenklimaat op die plaats en op dat moment. Deze verwachtingen worden beïnvloed door iemands thermische ervaringen, door cultureel bepaalde normen en door de stand van de techniek.

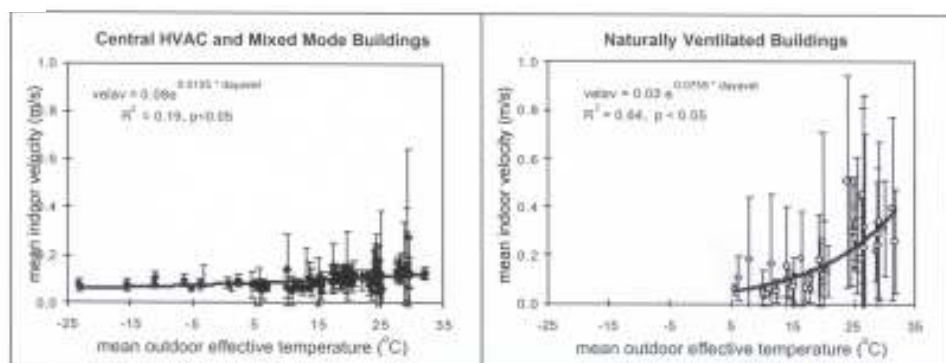


Figuur 2.5: Adaptief model voor thermische behaaglijkheid volgens Auliciems

De adaptieve aanpassingen door mensen met de grootste relatie tot de hoger toegestane binnentemperatuur bij hogere buitentemperaturen, zijn de aanpassing van de kleding en het laten toenemen van de lichtsnelheid. De relaties tussen deze grootheden, zoals gevonden door Brager, De Dear en Cooper, zijn weergegeven in figuren 2.6 en 2.7.



Figuur 2.6 : Relatie tussen de kledingweerstand en de buitentemperatuur



Figuur 2.7: Relatie tussen de lichtsnelheid en de buitentemperatuur

Er blijkt dat zowel bij gebouwen met centraal geregelde klimaatinstallaties als bij gebouwen met natuurlijke ventilatie de kledingisolatie (warmteweerstand van de kleding) afneemt en de lichtsnelheid toeneemt bij hogere buitentemperaturen. Verder blijkt dat mensen in natuurlijk geventileerde gebouwen actiever zijn in hun aanpassing. Gebruikers van airconditioned gebouwen daarentegen passen zich minder aan. Dat maakt hun thermische sensatie gevoeliger voor temperatuurveranderingen.

Voor gebouwen van het Bèta-type verklaart deze aanpassing van de kleding en de luchtsnelheid (gedragmatige adaptatie) volgens het statische model geheel het verloop van de grafiek (figuur 2.4). Voor gebouwen van het Alpha gebouw/klimaattype is dit slechts voor de helft het geval. Volgens Brager, De Dear en Cooper is de andere helft het gevolg van psychologische adaptatie.

2.1.1.3 Statisch model

Begin jaren zeventig heeft P.O. Fanger op grond van klimaatkameronderzoek met 1296 proefpersonen een empirische behaaglijkeidsvergelijking opgesteld met zes variabelen:

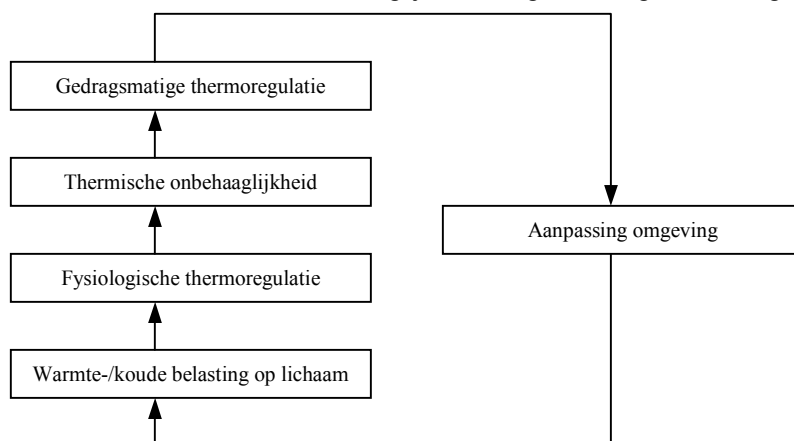
$$f(H, I_{cl}, t_a, t_r, p_a, v_l) = 0 \quad (3)$$

waarin:

H	= interne warmteproductie per m ² lichaamsoppervlak	[W/m ²]
I_{cl}	= de intrinsieke warmteweerstand van de kleding	[clo] (1 clo = 0,155 m ² K/W)
t_a	= de luchttemperatuur	[°C]
t_r	= de gemiddelde stralingstemperatuur	[°C]
p_a	= de partiele waterdampdruk van de lucht	[Pa]
v_l	= relatieve luchtsnelheid	[m/s]

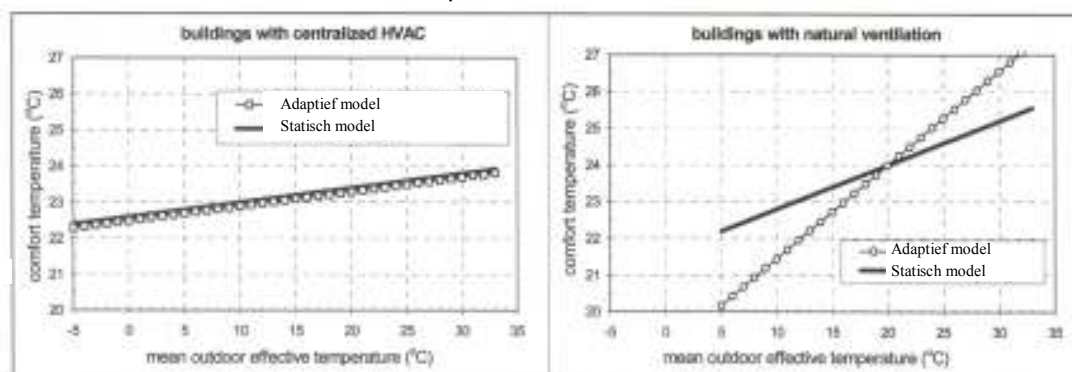
Met deze vergelijking is het mogelijk om voor elk metabolisme (interne warmteproductie) en voor elke warmteweerstand van de kleding een combinatie van luchttemperatuur, gemiddelde stralingstemperatuur, luchtvochtigheid en relatieve luchtsnelheid te vinden die een thermisch neutrale situatie oplevert voor een gemiddelde mens.

Ook in het model van Fanger is er sprake van interactie tussen mens en zijn omgeving. Het activiteitsniveau (interne warmteproductie) en de warmteweerstand van de kleding kunnen worden aangepast. Het model voor thermische behaaglijkheid volgens Fanger is weergegeven in figuur 2.8.



Figuur 2.8: Model voor thermische behaaglijkheid volgens Fanger

In figuur 2.9 is de comforttemperatuur als functie van de buitentemperatuur uitgezet voor airconditioned gebouwen en gebouwen met natuurlijke ventilatie die gevonden worden middels dit statische model van Fanger. Hierbij is gesteld dat bij hogere buitentemperaturen mensen zich minder warm kleden en de warmteweerstand van hun kleding afneemt. Hierdoor stijgt de comforttemperatuur bij een hogere buitentemperatuur. In gebouwen met natuurlijke ventilatie neemt eveneens de luchtsnelheid toe en worden nog hogere comforttemperaturen gevonden. Het activiteitsniveau verandert echter niet met de buitentemperatuur.



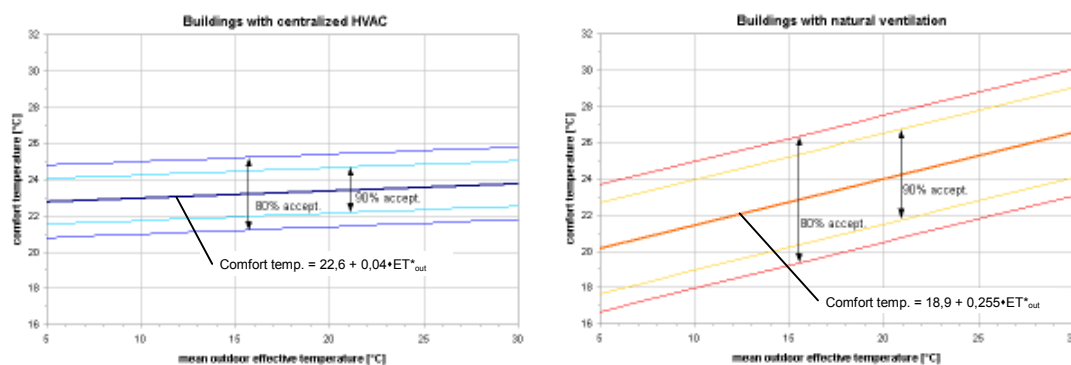
Figuur 2.9: Vergelijking tussen de comforttemperaturen bepaald met het adaptieve model en met het statische model van Fanger

Eveneens is in deze figuur de comforttemperatuur als functie van de buitentemperatuur uitgezet zoals gevonden is met het adaptieve model.

Er blijkt dat het statische model en het adaptieve model in het geval van airconditioned gebouwen zeer goed overeenkomen. Deze opvallende overeenkomst is te verklaren uit het feit dat Fanger zijn behaaglijkheidsvergelijking heeft opgesteld aan de hand van experimenten met proefpersonen in een klimaatkamer. Een dergelijke klimaatkamer is te vergelijken met een ruimte in een airconditioned gebouw, aangezien de proefpersonen niet de mogelijkheid kregen om zelf aanpassingen aan het binnenklimaat aan te brengen. Bij gebouwen met natuurlijke ventilatie ontbreekt deze overeenkomst. In die situatie is de comforttemperatuur in veel grotere mate afhankelijk van de buitentemperatuur. Zoals ook reeds in paragraaf 2.1.1.2 is aangegeven, kan het verloop van de grafiek voor het gebouw/klimaattype Bèta geheel worden verklaard uit de aanpassing van de kleding en de lichtsnelheid. Bij het gebouw/klimaattype Alpha is dit slechts voor de helft het geval (rechter grafiek figuur 2.9). De andere helft is volgens Brager, De Dear en Cooper het gevolg van psychologische adaptatie.

2.1.1.4 Voorgestelde grenswaarden

Aan de hand van de onderzoeksresultaten stellen Brager en De Dear voor om twee afzonderlijke modellen voor de temperatuurgrenzen te hanteren. Eén voor airconditioned (HVAC) en één voor natuurlijk geventileerde gebouwen. In figuur 2.10 zijn deze voor beide type gebouwen weergegeven.



Figuur 2.10: Adaptieve methode voor het voorspellen van optimale comforttemperaturen en acceptabele temperatuurgebieden.

Zoals eerder aangegeven zijn de grenswaarden voor de binnentemperatuur in de Nederlandse richtlijnen hieruit afgeleid. Er zijn echter een aantal (kleine) verschillen, namelijk:

- Brager en De Dear gebruiken een indeling in gebouwen met airconditioning en gebouwen met natuurlijke ventilatie. De Nederlandse richtlijn maakt gebruik van een indeling in gebouwen van het gebouw/klimaattype Alpha en gebouwen van het gebouw/klimaattype Bèta (zie figuur 2.1). Hiervoor is gekozen wegens het niet één op één van toepassing zijn van de indeling volgens Brager en De Dear in de Nederlandse situatie. Veel airconditioned gebouwen in Nederland hebben namelijk ook ramen die te openen zijn. Ook hebben ze soms een- en tweepersoonskamers en niet alleen 'open plan offices'. Bij het gebruik van de resultaten van Brager en De Dear zijn deze indelingen aan elkaar gelijk gesteld.
- Brager en De Dear gebruiken op de horizontale as de gemiddelde effectieve buitentemperatuur.
Effectieve temperatuur = de operationele temperatuur t_{oper} van een omgeving bij 50% vochtigheid die dezelfde voelbare plus latente warmte-uitwisseling met een persoon zou veroorzaken als in de werkelijke omgeving.

Voor gebruik in de Nederlandse situatie wordt hiervoor de gewogen gemiddelde buitentemperatuur (formule (2)) gebruikt. Het verband tussen comforttemperatuur en de buitentemperatuur is hierop aangepast.

De reden om de gewogen gemiddelde buitentemperatuur te gebruiken is dat in een aantal onderzoeken is aangetoond dat de comforttemperatuur en de kledingsisolatie sterker gecorreleerd is aan de 'running mean outdoor temperature' (RMOT = een exponentieel gewogen, gemiddelde buitentemperatuur) dan aan de momentane of gemiddelde buitentemperatuur overdag. Dit impliceert dat 'het weer van de afgelopen dagen' (en niet het weer van vandaag, gisteren of de gemiddelde maandtemperatuur) de grootste invloed heeft op de comforttemperatuur, de kledingsisolatie en de comfortbeleving. De in de Nederlandse richtlijn gebruikte gewogen gemiddelde buitentemperatuur ($t_{e,ref}$) is een vereenvoudigde, gelineariseerde vorm van de RMOT. De reden dat Brager en De Dear in hun onderzoek de gemiddelde maandtemperatuur gebruiken is van praktische aard geweest.

- Brager en De Dear gebruiken op de verticale as de 'comfort temperatuur', de Nederlandse richtlijn gebruikt de operationele temperatuur. Deze zijn per definitie gelijk aan elkaar.

- Brager en De Dear geven de optimale comforttemperatuur en de 80% en 90% acceptabele temperatuurgebieden. De Nederlandse richtlijn geeft daarnaast eveneens het 65% acceptabele temperatuurgebied. Deze is door De Dear voor de Nederlandse situatie opgesteld.
- In de grafiek die in de Nederlandse richtlijnen de grenzen voor het gebouw/klimaatype Alpha weergeeft, komt een knik voor. Deze ontstaat doordat in het stookseizoen en bij in werking zijnde verwarming ($t_{e,ref} < 10-12^{\circ}\text{C}$) er per saldo geen sprake is van een Alpha-gebouw/klimaat. Het effect van gedragsadaptatie (o.a. kleding) speelt dan nog wel een rol, maar psychologische adaptatie niet meer. Daarom wordt bij een $t_{e,ref}$ beneden $10-12^{\circ}\text{C}$ voor gebouw/klimaatype Alpha dezelfde operatieve temperatuurgrens aangehouden als bij een gebouw/klimaatype Bèta.

2.2 Gewogen TemperatuurOverschrijding (GTO) methode

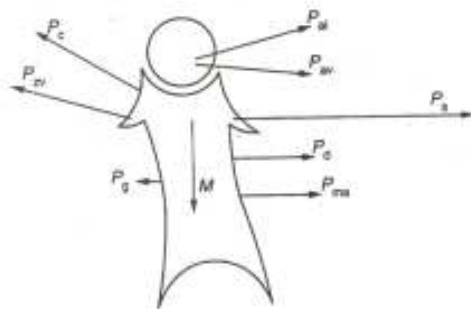
Tot nu toe wordt in Nederland gebruik gemaakt van de GTO-methode om het thermisch binnenklimaat van gebouwen te beoordelen. Bij het opstellen van deze richtlijn is door de Rijksgebouwendienst gebruik gemaakt van de inzichten van P.O. Fanger. In de volgende paragrafen wordt eerst dieper ingegaan op deze inzichten en het tot stand komen van de GTO-methode, alvorens deze methode zelf wordt besproken.

2.2.1 Onderzoek van Fanger

Middels onderzoek heeft Fanger vergelijkingen opgesteld voor de behaaglijkheid, voor de gemiddeld voorspelde waardering en voor het percentage ontevreden.

2.2.1.1 Behaaglijkheidvergelijking

Op grond van experimenten heeft Fanger een thermofysiologisch mensmodel opgesteld, die uitgaat van een energiebalans voor de mens in een stationaire situatie. Hierin wordt de in het lichaam door de stofwisseling vrijgemaakte energie gelijkgesteld aan de afgevoerde energie. De statische warmtebalans voor de mens is weergegeven in figuur 2.11.



Figuur 2.11: Statische warmtebalans van de mens

De bijbehorende formule is:

$$M = P_{ma} + P_d + P_{zv} + P_{av} + P_{cl} + P_c + P_s + P_g \quad (4)$$

Waarin

M	= de door stofwisseling in het lichaam ontwikkelde energie	[W]
P_{ma}	= uitwendig verrichte mechanische arbeid	[W]
P_d	= door dampdiffusie afgegeven energie (huid)	[W]
P_{zv}	= warmteafvoer door zweetverdamping	[W]
P_{av}	= met ademhaling afgevoerde voelbare warmte	[W]
P_c	= convectief afgegeven warmte	[W]
P_s	= door straling aan de omgeving afgegeven warmte	[W]
P_g	= door geleiding afgegeven warmte (meestal te verwaarlozen)	[W]

De verschillende posten in deze warmtebalans van de mens zijn afhankelijk van de volgende parameters:

- metabolisme, M [W/m^2], afhankelijk van de activiteit en bepalend voor de interne warmteproductie, H [W/m^2], samen met het mechanische rendement, η [-], van de uitwendige arbeid, W [W/m^2];
- warmteweerstand van de kleding, I_{cl} [$\text{m}^2 \text{K/W}$];
- luchttemperatuur, t_a [$^{\circ}\text{C}$], van belang bij de warmteafgifte door convectie en het voelbare warmteverlies bij de ademhaling;
- gemiddelde stralingstemperatuur, t_r [$^{\circ}\text{C}$], van belang bij de warmteafgifte door straling;
- lichtsnelheid, v_{ar} [m/s], bepalend voor de convectieve verliezen en de afgifte via de zweetverdamping aan het huid- en kledingoppervlak;
- partiële waterdampdruk, p_a [Pa], bepalend voor de verdampingsverliezen aan het huid- en kledingoppervlak en het latente warmteverlies bij de ademhaling.

Naast het in evenwicht zijn van de warmtebalans, moet volgens Fanger ook de zweetverdamping en de huidtemperatuur binnen bepaalde grenswaarden vallen. De statische warmtebalans is derhalve een functie van de volgende variabelen:

$$f(H, I_{cl}, t_a, t_r, p_a, v_{ar}, t_s, P_{sw}) = 0 \quad (5)$$

waarin:

$H, I_{cl}, t_a, t_r, p_a, v_{ar}$ = zie hierboven
 t_s = gemiddelde huidtemperatuur [°C]
 P_{sw} = warmteverlies door verdamping van transpiratievocht per m² lichaamsoppervlak [W/m²]

Voor de huidtemperatuur en de zweetverdamping voor personen die zich thermisch behaaglijk voelen, heeft hij empirische relaties opgesteld. Deze waarden zijn afhankelijk van de interne warmteproductie.

$$t_s = f(H) \quad (6) \quad \text{en}$$

$$P_{sw} = f(H) \quad (7)$$

Op basis van vergelijking (5), (6) en (7) stelde Fanger een behaaglijkeidsvergelijking op met zes variabelen:

$$f(H, I_{cl}, t_a, t_r, p_a, v_l) = 0 \quad (8)$$

Met deze vergelijking is het mogelijk om voor elk metabolisme en voor elke warmte weerstand van de kleding een combinatie van luchttemperatuur, gemiddelde stralingstemperatuur, luchtvochtigheid en relatieve luchtsnelheid te vinden die een thermisch neutrale situatie oplevert voor een "gemiddelde" mens.

2.2.1.2 Voorspelde gemiddelde waardering (PMV)

De mate waarin van de evenwichtssituatie (8) wordt afgeweken (het verschil tussen interne warmteproductie en warmteverliezen van het lichaam) is een maat voor de thermische behaaglijkheid. Om deze thermische behaaglijkheid te kwantificeren worden verschillende schalen gebruikt, waarop personen hun gevoel van warmte kunnen aangeven. Fanger heeft hiervoor de ASHRAE schaal gebruikt, die is weergegeven in figuur 2.12.

3	+	heet
2	+	warm
1	+	enigszins warm
0	+	neutraal
-1	+	enigszins koel
-2	+	koel
-3	+	koud

Figuur 2.12: Schaal voor het toekennen van een getalwaarde aan een bepaalde waardering van het binnenklimaat

De gemiddelde waardering ($PMV = \text{Predicted Mean Vote}$) die een groep mensen aan de thermische kwaliteit van de omgeving toekent, kan voor een willekeurig klimaat worden voorspeld met een door Fanger, aan de hand van de resultaten van klimaatkameronderzoek met 1296 proefpersonen, opgestelde fysische vergelijking.

De PMV is een functie van de volgende variabelen:

$$PMV = f(M, W, t_a, t_r, p_a, t_{cl}, f_{cl}, h_c) \quad (9)^4$$

waarin:

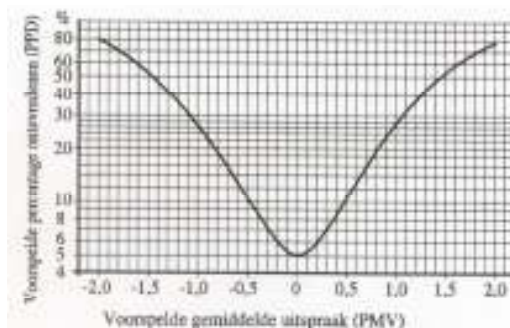
M = het metabolisme [W/m²]
 W = de verrichte uitwendige arbeid [W/m²]
 t_a = de luchttemperatuur [°C]
 t_r = de gemiddelde stralingstemperatuur [°C]
 p_a = de partiële waterdampdruk van de lucht [Pa]
 t_{cl} = de oppervlaktetemperatuur van de kleding [°C]
 $f_{cl} = f(M, W, I_{cl}, t_{cl}, t_a, t_r, h_c)$ (10)⁴
 I_{cl} = de intrinsieke warmte weerstand van de kleding [clo]
 f_{cl} = de verhouding tussen de buitenoppervlakte van de geklede mens en de oppervlakte van het ongeklede lichaam [-]
 h_c = warmte-overdrachtscoëfficiënt voor convectie [W/m²K]
 $h_c = f(t_{cl}, t_a, v_{ar})$ (11)⁴
 v_{ar} = relatieve luchtsnelheid [m/s]

2.2.1.3 Bepaling van het percentage ontevreden (PPD)

De PMV -waarde voorspelt de gemiddelde waardering van het binnenklimaat van een groep personen die zijn blootgesteld aan dezelfde binnencondities, hetzelfde metabolisme hebben en waarvoor dezelfde warmte weerstand van de kleding geldt. Ook in die situatie liggen de afzonderlijke uitspraken echter verspreid rond die gemiddelde waarde. Het is daarom nuttig om het aantal personen te voorspellen dat het thermische binnenklimaat als onbehaaglijk zal beoordelen.

⁴ Zie bijlage 1 voor de uitgeschreven formules en het toepassingsgebied

Fanger heeft een relatie ontwikkeld tussen de *PMV* en het percentage ontevreden personen, de *PPD* (*Predicted Percentage of Dissatisfied*). Dat wil zeggen het percentage dat heet (+3), warm (+2), koel (-2) of koud (-3) stemt. Deze relatie is weergegeven in figuur 2.13⁵. Deze curve blijkt symmetrisch te zijn en er is altijd een minimum van 5% van de mensen dat ontevreden is. Dit is een belangrijk gegeven voor de praktische toepassing: het beste klimaat zal altijd nog klachten opleveren.



Figuur 2.13: Het voorspelde percentage ontevreden (*PPD*)

Bij een, volgens berekening, thermisch neutrale toestand ($PMV = 0$) is volgens de definitie van ontevreden 95% van de mensen tevreden, maar slechts 55% stemt echt op comfortabel/neutraal (0). In tabel 2.1 is de stemverdeling bij de verschillende berekende waarden voor de *PMV* weergegeven.

Tabel 2.1: Verdeling van de stemmen bij verschillende waarden voor de <i>PMV</i>					
Berekende waarde	Percentage [%] van de mensen dat stemt met				PPD [%]
	0	-1 of +1	-2 of +2	-3 of +3	
$PMV = 0$	55	40	5	0	5
$PMV = -1$ of $+1$	27	48	20	5	25
$PMV = -2$ of $+2$	5	20	45	30	75

2.2.2 Ontstaan GTO-methode

Op basis van de inzichten verkregen uit het onderzoek van Fanger is door de toenmalige Rijks Geneeskundige Dienst in samenwerking met de Rijksgebouwendienst aan het eind van de jaren zeventig de temperatuuroverschrijding (TO) methode opgesteld om het thermische binnenklimaat van gebouwen te kunnen beoordelen. Voor die tijd werd er vrijwel uitsluitend gewerkt met lijntjes van aanbevolen binnen(lucht)temperaturen. De grenzen van een 'goed' binnenklimaat ($-0,5 < PMV < 0,5$) mogen volgens deze TO-methode maximaal gedurende 10% van de arbeidstijd worden overschreden. Dit komt er op neer dat 90% van de tijd 90% van de mensen tevreden is. Als ontwerpuitgangspunt bleef echter $PMV = 0$ gelden.

Ten grondslag aan deze methode liggen de gedachten dat indien de *PMV* naar +0,5 of -0,5 gaat, er, aangezien mensen zelf kunnen bijsturen door een jasje aan of uit te trekken, nog niets aan de hand is en dat het vaak onevenredig kostbare voorzieningen met zich meebrengt om in alle situaties aan het gewenste binnenklimaat te voldoen.

Voor de zomersituatie zijn deze algemene uitgangspunten door de Rijksgebouwendienst ten behoeve van ontwerpactiviteiten voor een kantoor situatie 'vertaald' naar de volgende toegelaten temperatuuroverschrijdingen, waarbij het buitenklimaat van het jaar 1964/65 als referentie geldt:

- 25°C mag maximaal 100 uur per jaar worden overschreden
- 28°C mag maximaal 20 uur per jaar worden overschreden

Bovendien moet aan de grenzen aan de plaatselijke onbehaaglijkheid door (koude)straling, grote temperatuurgradiënten, lage oppervlaktetemperaturen van de vloer en tocht worden voldaan.

De genoemde 100 uur is 10% van de arbeidstijd gedurende de zomermaanden. De genoemde 25°C is de op een heel getal afgeronde waarde van de temperatuur (25,5°C) die bij gemiddelde kantooromstandigheden⁶ hoort bij $PMV = +0,5$. De grens van 28°C komt overeen met $PMV = +1$.

In de tweede helft van de jaren tachtig ontstond bij de Rijksgebouwendienst het inzicht dat als voor alle typen gebouwen gebruik wordt gemaakt van dezelfde TO-criteria, het feitelijke aangeboden klimaat in, wat thermische massa betreft, 'lichte' gebouwen, aanmerkelijk slechter zou zijn dan in

⁵ Zie bijlage 1 voor de uitgeschreven formules

⁶ Zie bijlage 1 voor de gemiddelde kantooromstandigheden

'zware' gebouwen. Bij een geringe massa zal de gemiddelde temperatuur, en daarmee het aantal ontevreden personen, in het vertrek gedurende de overschrijdingsuren namelijk hoger zijn dan in een zwaar gebouw. Om het verschil in beoordeling van 'lichte' en 'zware' gebouwen te verminderen is door de Rijksgebouwendienst een criterium gebaseerd op 'gewogen overschrijdingsuren' ontwikkeld. Ook deze methode is gebaseerd op hetzelfde uitgangspunt dat 90% van de tijd 90% van de mensen tevreden is.

2.2.3 Gewogen TemperatuurOverschrijding (GTO) methode

Voor het in rekening brengen van de mate van overschrijding is de *PPD* van Fanger als maatstaf genomen. Voor de periode waarin een overschrijding van $PMV = +0,5$ ($PPD = 10\%$) plaatsvindt, wordt een weging⁷ toegepast die recht evenredig is met de toename van de *PPD*. Hierdoor wordt bijvoorbeeld één uur met 20% ontevreden twee keer zo zwaar meegeteld als een uur met 10% ontevreden.

Op basis van een aantal computersimulaties is vastgesteld dat voor een 'gemiddeld' gebouw de gemiddelde *PMV* bij een 100-urige overschrijding van de grenswaarde ($PMV = 0,5$), ca. $PMV = 0,7$ bedraagt. Bij deze waarde hoort een *PPD* van 15% en derhalve een weegfactor met een waarde van 1,5. De richtwaarde voor het aantal gewogen overschrijdingsuren dat een 'goed' binnenklimaat representeert is daarom op 150 gesteld. In het betreffende onderzoek van de Rijksgebouwendienst is aangetoond dat er een goede aansluiting is tussen het oude TO-criterium en het nieuwe GTO-criterium.

De Rijksgebouwendienst heeft dit criterium in de huidige 'Wettelijke Eisen en Richtlijnen RGD Bouwfysica' als volgt weergegeven:

Het samenspel van gebouw, gebouwinstallaties, regelingen en het te verwachten gebruik van het gebouw moet tijdens de gebruiksuren een binnenklimaat in verblijfsruimten met een kantoorfunctie bewerkstelligen zodanig dat de Predicted Mean Vote (*PMV*) ten minste -0,5 en ten hoogste +0,5 bedraagt.

- Voor verblijfsruimten met een kantoorfunctie wordt gedurende de zomerperiode een *PMV* groter dan +0,5 toegestaan tot een maximum van 150 GTO-uren.
- Gedurende de winterperiode is er een maximum toegestaan van 150 GTO-uren $PMV < -0,5$

Hierbij moet het buitenklimaat van het jaar 1964/65 als referentie worden genomen⁸.

Met de weegurenmethode kwam de mogelijkheid beschikbaar om de aanpassingen die de gebouwgebruikers in de kleding en luchtsnelheid zullen doen als reactie op hogere binnentemperaturen, in de beoordeling te betrekken. In de onderliggende studie van de Rijksgebouwendienst is aangenomen dat boven bepaalde binnentemperaturen de warmteweerstand van de kleding afneemt. Ook wordt bij hogere binnentemperaturen voor gebouwen met te openen ramen een hogere luchtsnelheid ingevoerd.

Op deze wijze is het in beginsel mogelijk voor alle gebouwen een uniforme richtwaarde van 150 weeguren aan te houden. Omdat mensen in geheel gesloten gebouwen en centrale temperatuurregeling kritischer zijn op het thermische binnenklimaat werd het echter aangeraden om bij geheel gesloten gebouwen strenger te zijn bij het toetsen aan de richtwaarde.

Aangaande dit laatste aspect wordt door de Rijksgebouwendienst in de huidige 'Wettelijke Eisen en Richtlijnen RGD Bouwfysica' [40] het volgende criterium gehanteerd: 'Voor gebouwen met 'niet vrijelijk te openen' ramen of een gesloten gevel, dient een operationele temperatuur van 25,5°C niet te worden overschreden tot een maximum buitentemperatuur van 28°C'.

2.3 Hypothesen ter vergelijking van de ATG- en de GTO-methode

In de vorige twee paragrafen zijn de ATG- en de GTO-methode afzonderlijk besproken. In deze paragraaf worden beide methoden met elkaar vergeleken. De verschillen die naar voren komen zijn weergegeven in tabel 2.2.

⁷ Zie bijlage 1 voor de formule van de weegfactor

⁸ Zie bijlage 1 voor de te hanteren uitgangspunten bij de behaaglijkheidsberekeningen

Tabel 2.2: Verschillen tussen ATG- en GTO-methode	
GTO-methode	ATG-methode
Geen onderscheid tussen gebouwen met en zonder gebruikersinvloed	Wel onderscheid tussen gebouwen met en zonder gebruikersinvloed
Eén kwaliteitsklasse	Drie kwaliteitsklassen
Toetsing aan PMV-waarde	Toetsing aan temperatuurgrens, welke afhankelijk is van de optredende buitentemperaturen
150 gewogen overschrijdingsuren toegestaan	Geen overschrijdingsuren toegestaan
Gebaseerd op klimaatkameronderzoek	Gebaseerd op veldonderzoek

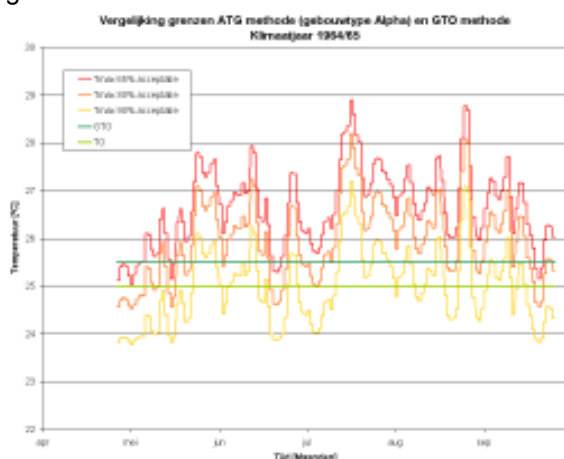
Aan de hand van deze verschillen zijn er een aantal hypothesen met betrekking tot de vergelijking tussen de ATG-methode en de GTO-methode, opgesteld. Deze hypothesen zijn:

1. De ATG-methode sluit beter aan bij de oordelen van de personen dan de GTO-methode

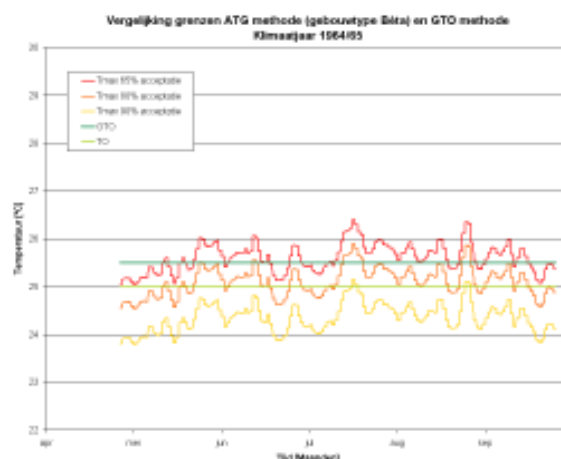
Doordat de ATG-methode is gebaseerd op veldonderzoek, en niet, zoals de GTO-methode, op klimaatkameronderzoek, is de verwachting dat de ATG-methode in de praktijk beter aansluit bij de oordelen van de personen. Deze verwachting wordt ondersteund doordat de ATG-methode onderscheidt maakt in gebouwen met en in gebouwen zonder mogelijkheden tot beïnvloeding door de gebruiker.

2. De ATG-methode is minder streng dan de GTO-methode

Gebouwen moeten met beide methoden getoetst worden aan het klimaatjaar 1964/1965. Indien gekeken wordt naar de toegestane operationele binnentemperaturen voor dit klimaatjaar wordt verwacht dat de ATG-methode (voor gebouwen van klimaattype Alpha) minder streng is dan de GTO- en de TO-methode. De grenzen aan de toegestane operationele binnentemperaturen zijn in figuur 2.14 en figuur 2.15 voor de verschillende kwaliteitsklassen van respectievelijk gebouwtype Alpha en gebouwtype Bèta weergegeven voor dit referentiejaar. Ook is de grens voor de TO- en de GTO-methode in deze figuren opgenomen. Hierbij is voor de GTO-methode, uitgaande van gemiddelde kantooromstandigheden, aangenomen dat $PMV = +0,5$ overeenkomt met een operationele binnentemperatuur van $25,5^{\circ}\text{C}$. Van de TO-methode is alleen de 25°C grens opgenomen.



Figuur 2.14: Vergelijken grenzen ATG-methode (klimaattype Alpha) en GTO-methode klimaatjaar 1964/65



Figuur 2.15: Vergelijken grenzen ATG-methode (klimaattype Bèta) en GTO-methode klimaatjaar 1964/65

Duidelijk is te zien dat bij de ATG-methode, met name voor het gebouwtype Alpha, voor het grootste deel van de zomerperiode een hogere grenswaarde mag worden aangehouden dan bij de GTO- en de TO-methode. Hierbij moet wel bedacht worden dat de GTO-methode 150 gewogen overschrijdingsuren en de TO methode 100 overschrijdingsuren toestaat, terwijl bij de ATG-methode geen overschrijdingsuren mogen optreden.

In tabel 2.3 is het aantal werkuren weergegeven dat de ATG-methode hogere temperaturen toelaat dan de GTO- en de TO-methode. Het totaal aantal werkuren in de zomerperiode bedraagt 880 uur (22 weken, 5 werkdagen per week, 8 werkuren per dag).

Tabel 2.3: Aantal dagen/uren dat de ATG-methode hogere operationele binnentemperaturen toelaat dan de GTO- en de TO-methode. Totaal 880 werkuren in de zomerperiode.						
Gebouwtype Kwaliteitsklasse	Alpha			Bèta		
	90%	80%	65%	90%	80%	65%
Aantal uren hoger dan 25,5	216	616	784	0	72	528
Aantal uren hoger dan 25,0	424	744	880	16	528	880

Er blijkt dat voor gebouwen van het klimaattype Alpha het aantal uur dat de binnentemperatuur volgens de grenzen van de ATG-methode boven 25,5°C mag komen, aanzienlijk groter is dan de toegestane 150 gewogen overschrijdingsuren volgens de GTO-methode. Ook de 25°C-grens mag beduidend vaker dan 100 uur, overeenkomstig de TO-methode, worden overschreden. Voor gebouwen van het Bèta type zijn met de ATG-methode eveneens meer dan 100 overschrijdingsuren van de 25°C-grens toegestaan, maar is het aantal uur dat de binnentemperatuur boven de 25,5°C mag komen kleiner dan 150 gewogen uren.

Aan de hand hiervan wordt het vermoeden uitgesproken dat de ATG-methode, voor het geval het gebouw van het Alpha-type is, minder streng is dan de GTO-methode. Voor gebouwen van het Bèta-type moet onderscheid worden gemaakt in twee soorten. Gebouwen met een gesloten gevel, waarvoor in de 'Wettelijke Eisen en Richtlijnen RGD Bouwfysica' het in de vorige paragraaf weergegeven criterium is opgenomen, en Bèta gebouwen met te openen gevel. Voor het eerste type gebouw wordt eveneens verwacht dat de ATG-methode minder streng is dan de GTO-methode, voor het tweede type gebouw wordt echter het tegenovergestelde verwacht.

3. De ATG-methode is constanter voor verschillende klimaatjaren dan de GTO-methode

Uit verschillende studies (waaronder [39]) komt duidelijk naar voren dat het aantal optredende gewogen overschrijdingsuren met de GTO-methode zeer sterk kan variëren voor verschillende klimaatjaren. Doordat bij de ATG-methode de grenswaarde voor de binnentemperatuur afhankelijk is van de buitentemperatuur, wordt verondersteld dat de beoordelingen van een gebouw voor verschillende klimaatjaren beter overeenkomen dan met de GTO-methode.

4. De ATG-methode is beter communiceerbaar dan de GTO-methode

Doordat het voor het begrijpen van de GTO-methode benodigd is enige kennis te hebben van het onderzoek van Fanger is de communiceerbaarheid van deze methode in de praktijk niet optimaal. De ATG-methode vereist daarentegen geen verdere voorkennis, en derhalve is de verwachting dat de communiceerbaarheid aanzienlijk beter is.

5. De ATG-methode is beter te toetsen in de praktijk dan de GTO-methode

Bij toetsing aan de ATG-methode geldt dat indien de operationele binnentemperatuur de grenswaarde behorende bij een bepaalde kwaliteitsklasse overschrijdt, het vertrek in een lagere kwaliteitsklasse ingedeeld moet worden. Hierdoor is het, volgens ISSO publicatie 74, niet noodzakelijk om de meetresultaten over een korte periode (één à twee weken) te 'vertalen' naar een heel zomerhalfjaar om het aantal overschrijdingsuren te kunnen beoordelen. Een kortdurende meting zou voldoende gegevens moeten leveren om een uitspraak te kunnen doen met betrekking tot het wel of niet voldoen van het gebouw aan de gevraagde prestatie. Hierbij wordt in de ISSO publicatie de voorwaarde gegeven dat de gewogen gemiddelde buitentemperatuur in de meetperiode niet hoger mag zijn dan 22°C.

Bij de GTO-methode is het daarentegen noodzakelijk om een geheel zomerhalfjaar te meten, aangezien gedurende deze periode 150 gewogen overschrijdingsuren mogen optreden. Hierdoor wordt verwacht dat de ATG-methode in de praktijk beter is te toetsen.

Hoofdstuk 3 Veldonderzoek zomer 2005

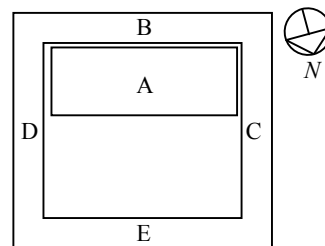
Om de nieuwe ATG-methode in de praktijk te kunnen toetsen en te vergelijken met de GTO-methode is in de zomer van 2005 een veldonderzoek in vier gebouwen van de Raad van de Rechtspraak uitgevoerd. Het veldonderzoek wordt daarnaast gebruikt om data te verzamelen voor het grotere onderzoek van de Technische Universiteit Delft ter bepaling van de exacte ligging van de grenslijnen van de ATG-methode. In dit hoofdstuk worden deze vier gebouwen en de metingen besproken.

3.1 Onderzochte gebouwen

De vier gebouwen van de Raad van de Rechtspraak betreffen de gebouwen van het Paleis van Justitie te 's-Hertogenbosch, van de Rechtbank te Haarlem, van het Openbaar Ministerie te Arnhem en van de Rechtbank te Middelburg. In deze paragraaf worden de eigenschappen van deze gebouwen globaal toegelicht. Een nadere omschrijving van de eigenschappen en de onderzochte vertrekken is te vinden in bijlage 2.

3.1.1 Paleis van Justitie te 's-Hertogenbosch

Het gebouw van het Paleis van Justitie bestaat uit een los deel voor de zittingzalen (deel A) en een serie marktconforme kantoren. De architecten hebben er in dit geval voor gekozen de kantoren in carrévorm te bouwen en een deel van de zo ontstane binnenruimte te benutten voor het, in architectonisch opzicht, van de kantoorvleugels afwijkende zalencomplex. Het gebouw is sinds 1998 in gebruik en bevindt zich in goede staat. Het heeft een bruto vloeroppervlak van 48400 m² en er werken circa 1200 personen.



Figuur 3.1: Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch. Maquette en schematische plattegrond.

Het onderzoek is uitgevoerd in tien, door het gebouw verspreid liggende, vertrekken in de periode van 7 juli 2005 tot en met 12 augustus 2005 (5 weken).

Eigenschappen vertrekken

Een standaard tweepersoonsvertrek is 3,6m breed, 5,4m diep en 2,7m hoog (afstand tussen vloer en verlaagd (thermisch open) plafond). Per stramien van 3,6m zijn twee ramen aanwezig (glaspercentage circa 26%). Beide ramen kunnen geopend worden in de ventilatiestand: de zgn. kiepstand. Ook wanneer het buiten koel is kan deze stand gebruikt worden voor extra ventilatie van het vertrek zonder gevaar voor tocht. Daarnaast kan één van beide ramen per stramien volledig (om horizontale as) geopend worden. Het betreft ramen met HR dubbel glas met automatisch bediende buitenzonwering in de vorm van screens ($U=1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$; $ZTA = 0,67$; $LTA = 0,70$; $ZTA \text{ incl. zonwering} = 0,15$). Tevens is er aan de binnenzijde lichtwering aanwezig.

De constructie van het gebouw bestaat uit zware betonnen (kanaalplaat) vloeren, een zware buitengevel, en lichte tussen- en gangwanden. De Specifiek werkzame massa⁹ is circa 60 kg/m².

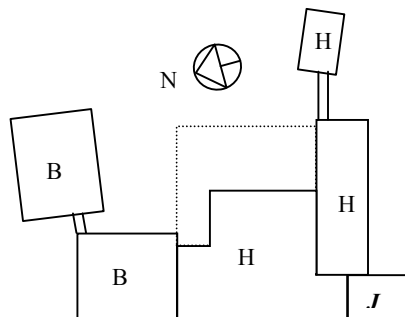
De kantoren worden mechanisch geventileerd waarbij geen gebruik wordt gemaakt van mechanische koeling. Er wordt altijd gefilterde, verse buitenlucht ingeblazen (geen recirculatie). Indien nodig wordt de ingeblazen lucht verwarmd tot ruimtetemperatuur. In een vertrek op een tussenverdieping is het ventilatievoud 3,5 1/h (180 m³/h). De ventilatielucht wordt ingebracht via inblaasroosters en afgevoerd via het plenum boven het thermisch open plafond. Tijdens de warme perioden draait de mechanische ventilatie 's avonds en 's nachts door (zomernachtventilatie). Het ventilatiedebiet is dan gelijk aan overdag. Het hier omschreven ventilatiesysteem kan door de gebruikers niet op vertrekniveau worden beïnvloed. Indien gewenst kan extra ventilatie worden bereikt door het openzetten van een raam.

In de kantoorruimten is een daglichtafhankelijke energiezuinige lichtregeling geïnstalleerd: het zogenaamde Heliosysteem. Verder zijn onder de ramen radiatoren aangebracht die zijn voorzien van een thermostaatknop.

⁹ Formule voor bepalen Specifiek Werkzame Massa (SWM) is weergegeven in bijlage 3

3.1.2 Rechtbank Haarlem

Het Haarlems gerechtsgebouw is tussen 1888 en 1890 gebouwd. Bij de verbouwing tussen 1983 en 1987 is het gerechtsgebouw opgenomen in de nieuwe en veel grotere Arrondissementsrechtbank Jansstraat 77-85. Daarbij is van het oorspronkelijke gebouw alleen de voorgevel behouden. De nieuwbouw heeft een grijsgroene aluminium vliesgevel. Het gebouw heeft een bruto vloeroppervlak van 11800 m² en er zijn circa 280 personen in loondienst.



Figuur 3.2: Rechtbank Haarlem. Foto gebouw en schematische plattegrond.

Het onderzoek is uitgevoerd in acht, door het gebouw verspreid liggende, vertrekken in de periode van 7 juli 2005 tot en met 12 augustus 2005 (5 weken).

Eigenschappen vertrekken

In de gebouwen is een groot aantal verschillende type vertrekken aanwezig, waarvan met name de afmetingen en de hoeveelheid glas variëren. In de vertrekken zijn ramen aanwezig welke, met uitzondering van kamers op de begane grond en de eerste verdieping aan de straatzijde (westelijke gevel), geopend kunnen worden. Het betreft ramen met dubbel glas met handmatig te bedienen buitenzonwering in de vorm van screens ($U=3,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $ZTA = 0,70$, $LTA = 0,74$, $ZTA \text{ incl. zonwering} = 0,21$). Tevens is er aan de binnenzijde lichtwering (lamellen) aanwezig. De kamers aan de straatzijde zijn niet voorzien van zonwering.

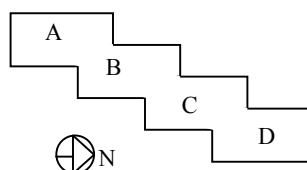
De constructie van het grootste deel van het gebouw bestaat uit zware betonnen vloeren, een zware buitengevel, en lichte tussen- en gangwanden. De Specifiek werkzame massa is circa 62 kg/m².

De kantoren worden mechanisch geventileerd waarbij geen gebruik wordt gemaakt van mechanische koeling. Wel is in een aantal kamers een split-unit aangebracht. In elk vertrek wordt verse lucht (geen recirculatie) ingeblazen via de inblaasroosters in het verlaagd plafond aan de gevelzijde en deze verdwijnt uiteindelijk weer via de verlichtingsarmaturen; de ruimte boven het plafond (het 'plenum') wordt afgezogen. Indien nodig wordt de ingeblazen lucht verwarmd tot ruimtetemperatuur. Het hier omschreven ventilatiesysteem, afgezien van de split-units, kan door de gebruikers niet op vertrekniveau worden beïnvloed. Indien gewenst kan extra ventilatie worden bereikt door het openzetten van een raam.

In de kantoorruimten moet de verlichting door de bewoners worden bediend. Deze verlichting heeft alleen de aan/uit stand. Verder zijn onder de ramen radiatoren aangebracht die zijn voorzien van een thermostaatknop.

3.1.3 Openbaar Ministerie Arnhem

Het gebouw van het Openbaar Ministerie heeft een betonnen draagconstructie en is bekleed met grindbetonnen gevelplaten. Het gebouw is opgedeeld in vier ten opzichte van elkaar verspringende delen van vier bouwlagen, waardoor een zigzaggende rooilijn ontstaat. Het gebouw is in 1969 gebouwd voor het Ministerie van Financiën, maar zeer recent volledig gerenoveerd. In 2005 is het gerenoveerde gebouw door het Openbaar Ministerie in gebruik genomen. Het heeft een bruto vloeroppervlak van 12550 m².



Figuur 3.3: Openbaar Ministerie Arnhem. Foto gebouw en schematische plattegrond.

Het onderzoek is uitgevoerd in tien, door het gebouw verspreid liggende, vertrekken in de periode van 31 augustus 2005 tot en met 7 oktober 2005 (5½ weken).

Eigenschappen vertrekken

Een standaard tweepersoonsvertrek is 3,9m breed, 5,4m diep en 2,7m hoog (afstand tussen vloer en plafond). In de gevel is per verdieping een horizontale strook glas toegepast (glaspercentage 49%), waarin er per vertrek minimaal één te openen paneel (om horizontale as) aanwezig is. Het betreft HR++ glas met automatisch bediende buitenzonwering in de vorm van screens ($U=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $ZTA = 0,64$, $LTA = 0,79$, $ZTA \text{ incl. zonwering} = 0,15$). Tevens is er aan de binnenzijde lichtwering aanwezig. De constructie van het gebouw bestaat uit zware betonnen vloeren, een zware buitengevel, en lichte tussen- en gangwanden. De Specifiek werkzame massa is circa 62 kg/m^2 .

De kantoren worden mechanisch geventileerd waarbij de ingeblazen lucht middels koeling wordt geconditioneerd. Er wordt altijd gefilterde, verse buitenlucht ingeblazen (geen recirculatie). In een vertrek op een tussenverdieping is het ventilatievoud $2,5 \text{ l/h}$ ($160 \text{ m}^3/\text{h}$). De kantoren zijn voorzien van plafondinductieunits. Deze blazen de (gekoelde) lucht de ruimte in. De retourlucht wordt eveneens afgezogen via deze plafondeilanden. Indien gewenst kan extra ventilatie worden bereikt door het openzetten van een paneeltje in de gevel naast het raam.

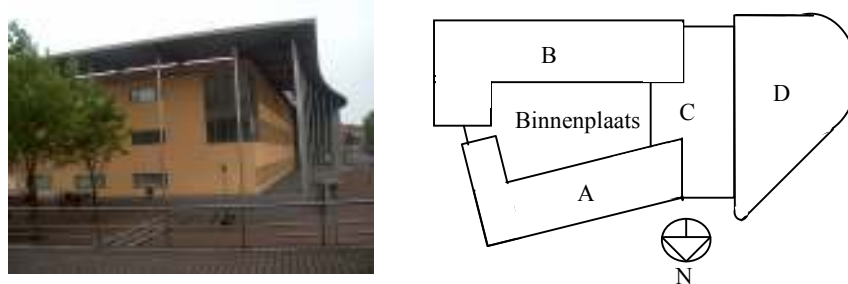
Per kamer is er een draaiknop aanwezig waarmee de bewoner van de kamer het temperatuursetpunt van die kamer met $\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ kunnen wijzigen. Indien nodig wordt de ingeblazen lucht gekoeld, dan wel voorverwarmd. Tevens zijn er in de ruimtes stralingspanelen onder de ramen aanwezig, waarmee de ruimte verwarmd kan worden.

Verder is in de kantoorruimten aan de raamzijde een daglichtafhankelijke energiezuinige lichtregeling geïnstalleerd. Aan de gangkant heeft de verlichting alleen de aan/uit stand. De verlichting gaat aan wanneer middels aanwezigheidsdetectie beweging wordt waargenomen. De bewoners hebben niet de mogelijkheid zelf de verlichting te regelen of aan/uit te zetten.

3.1.4 Rechtbank Middelburg

Het gebouw van de Rechtbank bestaat uit een los deel voor de zittingzalen (deel D) en een serie marktconforme kantoren (Deel A en B). Een groot atrium (Deel C) met 'structural glazing' vormt de centrale entree tot het complex en is het scharnierpunt tussen de kantoren en het zalencomplex. Het kantoorgedeelte bestaat uit twee L-vormige delen met drie bouwlagen. Deze delen omsluiten samen met het atrium een binnenplaats.

Het gebouw is sinds 1995 in gebruik en bevindt zich in goede staat. Het heeft een bruto vloeroppervlak van 9000 m^2 en er werken circa 250 personen.



Figuur 3.4: Openbaar Ministerie Arnhem. Foto gebouw en schematische plattegrond.

Het onderzoek is uitgevoerd in tien, door het gebouw verspreid liggende, vertrekken in de periode van 20 augustus 2005 tot en met 4 oktober 2005 (6 weken). Van deze tien vertrekken zijn er twee gesitueerd in de A-vleugel, drie in de B-vleugel en vijf in de D-vleugel.

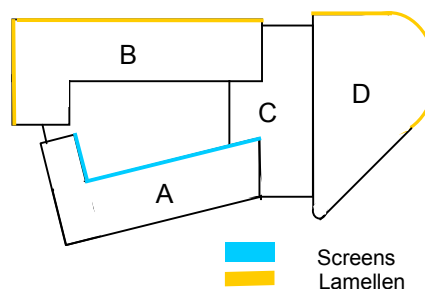
Eigenschappen vertrekken

Een standaard tweepersoonsvertrek in deel A en B is 3,6m breed, 5,4m diep en 2,7m hoog (afstand tussen vloer en verlaagd (thermisch open) plafond). Per stramien van 3,6m zijn twee ramen aanwezig (glaspercentage circa 23%). Beide ramen kunnen geopend worden in de ventilatiestand: de zgn. kiepstand. Ook wanneer het buiten koel is kan deze stand gebruikt worden voor extra ventilatie van het vertrek zonder gevaar voor tocht. Daarnaast kan één van beide ramen per stramien volledig (om horizontale as) geopend worden. Het betreft ramen met getint dubbel glas met handmatig te bedienen buitenzonwering in de vorm van screens of lamellen, zie figuur 3.5 ($U=3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$; $ZTA = 0,43$; $LTA = 0,62$; $ZTA \text{ incl. zonwering} = 0,15$ (lamellen) / $0,20$ (screens)). Tevens is er aan de binnenzijde lichtwering aanwezig.

De constructie van het gebouw bestaat uit zware betonnen (kanaalplaat) vloeren, een zware buitengevel, en lichte tussen- en gangwanden. De Specifiek werkzame massa is circa 60 kg/m².

De kantoren worden mechanisch geventileerd waarbij de ingeblazen lucht middels koeling wordt geconditioneerd (koeling in deel A en B sinds juli 2005). Er wordt altijd gefilterde, verse buitenlucht ingeblazen (geen recirculatie). Het ventilatievoud in de vertrekken bedraagt 3,0 1/h (150 m³/h). De ventilatielucht wordt ingebracht via inblaasroosters en afgevoerd via het plenum boven het thermisch open plafond. Het hier omschreven ventilatiesysteem kan door de gebruikers niet op vertrekniveau worden beïnvloed. Indien gewenst kan extra ventilatie worden bereikt door het openzetten van een raam (zgn. spuiventilatie).

In het gebouwdeel met de zittingzalen (deel D) is sinds de oplevering mechanische koeling aanwezig. De kantoorvertrekken in dit deel hebben een thermisch dicht plafond en aanvullend kan middels minimaal één te openen ventilatieklep in de gevel per vertrek buitenlucht direct naar binnen worden gelaten. Verder zijn onder de ramen radiatoren aangebracht die zijn voorzien van een thermostaatknop en heeft de verlichting, die door de gebruiker kan worden bediend, alleen de aan/uit stand.

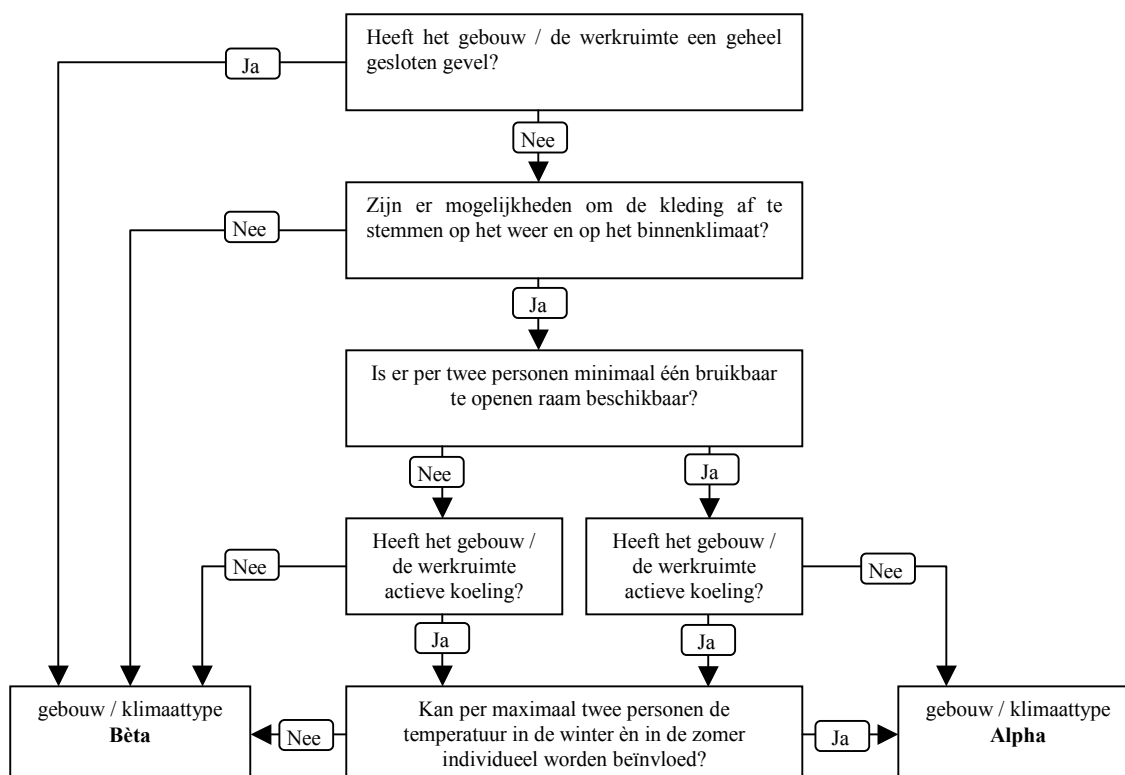


Figuur 3.5: Toegepaste zonwering
Rechtbank Middelburg

3.1.5 Indeling vertrekken in klimaattypen

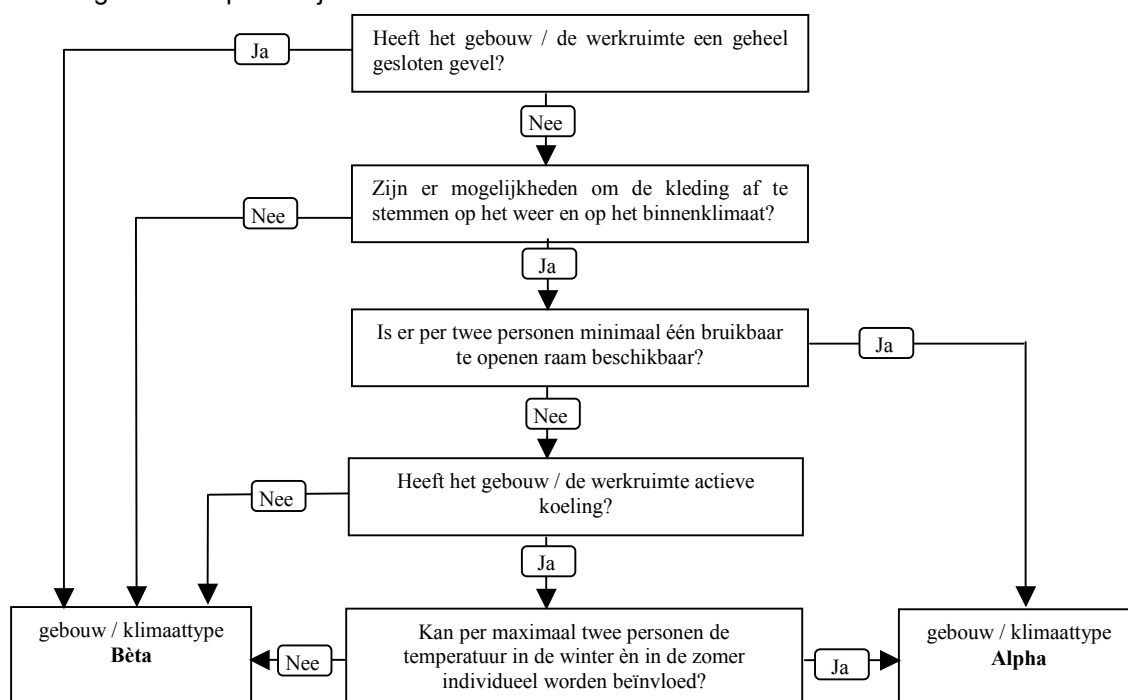
Bij de beoordeling van een vertrek met de ATG-methode wordt, zoals reeds is aangegeven in hoofdstuk 2.1.1, onderscheid gemaakt tussen twee klimaattypen: Alpha en Bèta. De gebruikers van een gebouw van het Alpha-type hebben goede mogelijkheden om het binnenklimaat individueel te beïnvloeden en om de ramen te openen. Gebruikers van gebouwen van het Bèta-type hebben deze mogelijkheden niet of in mindere mate.

Om te bepalen tot welk type een vertrek behoort kan gebruik worden gemaakt van het keuzeschema (figuur 3.6) dat in ISSO publicatie 74 op bladzijde 57 is weergegeven (zie ook blz. 11).



Figuur 3.6: Bepaling van het gebouw/klimaattype van een gebouw of ruimte, afhankelijk van de adaptatiemogelijkheden (volgens ISSO publicatie blz. 74)

In deze publicatie is daarnaast echter op bladzijde 16 een keuzeschema (figuur 3.7) opgenomen, dat niet volledig met die op bladzijde 57 overeenkomt.



Figuur 3.7: Bepaling van het gebouw/klimaattype van een gebouw of ruimte, afhankelijk van de adaptatiemogelijkheden (volgens ISSO publicatie blz. 16)

In tabel 3.1 tot en met 3.4 zijn de indelingen van de kamers in klimaattypen volgens beide keuzeschema's weergegeven. De bijbehorende antwoorden per kamer op de vragen uit het keuzeschema zijn in bijlage 2 weergegeven. Tevens is een indeling opgenomen op basis van het wel (Bèta) of niet (Alpha) aanwezig zijn van actieve koeling, een vereenvoudiging van de classificatie volgens Brager & De Dear (B&dD).

Kamer	B&dD	ISSO74 blz.16	ISSO74 blz.57
B1.12	Alpha	Alpha	Alpha
B1.48	Alpha	Alpha	Alpha
B.1.56	Alpha	Alpha	Alpha
B3.46	Alpha	Alpha	Alpha
C1.50	Alpha	Alpha	Alpha
C3.38	Alpha	Alpha	Alpha
D0.42	Alpha	Alpha	Alpha
D2.40	Alpha	Alpha	Alpha
D5.10	Alpha	Alpha	Alpha
E3.51	Alpha	Alpha	Alpha

Kamer	B&dD	ISSO74 blz.16	ISSO74 blz.57
EU0027	Bèta	Bèta	Bèta
EU0043	Bèta	Bèta	Bèta
EU0063	Bèta	Bèta	Bèta
EU1015	Bèta	Alpha	Alpha
EU1053	Bèta	Alpha	Alpha
EU1072	Bèta	Alpha	Alpha
EU2035	Bèta	Alpha	Alpha
EU3002	Bèta	Alpha	Bèta
EU3050	Bèta	Alpha	Bèta
EU3064	Bèta	Alpha	Alpha

Kamer	B&dD	ISSO74 blz.16	ISSO74 blz.57
B1.04	Alpha	Alpha	Alpha
B1.07	Alpha	Alpha	Alpha
B1.10	Alpha	Alpha	Alpha
B3.03	Bèta	Alpha	Alpha
H0.19	Bèta	Bèta	Bèta
H1.21	Alpha	Alpha	Alpha
H2.02	Alpha	Bèta	Bèta
H2.06	Bèta	Bèta	Bèta
H2.19	Alpha	Alpha	Alpha

Kamer	B&dD	ISSO74 blz.16	ISSO74 blz.57
A006	Bèta	Alpha	Bèta
A205	Bèta	Alpha	Bèta
B005	Bèta	Alpha	Bèta
B215	Bèta	Alpha	Bèta
B216	Bèta	Alpha	Bèta
D041	Bèta	Alpha	Bèta
D042	Bèta	Alpha	Bèta
D043	Bèta	Alpha	Bèta
D157	Bèta	Bèta	Bèta
D226	Bèta	Alpha	Bèta

Er blijkt dat de twee keuzeschema's uit ISSO publicatie 74 niet steeds tot dezelfde indeling leiden. Dit is het geval voor kamers met actieve koeling die niet per maximaal twee personen te beïnvloeden is en waarin per twee personen minimaal één raam te openen is. Daarnaast bestaat er, zoals verwacht, een verschil met de indeling op basis van alleen het wel of niet aanwezig zijn van actieve koeling.

Dat er nog geen consensus bestaat omtrent de indeling van de kamers in het Alpha- dan wel het Bèta-type volgt uit het feit dat de keuzeschema's in ISSO publicatie 74 zijn opgesteld op basis van de achterliggende gedachte om deze twee klimaattypen te hanteren en niet op basis van onderzoeksgegevens.

De achterliggende gedachte is dat gebruikers van gebouwen met goede mogelijkheden voor individuele beïnvloeding van het binnenklimaat (type Alpha) hogere temperaturen in de zomer comfortabel vinden dan gebruikers van gebouwen met weinig mogelijkheden voor individuele beïnvloeding (type Bèta). Dit verschil berust met name op de grotere mogelijkheden voor adaptatie, onder andere door de mogelijkheid om de luchtbeweging in de vertrekken te vergroten door het openen van ramen (gedragmatige adaptatie), maar ook op het verschil in de verwachting die de gebouwgebruiker van het binnenklimaat heeft (psychologische adaptatie). Welke vorm van adaptatie de grootste invloed heeft op de thermische sensatie van de mens is nog niet duidelijk. Mede hierdoor is er nog geen eenduidige verdeling tussen de twee klimaattypen vastgesteld.

Het is echter van groot belang dat deze consensus in de toekomst wel wordt gevonden, aangezien het klimaatype bepalend is voor de eis die aan het vertek wordt gesteld. Hierbij is de eis voor vertrekken van klimaatype Bèta aanzienlijk strenger dan die voor Alpha-vertrekken (dit wordt in paragraaf 5.4.3 nader beschouwd).

3.2 De metingen

3.2.1 Te meten parameters

Voor het beoordelen van het thermisch binnenklimaat in een gebouw volgens de GTO-methode is het nodig dat de PMV bekend is. Zoals in paragraaf 2.2.1.2 is aangegeven kan de PMV berekend worden aan de hand van de volgende parameters:

- Luchttemperatuur [°C]
- Gemiddelde stralingstemperatuur [°C]
- Relatieve vochtigheid [%]
- Luchtsnelheid [m/s]
- Kledingisolatie [clo]
- Metabolisme [met]

Voor het beoordelen van het thermisch binnenklimaat aan de hand van de ATG-methode is de lijst benodigde parameters aanzienlijk korter:

- Operatieve temperatuur [°C]
- Gewogen gemiddelde buitentemperatuur [°C]

Voorwaarden beoordelen gebouw middels ATG- en GTO-methode

Bij het beoordelen van gebouwen heeft het kijken naar de algemene thermische behaaglijkheid alleen maar zin als aan een aantal factoren ter beperking van plaatselijke onbehaaglijkheid is voldaan. De RGD geeft daartoe in de Wettelijke Eisen en Richtlijnen RGD Bouwfysica een aantal voorschriften.

In de verblijfszone van een verblijfsruimte, bestemd voor lichte, zittende activiteiten, moet gedurende de gebruikstijd in zowel de winter- als zomerperiode worden voldaan aan de volgende condities:

- het luchttemperatuurverloop over de hoogte, tussen 1,1m en 0,1m boven de vloer (niveau hoofd en niveau van de enkels), moet kleiner zijn dan 3°C (conform NEN ISO 7730);
- de oppervlaktetemperatuur van de vloer moet liggen tussen 19°C en 26°C;
- de horizontale stralingsasymmetrie ten gevolge van koude verticale oppervlakken moet kleiner zijn dan 10°C (ten opzichte van een klein verticaal vlak, 0,6m boven de vloer);
- de verticale stralingsasymmetrie ten gevolge van een (ver)warm(d) plafond moet kleiner zijn dan 5°C (ten opzichte van een klein horizontaal vlak, 0,6m boven de vloer);
- voor de winterperiode moet de gemiddelde luchtsnelheid kleiner zijn dan 0,15 m/s bij een maximum operatieve temperatuur van 24°C;
- voor de zomerperiode moet de gemiddelde luchtsnelheid kleiner zijn dan 0,25 m/s bij een maximum operatieve temperatuur van 26°C (bij geopende ramen of deuren voor warmte-afvoer geldt deze eis niet);
- De relatieve vochtigheid moet ten minste 30% bedragen of bij vorst moet de absolute luchtvochtigheid binnen gelijk zijn aan die van de buitenlucht.

Om de relatie tussen de gewenste binnentemperatuur en de (gewogen gemiddelde) buitentemperatuur te kunnen onderzoeken zijn de volgende parameters benodigd:

- Operatieve temperatuur [°C]
- Gewogen gemiddelde buitentemperatuur [°C]
- Oordeel personen

Met deze parameters kan het binnenklimaat in het gebouw voor de meetperiode worden beoordeeld. Daarnaast is het van belang om het binnenklimaat te kunnen beoordelen voor het in de eisen opgenomen klimaatjaar (1964/1965). Hiertoe zijn simulaties uitgevoerd die in hoofdstuk 5 worden besproken. Hiervoor zijn enkele parameters benodigd die in de metingen moeten worden meegenomen:

- Inblaasttemperatuur [°C]
- Locale buitentemperatuur [°C]
- Luchtsnelheid buiten [m/s]
- Zonbelasting [W/m²]

Tevens moeten enkele eigenschappen van het gebouw en het gebruik worden geïnventariseerd:

- Opbouw constructie
- Afmetingen en type glas
- Interne warmtebronnen (personen/verlichting/apparatuur)
- Gebruik zon- en lichtwering
- Gebruik ramen en deuren (open/dicht)

3.2.2 Meetapparatuur

De parameters uit de vorige paragraaf zijn zoveel mogelijk in alle kamers continue gemeten. Door het gebrek aan meetapparatuur is het echter niet mogelijk dit voor alle parameters te doen. Daarnaast kunnen enkele parameters niet direct worden gemeten.

Dit laatste is het geval voor de gemiddelde stralingstemperatuur, de operatieve temperatuur, de kledingisolatie, het metabolisme en de omgevingsparameters. Deze parameters zijn in het veldonderzoek als volgt bepaald:

- De gemiddelde stralingstemperatuur is met behulp van een zwarte bol gemeten. Dit is één van de manieren die in NEN-ISO 7226 'Thermische binnencondities, instrumenten en methoden voor het meten van fysische omgevingsgrootheden' [33], worden aangegeven. Hiervoor is een temperatuursensor in een mat zwart geverfde pingpongbal (emissiecoëfficiënt = 0,95) aangebracht, waarmee de zogenaamde globetemperatuur continu wordt gemeten (zie ook ISSO-researchrapport 5 [26], blz. 35). Om de gemiddelde stralingstemperatuur uit de globetemperatuur te kunnen bepalen zijn ook de luchttemperatuur en de luchtsnelheid benodigd¹⁰. De vorm van de bol komt bij benadering overeen met de vorm van het menselijk lichaam in zittende toestand.
- De operatieve temperatuur moet worden bepaald uit de lucht- en de gemiddelde stralingstemperatuur (zie formule (1)).
- Met betrekking tot de kledingisolatie en het metabolisme is ervoor gekozen de deelnemers aan het onderzoek middels keuzelijsten in de enquête te laten opgeven welke kleding ze dragen en welke activiteit ze uitoefenen. In de enquête wordt daarnaast gevraagd naar het gebruik van enkele omgevingsfactoren, zoals de zon- en lichtwering, en de beoordeling van de deelnemers van het thermische binnenklimaat op het moment van invullen. De enquête wordt in de volgende paragraaf nader besproken.

De luchttemperatuur, de relatieve vochtigheid en de globetemperatuur zijn in alle kamers met dataloggers van het merk ATAL (zie figuur 3.8) elk kwartier geregistreerd. De datalogger meet intern de luchttemperatuur en de relatieve vochtigheid. De externe aansluiting is gebruikt voor een sensor die op de hierboven beschreven wijze de globetemperatuur meet.



Figuur 3.8: ATAL datalogger

¹⁰ Formule gemiddelde stralingstemperatuur is in bijlage 3 opgenomen

De sensoren zijn hierbij in een tweepersoonskamer zoveel mogelijk tussen de twee werkplekken gehangen. In figuur 3.9 is een standaard kamer weergegeven waarin de datalogger (grijs kastje) en de externe sensor (zwarte bol) op deze positie zijn opgehangen.

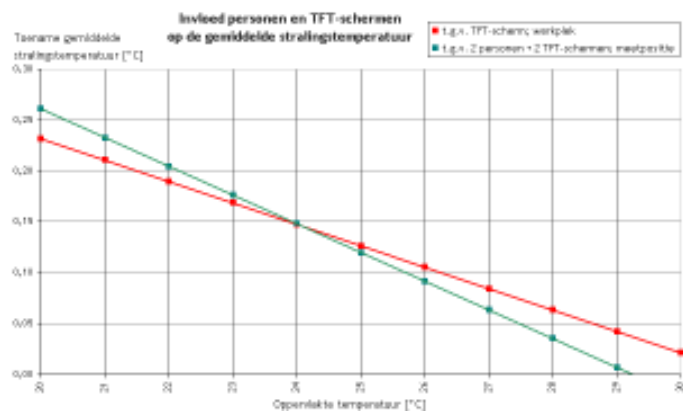


Figuur 3.9: Positie meetapparatuur

Er is voor gekozen de meetapparatuur op deze positie op te hangen, om zo goed mogelijk de waarden die gevonden zouden worden op de werkplek zelf, te benaderen. De metingen worden namelijk 'verstoorde' door de aanwezige personen. De personen die op de werkplek zitten stralen immers warmte, die zij zelf niet uit de omgeving ontvangen, uit naar de meetapparatuur. Hierdoor liggen de gemeten waarden van de stralingstemperatuur te hoog. Hiertegenover staat dat de personen op hun werkplek aanzienlijk meer straling ontvangen van de TFT-schermen dan de dataloggers op de meetpositie.

In figuur 3.10 is in het rood de toename van de gemiddelde stralingstemperatuur op de werkplek ten gevolge van een TFT-scherm weergegeven en de groene lijn geeft de toename van de gemiddelde stralingstemperatuur op de meetpositie ten gevolge van de aanwezige personen en TFT-schermen. Deze waarden volgen uit de voor dit onderzoek gemaakte analyse, waarvan de uitgangspunten zijn opgenomen in bijlage 3.

Er blijkt hieruit dat deze twee componenten elkaar zeer goed compenseren. Het ophangen van de meetapparatuur tussen de werkplekken in geeft derhalve een goede benadering van de waarden die op de werkplek gevonden zouden worden, wanneer de optredende verstoringen door de personen niet aanwezig zouden zijn.



Figuur 3.10: Invloed personen en TFT-schermen op gemeten gemiddelde stralingstemperatuur

Verder is in een aantal kamers elk kwartier de temperatuur van de inblaaslucht gemeten. Deze wordt bepaald door een externe sensor van de ATAL datalogger te gebruiken die in de inblaasroosters is aangebracht. Daarnaast is op een beschutte plek buiten de temperatuur en de relatieve vochtigheid gemeten.

Naast deze eigen metingen zijn bij het KNMI de volgende uurlijkse gegevens van de dichtstbijzijnde weerstations opgevraagd:

- buitentemperatuur (in 0,1°C);
- relatieve vochtigheid (in %);
- windrichting (in graden);
- gemiddelde windsnelheid (in 0,1 m/s);
- globale straling (in J/cm²);
- duur van de zonneschijn (in 0,1 uren);
- bedekkingsgraad van de hemel (in achtsten).

Het betreft hier de weerstations Schiphol (circa 15 km van Haarlem), Volkel (circa 25 km van 's-Hertogenbosch), Deelen (circa 10 km van Arnhem) en Vlissingen (circa 5 km van Middelburg).

In aanvulling op deze continue metingen zijn in de vier gebouwen momentane metingen uitgevoerd. Deze metingen zijn gebruikt om de parameters die door een gebrek aan voldoende meetapparatuur niet continu gemeten kunnen worden, zoals de luchtsnelheid, in kaart te brengen. Ook zijn deze dagen gebruikt om een goede algemene indruk van het gebouw en het gebruik te krijgen.

Tijdens deze metingen zijn de volgende parameters geregistreerd met behulp van de in figuur 3.11 weergegeven meetapparatuur:

- luchttemperatuur op de werkplek (0,1m, 0,6m, 1,1m en 2,2m) en op de positie van de datalogger;
- globetemperatuur onder de datalogger;
- luchtsnelheid (richtingonafhankelijk) ter plaatse van de datalogger;
- inblaastemperatuur;
- relatieve vochtigheid;
- oppervlaktetemperaturen;
- oordeel van de mensen over het thermisch binnenklimaat op dat moment;
- kledingpakket en activiteitsniveau van de personen;
- gebruik van de verlichting, de buiten zonwering, de lichtwering, het raam, de deur en de eventueel aanwezige ventilator. In Arnhem is tevens de instelling van het temperatuursetpunt per kamer genoteerd;
- buitentemperatuur;
- relatieve vochtigheid buiten.



Figuur 3.11: Meetapparatuur momentane metingen

Meetnauwkeurigheden

In NEN-ISO 7726 is een tabel opgenomen waarin de vereiste eigenschappen van de meetinstrumenten zijn opgenomen. In tabel 3.5 zijn de belangrijkste aspecten overgenomen.

Tabel 3.5: Eigenschappen van de meetinstrumenten			
grootheid	Meetbereik	nauwkeurigheid	
		vereist	gewenst
Luchttemperatuur	+10 tot +30°C	± 0,5 °C	± 0,2 °C
Gemiddelde stralingstemperatuur	+10 tot +40°C	± 2,0 °C	± 0,2 °C
Luchtsnelheid	0,05 tot 1 m/s	± 0,05 + 0,05 v _a m/s	± 0,02 + 0,07 v _a m/s
Absolute vochtigheid	0,5 tot 2,5 kPa	± 0,15 kPa	

De gebruikte meetapparatuur is geijkt en heeft de in tabel 3.6, door de fabrikant opgegeven, eigenschappen. Duidelijk is dat de apparatuur aan de eisen van de norm voldoet.

Tabel 3.6: Eigenschappen gebruikte meetapparatuur			
Parameter	Bereik	Nauwkeurigheid	
Continue meting			
Luchttemperatuur	-30 tot +70°C	±0,4°C	
Externe temperatuur sensor	-90 tot + 260°C	±0,4°C	(van -50 tot +100°C)
		±0,5%	(overig bereik)
Relatieve vochtigheid	0 tot 100% RV	±2,5%	(van 5 tot 95% RV)
		±0,5%	(vanaf +100°C)
handmeting			
Zwarte bol	0 tot 80°C	±1°C	volgens DIN 33 403
Relatieve vochtigheid	0 tot 100% RV	±2%	(van 2 tot 98% RV)
Luchttemperatuur	-20 tot 70°C	±0,1°C	(van -20 tot + 50°C)
		±0,2°C	(overig bereik)
Contact temperatuur	-200 tot +500°C	±0,2°C	(van -50 tot +200°C)
Luchtsnelheid	0.01 tot 1 m/s	±0,01 m/s	

3.2.3 Enquêtes

De enquête, die de deelnemers aan het onderzoek indien mogelijk twee maal per dag op de hiervoor opgezette internetsite (www.atg.tudelft.nl)¹¹ hebben ingevuld, bestaat uit een viertal onderdelen. Te weten: thermische behaaglijkheid, omgevingsfactoren, kleding en activiteit¹². De deelnemers zijn hierbij gevraagd de enquête in te vullen nadat ze minimaal een half uur op de kamer aanwezig zijn geweest.

¹¹ Meer informatie over de website is te vinden in bijlage 4

¹² Onderdeel Activiteit is alleen in de gebouwen te Middelburg en te Arnhem gevraagd

Onderdeel thermische behaaglijkheid

In dit onderdeel wordt de deelnemers gevraagd hun beleving van het thermische binnenklimaat op het moment van invullen aan te geven op een viertal schalen: thermische sensatie (ASHRAE, Fanger), voorkeur (Mcintyre), tevredenheid en acceptatie. De vragen zoals opgenomen in de enquête zijn weergegeven in figuur 3.12.

Onderdeel omgevingsfactoren

De deelnemers wordt gevraagd om de toestand van enkele omgevingsaspecten op het moment van invullen weer te geven. De buitenzonwering, de lichtwering, de ramen, de deur, de verlichting, de eventueel aanwezige ventilator, de knop om de temperatuur te regelen (Arnhem) en het gemiddeld aanwezige aantal personen komen hierbij aan bod. Op deze wijze wordt getracht het gebruik van het gebouw in kaart te brengen. Figuur 3.13 geeft de vragen uit de elektronische enquête weer.

Onderdeel kleding

In dit onderdeel kunnen de deelnemers aangeven welke kleding ze ongeveer aanhebben. Hierbij zijn een zestal categorieën gemaakt, waarbij de verschillende kledingpakketten die in één categorie vallen ongeveer dezelfde warmteweerstand (clo-waarde) geven. Voor het opstellen van de categorieën is gebruik gemaakt van NEN-EN-ISO 9920 [35]. Met behulp van deze norm kan de warmteweerstand van een kledingpakket worden geschat. Gebruik kan worden gemaakt van een lijst waarin vaak voorkomende kledingpakketten zijn weergegeven, bijvoorbeeld: 'Underwear, shirt, trousers, socks, shoes' = 0,7 clo. Daarnaast is een zeer uitgebreide tabel opgenomen waarin de warmteweerstand van losse kledingelementen zijn opgenomen. De totale weerstand kan worden bepaald door deze afzonderlijke weerstanden bij elkaar op te tellen.

Bij het opstellen van de categorieën zijn beide methoden met elkaar gecombineerd. De vaak voorkomende kledingpakketten zijn als basis gebruikt, waarbij is aangenomen dat elke deelnemer ondergoed aan heeft (ondergoed is derhalve niet in de pakketten opgenomen). Vervolgens is gezocht naar kledingelementen die in Nederlandse kantoren vaak voorkomen en hiermee zijn aangepaste kledingpakketten opgesteld met ongeveer dezelfde warmteweerstand. Tabel 3.7 geeft de categorieën en kledingpakketten met de bijbehorende waarden voor de geschatte warmteweerstand weer. Figuur 3.14 laat de vraag zoals opgenomen in de enquête zien.

3. Als u een oordeel moet geven, vindt u het nu:	☐ Heet ☐ Warm ☐ Een beetje warm ☐ Neutraal ☐ Een beetje koel ☐ Koel ☐ Koud
4. Bent u momenteel tevreden over de temperatuur?	☐ Tevreden ☐ Ontevreden
5. Wilt u het op dit moment warmer hebben, kouder hebben of geen verandering?	☐ Warmer ☐ Geen verandering ☐ Kouder
6. Vindt u de temperatuur momenteel acceptabel of onacceptabel?	☐ Acceptabel ☐ Onacceptabel

Figuur 3.12: Vragen thermische behaaglijkheid in de enquête

7. Is op dit moment uw buitenzonwering naar beneden?	☐ Ja ☐ Ja, halverwege / Ja, maar niet gesloten ☐ Nee
8. Is op dit moment uw lichtwering (binnenzonwering/lamellen) naar beneden?	☐ Ja ☐ Ja, halverwege / Ja, maar niet gesloten ☐ Nee
9. Staat op dit moment een raam dicht bij u in de buurt open?	☐ Ja ☐ Ja, op een kier ☐ Nee
10. Staat op dit moment een kamerdeur open?	☐ Ja ☐ Nee
11. Staat op dit moment de verlichting aan?	☐ Ja ☐ Nee
12. Staat op dit moment uw ventilator aan?	☐ Ja ☐ Nee
13. Op welke stand staat de knop voor de regeling van de temperatuur in uw kamer? (Deze vraag is alleen bestemd voor de deelnemers uit Arnhem.)	☐ +3 ☐ +2 ☐ +1 ☐ 0 ☐ -1 ☐ -2 ☐ -3
14. Hoeveel personen waren er vandaag (tot nu toe) gemiddeld aanwezig in uw kamer?	

Figuur 3.13: Vragen omgevingsfactoren in de enquête

Tabel 3.7: Keuzelijst kledingpakket in enquête		
Categorie	elementen in kledingpakket	Clo-waarde
A	T-shirt, korte broek, dunne sokken, sandalen/schoenen met dunne zool	0,3
	T-shirt, korte rok, dunne sokken, sandalen/schoenen met dunne zool	
B	T-shirt/blouse met korte of opgestroopte mouwen, lange broek, sokken, schoenen	0,5
	Dunne jurk, sokken/kousen, sandalen/schoenen met dunne zool	
C	Blouse met lange mouwen/dunne trui, lange broek, sokken, schoenen	0,6
	Blouse met korte mouwen, ondershirt, lange broek, sokken, schoenen	
	T-shirt/blouse met korte mouwen, rok, sokken/kousen, schoenen	
D	Blouse met lange mouwen/dunne trui, ondershirt, lange broek, sokken, schoenen	0,7
	Trui, lange broek, sokken, schoenen	
	blouse met korte mouwen, ondershirt, rok, sokken/kousen, schoenen	
	Jurk, sokken/kousen, schoenen	
E	Blouse met lange mouwen, colbert/jasje/trui, lange broek, sokken, schoenen	0,8
	Blouse met lange mouwen, rok, jasje/trui, sokken/kousen, schoenen	
F	Blouse met lange mouwen, ondershirt, lange broek, colbert/jasje/trui, sokken, schoenen	1,0
	Blouse met lange mouwen, onderhemd, rok, jasje/trui, sokken/kousen, schoenen	

15. Welke kledingcombinatie beschrijft het best wat u op dit moment aan heeft?

A	T-shirt, korte broek, dunne sokken, sandalen/schoenen met dunne zool	C
	T-shirt, korte rok, dunne sokken, sandalen/schoenen met dunne zool	
B	T-shirt/blouse met korte of opgestroopte mouwen, lange broek, sokken, schoenen	C
	Dunne jurk, sokken/kousen, sandalen/schoenen met dunne zool	
C	Blouse met lange mouwen/dunne trui, lange broek, sokken, schoenen	C
	Blouse met korte mouwen, ondershirt, lange broek, sokken, schoenen	
	T-shirt/blouse met korte mouwen, rok, sokken/kousen, schoenen	
D	Blouse met lange mouwen/dunne trui, ondershirt, lange broek, sokken, schoenen	C
	Trui, lange broek, sokken, schoenen	
	blouse met korte mouwen, ondershirt, rok, sokken/kousen, schoenen	
	Jurk, sokken/kousen, schoenen	
E	Blouse met lange mouwen, colbert/jasje/trui, lange broek, sokken, schoenen	C
	Blouse met lange mouwen, rok, jasje/trui, sokken/kousen, schoenen	
F	Blouse met lange mouwen, ondershirt, lange broek, colbert/jasje/trui, sokken, schoenen	C
	Blouse met lange mouwen, onderhemd, rok, jasje/trui, sokken/kousen, schoenen	

Verder wordt in de norm aangegeven dat de invloed van een stoel op de warmteweerstand varieert van 0,04 – 0,17 clo, afhankelijk van de hoogte van de rugleuning en de dikte van de zitting. Bij de in tabel 3.1 weergegeven clo-waarden wordt in het onderzoek 0,15 clo voor de stoel opgeteld. Dit is dezelfde waarde als Brager & De Dear in hun onderzoek hebben aangehouden.

Figuur 3.14: Vraag kleding in de enquête

Opgemerkt dient te worden dat de clo-waarden binnen een bepaald kledingpakket kunnen variëren en derhalve niet per definitie exact gelijk zijn aan de opgegeven waarden. Dit wordt veroorzaakt door het voorkomen van vele varianten van elk kledingelement. De opgegeven waarden zijn bepaald aan de hand van veel voorkomende kledingelementen. Ook de clo-waarde van de stoel kan per stoel variëren. Gevolg is dat de werkelijke clo-waarde kan afwijken van de in tabel 3.3 weergegeven waarden. Geschat wordt dat de onnauwkeurigheid $\pm 0,15$ clo bedraagt.

Onderdeel activiteit

In dit laatste onderdeel wordt gevraagd naar de activiteit die de deelnemers het laatste kwartier hebben uitgevoerd. Hierbij kan gekozen worden uit een lijst met veel voorkomende activiteiten. Voor het bepalen van het bij een bepaalde activiteit behorende metabolisme is onder andere gebruik gemaakt van ISO 8996 [21]. In deze norm worden verschillende methoden uiteengezet om het metabolisme dat bij een bepaalde activiteit optreedt te bepalen. Gekozen is om te werken met een lijst van activiteiten waaraan een metabolisme is gekoppeld. Tevens is gebruik gemaakt van andere literatuur waarin soortgelijke lijsten voorkomen.

In deze lijsten zijn kantoorwerkzaamheden meestal opgenomen onder 'zittend werk'. Ook zijn 'rustig zitten', 'staand werk met lichte beweging' en 'lopen (bij verschillende snelheden)' opgenomen, activiteiten die in kantoren ook vaak voorkomen.

Aan de hand hiervan is de in tabel 3.8 weergegeven lijst opgesteld. In deze lijst zijn 'rustig zitten', 'zittend werk', 'staand werk met geringe armbeweging' en 'verplaatsen van lichte voorwerpen' opgenomen, overeenkomstig de hierboven genoemde lijsten. Tevens zijn er een aantal overgangscategorieën tussen zittend werk en lopen opgenomen. In figuur 3.15 is dit deel van de enquête te zien zoals op de website weergegeven.

Tabel 3.8: Keuzelijst metabolisme in enquête	
Activiteit	Metabolisme
Rustig zitten	58 W/m ²
Zittend werk (schrijven, werken met een pc, e.d.)	65 W/m ²
Zittend werk afgewisseld met af en toe lopen	75 W/m ²
Zittend werk vaak afgewisseld met lopen	90 W/m ²
Staand werk met geringe armbeweging	100 W/m ²
Verplaatsen van lichte voorwerpen, veel lopen	165 W/m ²
Anders	-

16. Welke activiteit omschrijft het best wat u het afgelopen kwartier heeft gedaan?

Rustig zitten	☐
Zittend werk (schrijven, werken met een pc, e.d.)	☐
Zittend werk afgewisseld met af en toe lopen	☐
Zittend werk vaak afgewisseld met lopen	☐
Staand werk met geringe armbeweging	☐
Verplaatsen van lichte voorwerpen, veel lopen	☐
Anders (graag bij opmerkingen aangeven welke activiteit u heeft uitgevoerd)	☐

Figuur 3.15: Vraag activiteit in de enquête

Opgemerkt dient te worden dat in ISO 8996 wordt aangegeven dat de foutenmarge bij deze methode 20% bedraagt. Dit is erg hoog, maar kan slechts verkleind worden door het continu meten van de hartslag en/of het zuurstofgebruik. Uit praktische overwegingen is derhalve voor de genoemde methode gekozen.

Hoofdstuk 4 Resultaten veldonderzoek zomer 2005

In dit hoofdstuk worden de resultaten uit het veldonderzoek besproken. Hierbij staan de ATG- en de GTO-methode centraal. Gekeken wordt met name naar de aansluiting tussen de oordelen van de deelnemers en beide methoden.

4.1 Basis meetresultaten

Allereerst wordt gekeken naar de gemeten waarden, zonder de koppeling met de ATG- of de GTO-methode te maken. Er wordt hierbij ingezoomd op het gedrag van het gebouw en het lokale discomfort.

4.1.1 Binnen- en buitenklimaat

Met betrekking tot het binnenklimaat zijn de luchttemperatuur, de globetemperatuur en de relatieve vochtigheid continu gemeten. Van het buitenklimaat is dit het geval voor de luchttemperatuur en de relatieve vochtigheid. Deze gemeten waarden zijn in de grafieken en tabellen in bijlage 5 weergegeven. Het betreft:

- Luchttemperatuur in de tijd;
- Tabel met maximaal, gemiddeld en minimaal gemeten waarden van de luchttemperatuur;
- Luchttemperatuur uitgezet tegen de buitentemperatuur;
- Regressielijnen van de luchttemperatuur uitgezet tegen de buitentemperatuur;
- Vochtgehalte (bepaald uit de relatieve vochtigheid en de luchttemperatuur¹³) in de tijd;
- Tabel met maximaal, gemiddeld en minimaal waargenomen waarden van het vochtgehalte;
- Vochtgehalte binnen uitgezet tegen het vochtgehalte buiten;
- Regressielijnen van het vochtgehalte binnen uitgezet tegen het vochtgehalte buiten;

Daarnaast zijn tevens de volgende grafieken en tabellen opgenomen:

- Regressielijnen van de grafieken die de operationele temperatuur als functie van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur ($t_{e,ref}$) weergeven;
- Tabel met richtingscoëfficiënten van bovengenoemde regressielijnen;
- Verschil tussen de lucht- en de globetemperatuur als percentage van de tijd waarin dat verschil voorkomt of groter is;
- Verschil tussen de gemeten globetemperatuur en de aan de hand van de gemeten globe-, luchttemperatuur en de gemiddelde luchtsnelheid bepaalde operationele temperatuur als percentage van de tijd.

Aan de hand van deze grafieken en tabellen kunnen de volgende uitspraken over het binnenklimaat in de vier gebouwen worden gedaan:

Luchttemperatuur

- In de gebouwen waarin de ventilatielucht niet met behulp van een koelinstallatie wordt behandeld ('s-Hertogenbosch en Haarlem), blijkt de binnentemperatuur, zoals verwacht, sterk mee te schommelen met de buitentemperatuur;
- In het gebouw van het Openbaar Ministerie te Arnhem is dit, eveneens volgens verwachting, aanzienlijk minder het geval en is de binnentemperatuur nagenoeg onafhankelijk van de buitentemperatuur;
- In het gebouw van de Rechtbank te Middelburg is de verwachting, aangezien de aanwezigheid van een koelinginstallatie, eveneens dat de binnentemperatuur nagenoeg onafhankelijk is van de buitentemperatuur. Uit de metingen blijkt echter dat dit in dit gebouw niet het geval is en dat de binnentemperatuur ongeveer even sterk mee schommelt met de buitentemperatuur als in de gebouwen zonder koelinstallatie. Dit kan worden verklaard door het geringe vermogen van de (top)koeling.
- In het gebouw van het Paleis van Justitie te 's-Hertogenbosch, waar nachtventilatie wordt toegepast, koelt de binnenluchttemperatuur in de nacht circa 3°C af. In de overige drie gebouwen, zonder nachtventilatie, is dit slechts circa 1°C. In alle vier de gevallen geldt dat het verschil tussen de binnentemperatuur en de buitentemperatuur in de nacht zeer groot is (verschillen groter dan 10°C zijn gemeten).

¹³ Formule vochtgehalte is in bijlage 3 opgenomen

Vochtgehalte

- In de vier gebouwen is het vochtgehalte binnen steeds nagenoeg gelijk aan het vochtgehalte buiten;
- Het verschil in vochtgehalte tussen de verschillende kamers is in alle gebouwen eveneens zeer gering.

Aangaande de metingen kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt:

- In de grafieken van de lucht- en globetemperatuur zijn op een aantal momenten uitschieters in de gemeten waarden te zien. Verklaring voor deze extreme waarden wordt gevonden in het vallen van de zonnestralen op de meetapparatuur, waardoor op deze momenten niet de juiste temperaturen worden gemeten. Ook de momenten waarop deze pieken optreden ('s ochtends in kamers georiënteerd op het oosten en 's avonds in kamers georiënteerd op het westen) ondersteunen deze verklaring;
- Het verschil tussen de lucht- en de globetemperatuur is in nagenoeg alle kamers gering. Waarden groter dan 0,6°C komen slechts in een zeer gering percentage, minder dan 2,5%, van de tijd voor. Grote verschillen doen zich slechts voor op die momenten dat de zojuist besproken pieken worden gemeten, en zijn derhalve het gevolg van meetfouten;
- In een aantal kamers komt een verschil van meer dan 0,6°C tussen de lucht- en de globetemperatuur aanzienlijk vaker voor. Voor elk van deze kamers kan daar een verklaring voor worden gevonden, die ligt in het aantoonbaar onjuist meten van een van de twee waarden.

4.1.2 Lokaal discomfort

Om te bepalen of het zinvol is de algemene thermische behaaglijkheid in de gebouwen te beoordelen, is het nodig er zeker van te zijn dat er geen sprake is van lokaal discomfort. Hierbij is gekeken naar de in hoofdstuk 3.2.1 genoemde aspecten. In tabel 4.1 tot en met tabel 4.5 zijn voor deze aspecten van het locale discomfort de uit de momentane metingen volgende waarden weergegeven. In de tabelnamen zijn tussen haakjes de waarden uit de voorschriften van de Rijksgebouwendienst opgenomen.

Tabel 4.1: luchttemperatuurverloop over hoogte; verschil tussen 0,1 en 1,1m ($\Delta T < 3^\circ\text{C}$)				
	's-Hertogenbosch	Haarlem	Arnhem	Middelburg
gemiddeld	0,10	0,23	0,22	0,33
maximaal	1,1	1,4	0,7	1,6

Tabel 4.2: oppervlaktetemperatuur van de vloer ($19^\circ\text{C} < T_{\text{vloer}} < 26^\circ\text{C}$)				
	's-Hertogenbosch	Haarlem	Arnhem	Middelburg
maximaal	24,2	24,0	24,1	23,4
minimaal	21,8	22,7	21,2	19,4

Tabel 4.3: gemiddelde luchtsnelheid (ramen gesloten) ($v_{\text{lucht}} < 0,25 \text{ m/s}$)				
	's-Hertogenbosch	Haarlem	Arnhem	Middelburg
maximaal	0,11	0,19	0,18	0,15

Tabel 4.4: relatieve vochtigheid (R.V. > 30%)				
	's-Hertogenbosch	Haarlem	Arnhem	Middelburg
minimaal	31,7	34,4	31,3	30,5

Tabel 4.5: horizontale stralingsasymmetrie, verschil tussen oppervlaktetemperatuur vloer en plafond ($\Delta T_{\text{straling, horizontaal}} < 10^\circ\text{C}$)				
	's-Hertogenbosch	Haarlem	Arnhem	Middelburg
maximaal	0,7	1,2	1,0	1,8

Alle aspecten blijken ruim aan de voorschriften van de Rijksgebouwendienst te voldoen. Er kan derhalve worden geconcludeerd dat in geen van de gebouwen sprake is van lokaal discomfort.

4.1.3 Basisresultaten enquête

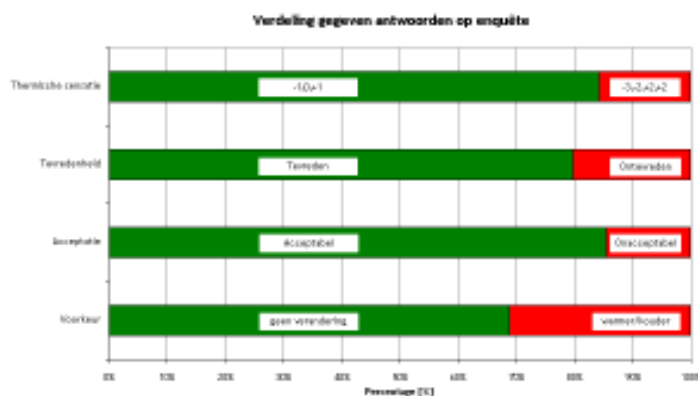
In de enquête zijn verschillende onderdelen aan bod gekomen. Van elk van deze onderdelen worden in deze paragraaf de basisresultaten weergegeven. De koppeling met de ATG- en de GTO-methode wordt nog buiten beschouwing gelaten.

Het aantal mensen dat aan het onderzoek heeft meegewerkt en hoe vaak de enquête is ingevuld, is weergegeven in tabel 4.6. Hierbij dient te worden opgemerkt dat niet iedereen de enquête even vaak heeft ingevuld.

Tabel 4.6: Aantal deelnemers en reacties				
Gebouw	Aantal deelnemers			Aantal maal ingevuld
	mannen	vrouwen	totaal	
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	13	17	30	470
Rechtbank Haarlem	5	19	24	355
Openbaar Ministerie Arnhem	12	9	21	390
Rechtbank Middelburg	8	5	13	337

Onderdeel Thermische behaaglijkheid

In dit eerste onderdeel van de enquête wordt de deelnemers op een viertal schalen gevraagd naar hun beleving van het thermische binnenklimaat op het moment van invullen. In figuur 4.1 is voor alle gebouwen tezamen de verdeling van de gegeven antwoorden op de enquête weergegeven. In bijlage 6 is de verdeling per gebouw afzonderlijk opgenomen.



Figuur 4.1: Verdeling gegeven antwoorden op enquête

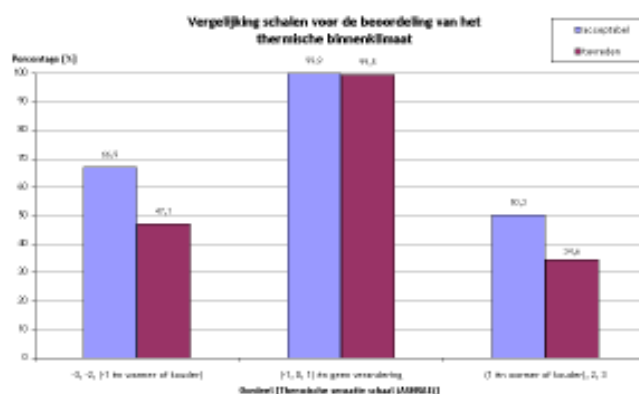
Er blijkt dat de deelnemers het grootste deel van de momenten waarop ze de enquête hebben ingevuld tevreden zijn met het thermische binnenklimaat. Hier wordt in hoofdstuk 4.2.2.3 op terug gekomen. Verder blijkt dat de verdeling van de positieve en negatieve antwoorden niet voor alle schalen gelijk is. De veronderstelde overeenkomst tussen deze verschillende schalen, zoals in tabel 4.7 weergegeven, blijkt derhalve niet in alle gevallen geldig te zijn.

Tabel 4.7: Vergelijking verschillende schalen voor kwantificeren van thermische behaaglijkheid				
	Thermische sensatie	Voorkeur	Tevredenheid	Acceptatie
3	Heet			
2	Warm	Wil het koeler	Ontevreden	Onacceptabel
1	Enigszins warm			
0	neutraal	Geen verandering gewenst	Tevreden	Acceptabel
-1	Enigszins koel			
-2	Koel	Wil het warmer	Ontevreden	Onacceptabel
-3	Koud			

Uit de enquêtes volgt wel dat alle personen die -1, 0 of +1 stemmen op de thermische sensatieschaal en daarbij aangeven geen verandering te wensen, tevens het thermische binnenklimaat acceptabel vinden en er tevreden over te zijn (zie figuur 4.2 en bijlage 6).

Verder blijkt dat van de personen die -1 stemt en tevens aangeeft wel verandering te wensen plus de mensen die -3 of -2 stemmen, circa 66% het thermisch binnenklimaat nog acceptabel vindt en circa 47% nog tevreden is. Van de personen die +1 stemt en tevens aangeeft wel verandering te wensen plus de mensen die +2 of +3 stemmen, vindt circa 50% het thermisch binnenklimaat nog acceptabel en circa 35% is nog tevreden.

In vervolgonderzoeken is het derhalve van belang niet alleen van de thermische sensatieschaal uit te gaan om de optimale operationele binnentemperatuur en de bijbehorende grenzen op te stellen.



Figuur 4.2: Vergelijking verschillende schalen

Geconcludeerd kan worden dat de -1, 0 of +1 stem in combinatie met het niet wensen van verandering overeenkomt met acceptabel en tevreden. Daarnaast is gebleken dat de veronderstelling dat de -3, -2, +2 en +3 stemmen overeenkomen met onacceptabel, ontevreden en het willen van verandering niet volledig op blijkt te gaan, en dit geldt met name voor de -2 stem het geval te zijn (zie ook bijlage 6).

Onderdeel omgevingsfactoren

In het onderdeel omgevingsfactoren wordt de deelnemers gevraagd om de toestand van enkele omgevingsaspecten op het moment van invullen weer te geven. In tabel 4.8 tot en met 4.13 is de verdeling van de gegeven antwoorden per aspect weergegeven.

Zonwering

Uit de door de deelnemers opgegeven stand van de zonwering volgt dat deze in alle gebouwen slechts een zeer beperkt deel van de tijd volledig gesloten is, zie tabel 4.8. Dit komt overeen met hetgeen tijdens de rondgangen door het gebouw is geconstateerd. Opgevallen is dat de lamellen van de buitenzonwering zelden gesloten zijn, ook wanneer deze zonwering volledig naar beneden is gelaten.

In de enquête is echter niet gevraagd of op het moment van invullen de zon naar binnen heeft geschinen. Hierdoor kan geen directe koppeling worden gemaakt tussen de stand van de zon en het gebruik van de zonwering.

Gebouw	Toestand zonwering		
	omhoog	half	beneden
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	78 %	5 %	17 %
Rechtbank Haarlem	91 %	3 %	6 %
Openbaar Ministerie Arnhem	65 %	19 %	16 %
Rechtbank Middelburg	86 %	11 %	3 %

Lichtwering

Uit tabel 4.9 en de rondgangen door het gebouw volgt dat de lichtwering in een groot deel van de kamers meestal deels of volledig gesloten zijn. Belangrijkste reden voor het gebruik van de lichtwering is het voorkomen van reflecties in het beeldscherm. Echter door een deel van de gebruikers wordt de lichtwering oneigenlijk als zonwering gebruikt.

Gebouw	Toestand lichtwering		
	omhoog	half	beneden
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	22 %	29 %	49 %
Rechtbank Haarlem	59 %	24 %	17 %
Openbaar Ministerie Arnhem	57 %	37 %	6 %
Rechtbank Middelburg	58 %	19 %	23 %

Raam

In alle gebouwen worden de ramen veelvuldig geopend (open/kier) om luchtuitwisseling met buiten tot stand te brengen (zie tabel 4.10). In sommige gevallen gebeurt dit reeds bij relatief lage binnentemperaturen. Tabel 4.11 laat de laagste en de gemiddelde binnenluchttemperatuur zien, behorende bij de momenten waarop in de enquête aangegeven is dat het raam open staat.

Tabel 4.10: Verdeling reacties toestand omgevingsfactor raam (vertrekken gesloten gevel niet beschouwd)				Tabel 4.11: Luchttemperatuur behorende bij de momenten waarop in de enquête is aangegeven dat raam geopend is		
Gebouw	Toestand raam			Gebouw	t _{lucht} waarbij raam geopend	
	open	kier	dicht		minimum	gemiddeld
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	34 %	10 %	56 %	Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	20,9	23,9
Rechtbank Haarlem	43 %	43 %	14 %	Rechtbank Haarlem	21,5	24,8
Openbaar Ministerie Arnhem	16 %	10 %	74 %	Openbaar Ministerie Arnhem	20,6	22,8
Rechtbank Middelburg	2 %	38 %	61 %	Rechtbank Middelburg	18,9	23,5

Verlichting

Uit de gegeven antwoorden, tabel 4.12, blijkt dat de verlichting nagenoeg altijd is ingeschakeld. Uitzondering hierop is het Paleis van Justitie te 's-Hertogenbosch waar een daglichtafhankelijk verlichtingssysteem is geïnstalleerd. In dit gebouw geven de deelnemers in een kwart van de gevallen aan dat de verlichting is uitgeschakeld.

Tabel 4.12: Verdeling reacties toestand omgevingsfactor verlichting		
Gebouw	Toestand verlichting	
	aan	uit
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	76 %	24 %
Rechtbank Haarlem	97 %	3 %
Openbaar Ministerie Arnhem	98 %	2 %
Rechtbank Middelburg	99 %	1 %

Deur

De deuren van de kamers blijken in alle gebouwen vrijwel altijd geopend te zijn. De zeer grote vertrekken in de Rechtbank te Haarlem (H2.02 en H2.06) en in het Openbaar Ministerie te Arnhem (kamers op de begane grond) vormen hierop een uitzondering, gezien de deuren daar het grootste deel van de tijd gesloten blijven. In tabel 4.13 is per gebouw de verdeling weergegeven.

Tabel 4.13: Verdeling reacties toestand omgevingsfactor deur		
Gebouw	Toestand deur	
	open	dicht
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	93 %	7 %
Rechtbank Haarlem	52 %	48 %
kamer H2.02 en H2.06	12 %	88 %
overige kamers	92 %	8 %
Openbaar Ministerie Arnhem	67 %	33 %
kamers begane grond	12 %	88 %
overige kamers	93 %	7 %
Rechtbank Middelburg	90 %	10 %

Locale airco of ventilator

Er wordt slechts in een zeer enkel geval gebruik gemaakt van een ventilator. In kamers waarin een split-unit of mobiele airco aanwezig is die door de gebruikers zelf bediend kunnen worden, wordt vaker aangegeven dat deze in werking zijn op het moment van invullen van de enquête.

Knop om temperatuur te regelen (Arnhem)

Uit de gegeven reacties blijkt dat in de kamers de knop, om het temperatuursetpunt van de kamer te veranderen, meestal in dezelfde stand staat. Slechts in een klein aantal kamers is tijdens de meetperiode deze stand vaak veranderd.

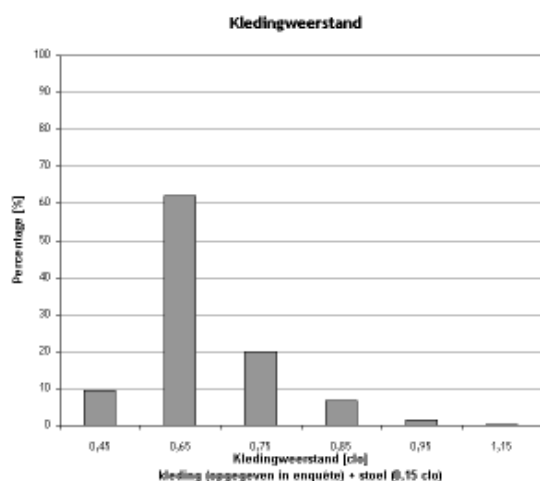
Aanwezigheid personen

In dit laatste punt is gevraagd naar het gemiddeld aantal aanwezige personen op een dag. Er blijkt dat in elke kamer vaak één of meerdere personen afwezig zijn. Dit kan mede worden verklaard doordat de metingen in de vakantieperiode zijn uitgevoerd.

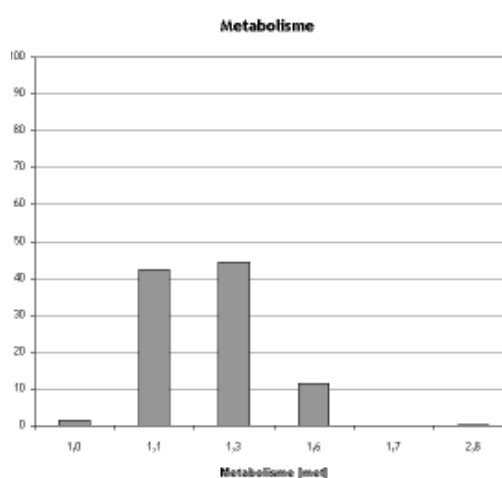
Belangrijk punt van de aanwezigheid is het percentage van de tijd dat de aanwezige personen ook daadwerkelijk op de kamer zijn geweest. Dit volgt echter niet uit de vraag in de enquête. Om meer duidelijkheid over dit punt te krijgen is gebruikgemaakt van een onderzoek van de Rijksgebouwendienst bij enkele Haagse ministeries [7], zie bijlage 3. Hieruit komt naar voren dat een stafmedewerker circa 65% van de tijd op de werkplek te vinden is.

Onderdeel Kleding en Activiteit

In de laatste twee onderdelen wordt de deelnemers gevraagd welke kleding ze aanhebben en welke activiteit ze uitvoeren. De op deze vraag gegeven antwoorden zijn gekoppeld aan respectievelijk een kledingweerstand en een metabolisme. In figuur 4.3 en 4.4 is de verdeling van de antwoorden op deze vragen weergegeven.



Figuur 4.3: Verdeling opgegeven kledingweerstand



Figuur 4.4: Verdeling opgegeven metabolisme

De gemiddeld opgegeven kledingweerstand bedraagt $0,67 \pm 0,10$ (standaarddeviatie) clo (een nadere analyse van de kledingweerstand wordt in paragraaf 4.3.2 besproken). Het gemiddeld opgegeven metabolisme $1,24 \pm 0,14$ met ($72 \pm 8 \text{ W/m}^2$). Deze waarden komen goed overeen met de gebruikelijk aangehouden waarden, te weten een kledingweerstand van 0,7 clo in de zomerperiode en een metabolisme van 1,2 met.

4.2 Analyse van de resultaten

In deze paragraaf worden de resultaten van metingen en enquêtes geanalyseerd waarbij de ATG- en de GTO- methode centraal staan.

4.2.1 Meetwaarden

4.2.1.1 Parameters ATG-methode

Om de vertrekken te kunnen beoordelen aan de hand van de ATG-methode moeten de operationele temperatuur en de gewogen gemiddelde buitentemperatuur bekend zijn.

Operatieve temperatuur

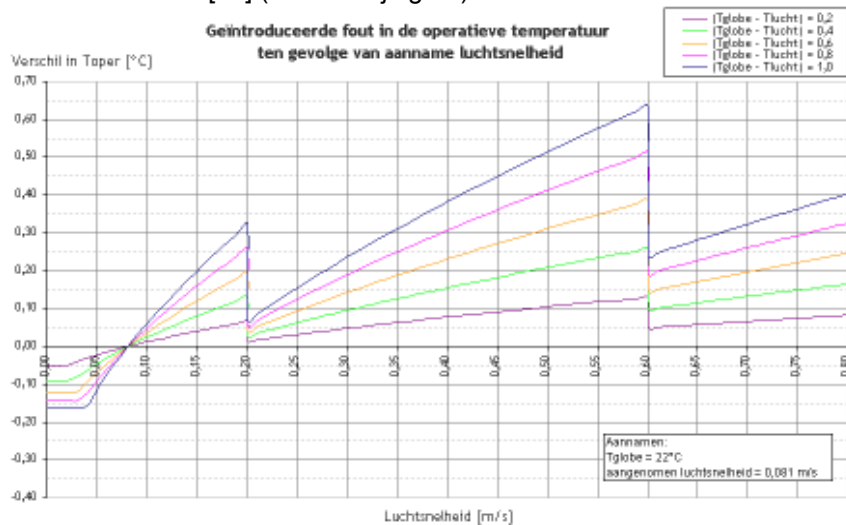
Zoals in paragraaf 3.2.2 is aangegeven kan de operationele temperatuur niet direct worden gemeten, maar is in het onderzoek gebruik gemaakt van het meten van de globetemperatuur. Met de in bijlage 3 beschreven formule kan de gemiddelde stralingstemperatuur worden berekend aan de hand van deze gemeten globetemperatuur, de gemeten luchttemperatuur en -snelheid. De operationele temperatuur kan dan met deze gemiddelde stralingstemperatuur en de luchttemperatuur worden berekend (formule (1)).

Het vergt veel meetapparatuur om de luchtsnelheid continu te meten. Om deze reden is gebruik gemaakt van de gemiddeld gemeten luchtsnelheid tijdens de momentane metingen, zoals weergegeven in tabel 4.14.

Tabel 4.14: Gemeten luchtsnelheid tijdens momentane metingen [m/s]				
	's-Hertogenbosch	Haarlem	Arnhem	Middelburg
gemiddeld	0,073	0,085	0,081	0,084
maximaal	0,20	0,19	0,18	0,15

Hierdoor wordt echter een fout in de berekende gemiddelde stralingstemperatuur, en daarmee in de operationele temperatuur, geïntroduceerd. Hoe groot deze fout is, is afhankelijk van het verschil tussen de werkelijk optredende luchtsnelheid en de gekozen luchtsnelheid. Daarnaast zijn ook de globe-, de luchttemperatuur en het verschil tussen deze twee parameters van belang.

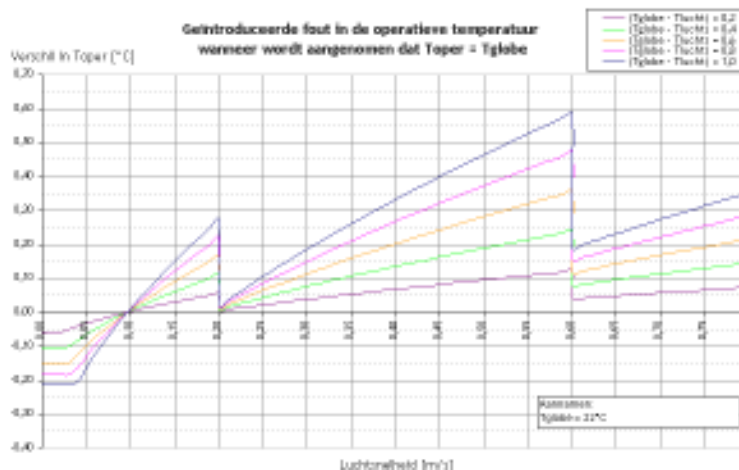
In figuur 4.5 is het geïntroduceerde verschil in de operationele temperatuur ten gevolge van de aanname van de luchtsnelheid weergegeven. Hierbij is voor de globetemperatuur een waarde van 22°C (het kiezen van een andere waarde geeft slechts marginaal andere resultaten) en voor de luchtsnelheid een waarde van 0,08 m/s aangehouden. De sprongen die in de grafiek te zien zijn, zijn het gevolg van de discontinue formule voor de berekening van de operationele temperatuur, zoals opgenomen in NEN ISSO 7730 [34] (zie ook bijlage 1).



Figuur 4.5: Geïntroduceerde fout in de operationele temperatuur ten gevolge van aanname luchtsnelheid

Uit de metingen is gebleken dat het verschil tussen de gemeten globe- en luchttemperatuur in het algemeen niet groter is dan 0,60°C, daarnaast is tijdens de momentane metingen voor de luchtsnelheid geen waarde groter dan 0,2 m/s waargenomen. Aan de hand hiervan kan worden vastgesteld dat de geïntroduceerde fout niet groter zal zijn dan 0,2°C.

Daarnaast is gekeken naar de fout die wordt geïntroduceerd door de operationele temperatuur gelijk te stellen aan de globetemperatuur. Deze fout is afhankelijk van de werkelijk optredende luchtsnelheid, de globetemperatuur en het verschil tussen de globe- en de luchttemperatuur. In figuur 4.6 is dit geïntroduceerde verschil weergegeven, wanneer voor de globetemperatuur 22°C wordt aangenomen.



Figuur 4.6: Geïntroduceerde fout in de operationele temperatuur ten gevolge van aanname $t_{oper} = t_{globe}$

Ook in dit geval blijkt het verschil, wanneer van een maximaal verschil van 0,6°C tussen de globe- en de luchttemperatuur wordt uitgegaan, niet groter te worden dan 0,2°C.

Zoals eerder is aangegeven, is het in de praktijk niet mogelijk de luchtsnelheid continu te meten. Onduidelijk is nog wat de gevolgen van het gelijkstellen van de operationele temperatuur aan de globetemperatuur in de praktijk zijn. Er is derhalve gekeken naar de gemeten waarden en in bijlage 5 is in de laatste grafiek het verschil tussen de, met de in tabel 4.14 weergegeven gemiddelde luchtsnelheid, bepaalde operationele temperatuur en de operationele temperatuur, waarbij deze gelijkgesteld is aan de gemeten globetemperatuur, weergegeven. Er blijkt dat dit verschil zeer gering

is, circa 0,05°C. Slechts in een zeer gering percentage van de tijd (minder dan 1%) is het verschil groter, tot circa 0,6°C, hetgeen te verklaren is door het foutief meten van de globetemperatuur door de directe invloed van de zon. Daarnaast is, net als bij het verschil tussen de gemeten lucht- en globetemperatuur, in een aantal kamers het verschil tussen de operationele en de gemeten globetemperatuur gedurende een groot deel van de tijd groter dan in de overige kamers. Ook in dit geval wordt de oorzaak gevonden in het onjuist meten van een van de twee waarden.

Geconcludeerd kan worden dat in de praktijk de operationele temperatuur zeer goed benaderd kan worden met de gemeten globetemperatuur. De gemaakte fout is hierbij, door het buiten beschouwing laten van de luchtsnelheid, maximaal circa 0,20°C.

Gewogen gemiddelde buitentemperatuur

In de ATG-methode is de gewogen gemiddelde buitentemperatuur ($t_{e,ref}$, zie formule (2)) bepalend voor de maximaal en minimaal toegestane operationele binnentemperaturen. Volgens ISSO publicatie 74 moet deze gewogen gemiddelde buitentemperatuur bepaald worden aan de hand van de temperatuurmetingen van het KNMI in het dichtstbijzijnde weerstation. In deze paragraaf wordt gekeken naar de consequentie van het gebruiken van de zelf gemeten buitentemperatuur.

In bijlage 7 zijn voor de vier plaatsen zowel de zelf gemeten buitentemperatuur als de door het KNMI in het dichtstbijzijnde weerstation gemeten buitentemperatuur, weergegeven. In de vier gevallen komen de zelf en door het KNMI gemeten waarden voor het grootste deel van de dag goed overeen. In alle gevallen blijken de pieken en dalen echter te verschillen (respectievelijk rond 14 uur en rond 4 uur). Deze pieken en dalen zijn bepalend voor de gewogen gemiddelde buitentemperatuur, waarbij namelijk alleen gekeken wordt naar de maximaal en minimaal optredende buitentemperatuur op een dag, en daarmee voor de toegestane operationele binnentemperaturen. Om vast te kunnen stellen hoe groot deze verschillen zijn, zijn in bijlage 7 de grafieken en tabellen opgenomen waarin de gewogen gemiddelde binnentemperaturen met elkaar worden vergeleken.

Er blijkt dat het verschil tussen de gewogen gemiddelde buitentemperatuur die wordt bepaald aan de hand van de zelf gemeten waarden en die met behulp van de gegevens van het KNMI wordt bepaald, kan oplopen tot meer dan 3°C. In tabel 4.15 is aangegeven welke invloed dit heeft op de maximaal toegestane operationele binnentemperaturen.

Tabel 4.15: Verschil tussen maximaal toegestane operationele binnentemperatuur bepaald met zelf gemeten en door KNMI gemeten buitentemperaturen [°C]				
	Klimaattype Alpha		Klimaattype Bèta	
	Gemiddeld	Maximaal	Gemiddeld	Maximaal
's-Hertogenbosch	0,43	0,97	0,15	0,35
Haarlem	0,42	0,74	0,15	0,26
Arnhem	0,35	0,65	0,12	0,23
Middelburg	0,27	0,59	0,10	0,21

Steeds blijkt dat met de zelf gemeten buitentemperaturen hogere binnentemperaturen worden toegestaan. Dit kan in gebouwen van het klimaattype Alpha zelfs oplopen tot bijna 1°C. Ook het gemiddelde verschil is aanzienlijk. In gebouwen van het klimaattype Bèta is het verschil minder groot en bedraagt een paar tienden.

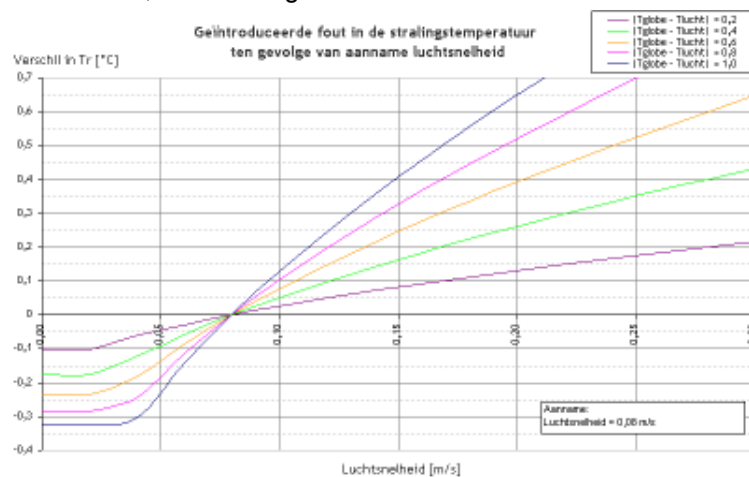
Hieruit volgt dat het van groot belang is dat de afspraken omtrent de wijze van vaststellen van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur worden nageleefd. Overeenkomstig ISSO publicatie 74 wordt aanbevolen te werken met de gegevens van het KNMI, aangezien de buitentemperaturen lokaal soms aanzienlijk kunnen verschillen. Nadeel hiervan is dat deze gegevens opgevraagd moeten worden, hetgeen enige tijd in beslag neemt.

4.2.1.2 Parameters GTO-methode

Om de vertrekken te kunnen beoordelen aan de hand van de GTO-methode moeten de luchttemperatuur, de gemiddelde stralingstemperatuur, de relatieve vochtigheid, de luchtsnelheid, de kledingweerstand en het metabolisme bekend zijn.

Van deze parameters worden de luchttemperatuur, de gemiddelde stralingstemperatuur (middels de globetemperatuur) en de relatieve vochtigheid elk kwartier gemeten met behulp van dataloggers. Ook nu wordt er in de gemiddelde stralingstemperatuur een fout geïntroduceerd door het niet continu meten van de luchtsnelheid. In figuur 4.7 is dit geïntroduceerde verschil in de stralingstemperatuur ten gevolge van de aanname van de luchtsnelheid weergegeven. Hierbij is voor de globetemperatuur een

waarde van 22°C (het kiezen van een andere waarde geeft nagenoeg dezelfde resultaten) en voor de luchtsnelheid een waarde van 0,08 m/s aangehouden.



Figuur 4.7: Geïntroduceerde fout in de stralingstemperatuur ten gevolge van aanname luchtsnelheid

Aan de hand van de maximaal waargenomen waarden voor de luchtsnelheid (0,2 m/s) en voor het verschil tussen de gemeten globe- en luchttemperatuur (0,60°C) kan worden vastgesteld dat de geïntroduceerde fout niet groter zal zijn dan 0,4°C.

Voor de luchtsnelheid, de kledingweerstand en het metabolisme worden bij de berekening van de PMV de in tabel 4.16 weergegeven standaard aangehouden gemiddelde waarden gebruikt. In deze tabel zijn tevens de gemiddeld gemeten waarden opgenomen. Duidelijk is dat de standaard aangehouden waarden zeer goed overeenkomen met de gemiddeld gemeten waarden.

Parameter	Standaard aangehouden gemiddelde waarde	Gemiddeld gemeten waarde
Kledingweerstand [clo]	0,7	0,67
Metabolisme [W/m ²]	70	72
Relatieve luchtsnelheid ¹⁴ [m/s]	0,15	0,134 ('s-Hertogenbosch) 0,146 (Haarlem) 0,142 (Arnhem) 0,145 (Middelburg)

Door het niet continu meten van deze laatste drie parameters wordt echter een fout in de berekende PMV geïntroduceerd. Dit gebeurt ook door de meetfouten in de parameters die continu worden gemeten. In bijlage 8 zijn grafieken opgenomen die de invloed van de verschillende parameters op de PMV weergeven. Tabel 4.17 laat deze invloed eveneens zien, waarbij is uitgegaan van de volgende 'nul'-situatie:

Luchttemperatuur	23°C	Relatieve luchtsnelheid	0,15 m/s
Gemiddelde stralingstemperatuur	23°C	Kledingweerstand	0,7 clo
Relatieve vochtigheid	50%	Metabolisme	70 W/m ²

Parameter	Onnauwkeurigheid	Invloed op PMV
Luchttemperatuur [°C]	± 0,4	0,062
Gemiddelde stralingstemperatuur [°C]	± 0,8	0,092
Relatieve vochtigheid [%]	± 2,5	0,016
Relatieve Luchtsnelheid [m/s]	± 0,10	0,262
Kledingweerstand [m ² K/W]	± 0,023 (≈ 0,15 clo)	0,318
Metabolisme [W/m ²]	± 10 (≈ 0,2 met)	0,454

Te zien is dat met name de fouten geïntroduceerd door het niet continu meten van de kledingweerstand en het metabolisme een relatief zeer grote invloed hebben op de berekende PMV en daarmee op de beoordeling van het gebouw. Er wordt immers gekeken naar die momenten waarop de PMV een waarde van +0,5 overschrijdt.

Voor de beoordeling van gebouwen aan de hand van de GTO-methode zijn de laatste drie parameters, door de afspraak hier vaste waarden voor aan te houden, echter niet van belang en

¹⁴ $v_{ar, gemiddeld} = v_{lucht, gemiddeld} + 0,3 (M-1)$ [m/s], zie ook bijlage 1

spelen alleen de fouten in de continu gemeten parameters een rol van betekenis. De in tabel 4.17 aangehouden waarden voor de onnauwkeurigheid van de gemeten luchttemperatuur en relatieve vochtigheid zijn door de fabrikant van de meetapparatuur opgegeven (zie ook tabel 3.6). De onnauwkeurigheid van de gemiddelde stralingstemperatuur is samengesteld uit de door de fabrikant opgegeven onnauwkeurigheid van de sensor (0,4°C) en de geïntroduceerde fout door het aannemen van de lichtsnelheid (eveneens 0,4°C). Er blijkt dat de invloed van deze onnauwkeurigheden op de PMV aanzienlijk is. Wel dient opgemerkt te worden dat deze onnauwkeurigheden de verwachte maximale waarden betreffen, welke in de praktijk niet zeer vaak op zullen treden.

4.2.2 Beoordeling gebouwen

4.2.2.1 Beoordeling gebouwen met de ATG-methode

Bij de beoordeling van de gebouwen aan de hand van de ATG-methode is gebruik gemaakt van de meetwaarden. De indeling van de vertrekken in klimaattype Alpha en Beta is gebaseerd op het schema zoals weergegeven in ISSO publicatie 74 op bladzijde 57 (figuur 2.1). Er is voor gekozen dit schema te hanteren omdat er van wordt uitgegaan dat dit keuzeschema in de praktijk het meest toegepast zal worden, door het in het oog springende karakter van het schema ten opzichte van het meer in tekstvorm weergegeven keuzeschema op bladzijde 16 van de ISSO publicatie.

In tabel 4.18 tot en met 4.21 is voor de vier gebouwen per vertrek weergegeven aan de grenzen van welke kwaliteitsklasse het vertrek voldoet. In bijlage 9 zijn de bijbehorende tabellen opgenomen waarin het aantal uur is weergegeven waarin de gemeten operationele temperatuur tijdens werkuren (8⁰⁰-12⁰⁰ en 13⁰⁰-17⁰⁰) elk van de grenswaarden overschrijdt. Hierbij zijn de pieken die ontstaan door de directe invloed van de zon buiten beschouwing gelaten¹⁵. Opgemerkt wordt dat het niet voldoen aan de eisen van een bepaalde kwaliteitsklasse door slechts enkele overschrijdingsuren kan worden veroorzaakt.

Tabel 4.18: Indeling vertrekken in kwaliteitsklassen Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch				
kamer	klimaat type	Vertrekken toetsen aan:		
		ondergrens	bovengrens	beide
B1.12	Alpha	C	A	C
B1.48	Alpha	B	B	B
B1.56	Alpha	B	B	B
B3.46	Alpha	voldoet niet	A	voldoet niet
C1.50	Alpha	C	A	C
C3.38	Alpha	voldoet niet	B	voldoet niet
D0.42	Alpha	A	B	B
D2.40	Alpha	voldoet niet	B	voldoet niet
D5.10	Alpha	B	B	B
E3.51	Alpha	A	C	C

Tabel 4.19: Indeling vertrekken in kwaliteitsklassen Rechtbank Haarlem				
kamer	klimaat type	Vertrekken toetsen aan:		
		ondergrens	bovengrens	beide
B1.04	Alpha	B	B	B
B1.07	Alpha	B	C	C
B1.10	Alpha	A	voldoet niet	voldoet niet
B3.03	Alpha	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
H0.19	Beta	A	voldoet niet	voldoet niet
H1.21	Alpha	B	B	B
H2.02	Beta	A	voldoet niet	voldoet niet
H2.06	Beta	B	B	B
H2.19	Alpha	B	voldoet niet	voldoet niet

Tabel 4.20: Indeling vertrekken in kwaliteitsklassen Openbaar Ministerie Arnhem				
kamer	klimaat type	Vertrekken toetsen aan:		
		ondergrens	bovengrens	beide
0027	Beta	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
0043	Beta	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
0063	Beta	C	C	C
1015	Alpha	C	B	C
1053	Alpha	C	A	C
1072	Alpha	voldoet niet	A	voldoet niet
2035	Alpha	C	C	C
3002	Beta	voldoet niet	B	voldoet niet
3050	Beta	C	A	C
3064	Alpha	B	B	B

Tabel 4.21: Indeling vertrekken in kwaliteitsklassen Rechtbank Middelburg				
kamer	klimaat type	Vertrekken toetsen aan:		
		ondergrens	bovengrens	beide
A006	Beta	voldoet niet	B	voldoet niet
A205	Beta	voldoet niet	A	voldoet niet
B005	Beta	voldoet niet	A	voldoet niet
B215	Beta	voldoet niet	A	voldoet niet
B216	Beta	voldoet niet	C	voldoet niet
D041	Beta	B	A	B
D042	Beta	voldoet niet	A	voldoet niet
D043	Beta	voldoet niet	A	voldoet niet
D157	Beta	B	A	B
D226	Beta	voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet

De in bovenstaande tabellen weergegeven indeling van de vertrekken in klimaatklassen is gebaseerd op de gemeten waarden, onduidelijk is of deze indeling representatief is voor de algemene beoordeling van deze vertrekken. Er is immers gedurende een relatief korte periode gemeten. Daarnaast kunnen de omstandigheden tijdens de meetperiode volledig anders zijn dan die waarmee in de simulaties tijdens de ontwerpfase is gerekend. Dit laatste geldt in ieder geval voor het

¹⁵ Invloed directe zon te groot indien $|t_{\text{oper}} - t_{\text{globe}}| > 0,1^{\circ}\text{C}$

buitenklimaat. Hierdoor kan het gebeuren dat het gebouw in de simulaties voldoet aan de eisen, maar dat de in de praktijk gemeten operationele temperaturen buiten de grenslijnen vallen (het tegenovergestelde is eveneens mogelijk).

ISSO publicatie 74 speelt op het onvermijdelijke verschil van het buitenklimaat in door aan te geven dat toetsing van het gebouw aan de ATG-methode alleen geldig is indien de gewogen gemiddelde buitentemperatuur niet boven de 22°C komt. Aangezien in de meetperiode hieraan wordt voldaan, zou verwacht mogen worden dat de opgestelde indeling in kwaliteitsklassen inderdaad representatief is voor de algemene beoordeling. Of dit ook daadwerkelijk het geval is zal aan de hand van simulaties nader worden onderzocht.

4.2.2.2 Beoordeling gebouwen met de GTO-methode

Bij de beoordeling van de gebouwen aan de hand van de GTO-methode is eveneens zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de meetwaarden. Bij de PMV berekening is gebruik gemaakt van de volgende gemeten waarden en aannamen:

Tabel 4.22: Gebruikte waarden bij de berekening van de PMV	
Parameter	Gebruikte waarden
Luchttemperatuur [°C]	gemeten
Gemiddelde stralingstemperatuur [°C]	bepaald a.d.h.v.: - gemeten globetemperatuur - gemeten luchttemperatuur - aangenomen luchtsnelheid - gemiddeld gemeten waarden tijdens momentane metingen per gebouw (tabel 4.14)
Relatieve vochtigheid [%]	gemeten
Relatieve luchtsnelheid [m/s]	0,15
Kledingweerstand [m ² K/W]	0,1085 (≈ 0,7 clo)
Metabolisme [W/m ²]	70 (≈ 1,2 met)

In tabel 4.23 tot en met 4.26 is voor de vier gebouwen per vertrek weergegeven hoeveel gewogen over-/onderschrijdingsuren tijdens de meetperiode hebben opgetreden. Tevens is in deze tabellen het aantal werkuren weergegeven waarin de operationele binnentemperatuur de grenzen van de TO-methode overschrijden. Ook hierbij zijn de pieken die ontstaan door de directe invloed van de zon buiten beschouwing gelaten.

Tabel 4.23: Aantal (gewogen) overschrijdingsuren TO- en GTO-methode PvJ 's-Hertogenbosch										
	Kamer									
	B1.12	B1.48	B1.56	B3.46	C1.50	C3.38	D0.42	D2.40	D5.10	E3.51
werkuren	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208
uren>25°C	33	45	36	35	25	38	69	54	44	57
uren>28°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
weeguren PMV>0,5	25	49	40	15	13	31	68	61	38	58
weeguren PMV<-0,5	43	10	6	27	73	67	0	22	6	1

Tabel 4.24: Aantal (gewogen) overschrijdingsuren TO- en GTO-methode Rechtbank Haarlem									
	Kamer								
	B1.04	B1.07	B1.10	B3.03	H0.19	H1.21	H2.02	H2.06	H2.19
werkuren	184	96	88	182	184	184	184	182	184
uren>25°C	36	18	73	31	23	46	50	14	94
uren>28°C	0	0	9	3	0	0	0	0	1
weeguren PMV>0,5	24	13	128	34	14	40	51	0	106
weeguren PMV<-0,5	6	2	0	140	0	5	0	2	0

Tabel 4.25: Aantal (gewogen) overschrijdingsuren TO- en GTO-methode Openbaar Ministerie Arnhem										
	Kamer									
	0027	0043	0063	1015	1053	1072	2035	3002	3050	3064
werkuren	216	216	216	205	216	216	216	216	216	216
uren>25°C	2	32	3	1	0	0	8	2	0	5
uren>28°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
weeguren PMV>0,5	0	13	1	0	0	0	0	0	0	1
weeguren PMV<-0,5	95	17	67	156	53	229	50	99	118	65

	Kamer									
	A006	A205	B005	B215	B216	D041	D042	D043	D157	D226
werkuren	248	248	248	248	248	248	248	248	248	244
uren > 25°C	1	0	0	0	30	0	0	0	0	4
uren > 28°C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
weeguren PMV > 0,5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
weeguren PMV < -0,5	152	210	230	153	75	69	330	380	125	287

Eis bij de GTO-methode is dat het aantal gewogen overschrijdingsuren van $PMV > +0,5$ beperkt blijft tot 150 wanneer de gehele zomerperiode in beschouwing wordt genomen. Het aantal gewogen uren dat $PMV < -0,5$ voorkomt wordt in deze periode niet meegenomen.

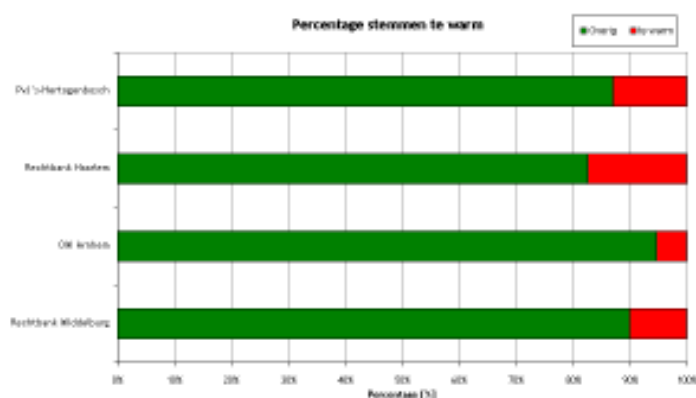
Bij de TO-methode betreft het maximaal aantal toegestane overschrijdingsuren van de 25°C-grens 100 uur en van de 28°C-grens 10 uur voor de gehele meetperiode.

De meetperiode is echter aanzienlijk korter en derhalve kan niet direct worden vastgesteld of de vertrekken aan de eisen voldoen of niet. Daarnaast kunnen ook bij deze methoden de optredende temperaturen in de praktijk om verschillende redenen anders zijn dan in de simulatie, waardoor het overschrijden van het maximaal toegestane (gewogen) aantal overschrijdingsuren in het meetjaar niet altijd betekent dat niet aan de eisen met bijbehorende uitgangspunten wordt voldaan. Wel blijkt uit de tabellen dat in alle vertrekken het aantal (gewogen) overschrijdingsuren in de meetperiode kleiner is dan de in het gehele seizoen toegestane aantal. Met name in het gebouw van het Openbaar Ministerie te Arnhem en in het gebouw van de Rechtbank te Middelburg is het aantal (gewogen) overschrijdingsuren minimaal.

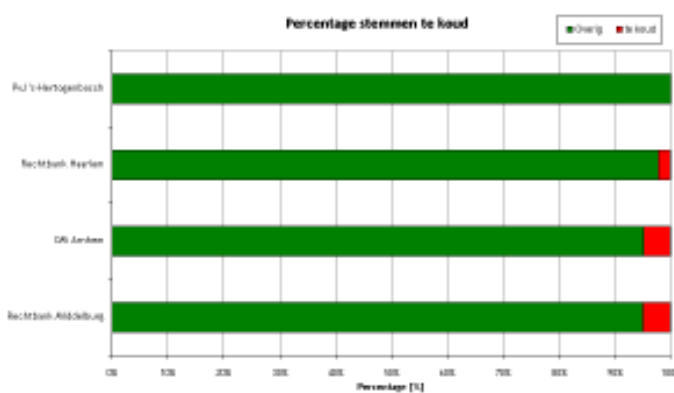
4.2.2.3 Beoordeling gebouwen met thermische sensatiestemmen uit enquête

De deelnemers aan het onderzoek hebben middels de enquête aangegeven welke beoordeling ze op de momenten van invullen aan het thermische binnenklimaat toekenden. Het aantal ingevulde enquêtes per vertrek is echter te laag om aan de hand van deze stemmen de kamers afzonderlijk te kunnen beoordelen. Om deze reden is ervoor gekozen om de stemmen per gebouw als geheel te analyseren.

Bij het beoordelen van de gebouwen is net als bij de beoordeling middels de ATG- en de GTO-methode gekeken naar de momenten waarop het thermisch binnenklimaat als te warm wordt ervaren. In figuur 4.8 is het percentage van de stemmen weergegeven waarop de deelnemers hebben aangegeven dat dit het geval is. Hierbij is niet gekeken naar de thermische sensatiestem op de ASHRAE schaal, maar naar de stem op de overige drie schalen (tevredenheid, voorkeur en acceptatie). De reden hiervoor is dat een groot deel van de personen die op de ASHRAE schaal aangeven het te warm te vinden (+2 of +3 stem), daarnaast op de overige drie schalen aangeeft het thermische binnenklimaat niet als te warm te ervaren (zie figuur 4.2). Aangezien bij de ATG-methode eveneens naar de momenten wordt gekeken waarop het binnenklimaat als te koud wordt ervaren, is in figuur 4.9 het percentage van de stemmen weergegeven waarop de deelnemers hebben aangegeven dat dit het geval is (eveneens aan de hand van de 'overige' drie schalen).



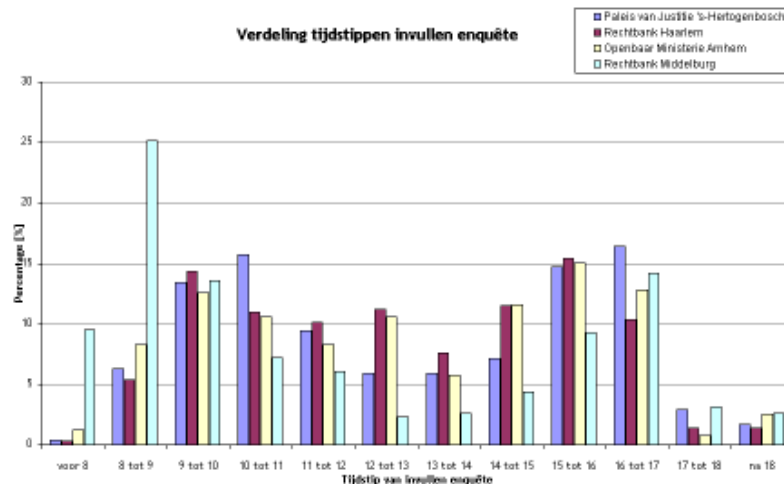
Figuur 4.8: Percentage stemmen te warm



Figuur 4.9: Percentage stemmen te koud

Uit figuur 4.8 blijkt dat in alle gebouwen het percentage stemmen waarin wordt aangegeven dat het binnenklimaat als te warm wordt ervaren, kleiner is dan 20% van het totaal aantal stemmen. Daarnaast laat figuur 4.9 zien dat in alle gebouwen het percentage 'te koud'-stemmen aanzienlijk kleiner is dan 20% van het totaal.

Het is echter niet mogelijk om aan de hand van deze resultaten direct te kunnen concluderen dat hiermee wel of niet voldaan wordt aan de achter de ATG- en GTO-methode liggende eisen, te weten respectievelijk 100% van de tijd 80% van de personen tevreden (kwaliteitsklasse B) en 90% van de tijd 90% van de personen tevreden. Hiertoe is het namelijk nodig van alle persoon op elk moment van de dag te weten welk oordeel deze persoon aan het thermische binnenklimaat toekent. Aangezien dit niet het geval is, kan niet bepaald worden welk percentage van de personen in welk percentage van de tijd tevreden dan wel ontevreden is.



Figuur 4.10: Verdeling tijdstippen waarop enquête is ingevuld

Doordat het aantal personen dat aan het onderzoek heeft meegewerkt groot is, zijn de momenten waarop de enquêtes zijn ingevuld echter (redelijk) goed over de dag verdeeld. Dit is weergegeven in figuur 4.10. Hierdoor geeft de verdeling zoals weergegeven in figuren 4.8 en 4.9 een goed beeld omtrent de beoordeling van het binnenklimaat in het gebouw gedurende de werkdagen door de deelnemers.

Hieraan draagt ook bij dat de momenten waarop hoge binnentemperaturen, tussen 15 en 17 uur, en waarop lage binnentemperaturen optreden, vòòr 11 uur, goed vertegenwoordigd zijn. Het lage aantal ontevreden wordt derhalve klaarblijkelijk niet veroorzaakt doordat de enquêtes slechts zijn ingevuld op momenten waarop de binnentemperatuur relatief laag, dan wel hoog is.

Aan de hand hiervan kan worden aangenomen dat het binnenklimaat in de vier gebouwen in de meetperiode volgens de beoordeling van de personen als goed kan worden gekwalificeerd. Hierbij ligt het aantal 'te warm' stemmen in het gebouw van de Rechtbank te Haarlem op de grens.

4.2.2.4 Vergelijken beoordeling thermische sensatiestemmen met ATG- en GTO-methode

Het vergelijken van de beoordeling aan de hand van de thermische sensatiestemmen, waarbij alle vertrekken tezamen zijn bekeken, met de beoordeling middels de ATG- en de GTO-methode, waarbij de vertrekken afzonderlijk zijn beoordeeld, is door dit verschil niet direct mogelijk. Wel kan een uitspraak met betrekking tot de vergelijking tussen de beoordeling op grond van de thermische sensatiestemmen met de beoordeling middels de ATG- en de GTO-methode worden gedaan, door ook bij de beoordeling aan de hand van de ATG- en de GTO-methode naar het algemene beeld van de verschillende gebouwen te kijken.

Wanneer wordt gekeken naar de toetsing van de vertrekken aan de bovengrens van de ATG-methode en naar het aantal gevonden gewogen overschrijdingsuren bij de GTO-methode, komt naar voren dat de gebouwen van het Paleis van Justitie te 's-Hertogenbosch, van het Openbaar Ministerie te Arnhem en van de Rechtbank te Middelburg grotendeels positief worden beoordeeld (voldoen aan eisen kwaliteitsklasse B of beter en weinig gevonden gewogen overschrijdingsuren). Het gebouw van de Rechtbank te Haarlem wordt daarentegen wisselend beoordeeld. Dit komt overeen met het beeld dat aan de hand van de oordelen van de personen wordt gevormd.

Toetsing van de vertrekken aan de ondergrens van de ATG-methode laat echter een groot verschil zien met de oordelen van de personen. De personen geven namelijk in alle gebouwen aan het thermische binnenklimaat niet als te koud te ervaren, terwijl dit aan de beoordeling van met name het gebouw van de Rechtbank te Middelburg met de ATG-methode wel opgemaakt zou mogen worden. Aan de hand hiervan wordt geconcludeerd dat het toetsen van de vertrekken aan de ondergrens van de ATG-methode in de zomerperiode niet goed overeenkomt met de oordelen van de personen. Er kan echter niet worden opgemaakt welke methode, de ATG- of de GTO-methode beter aansluit op de oordelen van de personen.

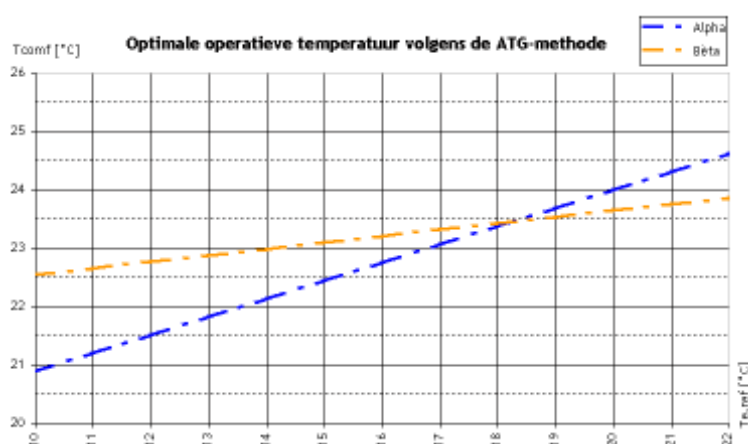
4.3 Analyse optimale operationele temperatuur

Aangezien in de vier gebouwen het aantal stemmen, waarin wordt aangegeven dat het thermische binnenklimaat als te warm wordt beoordeeld, erg laag is, is het niet mogelijk aan de hand hiervan te beoordelen welke methode (de ATG- of de GTO-methode) beter overeenkomt met de beoordeling van de personen. Om hier toch een uitspraak over te kunnen doen is gekeken naar de verschillen en/of overeenkomsten tussen de optimale operationele temperatuur volgens de ATG- en de GTO-methode en de comforttemperaturen volgens de oordelen van de personen.

4.3.1 Vergelijking ATG-methode met oordelen personen

Om de optimale operationele temperatuur volgens de ATG-methode te kunnen vergelijken met de comforttemperaturen volgens de oordelen van de personen, is gekeken naar de overeenkomsten en verschillen in de afhankelijkheid van deze temperaturen van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur.

In figuur 4.11 is de optimale operationele temperatuur weergegeven volgens de ATG-methode voor zowel het klimaattype Alpha als voor het type Bèta, overgenomen uit ISSO publicatie 74.

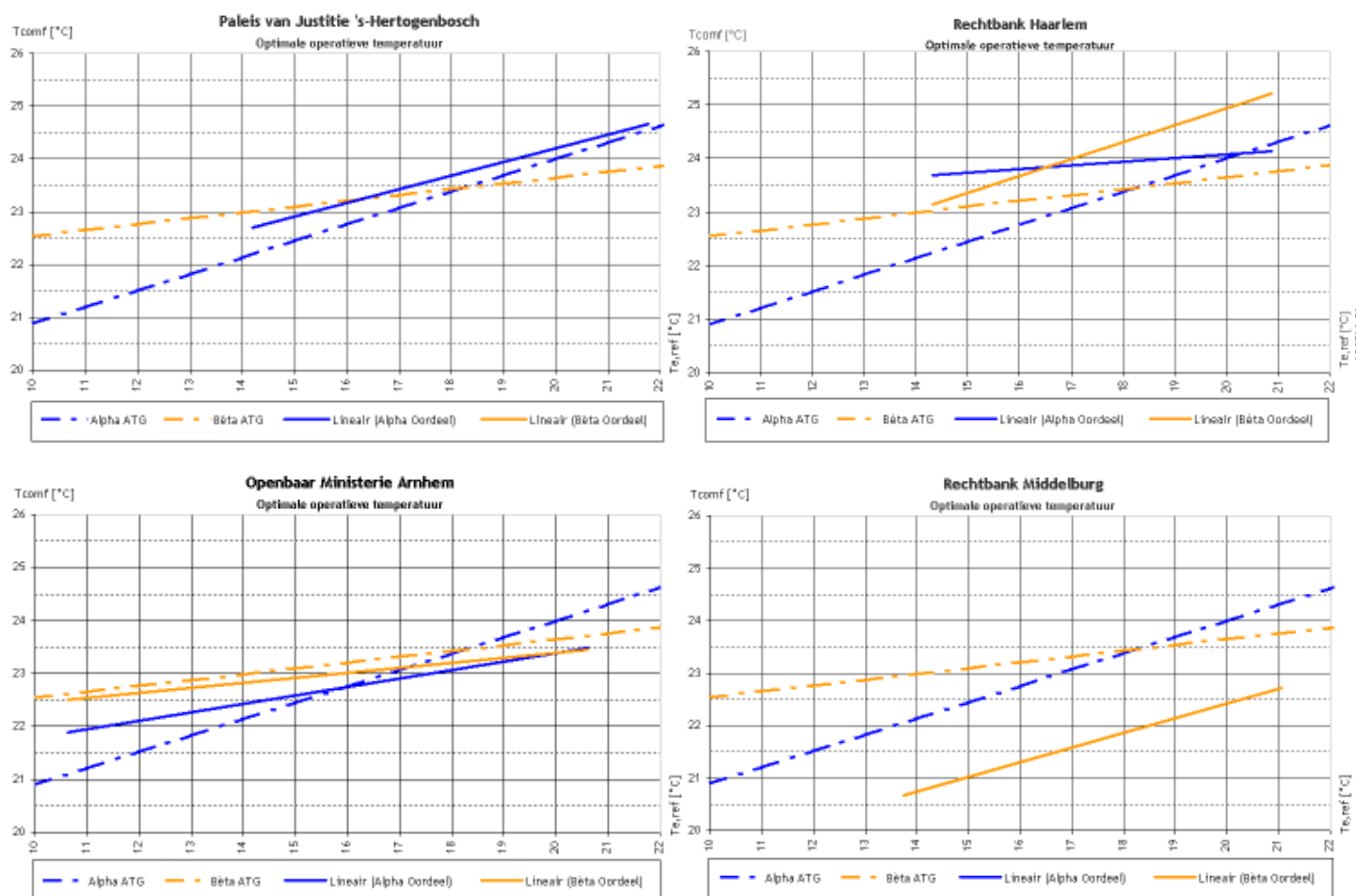


Figuur 4.11: Optimale operationele binnentemperatuur volgens de ATG-methode

De comforttemperatuur, gebaseerd op de stemmen van de personen, als functie van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur, is als volgt opgesteld:

- Bepalen operationele temperaturen waarbij de deelnemers hebben aangegeven het thermische binnenklimaat als goed te ervaren met de bijbehorende gewogen gemiddelde buitentemperatuur (bepaald aan de hand van KNMI gegevens). Hierbij is het als goed ervaren van het binnenklimaat gedefinieerd als het stemmen van -1, 0 of +1 op de ASHRAE schaal waarbij tevens wordt aangegeven dat geen verandering gewenst is (overeenkomstig figuur 4.2);
- Het uitzetten van deze punten in een grafiek, waarbij onderscheidt wordt gemaakt in punten die horen bij kamers van het Alpha- en bij kamers van het Bèta-type. Gezien het niet eenduidig vastliggen van deze verdeling in klimaattypen, is ervoor gekozen meerdere indelingen te bekijken. Per gebouw zijn er drie indelingen gemaakt, zie ook tabel 3.1 tot en met 3.4;
- De comforttemperatuur als functie van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur is vervolgens bepaald door het tekenen van een regressielijn door de punten.

In figuur 4.12 zijn voor de vier gebouwen de grafieken met deze regressielijnen weergegeven. Hierbij is wederom uitgegaan van de Alpha/Bèta indeling volgens het keuzeschema op bladzijde 57 van ISSO publicatie 74 (grafieken behorende bij overige indelingen zijn te vinden in bijlage 10). Hierin is de blauwe lijn de regressielijn van de punten die behoren bij kamers van het Alpha-type en de oranje lijn die bij de kamers van het Bèta-type. Tevens zijn ter vergelijking de optimale operationele temperatuurlijnen volgens de ATG-methode overgenomen.



Figuur 4.12: Comforttemperaturen volgens de beoordeling van de deelnemers aan het onderzoek in de vier gebouwen.
Indeling klimaattypen volgens ISSO publicatie 74, bladzijde 57

Uit deze figuren blijkt dat er inderdaad sprake is van adaptatie: bij hogere buitentemperaturen worden hogere binnentemperaturen als comfortabel ervaren. Er blijkt echter ook dat de indeling in klimaattypen volgens het keuzeschema op bladzijde 57 in ISSO publicatie 74 niet altijd overeenkomt met de ervaring van de personen die in deze kamers werken (dit geldt ook voor de overige indelingen). Zo blijkt bijvoorbeeld de afhankelijkheid van de comforttemperaturen, volgens de oordelen van de personen, van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur in het gebouw van de Rechtbank te Middelburg een grote overeenkomst te vertonen met de afhankelijkheid van de optimale operationele temperatuur van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur voor een gebouw van klimaattype Alpha, terwijl uit het keuzeschema volgt dat het gebouw van het type Beta is. In tabel 4.27 is per gebouw per kamer weergegeven in welke klimaattype het vertrek overeenkomstig de beoordeling door de personen het best te plaatsen is. Hierbij is gekeken naar de richtingscoëfficiënt van de, aan de hand van de oordelen van de personen opgestelde, regressielijnen per kamer.

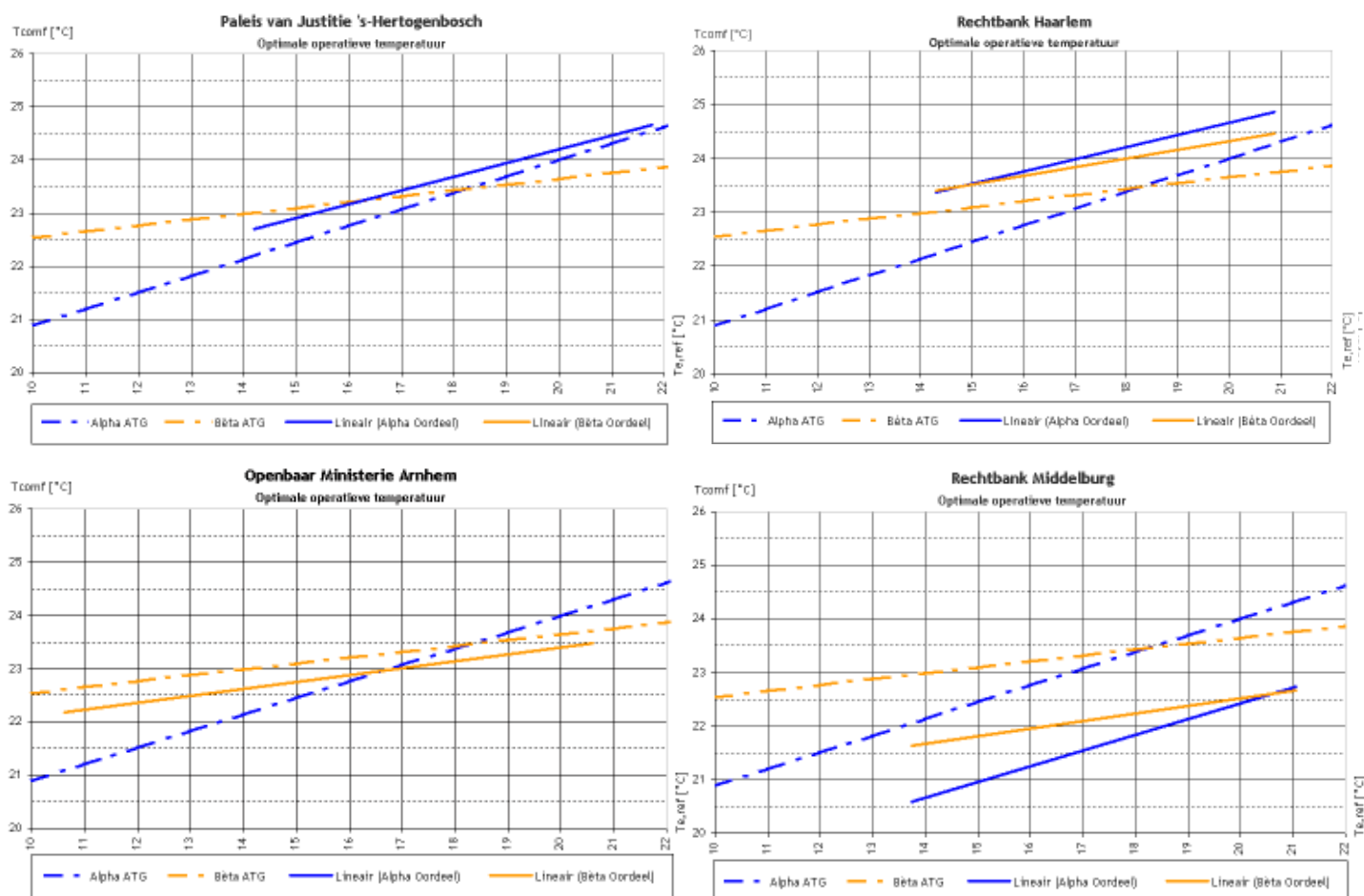
Tabel 4.27: Indeling vertrekken in klimaattypen overeenkomstig beoordeling personen							
's-Hertogenbosch		Haarlem		Arnhem		Middelburg	
Kamer	Type	Kamer	Type	Kamer	Type	Kamer	Type
B1.12	Alpha	B1.04	Alpha	0027	Bèta	A006	Alpha
B1.48	Alpha	B1.07	Alpha	0043	Bèta	A205	Alpha
B1.56	Alpha	B1.10	Alpha	0063	Bèta	B005	Alpha
B3.46	Alpha	B3.03	Alpha	1015	Bèta	B215	Alpha
C1.50	Alpha	H0.19	Bèta	1053	Bèta	B216	Alpha
C3.38	Alpha	H1.21	Alpha	1072	Bèta	D041	Alpha
D0.42	Alpha	H2.02	Alpha	2035	Bèta	D042	Alpha
D2.40	Alpha	H2.06	Bèta	3002	Bèta	D043	Alpha
D5.10	Alpha	H2.19	Alpha	3050	Bèta	D157	Bèta
E3.51	Alpha			3064	Bèta	D226	Alpha

Opvallend is dat deze indeling in klimaattypen gekoppeld lijkt te zijn aan de afhankelijkheid van de optredende operationele binnentemperaturen in de vertrekken van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur. In tabel 4.28 is zowel deze afhankelijkheid, weergegeven als de richtingscoëfficiënten van de regressielijnen van de optredende operationele binnentemperaturen als functie van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur, als de indeling in klimaattypen volgens tabel 4.27 opgenomen.

's-Hertogenbosch			Haarlem			Arnhem			Middelburg		
Kamer	Type	r.c.	Kamer	Type	r.c.	Kamer	Type	r.c.	Kamer	Type	r.c.
B1.12	Alpha	0,42	B1.04	Alpha	0,34	0027	Bèta	0,12	A006	Alpha	0,27
B1.48	Alpha	0,40	B1.07	Alpha	0,39	0043	Bèta	0,05	A205	Alpha	0,43
B1.56	Alpha	0,33	B1.10	Alpha	0,31	0063	Bèta	0,11	B005	Alpha	0,21
B3.46	Alpha	0,37	B3.03	Alpha	0,65	1015	Bèta	0,05	B215	Alpha	0,40
C1.50	Alpha	0,35	H0.19	Bèta	0,19	1053	Bèta	0,18	B216	Alpha	0,32
C3.38	Alpha	0,47	H1.21	Alpha	0,37	1072	Bèta	0,06	D041	Alpha	0,31
D0.42	Alpha	0,29	H2.02	Alpha	0,45	2035	Bèta	0,18	D042	Alpha	0,40
D2.40	Alpha	0,44	H2.06	Bèta	0,15	3002	Bèta	0,21	D043	Alpha	0,32
D5.10	Alpha	0,38	H2.19	Alpha	0,44	3050	Bèta	0,18	D157	Bèta	0,19
E3.51	Alpha	0,38				3064	Bèta	0,16	D226	Alpha	0,28

Er blijkt dat in de kamers van het Alpha-type de afhankelijkheid van de operationele binnentemperatuur van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur aanzienlijk groter is dan in de kamers van het Bèta-type.

Met deze indeling zijn eveneens per gebouw regressielijnen opgesteld, weergegeven in figuur 4.13. Ook nu is de blauwe lijn de regressielijn van de punten die behoren bij kamers van het Alpha-type en de oranje lijn die bij de kamers van het Bèta-type en zijn ter vergelijking de optimale operationele temperatuurlijnen volgens de ATG-methode overgenomen.



Figuur 4.13: Comforttemperaturen volgens de beoordeling van de deelnemers aan het onderzoek in de vier gebouwen. Indeling klimaattypen overeenkomstig beoordeling personen.

In tabel 4.29 zijn de bijbehorende vergelijkingen van de regressielijnen weergegeven, tevens is de vergelijking van de optimale operationele temperatuur volgens de ATG-methode opgenomen.

Tabel 4.29: Vergelijkingen van de regressielijnen uit figuur 4.13		
	Klimaatype	
	Alpha	Bèta
ATG-methode	$\theta_{oper} = 17,80 + 0,31 \cdot \theta_{e,ref}$	$\theta_{oper} = 21,45 + 0,11 \cdot \theta_{e,ref}$
Gebouw		
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	$\theta_{oper} = 19,0 + 0,26 \cdot \theta_{e,ref}$	-
Rechtbank Haarlem	$\theta_{oper} = 20,1 + 0,23 \cdot \theta_{e,ref}$	$\theta_{oper} = 21,1 + 0,16 \cdot \theta_{e,ref}$
Openbaar Ministerie Arnhem	-	$\theta_{oper} = 20,8 + 0,13 \cdot \theta_{e,ref}$
Rechtbank Middelburg	$\theta_{oper} = 16,6 + 0,29 \cdot \theta_{e,ref}$	$\theta_{oper} = 19,7 + 0,14 \cdot \theta_{e,ref}$

Er blijkt dat met deze indeling de overeenkomst tussen de richtingscoëfficiënten van de optimale operationele temperatuur volgens de ATG-methode en volgens de beoordeling van de personen in elk van de gebouwen zeer groot is.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat de indeling in klimaattypen gebaseerd dient te worden op de afhankelijkheid van de operationele binnentemperatuur van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur, waarbij wordt opgemerkt dat dit, aangezien er slechts vier gebouwen zijn onderzocht, een voorlopige conclusie is. Deze afhankelijkheid wordt bepaald door de eigenschappen van het gebouw en de installatie, waarbij met name het wel/niet te openen zijn van de ramen en het wel/niet aanwezig zijn van koeling (en indien koeling aanwezig is het vermogen) een rol spelen. Daarnaast zijn in mindere mate de gebouweigenschappen (glasoppervlakte/zonwering/gebouwmassa/etc.) van belang. Opvallend is dat de individuele mogelijkheden tot beïnvloeding van het binnenklimaat geen invloed lijken te hebben op de genoemde afhankelijkheid van de operationele binnentemperatuur van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur en derhalve niet moeten worden meegenomen bij de indeling in klimaattypen. Dit betekent dat het bestaande keuzeschema ter bepaling van het gebouw/klimaatype niet (geheel) juist is. Vragen met betrekking tot de groeps grootte, de mogelijkheid tot afstemming van de kleding en de persoonlijke mogelijkheden de temperatuur te beïnvloeden zouden weggelaten kunnen worden. Vragen over de installatie en de gebouweigenschappen zouden juist moeten worden opgenomen in het schema. Het opstellen van een volledig correct keuzeschema is echter aan de hand van onderzoek in slechts vier gebouwen niet te realiseren en valt tevens buiten het onderzoeksgebied. Er wordt hier derhalve niet verder op ingegaan.

De invloed van het wel of niet aanwezig zijn van individuele mogelijkheden het binnenklimaat te beïnvloeden komt wellicht tot uiting in de ligging van de grenswaarden ten opzichte van de optimale operationele binnentemperatuur. Indien dit het geval is, wordt verwacht dat de grenswaarden in gebouwen/vertrekken met weinig beïnvloedingsmogelijkheden dicht bij de optimale temperatuur ligt (kleinere bandbreedte) dan wanneer veel mogelijkheden aanwezig zijn. In het uitgevoerde onderzoek zijn echter te weinig stemmen uitgebracht die aangeven dat het thermische binnenklimaat onacceptabel wordt gevonden, waardoor niet nader kan worden bekeken of de veronderstelling juist is. Aanbevolen wordt dit in een vervolgonderzoek mee te nemen.

Uit de figuren volgt verder dat de regressielijn door de comforttemperaturen, volgens de oordelen van de personen, hoger of lager kan liggen dan de optimale operationele binnentemperatuur volgens de ATG-methode. Een dergelijk verschil is met name te zien in de grafieken van de gebouwen te Middelburg en te Haarlem. Oorzaak hiervoor wordt gevonden in de optredende binnentemperaturen in de meetperiode. Om de optimale temperatuur te kunnen bepalen waarbij deze oorzaak wordt uitgesloten, is het, naar mijn inzicht, nodig dat de oordelen bij elke temperatuur even zwaar mee worden gewogen. Dit kan worden bereikt door per temperatuurband, waarmee het opdelen van de operationele temperatuur in banden van bijvoorbeeld 0,5°C wordt bedoeld (20,0-20,5; 20,5-21,0; etc.), te bepalen welk percentage van de personen tevreden is. Vervolgens kan aan de hand hiervan de optimale temperatuur worden vastgesteld, behorende bij een bepaalde gewogen gemiddelde buitentemperatuur. Deze stappen moeten worden uitgevoerd voor meerdere, eveneens in temperatuurbanden opgedeelde, gewogen gemiddelde buitentemperaturen. Tot slot moet door de gevonden punten een regressielijn worden getrokken welke de optimale operationele binnentemperatuur weergeeft. Op overeenkomstige wijze kunnen de grenswaarden, waarbij bijvoorbeeld nog 80% van de personen tevreden is, worden bepaald. De verzamelde gegevens in de meetperiode zijn echter te gering om deze stappen te volgen, waardoor voor de vier gebouwen niet de optimale operationele temperatuur kan worden bepaald. Wel geven de grafieken in figuur 4.13 de temperaturen waarbij de personen hebben aangegeven het thermische binnenklimaat als comfortabel

te ervaren, hetgeen voor de vergelijking met betrekking tot de afhankelijkheid van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur voldoende is.

Het vaststellen van de exacte ligging van de optimale operationele temperatuur en de grenswaarden valt, gezien de geringe omvang van het aantal onderzochte gebouwen, buiten het onderzoek.

Aangeraden wordt in een vervolgonderzoek te streven naar het vinden van de exacte ligging van de grenswaarden, waarbij de beschreven methode mogelijk gebruikt kan worden. Hiervoor is het nodig dat onderzoek wordt gedaan in veel verschillende gebouwen, waarbij ook veel hoge en lage temperaturen in de gebouwen optreden, om zo voor alle temperatuurbanden voldoende gegevens te verzamelen.

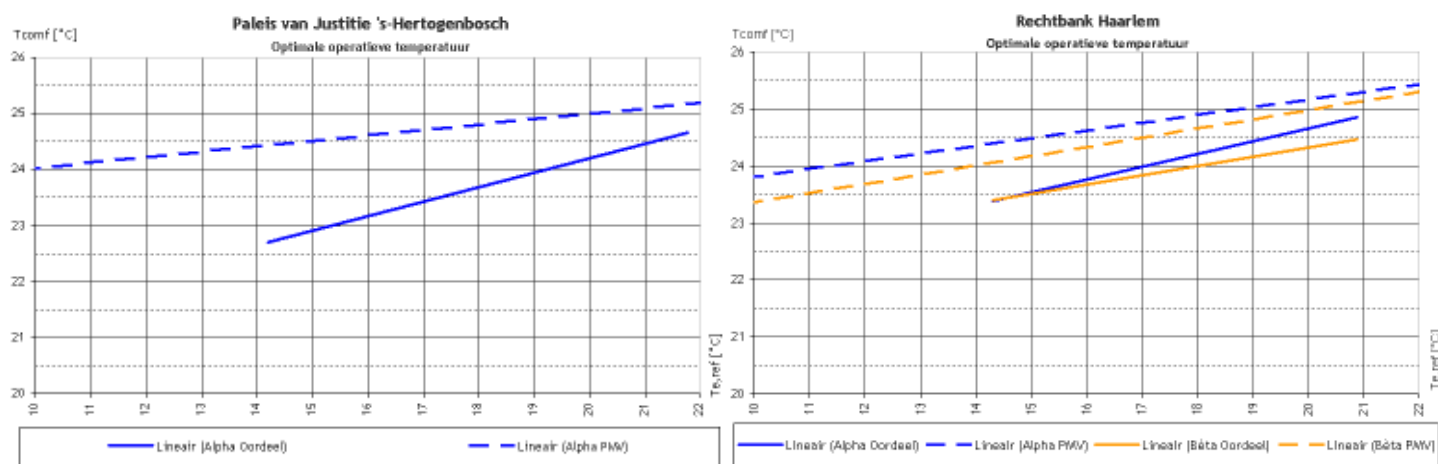
4.3.2 Vergelijking GTO-methode en oordelen personen

Ook is er gekeken naar de overeenkomst en verschillen in de afhankelijkheid van de comforttemperaturen volgens de oordelen van de personen en de optimale operationele temperatuur volgens de GTO-methode van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur. Hierbij is de aan de GTO-methode ten grondslag liggende PMV beschouwd.

De comforttemperatuur als functie van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur is op dezelfde wijze bepaald als in de vorige paragraaf. De optimale operationele temperatuur volgens de PMV als volgt:

- Per stemmoment bepalen van de PMV aan de hand van de gemeten waarden (luchttemperatuur, stralingstemperatuur, relatieve vochtigheid en luchtsnelheid¹⁶) en aan de hand van de gegevens uit de enquête (metabolisme¹⁷, kledingweerstand);
- Van die stemmomenten waarop de PMV nagenoeg '0' is ($-0,1 < PMV < 0,1$), hetgeen overeenkomt met een maximaal (optimaal) aantal tevredenen, zijn de gemeten operationele temperatuur in de grafiek uitgezet bij de bijbehorende gewogen gemiddelde buitentemperatuur;
- De optimale operationele temperatuur is vervolgens bepaald door het bepalen van de regressielijn door de punten.

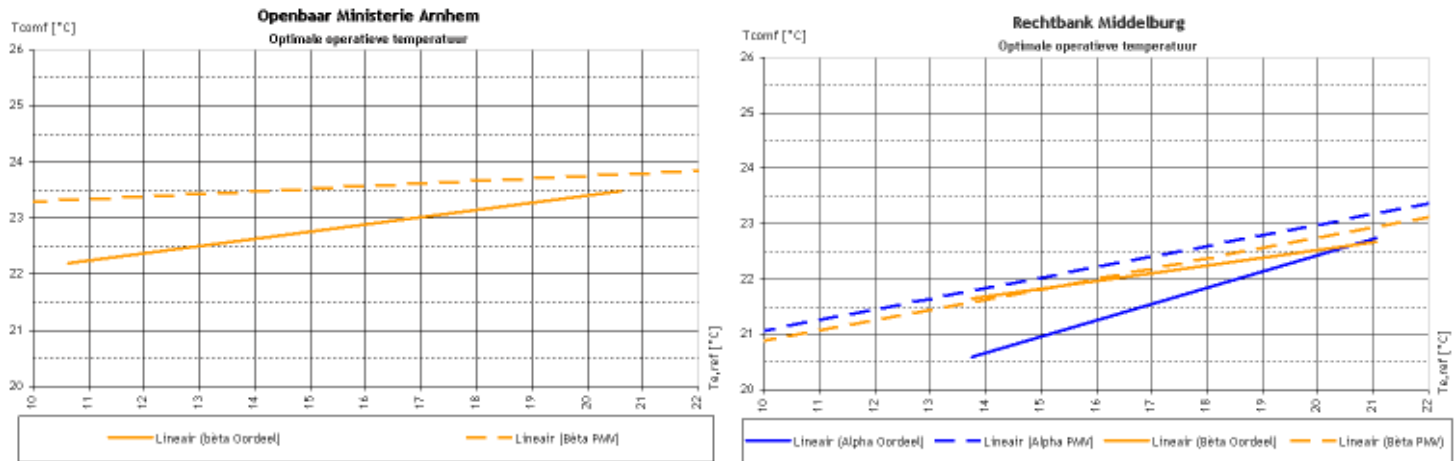
Bij het beschouwen van de overeenkomsten en de verschillen is de indeling in klimaattypen gebruikt als in tabel 4.28 weergegeven. Dit heeft als reden dat deze indeling het meest overeenkomt met de beoordeling van de personen. In figuren 4.14a en 4.14b zijn de regressielijnen voor de vier gebouwen gegeven. Opgemerkt dient te worden dat de regressielijnen van de kamers te Arnhem en te Middelburg statistisch niet significant zijn. Deze lijnen worden derhalve niet in de beschouwing meegenomen.



Figuur 4.14a: Comforttemperaturen volgens de beoordeling van de deelnemers aan het onderzoek in de vier gebouwen. Indeling klimaattypen overeenkomstig beoordeling personen.

¹⁶ Voor de luchtsnelheid zijn de gemiddeld gemeten waarden per gebouw aangehouden, zie tabel 4.16

¹⁷ Voor de gebouwen te 's-Hertogenbosch en Middelburg is een metabolisme aangehouden van 70 W/m^2 , aangezien in de enquête bij deze gebouwen niet naar het metabolisme is gevraagd



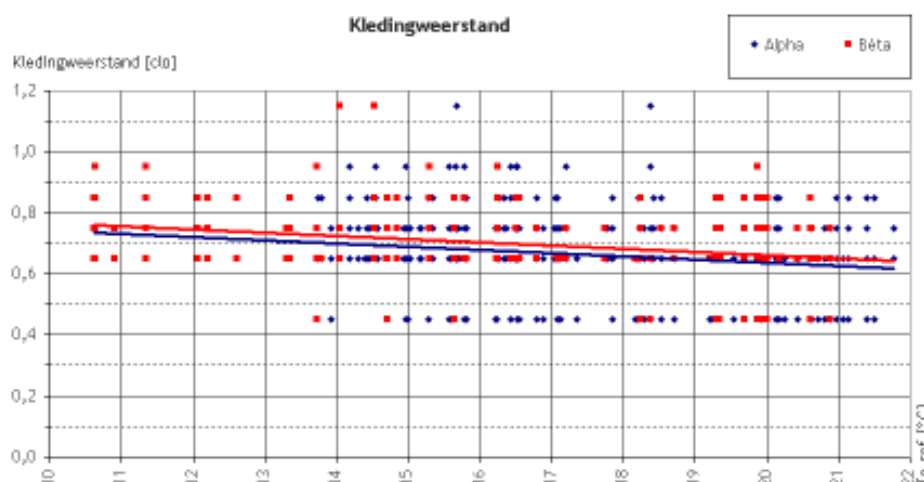
Figuur 4.14b: Comforttemperaturen volgens de beoordeling van de deelnemers aan het onderzoek in de vier gebouwen. Indeling klimaattypen overeenkomstig beoordeling personen.

In tabel 4.30 zijn de bijbehorende vergelijkingen van de regressielijnen weergegeven.

Tabel 4.30: Vergelijkingen van de regressielijnen uit figuren 4.14a en 4.14b			
Gebouw		Klimaatype	
		Alpha	Bèta
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	<i>Oordeel</i>	$\theta_{oper} = 19,0 + 0,26 \cdot \theta_{e,ref}$	-
	<i>PMV</i>	$\theta_{oper} = 23,1 + 0,10 \cdot \theta_{e,ref}$	-
Rechtbank Haarlem	<i>Oordeel</i>	$\theta_{oper} = 20,1 + 0,23 \cdot \theta_{e,ref}$	$\theta_{oper} = 21,1 + 0,16 \cdot \theta_{e,ref}$
	<i>PMV</i>	$\theta_{oper} = 22,5 + 0,14 \cdot \theta_{e,ref}$	$\theta_{oper} = 21,7 + 0,16 \cdot \theta_{e,ref}$
Openbaar Ministerie Arnhem	<i>Oordeel</i>	-	$\theta_{oper} = 20,8 + 0,13 \cdot \theta_{e,ref}$
	<i>PMV</i>	-	<i>niet significant</i>
Rechtbank Middelburg	<i>Oordeel</i>	$\theta_{oper} = 16,6 + 0,29 \cdot \theta_{e,ref}$	$\theta_{oper} = 19,7 + 0,14 \cdot \theta_{e,ref}$
	<i>PMV</i>	<i>niet significant</i>	<i>niet significant</i>

Hieruit volgt dat de mate van adaptatie die uit de oordelen van de mensen naar voren komt, niet in dezelfde mate wordt gevonden met de PMV-methode wanneer wordt gekeken naar vertrekken van het Alpha-type. Bij vertrekken van het Bèta-type is dit wel het geval. Dit komt overeen met hetgeen uit het onderzoek van Brager & De Dear naar voren is gekomen (zie ook figuur 2.9).

Verder blijkt het verschil in afhankelijkheid van de operationele binnentemperatuur van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur tussen de Alpha- en Bèta-vertrekken met de PMV-methode zeer gering te zijn. Verklaring hiervoor wordt gevonden in de overeenkomst in kledinggedrag. In figuur 4.15 is de kledingweerstand als functie van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur weergegeven voor beide type vertrekken. Hierbij is bij de kledingweerstand ook de weerstand ten gevolge van de stoel (0,15 clo) meegenomen.



Figuur 4.15: Aanpassing kleding aan buitentemperatuur

De gevonden gelijkenis van het kledinggedrag in vertrekken van het Alpha-type en in vertrekken van het Bèta-type, is niet in overeenstemming met hetgeen in het onderzoek van Brager & De Dear naar voren is gekomen. Daar werd een grotere aanpassing van de kleding gevonden in vertrekken van het Alpha-type. Door de geringe omvang van het veldonderzoek is het echter niet duidelijk of de gevonden resultaten representatief zijn voor de gehele Nederlandse situatie.

Tot slot wordt er ingegaan op de aansluiting van de GTO-methode en de oordelen van de personen. Wanneer gekeken wordt naar de GTO-methode, worden aannamen gedaan omtrent enkele van de parameters om de PMV te bepalen, te weten: relatieve luchtsnelheid = 0,15 m/s, kledingweerstand = 0,7 clo en metabolisme = 70 W/m². De afhankelijkheid van de (optimale) operatieve binnentemperatuur van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur neemt hierdoor af. De optimale operatieve binnentemperatuur komt hierdoor minder goed overeen met de oordelen van de personen.

Hoofdstuk 5 Simulaties

In aanvulling op de metingen zijn voor één of meerdere representatieve vertrekken per gebouw simulaties uitgevoerd. Bij deze simulaties is een tweetal onderdelen te onderschrijven. In het eerste deel wordt geprobeerd, door het 'fitten' van de invoergegevens, het temperatuurverloop zoals gemeten zo goed mogelijk te benaderen. In het tweede deel wordt vervolgens hetzelfde vertrek doorgerekend met de gegevens waaraan het vertrek getoetst moet worden en aan de hand hiervan beoordeeld met de ATG- en met de GTO-methode. In dit hoofdstuk komen deze twee onderdelen aan bod, nadat de opzet van de simulaties is besproken. Vervolgens wordt de invloed van het gekozen criterium op de benodigde (koel)installatie nader bekeken.

5.1 Opzet simulaties

5.1.1 Gebruikte software

Voor het uitvoeren van de simulaties is gebruik gemaakt van het in de praktijk zeer veel toegepaste softwarepakket VA114 van VABI software B.V. (versie 2.20), waarmee het temperatuurverloop in één of meerdere ruimten dynamisch kan worden berekend. Daarnaast is het met deze software mogelijk om de optredende temperaturen te toetsen aan de TO-, de GTO-¹⁸ en sinds kort de ATG-methode.



Figuur 5.1: VABI software

5.1.2 Benodigde gegevens

Om deze simulaties van het dynamische temperatuurverloop uit te kunnen voeren, is het benodigd een groot aantal aspecten in het model in te voeren. De benodigde aspecten omvatten o.a.:

- geometrie (deel van het) gebouw;
- oriëntatie gebouw;
- omliggende bebouwing;
- afmetingen vertrekken;
- materiaalopbouw wanden, vloeren en plafond;
- eigenschappen materialen (dikte [m], dichtheid [kg/m^3], warmtegeleidingscoëfficiënt [W/mK], dampdiffusieweerstandcoëfficiënt [-] en soortelijke warmte [J/kgK]);
- eigenschappen raam (afmetingen, U-, LTA-, ZTA-waarden) indien zonwering geopend en indien gesloten;
- schakelwaarde zonwering [W/m^2], binnen en buiten gebruikstijd;
- binnentemperatuur waarbij raam wordt geopend, binnen en buiten gebruikstijd;
- luchtuitwisseling met buiten indien raam geopend is;
- luchtuitwisseling met buiten ten gevolge van infiltratie door naden en kieren;
- luchtuitwisseling met gang en omliggende vertrekken;
- gegevens installatie;
 - debiet mechanische lucht toe- en afvoer;
 - eigenschappen centrale luchtbehandeling; koelinstallatie en verwarmingsbatterij;
 - eigenschappen decentrale installatie; koeling en verwarming;
 - voorwaarden nachtkoeling/-verwarming;
 - stooklijnen;
 - bedrijfswijze installatie;
- gegevens interne warmteproductie;
 - armaturen;
 - personen;
 - apparaten;
- buitenklimaat (buitentemperatuur, vochtgehalte, windrichting en -snelheid, zonnestraling);

De eigenschappen van de gebouwen zijn overgenomen van documentatie uit de archieven van de Rijksgebouwendienst en van de betrokken adviserende ingenieursbureaus. Met betrekking tot de gegevens van de installatie is gebruik gemaakt van technische tekeningen uit deze archieven, waarop het inblaas- en afvoerdebiet per kamer zijn aangegeven, en van de gemeten temperatuur van de inblaaslucht (zie bijlage 12). De aspecten met betrekking tot het gebruik van het gebouw zijn zoveel

¹⁸ Voor de PMV berekening wordt gebruik gemaakt van de gesimuleerde lucht- en stralingstemperatuur. De r.v. binnen wordt verondersteld gelijk te zijn aan de r.v. buiten (m.u.v. speciale toepassingen). Voor de luchtsnelheid wordt een waarde van 0,15m/s aangehouden, voor de kledingweerstand 0,7clo en voor het metabolisme 1,2met.

mogelijk gebaseerd op de metingen, enquêtes en de tijdens de rondgangen door het gebouw opgedane indrukken.

5.1.3 Onderzochte vertrekken

Per gebouw is het temperatuurverloop in één of twee representatieve vertrekken gesimuleerd. Het betreft de volgende vertrekken:

Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch:

- B3.46, vertrek op een tussenverdieping, waarvan de ramen georiënteerd zijn op het zuiden;
- E3.51, vertrek op een tussenverdieping, waarvan de ramen georiënteerd zijn op het zuiden;

Rechtbank Haarlem:

- B1.04, vertrek op een tussenverdieping, waarvan de ramen georiënteerd zijn op het noorden;

Openbaar Ministerie Arnhem:

- EU3064, vertrek op de bovenverdieping waarvan de ramen georiënteerd zijn op het westen;
- EU2035, vertrek op een tussenverdieping waarvan ramen georiënteerd zijn op het oosten;

Rechtbank Middelburg:

- B2.15, vertrek op de bovenverdieping waarvan de ramen georiënteerd zijn op het noorden;
- B2.16, vertrek op de bovenverdieping waarvan de ramen georiënteerd zijn op het zuiden;

Het betreft twee tegenover elkaar liggende vertrekken.

5.2 Fitten simulatiemodel aan metingen

Het eerste deel van de simulaties betreft, zoals aangegeven, het fitten van het simulatiemodel aan de metingen. Bij het opzetten van een model van de werkelijkheid moeten immers aannamen gedaan worden. Hierbij is geprobeerd de werkelijkheid zo goed mogelijk te benaderen door de benodigde gegevens zo waarheidsgetrouw mogelijk in het model in te voeren. Enkele gegevens kunnen echter niet exact uit de metingen of uit de documentatie worden gehaald en deze zijn door middel van het fitten van de resultaten van de simulaties aan de metingen zo nauwkeurig mogelijk vastgesteld. Hierbij is getracht het verschil tussen het temperatuurverloop gevonden uit de metingen en uit de simulaties zo klein mogelijk te maken.

5.2.1 Fitten invoergegevens

De invoergegevens die niet exact uit de metingen of uit de beschikbare documentatie gehaald kunnen worden, betreffen met name gegevens die betrekking hebben op het gebruik van het gebouw. Hiermee wordt bedoeld op het gebruik van de zonwering, de lichtwering, de ramen, de deuren, de verlichting, de aanwezige apparatuur en de aanwezigheid van de personen. Dit vertaalt zich in het fitproces in het zo nauwkeurig mogelijk benaderen van de volgende invoergegevens:

- Moment van het sluiten van de zonwering. In het model moet hiervoor een constante waarde, de zogenaamde schakelwaarde [W/m^2], worden opgegeven. Standaard wordt in het geval van automatisch geschakelde zonwering 250 W/m^2 gebruikt en voor handgeschakelde zonwering 300 W/m^2 (overeenkomstig ISSO publicatie 32 [22]). In werkelijkheid zal deze schakelwaarde, door de invloed van de gebruikers, echter niet in alle kamers gelijk zijn en ook per dag kan de waarde waarbij de zonwering wordt gesloten dan wel geopend, verschillen;
- Mate van het weren van binnenvallende zonnestraling wanneer de zonwering gesloten is en wanneer de zonwering geopend is. Hier hebben het type glas, het type zonwering, het gebruik van de zonwering en het gebruik van de lichtwering invloed op. In het model wordt ervan uitgegaan dat de zonwering ofwel geopend ofwel gesloten is. Volgens de Wettelijke Eisen en Richtlijnen RGD Bouwfysica moet het gebruik van de lichtwering buiten beschouwing worden gelaten, en voor de zonwerende eigenschappen van de zonwering in gesloten toestand worden gebruikelijk de (optimale) waarden van de fabrikant gebruikt. Uit de enquêtes en de rondgangen door het gebouw is echter naar voren gekomen dat zowel de zon- als de lichtwering veelvuldig in een andere stand worden gezet, waarbij de zonwering zelden volledig gesloten is en de lichtwering niet altijd volledig geopend.
- Moment waarop de ramen geopend en gesloten worden. In het model moet hier eveneens een constante waarde van de operationele binnenluchttemperatuur voor worden opgegeven. Standaard wordt een binnentemperatuur van 24°C aangehouden voor het openen van de ramen, en een temperatuur van 20°C om de ramen weer te sluiten (overeenkomstig ISSO publicatie 32). De mogelijkheid om twee afzonderlijke waarden voor het openen en het sluiten op te geven is in het gebruikte softwarepakket echter niet aanwezig. Ook hierbij geldt dat in de praktijk de binnentemperatuur waarbij het raam wordt geopend per kamer en per dag verschillend kan zijn;

- Luchtuitwisseling tussen binnen en buiten wanneer het raam geopend is. Dit is afhankelijk van hoe ver het raam wordt geopend en of de deuren en ramen van de tegenoverliggende vertrekken eveneens geopend zijn (wanneer de deur van de beschouwde kamer geopend is). In het model wordt echter wederom een constante waarde ingevoerd. Deze kan, indien gewenst, wel worden opgegeven als functie van de windsnelheid. In ISSO publicatie 32 is hieromtrent geen aanbeveling opgenomen. Wel is in NEN 1087 [32] een bepalingmethode voor de capaciteit van dit type ventilatie (spuiventilatie) weergegeven;
- Luchtuitwisseling tussen de vertrekken en de gang. Gebleken is dat de deuren van de vertrekken in de meeste gevallen geopend zijn, waardoor luchtuitwisseling tussen het vertrek en de gang ontstaat. Hiervoor moet in het model eveneens een constant getal worden opgegeven;
- De aanwezigheid van personen en het in werking zijn van apparatuur en verlichting. In het model kan per dag en per uur voor deze drie aspecten worden opgegeven hoe groot de interne warmteproductie is. Het opgegeven schema kan echter niet per week worden gevarieerd. In ISSO publicatie 32 is voor verschillende apparaten, armaturen en werkzaamheden de bijbehorende vrijkomende warmte weergegeven. Met betrekking hierop is in de wettelijke eisen en Richtlijnen RGD Bouwfysica opgenomen dat voor standaard ruimten gerekend moet worden met 35 W/m^2 , tenzij speciale voorzieningen zijn getroffen om de interne warmtelast te reduceren.

Daarnaast zijn enkele aspecten, die constant in het gebouw aanwezig zijn, lastig in het model in te voeren of eveneens niet in de metingen meegenomen. Het betreft:

- Thermisch open plafonds. Deze vorm van plafonds wordt toegepast om gebruik te kunnen maken van het accumulerende vermogen van de vloeren in het gebouw. Er is voor gekozen in het model een deel van het plafond zonder en een deel van het plafond met verlaagd plafond te modelleren. Op deze wijze kan gebruik worden gemaakt van het accumulerende vermogen van de vloeren en wordt de fout in de stralingstemperatuur beperkt.
- In het vertrek aanwezig zijnde meubilair. Dit meubilair voegt extra thermische massa aan het vertrek toe. Gekozen is voor het toevoegen van extra massa in de vorm van houten platen tegen de wanden;
- Moment waarop de (zomernacht)ventilatie wordt in-/uitgeschakeld. Middels zomernachtventilatie kan er voor worden gezorgd dat de overdag geaccumuleerde warmte weer uit de constructie vrij kan komen en naar buiten kan worden afgevoerd.

Ook deze aspecten zijn in het fitproces meegenomen.

5.2.2 Ingevoerde gegevens

De ingevoerde gegevens met betrekking tot de eigenschappen van het gebouw en van de installatie en met betrekking tot het gebruik van het gebouw, waarmee de simulaties na voltooiing van het fitproces zijn uitgevoerd, zijn per gebouw weergegeven in bijlage 11. De aspecten die, naast de reeds in hoofdstuk 3.1 besproken eigenschappen van het gebouw, een zeer grootte invloed op het temperatuurverloop hebben, worden hieronder kort besproken, waarbij onderscheidt wordt gemaakt in een drietal aspecten.

Interne warmtelast

Dit betreft de warmtelast ten gevolge van de aanwezigheid van personen en het in werk zijn van apparatuur en verlichting. Hierbij is de duur van de aanwezigheid en de hoeveelheid warmte die erbij vrijkomt van belang.

Gerekend is met werkdagen van 8.00 tot 17.00 uur, waarbij gedurende de middagpauze (12.00-13.00uur) geen interne warmteproductie optreedt (overeenkomstig [22]). Deze warmteproductie is voor een tweepersoonsvertrek gesteld op¹⁹:

Personen	4	W/m^2
Apparatuur	4,5	W/m^2
Armatuur	11	W/m^2
Totaal	19,5	W/m^2

Dit is gelijk aan de aanwezigheid van één persoon die standaard kantoorwerkzaamheden uitvoert (Metabolisme = 1,2 met), het in werking zijn van één computer (90 W) en het aan staan van de verlichting (215 W). De gebruikte bezettingsgraad van 50% is in lijn met de uit de enquêtes gevonden aanwezigheid van personen. Ook komt dit overeenkomen met het eerder genoemde onderzoek van de Rijksgebouwendienst bij enkele Haagse ministeries, waaruit naar voren komt dat een

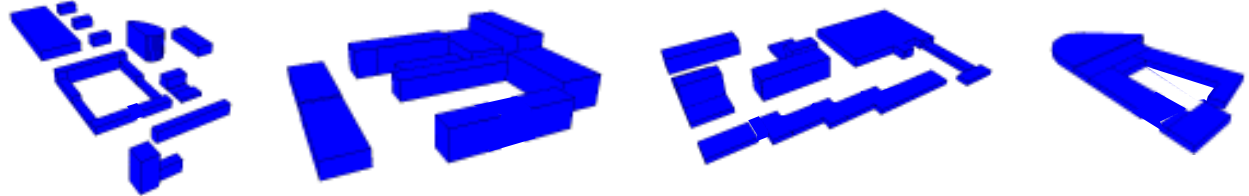
¹⁹ In bijlage 11 is een nadere toelichting te vinden

stafmedewerker circa 65% van de tijd op de werkplek te vinden is. Hierbij moet worden bedacht dat de metingen in de vakantieperiode zijn uitgevoerd.

Externe warmtelast

De hoeveelheid binnenvallende warmte ten gevolge van de zon staat hierbij centraal. Deze is afhankelijk van de beschaduwing ten gevolge van omliggende bebouwing en uitstekende geveldelen, de oriëntatie, de schakelwaarde van de zonwering, de eigenschappen en de afmetingen van het glas en de eigenschappen van de zonwering.

In figuur 5.2 is voor de vier gebouwen de ingevoerde omgeving afgebeeld. Hierbij zijn alle gebouwen zodanig verlaagd dat de hoogte juist is ten opzichte van het beschouwde vertrek.



Figuur 5.2: Omliggende bebouwing van, v.l.n.r., Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch, Rechtbank Haarlem, Openbaar Ministerie Arnhem, Rechtbank Middelburg

Uit de enquêtes en de rondgangen door het gebouw is, zoals eerder is aangegeven, naar voren gekomen dat zowel de zon- als de lichtwering veelvuldig in een andere stand worden gezet, waarbij de zonwering zelden volledig gesloten is en de lichtwering niet altijd volledig geopend. Dit is meegenomen in het model door in het fitproces de (constante) eigenschappen van de zonwering enigszins te verslechteren en die van het glas (inclusief lichtwering) enigszins te verbeteren. Ook de schakelwaarde voor de zonwering is per kamer gefit, waarbij de gevonden waarden variëren van 200 W/m² tot 300 W/m². In bijlage 11 zijn de per kamer exact gebruikte waarden te vinden.

Ventilatie

De ventilatie vindt in de gebouwen op een tweetal manieren plaats, te weten natuurlijke (via de ramen en via de deur) en mechanische ventilatie (gekoeld dan wel niet gekoeld). Bij natuurlijke ventilatie zijn de buitentemperatuur, het ventilatiedebiet (via de ramen en de deur) en de binnentemperatuur waarbij de ramen geopend worden van groot belang. Bij mechanische ventilatie zijn de buitentemperatuur, aangezien de temperatuur van de inblaaslucht hiervan afhankelijk is, en het ventilatiedebiet eveneens van belang. Daarnaast is het ook nodig de temperatuur van de inblaaslucht als functie van de buitentemperatuur en de tijd waarin de ventilatie actief is te kennen.

Met betrekking tot de buitentemperatuur zijn de simulaties uitgevoerd met de klimaatgegevens gemeten bij het dichtstbijzijnde weerstation van het KNMI (zie paragraaf 3.2.2). Hierbij zijn de buitentemperaturen die gedurende de meetperiode zijn gemeten, vervangen door de zelf gemeten waarden. De overige waarden (relatieve vochtigheid, windsnelheid, windrichting, globale straling, duur van de zonneshijn en de bedekkingsgraad van de hemel) zijn gelijk gehouden. Gebleken is dat wanneer gewerkt wordt met de volledige gegevens van het KNMI, het verschil tussen het gemeten en het gesimuleerde temperatuurverloop aanzienlijk groter is. Hierop wordt in de volgende paragraaf teruggekomen.

De temperatuur van de inblaaslucht is bepaald aan de hand van de in een aantal kamers gemeten waarden. In bijlage 12 is zowel de gemeten als de in de simulaties gebruikte temperatuur van de inblaaslucht als functie van de buitenluchttemperatuur weergegeven. De momenten waarop deze ventilatie 's ochtend inschakelt en 's avonds wordt uitgezet, is eveneens gevonden uit de gemeten waarden. Op deze momenten is in het temperatuurverloop van de inblaaslucht een sterke daling dan wel stijging van de temperatuur waar te nemen. In het gebouw van het Paleis van Justitie te 's-Hertogenbosch wordt naast ventilatie overdag tevens voorwaardelijke nachtventilatie toegepast, waarvan de voorwaarden in het fitproces zijn bepaald. Dit is gedaan omdat uit de metingen deze voorwaarden niet exact naar voren zijn gekomen. Door het beïnvloeden van de voorwaarden die aangeven wanneer deze nachtventilatie in dan wel uit wordt geschakeld, is naar voren gekomen dat de invloed van deze zomernachtventilatie op het temperatuurverloop zeer groot is.

De overige van belang zijnde waarden zijn eveneens benaderd middels het fitproces en zijn per vertrek verschillend. De gevonden waarden voor de temperatuur waarbij het raam wordt geopend liggen rond de 22,5°C, voor het ventilatievoud dat in dat geval ontstaat is $1 + 0,33 v_{wind} [m^3/(m^3h)]$ ²⁰ aangehouden en voor de volumestroom tussen het vertrek en de gang variëren de gevonden

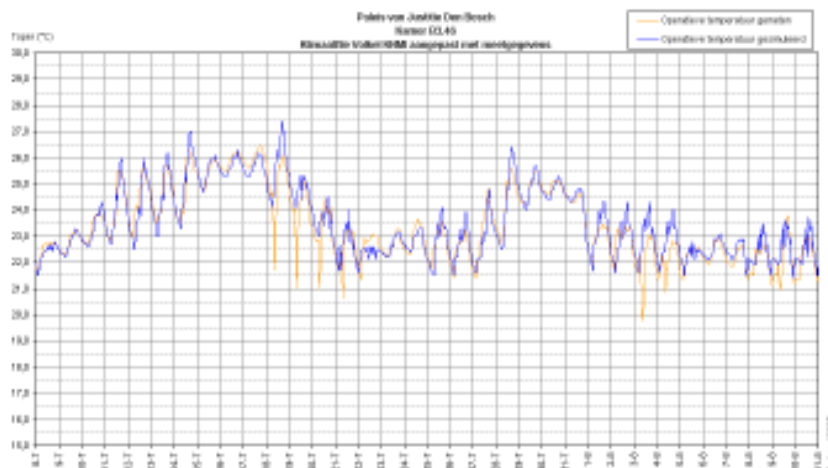
²⁰ Dit is een in de praktijk gangbare aanname

waarden van 100 tot 250 m³/h. De gebruikte waarden per vertrek zijn eveneens in bijlage 11 opgenomen.

5.2.3 Vergelijken metingen en simulaties voor de meetperiode

Vergelijking temperatuurverloop

Het temperatuurverloop dat voor de vertrekken wordt gevonden met de gefitte simulatiemodellen, blijkt in alle gevallen zeer goed overeen te komen met het de gemeten waarden. In bijlage 13 zijn de grafieken opgenomen, waarin voor de beschouwde vertrekken zowel het gemeten als het gesimuleerde temperatuurverloop is weergegeven. Ter illustratie is in figuur 5.3 de grafiek van vertrek B3.46 van het Paleis van Justitie te 's-Hertogenbosch afgebeeld. Opgemerkt dient te worden dat met enigszins andere waarden voor de invoerparameters (bijvoorbeeld hogere interne warmtelast en betere zonwering) eveneens een goed resultaat kan worden gevonden.

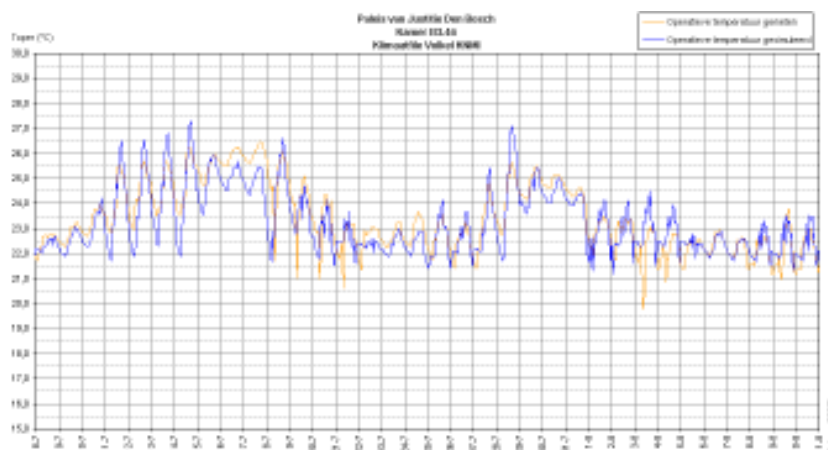


Figuur 5.3: Gesimuleerd en gemeten temperatuurverloop kamer B3.46
Paleis van Justitie te 's-Hertogenbosch

Het niet exact op elkaar vallen van de twee grafieken wordt veroorzaakt doordat in het model, in tegenstelling tot de praktijk, een groot aantal gebruikaspecten als constant wordt aangenomen. Het openen van het raam zal in de praktijk bijvoorbeeld niet altijd bij precies dezelfde binnentemperatuur gebeuren. Ondanks de beperkingen die het gebruik van een model met zich meebrengt blijkt uit de figuren dat het gesimuleerde temperatuurverloop in de vertrekken zeer goed met de gemeten waarden overeenkomt.

Daarnaast komen in sommige grafieken ook een aantal momenten voor, waarop het verschil tussen de gemeten en de gesimuleerde operatieve binnentemperatuur aanzienlijk is. Deze kunnen verklaard worden door bijzondere omstandigheden tijdens deze meetmomenten. Zo is in het geval van de optredende grote verschillen in de grafieken uit figuur 5.3 waarschijnlijk sprake van het volledig openen van het raam, waardoor een grotere warmte-uitwisseling met buiten optreedt dan in de simulaties is aangenomen. De grafieken van de vertrekken in het Openbaar Ministerie te Arnhem laten op een aantal momenten zeer hoge temperaturen zien in de gemeten waarden, hetgeen niet uit de simulaties volgt. Dit grote verschil wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het schijnen van de zon op de meetapparatuur, hetgeen in de simulaties uiteraard niet wordt meegenomen.

In de vorige paragraaf is aangegeven dat wanneer de simulaties worden uitgevoerd met de volledige gegevens van het KNMI, in plaats van met de zelf gemeten buitentemperaturen, het verschil tussen het gemeten en het gesimuleerde temperatuurverloop aanzienlijk groter is. In figuur 5.4 is dit geïllustreerd voor kamer B3.46 van het Paleis van Justitie te 's-Hertogenbosch, waarbij, ten opzichte van de simulatie waarvan het resultaat in figuur 5.3 is weergegeven, alleen de buitentemperatuur is aangepast. Deze is hierbij 'teruggewijzigd' in de door het KNMI gemeten waarden.



Figuur 5.4: Gesimuleerd en gemeten temperatuurverloop kamer B3.46
PvJ te 's-Hertogenbosch. Buitentemperatuur aangepast

In de figuur is te zien dat het verloop van de gemeten en de gesimuleerde temperatuur niet altijd goed met elkaar overeenkomen en dat over het algemeen het verschil toeneemt.

Vergelijking beoordeling vertrekken

Aangezien het gesimuleerde en het gemeten temperatuurverloop niet exact op elkaar vallen is te verwachten dat ook de beoordelingen van de vertrekken enigszins van elkaar verschillen. In tabel 5.1 is voor de beschouwde vertrekken weergegeven aan welke kwaliteitsklasse (ATG-methode) het vertrek voldoet volgens de metingen en volgens de simulaties. Tevens is het aantal gewogen overschrijdingsuren (GTO-methode), eveneens volgens de metingen en volgens de simulaties, per vertrek weergegeven.

Gebouw	Vertrek	ATG-methode			GTO-methode	
		Klimaat klasse	Metingen	Simulaties	Metingen	Simulaties
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	B3.46	Alpha	A	B	15	18
	E3.51	Alpha	C	B	58	54
Rechtbank Haarlem	B1.04	Alpha	B	C	24	65
Openbaar Ministerie Arnhem	EU2035	Alpha	C	B	0	1
	EU3064	Alpha	B	A	1	2
Rechtbank Middelburg	B2.15	Bèta	A	A	0	0
	B2.16	Bèta	C	C	1	1

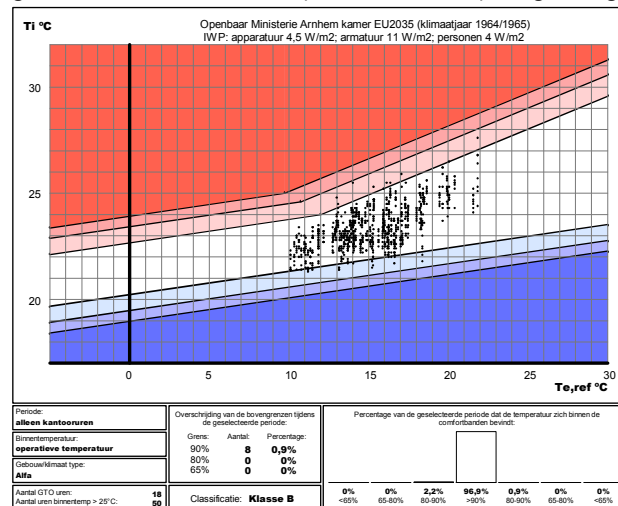
Uit deze tabel blijkt dat de indeling in klimaattypen van de vertrekken middels de ATG-methode aan de hand van de simulaties in slechts een enkel geval overeenkomt met de indeling aan de hand van de metingen voor de meetperiode. Wanneer echter nader wordt gekeken naar het aantal uren dat de maximale temperatuur van een kwaliteitsklasse in een vertrek wordt overschreden (tabel 5.2)²¹, blijkt dat dit voor de metingen en de simulaties zeer goed met elkaar overeen te komen. Het aantal overschrijdingsuren dat het verschil bepaalt tussen de beoordeling volgens de metingen en volgens de simulaties is immers zeer gering. Ook het aantal overschrijdingsuren volgens de GTO-methode gebaseerd op de simulaties blijkt goed met de metingen overeen te komen (tabel 5.1).

Gebouw	Kamer	Werk-uren	Metingen			Simulaties		
			90-80%	80-65%	<65%	90-80%	80-65%	<65%
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	B3.46	208	0	0	0	1	0	0
	E3.51	208	3	3	0	9	0	0
Rechtbank Haarlem	B1.04	184	8	0	0	14	3	0
Openbaar Ministerie Arnhem	EU2035	216	2	2	0	1	0	0
	EU3064	216	3	0	0	0	0	0
Rechtbank Middelburg	B2.15	248	0	0	0	0	0	0
	B2.16	248	44	5	0	13	2	0

²¹ In bijlage 9 is ook het aantal uur dat de minimumgrenzen worden overschreden weergegeven

5.3 Beoordelen gebouwen met de ATG-, de TO- en de GTO-methode

Met behulp van de gefitte simulatiemodellen kunnen de gebouwen getoetst worden aan de eisen van de ATG-, de TO- en van de GTO-methode, waarbij de voor de toetsing voorgeschreven (zie ook hoofdstuk 2.1.1 en 2.2.3) zomerperiode van het klimaatjaar 1964/1965, gemeten door het KNMI te De Bilt, wordt gebruikt. Om snel en overzichtelijk inzicht te krijgen in de beoordeling van de vertrekken heeft VABI software B.V. het zogeheten 'uitvoer visualisatie programma' ontwikkeld. Figuur 5.5 geeft voor vertrek EU2035 van het gebouw van het Openbaar Ministerie te Arnhem deze gevisualiseerde uitvoer weer. De optredende operationele binnentemperaturen worden weergegeven ten opzichte van de grenzen volgens de ATG-methode, waarbij een classificatie aan het vertrek wordt toegekend. Daarnaast is onder de grafiek het aantal overschrijdingsuren van 25°C (TO-methode) en het aantal gewogen overschrijdingsuren van PMV = +0,5 (GTO-methode) toegevoegd.



Figuur 5.5: Uitvoer visualisatie VA114

In tabel 5.3 zijn voor de onderzochte vertrekken de resultaten van de toetsingsberekeningen weergegeven, waarbij de invoer, met uitzondering van het buitenklimaat, gelijk is gehouden aan de gefitte situatie. Tevens is in deze tabel de bijbehorende beoordeling volgens de drie methoden weergegeven (zie ook bijlage 14).

Tabel 5.3: Resultaten toetsingssimulatie voor de onderzochte gebouwen. Gefitte simulatiemodellen met klimaatjaar 1964/65

[illegible]

Er volgt uit de simulaties dat het aantal gewogen overschrijdingsuren in alle vertrekken (aanzienlijk) kleiner is dan 150 en dat derhalve aan de eis van de GTO-methode wordt voldaan. In alle gevallen wordt eveneens voldaan aan de maximaal toegestane 100 overschrijdingsuren van 25°C volgens de TO-methode, uitzondering vormt het gebouw van de Rechtbank te Haarlem welke net niet aan de eis voldoet. Wanneer echter gekeken wordt naar de ATG-methode blijkt dat drie van de zeven getoetste vertrekken niet voldoen aan de eis van kwaliteitsklasse B, waarbij geen overschrijdingen van de temperatuurgrens behorende bij 80% acceptatie worden toegestaan. Deze eis van kwaliteitsklasse B, gebaseerd op 100% van de tijd 80% van de mensen tevreden, zou ongeveer overeen moeten komen met de eis volgens de GTO-methode, 90% van de tijd 90% van de mensen tevreden, aangezien het kwaliteitsniveau dat met beide eisen wordt nagestreefd globaal overeenkomt. Wanneer wordt gekeken naar het percentage van de werktijd dat de 80%-grens daadwerkelijk wordt overschreden, blijkt dat dit percentage zeer gering is (minder dan 1%). Verder blijkt dat de eis van kwaliteitsklasse A, de 90% acceptatiegrens van de ATG-methode, in alle ruimten minder dan 10% van de tijd wordt overschreden.

Tevens is gekeken naar de beoordeling van de vertrekken wanneer de interne warmtelast wordt verhoogd. Hierbij is gerekend met een interne warmtelast van 28 W/m^2 (opgebouwd uit 8 W/m^2 voor

de personen, 9 W/m² voor de apparatuur en 11 W/m² voor de verlichting, hetgeen overeenkomt met de aanwezigheid van twee personen, het in gebruik zijn van twee computers en het aanstaan van de verlichting) en een interne warmtelast van 35 W/m² (opgebouwd uit 9 W/m² voor de personen, 15 W/m² voor de apparatuur en 11 W/m² voor de verlichting), hetgeen overeenkomt met de in de eisen opgenomen richtwaarde voor de te verdisconteren interne warmtelast, waarvan de resultaten respectievelijk in tabel 5.4 en tabel 5.5 zijn weergegeven.

Tabel 5.4: Resultaten toetsingssimulatie voor de onderzochte gebouwen. Gefitte simulatiemodellen met klimaatjaar 1964/65, verhoogde interne warmtelast (28 W/m ²)										
Gebouw	Vertrek (klimaatype)	GTO [weeguur]	TO [uur]		ATG (overschrijding grenzen) [uur]			Beoordeling vertrekken		
			>25°C	>28°C	>90%	>80%	>65%	GTO	TO	ATG
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	B3.46 (α)	127	153	6	117	33	10	+	-	-
	E3.51 (α)	247	285	12	266	81	25	-	-	-
Rechtbank Haarlem	B1.04 (α)	179	203	18	164	42	12	-	-	-
Openbaar Ministerie Arnhem	EU2035 (α)	94	163	4	143	12	2	+	-	-
	EU3064 (α)	70	123	2	60	13	0	+	-	C
Rechtbank Middelburg	B2.15 (β)	0	8	0	4	0	0	+	+	B
	B2.16 (β)	0	10	0	12	0	0	+	+	B

Tabel 5.5: Resultaten toetsingssimulatie voor de onderzochte gebouwen. Gefitte simulatiemodellen met klimaatjaar 1964/65, verhoogde interne warmtelast (35 W/m ²)										
Gebouw	Vertrek (klimaatype)	GTO [weeguur]	TO [uur]		ATG (overschrijding grenzen) [uur]			Beoordeling vertrekken		
			>25°C	>28°C	>90%	>80%	>65%	GTO	TO	ATG
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	B3.46 (α)	231	242	15	253	77	32	-	-	-
	E3.51 (α)	459	494	43	555	229	94	-	-	-
Rechtbank Haarlem	B1.04 (α)	369	351	52	393	130	51	-	-	-
Openbaar Ministerie Arnhem	EU2035 (α)	276	341	14	396	107	19	-	-	-
	EU3064 (α)	168	235	11	186	42	14	-	-	-
Rechtbank Middelburg	B2.15 (β)	4	32	0	31	5	0	+	+	C
	B2.16 (β)	15	70	0	99	14	0	+	+	C

Er blijkt, zoals verwacht, dat het aantal overschrijdingsuren toeneemt wanneer de interne warmtelast wordt verhoogd. Opgemerkt dient te worden dat het toetsen van de vertrekken aan de hand van de gefitte simulatiemodellen met een verhoogde interne warmtelast geen goed beeld geeft van de gebouwen. Reden hiervoor is dat in het gefitte simulatiemodel het gedrag van de personen zo goed mogelijk in het model is meegenomen. Wanneer de binnentemperaturen hoger worden is te verwachten dat het gedrag van de personen ook zal veranderen. In dat geval zal bijvoorbeeld de zonwering wel volledig worden gesloten en de ramen wellicht verder worden geopend, hetgeen in deze simulaties niet is meegenomen. Wel kunnen de resultaten gebruikt worden om de beoordeling aan de hand van de verschillende criteria met elkaar te vergelijken.

In dat kader zijn met name de resultaten, weergegeven in tabel 5.4, interessant, aangezien deze voor een aantal kamers verschillen laten zien in deze beoordelingen. Te zien is dat een aantal vertrekken nog aan de eisen van de GTO-methode voldoen, maar niet meer aan die van de TO- en de ATG-methode kwaliteitsklasse B. Hieruit kan geconcludeerd worden dat met de ATG-methode een strengere eis is geformuleerd dan met de huidige GTO-methode.

5.4 Invloed van het gekozen criterium op de benodigde installatie

Naast het verschil in beoordeling van de gebouwen met de verschillende criteria is tevens gekeken naar de invloed van het gekozen criterium op de benodigde (koel)installatie. Om deze invloed te onderzoeken zijn simulaties uitgevoerd met twee simulatiemodellen, waarvan één in de basis overeenkomt met het gebouw van het Paleis van Justitie te 's-Hertogenbosch en de andere gebaseerd is op het gebouw van de Rechtbank te Middelburg. Hierbij zijn deze gebouwen zodanig gemodelleerd dat in de uitgangssituatie een kleine koelvraag bestaat.

5.4.1 Eigenschappen gebouw en gebruik

De ingevoerde gegevens met betrekking tot de eigenschappen van de twee onderzochte gebouwen, waarmee de simulaties zijn uitgevoerd, zijn per gebouw weergegeven in bijlage 15. De eigenschappen met betrekking tot het gebruik worden hieronder besproken.

Interne warmtelast

Dit betreft de warmtelast ten gevolge van de aanwezigheid van personen en het in werk zijn van apparatuur en verlichting. Gerekend is met de volgende interne warmtebelasting:

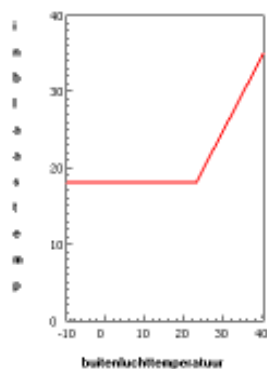
Personen	9	W/m ²	aanwezig van 8-12 en van 13-17
Apparatuur	15	W/m ²	aan van 8-12 en van 13-17
Armatuur	11	W/m ²	aan van 8-17
Totaal	35	W/m ²	

Overige uitgangspunten

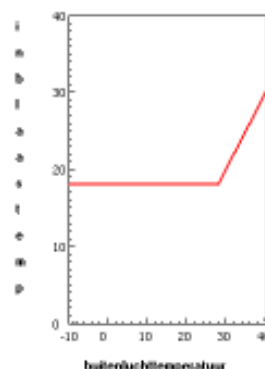
- Het raam wordt geopend indien de binnentemperatuur stijgt boven de 24°C en weer gesloten indien de temperatuur onder de 24°C zakt;
- Het ventilatievoud dat ontstaat wanneer het raam wordt geopend is gesteld op $1 + 0,33 \cdot v_{\text{wind}}$ [m³/(m³h)];
- De zonwering schakelt bij 250 W/m², waarbij deze volledig wordt gesloten;
- Geen omliggende bebouwing;
- Geen extra massa voor interieur meegenomen;
- Opwarming ventilatielucht door ventilator en in de kanalen is 1,5°C;
- De ventilatielucht wordt ingebracht via inblaasroosters en afgevoerd via het plenum boven het thermisch open plafond waarbij de armaturen niet zijn aangesloten.

5.4.2 Eigenschappen installatie

Er is in deze simulaties gebruik gemaakt van twee verschillende koelsystemen, te weten topkoeling en volledige koeling. Deze koelsystemen leveren, met een bepaald debiet, ingeblazen lucht van 18°C in de vertrekken. Deze temperatuur van de inblaasluft wordt gehandhaafd totdat de buitentemperatuur boven een bepaalde grenswaarde komt. Voor topkoeling is deze grenstemperatuur 23°C en voor de volledige koeling 28°C. Boven deze grenswaarde neemt de temperatuur van de ingeblazen lucht toe, waarbij het verschil tussen de buiten- en de inblaas temperatuur constant blijft. Dit verschil is 5°C voor topkoeling en voor volledige koeling 10°C. Het verloop van de temperatuur van de inblaasluft als functie van de buitentemperatuur is voor beide koelsystemen weergegeven in figuur 5.6 en 5.7. De overige eigenschappen van de in de simulatiemodellen gebruikte koelsystemen zijn opgenomen in bijlage 15.



Figuur 5.6: Inblaas temperatuur topkoeling



Figuur 5.7: Inblaas temperatuur volledige koeling

Naast dat er met actieve koeling is gerekend, is er tevens gekeken naar het gebruik van voorwaardelijke nachtventilatie voor het uitkoelen van de gebouwmassa. Hiervan zijn twee varianten bekeken, te weten 'standaard' nachtventilatie, welke doorgaans in huidige gebouwen wordt toegepast, en 'verbeterde' nachtventilatie, welke ten opzichte van de standaard nachtventilatie lagere binnentemperaturen tot gevolg heeft. In tabel 5.6 zijn de voorwaarden weergegeven waaronder deze twee typen nachtventilatie in werking zijn.

Tabel 5.6: Voorwaarden nachtventilatie		
	Type nachtventilatie	
	'Standaard'	'Verbeterd'
Aanschakelen indien binnentemperatuur	> 24 °C	> 19 °C
Uitschakelen indien binnentemperatuur	< 20 °C	< 18 °C
Uitschakelen indien verschil tussen binnen- en buitentemperatuur ($T_i - T_e$)	< 3 °C	< 3 °C
Uitschakelen indien buitentemperatuur	< 12 °C	< 12 °C

5.4.3 Benodigde koelvermogen per variant volgens de verschillende criteria

In de simulaties zijn de in de vorige paragraaf besproken typen van het koelsysteem en van de voorwaardelijke nachtventilatie met elkaar gecombineerd. Voor elk van deze varianten is bepaald welk vermogen benodigd is om aan de verschillende criteria te voldoen. Hiertoe is het koelvermogen in stapjes opgevoerd totdat aan de eisen wordt voldaan. Gekeken is hierbij naar de GTO-methode, waarbij 150 gewogen overschrijdingsuren worden toegestaan, en naar kwaliteitsklasse B van de ATG-methode, waarbij geen overschrijdingen van de 80%-acceptatiegrens mogen optreden. De gebouwen zijn hierbij zowel getoetst aan de eisen voor klimaattype Alpha als voor klimaattype Bèta²². Zoals eerder is aangegeven zou de eis van kwaliteitsklasse B, gebaseerd op 100% van de tijd 80% van de mensen tevreden, ongeveer overeen moeten komen met de eis volgens de GTO-methode, 90% van de tijd 90% van de mensen tevreden. In tabel 5.7 zijn de resultaten weergegeven. De in de laatste kolommen opgenomen benodigde vermogens, betreffen het koelvermogen voor de koelinstallatie en niet de netto koeling die in de ruimte wordt gebracht (waartoe bijvoorbeeld ook de koelende werking van de nachtventilatie behoort). De waarden zijn daardoor mede afhankelijk van het gekozen installatieconcept. Deze verschillende varianten van de installatie zijn beschouwd om een volledig beeld te vormen.

Tabel 5.7: Benodigde koelvermogen volgens de verschillende criteria voor verschillende varianten van de installatie; Gebouwen met te openen ramen; Klimaatjaar 1964/1965									
Gebouw	Variant	Koeling		Nachtventilatie			Benodigd vermogen [W/m ²] volgens:		
		Topkoeling	Volledig	Geen	Standaard	Verbeterd	GTO- criterium (150 weeguren)	ATG 80%-grens Alpha Bèta	
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	1	•			•		26	75	
	2	•				•	22	52	
	3		•	•			57	71	112
	4		•		•		40	65	108
	5		•			•	36	52	84
Rechtbank Middelburg	6	•		•			23	49	
	7	•			•		19	47	
	8		•	•			37	48	85
	9		•		•		29	44	82

Opvallend is dat het benodigde vermogen, met name wanneer het GTO-criterium in beschouwing wordt genomen, in het geval topkoeling wordt toegepast beduidend lager is dan wanneer volledige koeling wordt gebruikt. Oorzaak hiervoor wordt gevonden in het complexe samenspel tussen installatie, gebouw en gebruiker. Onder andere het openen van de ramen bij hoge binnentemperaturen, welke voornamelijk optreden bij hoge buitentemperaturen, zorgt ervoor dat de invloed van de gekoelde ingeblazen lucht op de binnentemperatuur afneemt. Hierdoor wordt het koelproces minder efficiënt. Dit heeft vooral invloed op de volledige koeling, aangezien deze ook bij hoge buitentemperaturen een lage inblaastemperatuur probeert te realiseren.

²² Het benodigde vermogen om aan de eisen van klimaattype Bèta volgens de ATG-methode te voldoen is niet weergegeven voor varianten met topkoeling, aangezien het ventilatiedebiet in dat geval te groot wordt.

In aanvulling hierop wordt opgemerkt dat het doel van de simulaties het in kaart brengen van het verschil tussen de verschillende criteria is en dat het optimaliseren van de (koel)installatie en het ontwerp van het gebouw hierbij buiten beschouwing is gelaten.

Uit de resultaten van de berekeningen blijkt dat het ATG-criterium, waarbij kwaliteitsklasse B wordt gehanteerd, tot een aanzienlijke verhoging van het benodigde koelvermogen leidt ten opzichte van het GTO-criterium. Dit is met name het geval voor gebouwen van het klimaattype Bèta. In tabel 5.8 is de toename van het benodigde vermogen zowel absoluut als procentueel weergegeven.

Tabel 5.8: Verschil tussen benodigde vermogen volgens GTO- en ATG-methode; Gebouwen met te openen ramen; Klimaatjaar 1964/1965				
Variant	Klimaattype Alpha		Klimaattype Bèta	
	Absoluut [W/m ²]	Procentueel [%]	Absoluut [W/m ²]	Procentueel [%]
1	+49	+188	-	-
2	+30	+136	-	-
3	+14	+ 25	+55	+ 96
4	+25	+ 63	+68	+170
5	+16	+ 45	+48	+133
6	+26	+113	-	-
7	+28	+147	-	-
8	+11	+ 30	+48	+130
9	+15	+ 52	+53	+183

Naast dat is gekeken naar gebouwen met te openen ramen, is ook de invloed van het criterium op het benodigde vermogen voor gebouwen met een gesloten gevel onderzocht. Voor gebouwen waarvan de ramen niet geopend kunnen worden is in de Wettelijke Eisen en Richtlijnen RGD Bouwfysica een apart criterium opgenomen: 'Voor gebouwen met 'niet vrijelijk te openen' ramen of een gesloten gevel, dient een operationele temperatuur van 25,5°C niet te worden overschreden tot een maximum buitentemperatuur van 28°C'. Dit type gebouw is volgens de ATG-methode van het Bèta-type. In tabel 5.9 zijn de benodigde vermogens weergegeven om aan deze eisen te voldoen.

Tabel 5.9: Benodigde koelvermogen volgens de verschillende criteria voor verschillende varianten van de installatie; Gebouwen met gesloten gevel; Klimaatjaar 1964/1965						
Gebouw	Variant	Koeling Volledig	Nachtventilatie		Benodigd vermogen [W/m ²] volgens:	
			Standaard	Verbeterd	GTO-criterium T _i < 25,5°C tot T _e = 28°C	ATG 80%-grens Bèta
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	10	•	•		89	98
	11	•		•	67	68
Rechtbank Middelburg	12	•	•		58	70
	13	•		•	54	57

Het benodigde vermogen is hoger dan wanneer de ramen geopend kunnen worden. Dit ligt in lijn der verwachting aangezien er geen directe koeling met buitenlucht plaatsvindt. Het verschil tussen de ATG- en de GTO-methode is in dit geval minder groot. Dit wordt met name veroorzaakt doordat bij het GTO-criterium in dit geval eveneens geen overschrijdingsuren worden toegestaan (tot een buitentemperatuur van 28°C). Hierdoor neemt het benodigde vermogen volgens het GTO-criterium aanzienlijk toe terwijl het benodigde vermogen volgens de ATG-methode slechts een weinig stijgt. Doordat de benodigde vermogens volgens het GTO-criterium reeds aan de hoge kant zijn, is de toename procentueel gering (tabel 5.10).

Tabel 5.10: Verschil tussen benodigde vermogen volgens GTO- en ATG-methode; Gebouwen met gesloten gevel; Klimaatjaar 1964/1965		
Variant	Klimaattype Bèta	
	Absoluut [W/m ²]	Procentueel [%]
10	+ 9	+10
11	+ 1	+ 2
12	+12	+21
13	+ 3	+ 6

Tevens zijn simulaties uitgevoerd met het warmere klimaatjaar 1995. Ook hierbij is gekeken naar gebouwen met te openen ramen en naar gebouwen met een gesloten gevel. De benodigde koelvermogens voor de verschillende varianten om in dat klimaatjaar aan de eisen te voldoen, zijn weergegeven in tabel 5.11 en tabel 5.12.

Tabel 5.11: Benodigde koelvermogen volgens de verschillende criteria voor verschillende varianten van de installatie; Gebouwen met te openen ramen; Klimaatjaar 1995						
Gebouw	Variant	Koeling Volledig	Nachtventilatie		Benodigd vermogen [W/m ²] volgens:	
			Standaard	Verbeterd	GTO-criterium (150 weeguren)	ATG 80%-grens Alpha
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	4	•	•		82	94
	5	•		•	79	91
Rechtbank Middelburg	9	•	•		65	72
	14	•		•	64	71

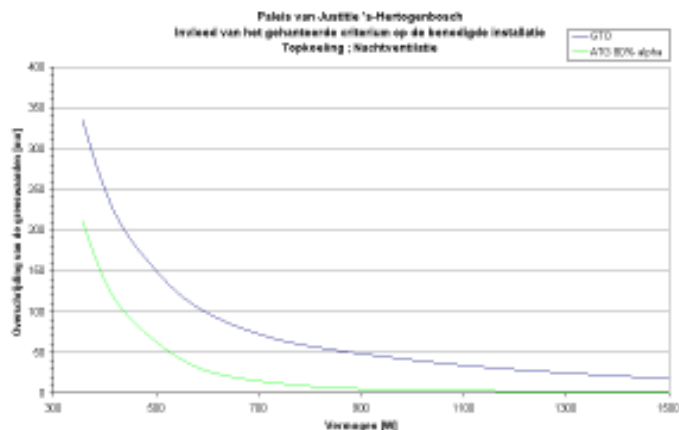
Tabel 5.12: Benodigde koelvermogen volgens de verschillende criteria voor verschillende varianten van de installatie; Gebouwen met gesloten gevel; Klimaatjaar 1995						
Gebouw	Variant	Koeling Volledig	Nachtventilatie		Benodigd vermogen [W/m ²] volgens:	
			Standaard	Verbeterd	GTO-criterium $T_i < 25,5^\circ\text{C}$ tot $T_e = 28^\circ\text{C}$	ATG 80%-grens Bèta
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	10	•	•		113	185
	11	•		•	108	167
Rechtbank Middelburg	12	•	•		105	165
	13	•		•	100	158

Er blijkt dat het benodigde vermogen hoger is dan wanneer gerekend wordt met klimaatjaar 1964/1965. Voor de gebouwen met te openen ramen is het verschil tussen het benodigde vermogen volgens de ATG-methode en volgens de GTO-methode minder groot geworden. Dit laat zich verklaren doordat de ATG-methode bij hogere buitentemperaturen hogere binnentemperaturen toestaat. Hierdoor neemt het benodigde vermogen minder snel toe voor de ATG-methode wanneer wordt gekeken naar warmere klimaatjaren dan voor de GTO-methode. Voor de gebouwen met gesloten gevel is het verschil juist toegenomen. Oorzaak hiervoor is het buiten beschouwing laten van binnentemperaturen wanneer het buiten warmer is dan 28°C bij de GTO-methode terwijl bij de ATG-methode alle werkuren worden meegeteld. De verschillen zijn in tabel 5.13 opgenomen.

Tabel 5.13: Verschil tussen benodigde vermogen volgens GTO- en ATG-methode; Klimaatjaar 1995					
Gebouwen met te openen ramen			Gebouwen met gesloten gevel		
Variant	Klimaattype Alpha		Variant	Klimaattype Bèta	
	Absoluut [W/m ²]	Procentueel [%]		Absoluut [W/m ²]	Procentueel [%]
4	+12	+15	10	+72	+64
5	+12	+15	11	+59	+55
9	+ 7	+11	12	+60	+57
14	+ 7	+11	13	+58	+58

5.4.4 Nadere beschouwing benodigd koelvermogen

Wanneer wordt gekeken naar het aantal overschrijdingsuren dat optreedt bij een bepaald toegepast koelvermogen, blijkt dat dit aantal steeds minder afneemt bij verhoging van het vermogen, zoals in figuur 5.8 is te zien.



Figuur 5.8: Aantal overschrijdingsuren als functie van het toegepaste koelvermogen

Duidelijk is te zien dat wanneer geen overschrijdingsuren worden toegestaan, hetgeen bij de ATG-methode het geval is, een aanzienlijk groter koelvermogen benodigd is dan wanneer enkele uren

overschrijding wel worden geaccepteerd. Ter vergelijking is bepaald welk koelvermogen benodigd is voor het geval in 1% van de tijd (circa 10 uur) de binnentemperatuur boven de grenswaarden van de ATG-methode mag komen. Dit is, naast de reeds gevonden waarden, weergegeven in tabel 5.14.

Tabel 5.14: Benodigde koelvermogen volgens de verschillende criteria voor verschillende varianten van de installatie; Klimaatjaar 1964/1965

Gebouw	Variant	Benodigd vermogen [W/m ²] volgens:					
		GTO-criterium		ATG 80%-grens		ATG 80%-grens	
		150 weeguren	T _i < 25,5°C tot T _e = 28°C	0 overschrijdingsuren Alpha	Bèta	10 overschrijdingsuren Alpha	Bèta
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	Ramen te openen	1	26		75	38	
		2	22		52	29	
		3	57		71	64	90
		4	40		65	54	83
		5	36		52	45	63
	Gesloten gevel	10		89		98	83
		11		67		68	61
Rechtbank Middelburg	Ramen te openen	6	23		49	28	
		7	19		47	24	
		8	37		48	39	63
		9	29		44	35	56
	Gesloten gevel	12		58		70	57
		13		54		57	48

Duidelijk is te zien dat door het toestaan van overschrijdingen van de adaptieve temperatuurgrenzen gedurende 1% van de werktijd het benodigde vermogen sterk afneemt ten opzichte van de situatie waarin geen overschrijdingsuren worden toegestaan. Dit is met name het geval voor die varianten waarin topkoeling is toegepast. In tabel 5.15 zijn de absolute en procentuele verschillen tussen de ATG en de GTO-methode per variant weergegeven.

Tabel 5.15: Verschil tussen benodigde vermogen volgens GTO- en ATG-methode; Klimaatjaar 1964/1965

Variant	ATG 80%-grens 0 overschrijdingsuren				ATG 80%-grens 10 overschrijdingsuren			
	Klimaattype Alpha		Klimaattype Bèta		Klimaattype Alpha		Klimaattype Bèta	
	absoluut	procentueel	absoluut	procentueel	absoluut	procentueel	absoluut	procentueel
1	+49	+188			+12	+46		
2	+30	+136			+ 7	+32		
3	+14	+ 25	+55	+ 96	+ 7	+12	+33	+ 58
4	+25	+ 63	+68	+170	+14	+35	+43	+108
5	+16	+ 44	+48	+133	+ 9	+25	+27	+ 75
10			+ 9	+ 10			- 6	- 7
11			+ 1	+ 1			- 6	- 9
6	+26	+ 13			+ 5	+22		
7	+28	+ 17			+ 5	+26		
8	+11	+ 30	+48	+130	+ 2	+ 5	+26	+ 70
9	+15	+ 52	+53	+183	+ 6	+21	+27	+ 93
12			+12	+ 21			- 1	- 2
13			+ 3	+ 6			- 6	- 11

Wanneer wordt gekeken naar het ATG-criterium waarbij 10 overschrijdingsuren worden toegestaan, blijkt dit criterium voor gebouwen met te openen ramen (variant 1 tot en met 9) van het Alpha klimaattype tot een lichte verhoging van de benodigde koeling te leiden (5 tot 15 W/m²), ten opzichte van het GTO-criterium. Indien gebouwen met te openen ramen aan de grenswaarden van het klimaattype Bèta moeten worden getoetst, bijvoorbeeld doordat er niet individueel regelbare actieve koeling aanwezig is (zie figuur 2.1), neemt het benodigde koelvermogen aanzienlijk toe (25 tot 45 W/m²).

Daarentegen leidt het ATG-criterium waarbij 10 overschrijdingsuren worden toegestaan voor gebouwen met gesloten gevel (variant 10 tot en met 13) tot een lichte verlaging van het benodigde koelvermogen. Dit is uitsluitend het gevolg van het toestaan van overschrijdingen van de grenswaarden gedurende 10 uur per jaar. Indien dit niet wordt toegelaten is volgens het ATG-criterium een gering hoger vermogen nodig.

Daarnaast is het benodigde koelvermogen volgens de ATG-methode voor gebouwen van het klimaattype Alpha voor verschillende klimaatjaren meer constant dan de GTO-methode, hetgeen volgt uit de middels simulaties gevonden waarden welke zijn weergegeven in tabel 5.16 en 5.17. Wel is ook met dit criterium voor een warmer klimaatjaar een groter koelvermogen nodig. Wanneer gebouwen met gesloten gevel in beschouwing worden genomen blijkt de GTO-methode echter constanter te zijn.

Tabel 5.16: Benodigde koelvermogen volgens de verschillende criteria voor verschillende varianten van de installatie; Klimaatjaar 1995

Gebouw		Variant	Benodigd vermogen [W/m ²] volgens:					
			GTO-criterium		ATG 80%-grens		ATG 80%-grens	
			150 weeguren	T _i < 25,5°C tot T _e = 28°C	0 overschrijdingsuren	Bèta	10 overschrijdingsuren	Bèta
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	Ramen te openen	4	82		94	-	74	-
		5	79		91	-	70	-
	Gesloten gevel	10		113	-	185	-	138
		11		108	-	167	-	123
Rechtbank Middelburg	Ramen te openen	9	65		72	-	59	-
		14	64		71	-	60	-
	Gesloten gevel	12		105	-	165	-	123
		13		100	-	158	-	108

Figuur 5.17: Verschil tussen benodigde vermogen klimaatjaar 1964/1965 en 1995 volgens GTO- en ATG-methode

Klimaattype	Variant	GTO-criterium		ATG 80%-grens		ATG 80%-grens	
		absoluut	procentueel	absoluut	procentueel	absoluut	procentueel
Alpha (Ramen te openen)	4	+ 42	+105	+ 29	+ 45	+ 20	+ 37
	5	+ 43	+119	+ 39	+ 75	+ 25	+ 56
	9	+ 36	+124	+ 28	+ 64	+ 24	+ 69
Bèta (Gesloten gevel)	10	+ 24	+ 27	+ 87	+ 89	+ 55	+ 66
	11	+ 41	+ 61	+ 99	+146	+ 62	+102
	12	+ 47	+ 81	+ 95	+136	+ 66	+116
	13	+ 46	+ 85	+101	+177	+ 60	+125

Tot slot is voor de in de simulaties doorgerekende varianten bepaald welk aantal overschrijdingsuren voor de ATG-methode moet worden toegestaan, zodat deze methode even streng is als de GTO-methode. Hierbij is kwaliteitsklasse B van klimaattype Alpha in beschouwing genomen. In tabel 5.18 zijn de resultaten weergegeven.

Tabel 5.18: Aantal overschrijdingsuren ATG-methode (kwaliteitsklasse B, klimaattype Alpha) waarbij deze methode even streng is als de GTO-methode

Variant	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Overschrijdingsuren	65	55	45	75	70	25	35	27	35

Er blijkt dat het aantal overschrijdingsuren, waarbij de ATG-methode even streng is als de GTO-methode, varieert tussen de 25 en 75 uur, hetgeen ongeveer overeenkomt met 2,5 tot 7,5% van de werktijd.

Hoofdstuk 6 Vergelijking ATG- en GTO-methode

In hoofdstuk 2 zijn met betrekking tot de vergelijking tussen de ATG- en de GTO-methode enkele hypothesen opgesteld. In dit hoofdstuk worden deze aan de hand van de resultaten van de metingen en de simulaties één voor één geëvalueerd.

1. *De ATG-methode sluit beter aan bij de oordelen van de personen dan de GTO-methode*

Om deze hypothese te kunnen toetsen is in hoofdstuk 4 gekeken naar de verschillen en/of overeenkomsten tussen de optimale operationele temperatuur volgens de ATG- en de GTO-methode en de comforttemperaturen volgens de oordelen van de personen. Hierbij zijn de overeenkomsten en verschillen in de afhankelijkheid van deze temperaturen van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur beschouwd.

De oordelen van de personen laten zien dat er inderdaad sprake is van adaptatie: bij hogere buitentemperaturen worden hogere binnentemperaturen als comfortabel ervaren. De mate van adaptatie volgens deze oordelen blijkt daarbij zeer goed overeen te komen met de mate van adaptatie volgens de ATG-methode. Dit laatste is echter alleen het geval indien een eigen indeling van de vertrekken in klimaatklassen, gebaseerd op de oordelen van de personen per kamer, wordt gebruikt. Deze indeling komt niet (geheel) overeen met de indeling zoals die momenteel in de ISSO publicatie 74 is opgenomen.

Wanneer de mate van adaptatie, die uit de oordelen van de mensen naar voren komt, wordt vergeleken met die gevonden met de aan de GTO-methode ten grondslag liggende PMV, blijken deze voor vertrekken van het Bèta-type eveneens goed overeen te komen. Dit is echter, overeenkomstig de resultaten van het onderzoek van Brager & De Dear, niet het geval voor vertrekken van het Alpha-type. Doordat bij de GTO-methode voor enkele van de parameters om de PMV te bepalen vaste waarden worden aangehouden, is de overeenkomst in de mate van adaptatie minder groot.

Geconcludeerd kan worden dat de ATG-methode inderdaad beter aansluit bij de oordelen van de personen dan de GTO-methode, maar dat dit slechts het geval is bij een bepaalde indeling van de vertrekken in klimaatklassen die niet geheel overeenkomt met de indeling volgens ISSO publicatie 74. Het is hiervoor noodzakelijk dat meer onderzoek gedaan wordt naar deze indeling in klimaatklassen.

Daarnaast is ook gekeken naar de overeenkomst tussen de beoordeling van de vertrekken aan de hand van de ATG- en de GTO-methode in vergelijking met de beoordeling aan de hand van de oordelen van de personen. Hieruit komt naar voren dat in de onderzochte gebouwen in de meetperiode het toetsen van de vertrekken aan de ondergrens van de ATG-methode niet goed overeenkomt met de oordelen van de personen. Wellicht geldt dit alleen voor de zomerperiode.

2. *De ATG-methode is minder streng dan de GTO-methode*

Bij het evalueren van de hypothese aan de hand van de in hoofdstuk 5 beschreven simulaties, waarbij gerekend is met klimaatjaar 1964/1965, wordt onderscheid gemaakt in drie type gebouwen: gebouwen van het klimaattype Alpha, gebouwen met geheel gesloten gevel (klimaattype Bèta) en overige gebouwen van het klimaattype Bèta.

Voor gebouwen van het klimaattype Alpha en voor gebouwen van het Bèta-type met een niet geheel gesloten gevel is gekeken naar de GTO-methode, waarbij 150 gewogen overschrijdingsuren worden toegestaan, en naar kwaliteitsklasse B van de ATG-methode, waarbij geen overschrijdingen van de 80% acceptatiegrens mogen optreden. Voor gebouwen met een geheel gesloten gevel (eveneens klimaattype Bèta) is de eis voor kwaliteitsklasse B van de ATG-methode vergeleken met de in de 'Wettelijke Eisen en Richtlijnen RGD Bouwfysica' opgenomen eis, waarbij geen overschrijdingen van 25,5°C worden toegestaan tot een buitentemperatuur van 28°C.

Uit de simulaties blijkt, in tegenstelling tot de verwachting, dat voor alle drie type gebouwen de ATG-methode strenger uitpakt. Dit is met name voor gebouwen van het Bèta-type waarvan de gevel niet geheel is gesloten, het geval.

3. *De ATG-methode is constanter voor verschillende klimaatjaren dan de GTO-methode*

Om deze hypothese te beoordelen zijn naast de simulaties met klimaatjaar 1964/1965 tevens simulaties uitgevoerd met het warmere klimaatjaar 1995. Ook hierbij is gekeken naar gebouwen met te openen ramen en naar gebouwen met een gesloten gevel.

Er blijkt dat, wanneer gerekend wordt met klimaatjaar 1995, het benodigde vermogen zowel voor de ATG- (kwaliteitsklasse B) als voor de GTO-methode hoger is dan wanneer gerekend wordt met

klimaatjaar 1964/1965. Hierbij blijkt dat de ATG-methode, voor gebouwen van het klimaattype Alpha, inderdaad constanter is voor de verschillende klimaatjaren dan de GTO-methode. Daarentegen is voor gebouwen met een geheel gesloten gevel de GTO-methode juist constanter. Oorzaak hiervan is het buiten beschouwing laten van binnentemperaturen wanneer het buiten warmer is dan 28°C bij de GTO-methode, voor gebouwen met een geheel gesloten gevel, terwijl bij de ATG-methode alle werkuren worden meegerekend.

4. De ATG-methode is beter communiceerbaar dan de GTO-methode

Met betrekking tot deze hypothese is geen verder onderzoek verricht. Wel duiden de signalen uit de praktijk erop dat de ATG-methode, ook voor leken, beter te begrijpen is en daardoor betere communicatie mogelijk maakt.

5. De ATG-methode is beter te toetsen in de praktijk dan de GTO-methode

Twee aspecten zijn bij deze hypothese van belang, te weten:

- de mogelijkheid de benodigde parameters in de praktijk te meten;
- het overeenkomen van de beoordeling aan de hand van de metingen met die aan de hand van de simulaties.

Met betrekking tot het eerste aspect is het verschil tussen de ATG- en de GTO-methode gering. In tabel 6.1 zijn de benodigde parameters weergegeven.

Tabel 6.1: Benodigde parameters voor toetsing	
ATG-methode	GTO-methode
Operatieve temperatuur	Luchttemperatuur
Gewogen gemiddelde buitentemperatuur	Gemiddelde stralingstemperatuur
	Relatieve vochtigheid

De benodigde operatieve temperatuur voor de ATG-methode moet bepaald worden aan de hand van de luchttemperatuur en de gemiddelde stralingstemperatuur. De gemiddelde stralingstemperatuur kan echter niet direct worden gemeten. Middels het meten van de globetemperatuur (zwarte bol temperatuur), de luchttemperatuur en de lichtsnelheid is het mogelijk de gemiddelde stralingstemperatuur te berekenen. Het continu meten van de lichtsnelheid vormt echter een praktisch probleem. Om de stralingstemperatuur evenwel te kunnen bepalen, moet voor de lichtsnelheid een gemiddelde waarde worden aangenomen. Als gevolg hiervan wordt een fout in de gemiddelde stralingstemperatuur en in de operatieve temperatuur geïntroduceerd, ter grootte van respectievelijk maximaal circa 0,4°C en 0,2°C. Uit de analyse is gebleken dat de operatieve temperatuur goed kan worden benaderd door het meten van de globetemperatuur. Hieruit kan de conclusie worden getrokken dat de parameters benodigd voor de beoordeling van een gebouw middels de ATG-methode enigszins eenvoudiger te meten zijn dan de parameters voor de GTO-methode en dat tevens de nauwkeurigheid lichtelijk groter is. De voor de ATG-methode benodigde gewogen gemiddelde buitentemperatuur moet echter wel bepaald worden aan de hand van gegevens van het dichtstbijzijnde KNMI-weerstation. Het opvragen hiervan kan enkele weken in beslag nemen.

Om het tweede aspect te kunnen toetsen is het nodig de beoordelingen van de vertrekken aan de hand van de metingen (zie hoofdstuk 4.2.2) te vergelijken met de beoordeling gebaseerd op de simulaties (zie hoofdstuk 5.3). Hieronder worden dit voor de twee methoden afzonderlijk bekeken.

GTO-methode

Het beoordelen van de gebouwen middels de GTO-methode aan de hand van metingen in een relatief korte periode is niet direct mogelijk, aangezien het aantal optredende overschrijdingsuren in de meetperiode niet direct 'vertaald' kan worden naar het aantal overschrijdingsuren in een gehele zomerperiode. Hierdoor is een vergelijking tussen de beoordeling aan de hand van de metingen en aan de hand van de simulaties niet te geven.

Om een beter beeld te krijgen van de aansluiting wordt gekeken naar het aantal optredende gewogen overschrijdingsuren in de metingen en in de simulaties (tabel 6.2).

Tabel 6.2: Optredende gewogen overschrijdingsuren			
Gebouw simulatie	Vertrek	Meting	Simulatie
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	B3.46 (α)	15	54
	E3.51 (α)	58	75
Rechtbank Haarlem	B1.04 (α)	24	96
Openbaar Ministerie Arnhem	EU2035 (α)	0	18
	EU3064 (α)	1	18
Rechtbank Middelburg	B2.15 (β)	0	0
	B2.16 (β)	1	0

Voor het gebouw van het Paleis van Justitie te 's-Hertogenbosch en voor het gebouw van de Rechtbank te Haarlem zijn in de meetperiode een aanzienlijk aantal gewogen overschrijdingsuren te zien. Dit aantal is echter lager dan toegestaan in een gehele zomerperiode. Aangezien het voor de beoordeling van de gebouwen nodig is om te weten welk aantal overschrijdingsuren in deze gehele zomerperiode optreden, is het niet goed mogelijk om aan de hand van het, tijdens de kortere meetperiode optredende, aantal overschrijdingsuren te voorspellen of de gebouwen aan de eisen voldoen. Hierdoor wordt het noodzakelijk geacht om simulaties uit te voeren om de gebouwen te kunnen beoordelen.

In de overige twee gebouwen treden in de meetperiode nagenoeg geen overschrijdingsuren op. Ook voor deze gebouwen is het echter niet direct duidelijk of aan de eisen wordt voldaan. Bij deze eisen is immers ook aangegeven dat gerekend moet worden met het klimaatjaar 1964/1965 en zijn voor het te verdisconteren gebruik van het gebouw (waaronder de interne warmtelast) ook enkele afspraken gemaakt en aannamen gedaan. Indien deze aspecten in de meetperiode aanzienlijk gunstiger zijn, wordt een onjuist positief beeld over het gebouw gevormd (het tegenovergestelde is ook mogelijk). Ook kan de meetperiode te kort zijn om een voldoende onderbouwde uitspraak te kunnen doen. Aangezien er (nog) geen randvoorwaarden voor het uitvoeren van een dergelijke meting bestaan, is het ook voor deze gebouwen nodig simulatieberekeningen uit te voeren.

ATG-methode

Bij toetsing aan de ATG-methode geldt dat indien de operationele binnentemperatuur de grenswaarde behorende bij een bepaalde kwaliteitsklasse overschrijdt, het vertrek in een lagere kwaliteitsklasse ingedeeld moet worden. Hierdoor is het, volgens ISSO publicatie 74, niet noodzakelijk om de meetresultaten over een korte periode (één à twee weken) te 'vertalen' naar een heel zomerhalfjaar om het aantal overschrijdingsuren te kunnen beoordelen. Een kortdurende meting zou voldoende gegevens moeten leveren om een uitspraak te kunnen doen met betrekking tot het wel of niet voldoen van het gebouw aan de gevraagde prestatie. Hierbij wordt in de ISSO publicatie de voorwaarde gegeven dat de gewogen gemiddelde buitentemperatuur in de meetperiode niet hoger mag zijn dan 22°C, hetgeen in dit onderzoek het geval is. In tabel 6.3 is voor de onderzochte vertrekken van de vier gebouwen weergegeven in welke kwaliteitsklasse deze moeten worden ingedeeld aan de hand van de metingen. Tevens is de indeling aan de hand van de simulaties weergegeven. Daarnaast is in tabel 6.4 weergegeven of het vertrek wel ('plus'-teken) of niet ('min'-teken) aan de eisen van kwaliteitsklasse B voldoet. Indien het laatste het geval is, is in de tabel tevens het percentage van de tijd dat de grenswaarde wordt overschreden weergegeven.

Gebouw	Vertrek (klimaatype)	Meting	Simulatie
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	B3.46 (α)	A	C
	E3.51 (α)	C	C
Rechtbank Haarlem	B1.04 (α)	B	C
Openbaar Ministerie Arnhem	EU2035 (α)	C	B
	EU3064 (α)	B	B
Rechtbank Middelburg	B2.15 (β)	A	A
	B2.16 (β)	C	A

Gebouw	Vertrek (klimaatype)	Meting	Simulatie
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	B3.46 (α)	+	- (0,8%)
	E3.51 (α)	- (1,4%)	- (0,3%)
Rechtbank Haarlem	B1.04 (α)	+	- (0,7%)
Openbaar Ministerie Arnhem	EU2035 (α)	- (0,9%)	+
	EU3064 (α)	+	+
Rechtbank Middelburg	B2.15 (β)	+	+
	B2.16 (β)	- (2,0%)	+

Uit tabel 6.3 komt duidelijk naar voren dat de indeling in kwaliteitsklassen aan de hand van de metingen in slechts een enkel geval overeenkomt met de indeling aan de hand van de simulaties. Tabel 6.4 laat zien dat de aansluiting tussen de beoordeling van de vertrekken, op grond van toetsing aan de eis van kwaliteitsklasse B, ook niet in alle gevallen opgaat.

Geconcludeerd moet worden dat er ook bij de ATG-methode geen volledige aansluiting bestaat tussen de beoordeling aan de hand van de metingen en aan de hand van de simulaties. Ook hierbij spelen het verschil tussen de klimatologische omstandigheden en het gebruik van het gebouw in de meetperiode en de aannamen hieromtrent in de eisen een bepalende rol. Het is voor een eenduidige beoordeling van de vertrekken aan de eisen van deze methode dan ook nodig om simulaties uit te voeren en is alleen het uitvoeren van een meting niet voldoende.

Hierbij wordt opgemerkt dat indien de vertrekken in de onderzochte gebouwen niet voldoen aan de eis behorende bij kwaliteitsklasse B, het aantal overschrijdingsuren zeer gering is. Hieruit zou de conclusie getrokken kunnen worden dat het beoordelen van de vertrekken aan de hand van metingen een zeer goede en betrouwbare indicatie geven omtrent het wel of niet voldoen

van die vertrekken aan de eisen. Ook hierbij geldt echter dat de omstandigheden in de meetperiode (klimaat, gebruik van het gebouw) gunstiger kunnen zijn dan opgenomen in de eisen, waardoor onterecht een te positieve beoordeling wordt gegeven (het tegenovergestelde is ook mogelijk). Het opstellen van een gevalideerd meetprotocol is derhalve een vereiste om op grond van metingen een beoordeling over een gebouw te kunnen geven. Onduidelijk is echter, door de gecompliceerdheid van de processen die het thermische binnenklimaat bepalen, of het mogelijk is dergelijke meetvoorschriften op te stellen.

Daarnaast wordt de kanttekening gemaakt dat metingen in gebouwen over het algemeen alleen worden uitgevoerd indien er klachten zijn. Het is bij de beoordeling van de gebouwen dan van belang dat met zekerheid kan worden vastgesteld of het niet voldoen aan de eisen voortkomt uit een onjuist ontwerp (bouwfysisch en/of installatietechnisch) of dat hier andere oorzaken (bijvoorbeeld verkeerd gebruik van het gebouw) aan ten grondslag liggen. Ook op grond hiervan is het eveneens aan te bevelen vooralsnog voor de beoordeling van gebouwen, naast het verrichten van metingen, simulatieberekeningen uit te voeren.

Het verschil tussen de GTO- en de ATG-methode is derhalve ook met betrekking tot het tweede genoemde aspect, het overeenkomen van de beoordeling aan de hand van de metingen met die aan de hand van de simulaties, gering.

Hoofdstuk 7 Conclusies en aanbevelingen

Middels het onderzoek is getracht tot een gedegen vergelijking tussen de GTO- en de ATG-methode in de praktijk te komen. Hierbij staat de vraag of de ATG-methode een meerwaarde oplevert ten opzichte van de GTO-methode centraal. Daarnaast is het onderzoek erop gericht ISSO publicatie 74, gezien deze voor de eerste keer in de praktijk is toegepast, te evalueren en verbeterpunten in kaart te brengen. Van deze twee aspecten worden in dit hoofdstuk de conclusies en aanbevelingen weergegeven. Daarnaast worden de conclusies en aanbevelingen met betrekking tot de metingen, de enquêtes en de simulaties behandeld.

7.1 Conclusies

Vergelijking ATG-methode en GTO-methode

Aan de hand van de uitgevoerde metingen en de simulaties zijn met betrekking tot de vergelijking tussen de ATG-methode, waarbij de eisen aan kwaliteitsklasse B zijn beschouwd, en de GTO-methode de volgende conclusies te trekken²³:

1. De ATG-methode sluit inderdaad beter aan bij de oordelen van de personen dan de GTO-methode. Dit is echter alleen het geval bij een bepaalde indeling in klimaatklassen die niet geheel overeenkomt met de indeling zoals opgenomen in de ISSO publicatie 74;
2. De ATG-methode, waarbij gerekend wordt met klimaatjaar 1964/1965, omschrijft voor zowel gebouwen van het Alpha type als voor gebouwen van het Bèta type een strengere eis. Dit is met name voor gebouwen van het Bèta-type waarvan de gevel niet geheel is gesloten, het geval. Het verschil blijkt hoofdzakelijk het gevolg te zijn van het geheel niet toestaan van overschrijdingsuren bij de ATG-methode.
Indien wordt toegestaan dat gedurende 1% van de werktijd (circa 10 uur) overschrijdingen worden toegestaan leidt de ATG-methode voor gebouwen van het klimaattype Alpha tot een lichte verhoging van het koelvermogen van circa 5 tot 15 W/m². Het benodigde koelvermogen voor gebouwen met te openen ramen die aan de grenswaarden van het klimaattype Bèta moeten worden getoetst neemt echter nog steeds aanzienlijk toe (25 tot 45 W/m²). Een lichte verlaging van het benodigde vermogen wordt daarentegen gevonden voor gebouwen met een geheel gesloten gevel.
Bij het toestaan van overschrijdingsuren gedurende circa 2,5 – 7,5% van de werktijd, wordt voor gebouwen van het Alpha type met de ATG- (kwaliteitsklasse B) en met de GTO-methode een gelijk benodigd koelvermogen gevonden;
3. De ATG-methode is, voor gebouwen van het klimaattype Alpha, voor verschillende klimaatjaren constanter dan de GTO-methode. Het is echter niet zo dat met deze methode voor verschillende klimaatjaren exact hetzelfde benodigde koelvermogen wordt gevonden. Voor warmere klimaatjaren is, net als met de GTO-methode, ook met de ATG-methode een hoger vermogen nodig. Voor gebouwen met een geheel gesloten gevel blijkt de GTO-methode constanter te zijn.
4. Signalen uit de praktijk duiden erop dat de ATG-methode, ook voor leken, beter te begrijpen is en daardoor betere communicatie mogelijk maakt;
5. Het meten van de benodigde parameters voor de ATG-methode, is enigszins eenvoudiger dan het meten van de benodigde parameters voor de GTO-methode. Tevens is de nauwkeurigheid lichtelijk groter. Om een eenduidige beoordeling van de gebouwen te kunnen geven, is het, zolang er nog geen gevalideerd meetprotocol is opgesteld, voor beide methoden echter nodig (gefitte) simulaties uit te voeren.

Metingen, enquêtes en simulaties

Naast de conclusies met betrekking tot de vergelijking tussen de ATG- en de GTO-methode, volgen ook uit de metingen, enquêtes en simulaties een aantal conclusies.

Metingen

- De sensoren voor het meten van de globe- en de luchttemperatuur moeten zoveel mogelijk tussen twee werkplekken in worden gehangen om zo goed mogelijk de waarden die gevonden zouden worden op de werkplek zelf te benaderen. Hierbij valt de extra invloed die de personen op de gemeten gemiddelde stralingstemperatuur hebben weg tegen de verminderde invloed van de TFT-schermen;

²³ De nummers komen overeen met de nummers van de in hoofdstuk 6 behandelde hypothesen

- De operationele temperatuur kan goed benaderd worden door het meten van (alleen) de globetemperatuur (zwarte bol temperatuur). Afwijking bedraagt hierbij maximaal circa 0,2°C;
- Het verschil tussen de gewogen gemiddelde buitentemperatuur bepaald aan de hand van de zelf gemeten waarden kan sterk afwijken van die bepaald met behulp van de gegevens van het dichtstbijzijnde KNMI weerstation. Het is hierdoor van groot belang dat de afspraken omtrent het vaststellen van deze gewogen gemiddelde buitentemperatuur worden nageleefd;
- Door het aannemen van een waarde voor de lichtsnelheid bij het bepalen van de gemiddelde stralingstemperatuur, welke berekend kan worden uit de gemeten globe- en luchttemperatuur en de lichtsnelheid, kan de geïntroduceerde fout oplopen tot circa 0,4°C.

Enquête

- De veronderstelde overeenkomst tussen de verschillende schalen voor het kwantificeren van de thermische behaaglijkheid zoals weergegeven in tabel 7.1 blijkt niet in alle gevallen geldig te zijn.

	Thermische sensatie	Voorkeur	Tevredenheid	Acceptatie
3	Heet			
2	Warm	Wil het koeler	Ontevreden	Onacceptabel
1	Enigszins warm			
0	neutraal	Geen verandering gewenst	Tevreden	Acceptabel
-1	Enigszins koel			
-2	Koel	Wil het warmer	Ontevreden	Onacceptabel
-3	Koud			

Uit de ingevulde enquêtes komt naar voren dat de -1, 0 en +1 stem op de thermische sensatieschaal in combinatie met het niet wensen van verandering overeenkomt met het acceptabel vinden van, en het tevreden zijn met het thermische binnenklimaat. De veronderstelling dat de -3, -2, +2 en +3 stemmen overeenkomen met onacceptabel, ontevreden en het willen van verandering blijkt echter niet volledig op te gaan.

Enquête en simulaties

Uit het onderdeel 'omgevingsfactoren' van de enquête, waarin de deelnemers de toestand van enkele omgevingsaspecten op het moment van invullen weergeven, komt naar voren dat een aantal van deze omgevingsfactoren vaak anders worden gebruikt dan gebruikelijk wordt aangenomen bij de simulaties. Hierbij wordt opgemerkt dat dit geen betrekking heeft op de 'gefitte' simulaties.

- De zonwering wordt zelden geheel gesloten. Daarbij is tevens opgevallen dat de lamellen van de buitenzonwering zelden gesloten zijn, ook wanneer de zonwering volledig naar beneden is gelaten. In de simulaties wordt ervan uitgegaan dat boven een bepaalde zonbelasting de zonwering volledig is gesloten;
- De lichtwering is in een groot deel van de kamers meestal deels of volledig gesloten. Waarbij door een deel van de gebruiker deze lichtwering oneigenlijk als zonwering wordt gebruikt. In de simulaties wordt geen rekening gehouden met de lichtwering;
- In alle gebouwen zijn de ramen veelvuldig geopend om luchtuitwisseling met buiten tot stad te brengen. In sommige gevallen gebeurt dit reeds bij relatief lage binnentemperaturen. De gemiddelde temperatuur in de vier onderzochte gebouwen waarbij de ramen geopend zijn, gevonden uit de enquêtes, liggen tussen de 22,8°C en 23,9°C. Dit is lager dan de in de simulaties aangenomen waarde van 24°C;
- De deuren van de kamers blijken in alle gebouwen vrijwel altijd geopend te zijn. Vaak wordt er slechts één vertrek gesimuleerd, waardoor warmte-uitwisseling met een tegenoverliggend vertrek niet mogelijk is. Dit effect is echter niet zeer groot;
- Het gemiddeld aantal aanwezige personen op een dag. Er blijkt dat in elke kamer vaak één of meerdere personen afwezig zijn. Dit kan mede worden verklaard doordat de metingen in de vakantieperiode zijn uitgevoerd. In de simulaties wordt vaak met volledige aanwezigheid gedurende de werkuren gerekend;

Overige conclusies met betrekking tot de omgevingsfactoren:

- De verlichting is nagenoeg altijd ingeschakeld;
- Er wordt slechts in een zeer enkel geval gebruik gemaakt van een ventilator. In kamers waarin een split-unit of mobiele airco aanwezig is die door de gebruikers zelf bediend kunnen worden, wordt aangegeven dat deze geregeld in werking zijn op het moment van invullen van de enquête.

- Uit de gegeven reacties blijkt dat in de kamers de knop, om het temperatuursetpunt van de kamer te veranderen, meestal in dezelfde stand staat. Slechts in een klein aantal kamers is tijdens de meetperiode deze stand vaak veranderd;
- De gemiddeld opgegeven kledingweerstand bedraagt $0,67 \pm 0,10$ (standaarddeviatie) clo en het gemiddelde metabolisme $1,24 \pm 0,14$ met ($= 72 \pm 8 \text{ W/m}^2$). Dit komt zeer goed overeen met de gebruikelijk aangehouden waarden, te weten een kledingweerstand van 0,7 clo in de zomerperiode en een metabolisme van 1,2 met.

Simulaties

- Het is middels het fitten van het simulatiemodel, waarbij door het afstellen van de niet volledig bekende invoerparameters wordt geprobeerd het verschil tussen het gesimuleerde en het gemeten temperatuurverloop te minimaliseren, goed mogelijk het gemeten en het gesimuleerde temperatuurverloop nauwkeurig overeen te laten komen;
- In dit fitproces moeten de parameters met betrekking tot de volgende aspecten, waarvan de waarde niet uit de documentatie kan worden verkregen, zo nauwkeurig mogelijk worden benaderd:
 - Interne warmtelast
 - Aanwezigheid van personen en het in werking zijn van apparatuur en verlichting;
 - Externe warmtelast
 - Met name binnenvallende zonnestraling. Deze is afhankelijk van de beschaduwing ten gevolge van omliggende gebouwen en uitstekende geveldelen, de oriëntatie van het gebouw, de eigenschappen en afmetingen van het glas, de eigenschappen en het gebruik van de licht – en zonwering;
 - Ventilatie
 - Debiet van de luchtuitwisseling tussen binnen en buiten indien het raam is geopend (natuurlijke ventilatie);
 - Ventilatie-debiet van de mechanische ventilatie (vaak uit luchttekeningen af te lezen);
 - Inblaasttemperatuur van de mechanische ventilatie als functie van de buitentemperatuur;
 - Tijdstip waarop mechanische ventilatie wordt in-/uitgeschakeld;
- Het gebruik van nachtventilatie heeft een zeer grote invloed op het temperatuurverloop, en daarmee op het aantal optredende overschrijdingsuren, in het gebouw;
- Het is van belang in de gefitte simulaties met de zelf gemeten buitentemperaturen te rekenen. Overige klimatologische gegevens (windrichting, windsnelheid, relatieve vochtigheid, zonnestraling) kunnen worden overgenomen uit de gegevens van het dichtstbijzijnde KNMI weerstation.

7.2 Aanbevelingen

Uit de conclusies met betrekking tot de vergelijking tussen de ATG- en de GTO-methode komen tevens punten naar voren waarop de ATG-methode nog verbetering behoeft.

- De indeling in klimaattypen volgens ISSO publicatie 74 komt, wanneer wordt gekeken naar de mate van adaptatie aan de hand van de oordelen van de personen in het onderzoek, niet in alle gevallen overeen met deze oordelen van de personen. Daarnaast is deze indeling in de publicatie niet eenduidig. Er zijn namelijk twee schema's opgenomen aan de hand waarvan de gebouwen ingedeeld kunnen worden in klimaatype Alpha en in klimaatype Bèta, welke niet in alle gevallen tot dezelfde indeling leiden. Aanbevolen wordt aanvullend onderzoek naar deze indeling te verrichten.
 - Hierbij wordt aangeraden het onderzoek in een groot aantal gebouwen uit te voeren, waarin ook vaak hoge en lage binnentemperaturen optreden;
 - Met betrekking tot de schalen waarop naar de thermische sensatie wordt gevraagd, wordt aanbevolen meerdere schalen in het onderzoek op te nemen. Ook is het mogelijk de deelnemers aan het onderzoek kennis te laten nemen van de veronderstelde overeenkomst tussen de verschillende schalen, waardoor zij bij het invullen van de enquêtes hier rekening mee kunnen houden;
- In ISSO publicatie 74 wordt aangegeven dat beoordeling van de gebouwen in de praktijk gebaseerd kan worden op metingen, met als voorwaarde dat de gewogen gemiddelde buitentemperatuur in deze periode niet boven de 22°C komt. Ook andere aspecten zijn echter van groot belang (onder andere het gebruik en de zonbelasting) waardoor een gevalideerd meetprotocol noodzakelijk wordt geacht om alleen aan de hand van metingen een gebouw te kunnen beoordelen. Aanbevolen wordt een dergelijk meetprotocol op te stellen en in de publicatie op te nemen;

- De optredende binnentemperaturen moeten volgens de ATG-methode zowel aan een boven- als een ondergrens worden getoetst. De ondergrens blijkt echter niet goed overeen te komen met de oordelen van de personen. Aanbevolen wordt in de zomerperiode, in overeenstemming met de GTO-methode, de ondergrens niet in de beoordeling mee te nemen;
- In de ISSO publicatie 74 is de eis opgenomen dat de binnentemperatuur in een gebouw de grenswaarden nooit mag overschrijden. Om ervoor te zorgen dat het benodigde koelvermogen niet onredelijk groot moet worden, is het raadzaam enkele overschrijdingsuren toe te staan. Tevens wordt zo een betere aansluiting tussen ATG- en GTO-methode bewerkstelligd. Hierbij wordt vooralsnog aanbevolen gedurende circa 1% van de werktijd (10 werkuren) overschrijdingen toe te staan;

Literatuur

- [1] Bokel, R., *Zichtfactoren en behaaglijkheid*, Delft: Technische Universiteit Delft, 2005
- [2] Brager, G.S., R. De Dear, *Climate, Comfort & Natural Ventilation: A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55*, Berkeley
- [3] Brager, G.S., M.E. Fountain, C.C. Beneton, E.A. Arens, F.S. Bauman, *A comparison of methods for assessing thermal sensation and acceptability in the field*, Berkeley
- [4] Brouwers, G.F.M., *Methode voor de beoordeling van het thermische binnenklimaat*, Den Haag: Rijksgebouwendienst – Directie Techniek en Kwaliteitszorg, 1991
- [5] Cauberg, J.J.M., *Bouwfysica II*, Delft: Technische Universiteit Delft, 2000
- [6] Dam, P. van, W. Plokker, *ATG en de invloed van stooklijn optimalisatie*, Verwarming en ventilatie vol. 5, 2006
- [7] Databank Rijksgebouwendienst/Marketing en Accountadvisering, *Bezettingsgraadonderzoek*, Den Haag
- [8] Dear, R. de, *Thermal comfort in practice*, Indoor Air 2004
- [9] Dear, R. de, G. Brager en D. Cooper, *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference – Final Report ASHRAE RP-884*, 1997
- [10] Elkhuizen, B., *ATG-methode in beheer en onderhoud*, Verwarming en ventilatie vol. 5, 2006
- [11] Hoof, J. van, J.L.M. Hensen, *Quantifying the relevance of adaptive thermal comfort models in moderate thermal climate zones*, Building and Environment, 2005
- [12] Hoof, J. van, J.L.M. Hensen, *Nieuwe Nederlandse comfortnormen nader bekeken*, TVVL magazine 3, 2005
- [13] Hoof, J. van, J.L.M. Hensen, *Kantttekeningen bij ISSO publicatie 74*, Verwarming en ventilatie vol 1, 2006
- [14] Hooft, E.N. t', *Nieuwe wegen in thermisch comfort van kantoorgebouwen?*, TVVL magazine 3, 2006
- [15] Hooft, E.N. t', *Bèta-gebouwen vergeleken in de GTO- en ATG-methode*, Verwarming en ventilatie vol 1, 2006
- [16] Hooft, E.N. t', C.P.G. Roelofsen, ir. K. Bedeke, *Thermische behaaglijkheid in kantoren*, TVVL magazine 12, 2004
- [17] Humpherys, M.A., J.F. Nicol, *The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in everyday thermal environments*, Oxford
- [18] Kurvers, S.R., J.L. Leijten, A.C. van de Linden, A.C. Boerstra, A.K. Raue, *Binnenklimaattypen ISSO 74 heroverwogen*, TVVL magazine 4, 2006
- [19] Kurvers, S.R., A.C. van der Linden, E.N. 't Hooft, J. Bijman, *Ontstaan van de GTO- en de ATG-methode*, Verwarming en ventilatie vol 1, 2006
- [20] Kurvers, S.R., A.C. van der Linden, W. Plokker, A.C. Boerstra, A.K. Raue, J.L. Leijten, *ATG en GTO nader vergeleken – Berekening en evaluaties van ISSO 74*, Verwarming en ventilatie vol 1, 2006

- [21] ISO 8996, *Ergonomics of the thermal environment – Determination of metabolic rate*, 2004
- [22] ISSO publicatie 32, *Uitgangspunten temperatuursimulatieberekeningen*, Rotterdam: ISSO, 1994
- [23] ISSO publicatie 74, *Thermische behaaglijkheid – eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen*, Rotterdam: ISSO, 2004
- [24] ISSO, Rapport 58.1, S.R.Kurvers, A.C. Boerstra, A.K. Raue, A.C. van der Linden, A.M.J. Notenboom, *Technische behaaglijkheid als bouwprestatie – Literatuuronderzoek naar recente wetenschappelijke ontwikkelingen*, Rotterdam: ISSO, 2002
- [25] ISSO, Rapport 58.2, *Thermische behaaglijkheid als bouwprestatie – Een nieuwe richtlijn voor thermische behaaglijkheid in (kantoor) gebouwen*, Rotterdam: ISSO, 2003
- [26] ISSO-researchrapport 5, *Ontwerp binnencondities en thermische behaaglijkheid in gebouwen*, Rotterdam: ISSO, 1990
- [27] Leij, H. van der, *Onderzoek naar thermische behaaglijkheid in kantoorgebouwen – voorbereiding van een landelijk onderzoek ter validatie van de nieuwe richtlijnen*, Delft: Technische Universiteit Delft, 2004
- [28] Linden, A.C. van der e.a., *Bouwfysica*, Delft:SMD, 2000
- [29] Linden, A.C. van der, A.C. Boerstra, S.R. Kurvers, 'Thermisch binnenklimaat als bouwprestatie', *Bouwfysica* vol.11, 2000
- [30] Linden, A.C. van der, A.C. Boerstra, A.K. Raue, S.R. Kurvers, *Adaptieve temperatuurgrenswaarden (ATG) – een nieuwe aanpak voor de beoordeling van de bouwprestaties t.a.v. het thermische binnenklimaat*, 2004
- [31] Linden, A.C. van der, S.R.Kurvers, A.C. Boerstra, A.K. Raue, *Theoretische achtergronden van de nieuwe ATG-richtlijn*, *Verwarming en ventilatie* vol. 2, 2006
- [32] NEN 1087 (nl), *Ventilatie van gebouwen – bepalingsmethoden voor nieuwbouw*, 2001
- [33] NEN-ISO 7726, *Thermische binnencondities – Instrumenten en methoden voor het meten van fysische omgevingsgrootheden*, 1989
- [34] NEN-EN-ISO-7730; *Gematigde thermische binnenomstandigheden – Bepaling van de PMV-en de PPD-waarde en specificatie van de voorwaarden voor thermische behaaglijkheid*, Europese commissie voor normalisatie, 1996
- [35] NEN-EN-ISO 9920, *Ergonomics of the thermal environment – Estimation of the thermal insulation and evaporation resistance of a clothing ensemble*, 2004
- [36] Nicol, J.F., M.A. Humphreys, *Adaptive comfort in Europe: results from the SCATs survey with special reference to free-running buildings*, Oxford, 2005
- [37] Nicol, J.F., M.A. Humphreys, *Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings*, Oxford
- [38] Stoelinga, P.A.L., *Praktijk van simulatie bij gebouwo ontwerp*, TVVL magazine 2, 2006
- [39] Weele, A.M. van, *Het gebruik van klimaatbestanden bij simulatieberekeningen*, 2006

- [40] *Wettelijke Eisen en Richtlijnen RGD Bouwfysica*, Actualisering februari 2004, Rijksgebouwendienst – Directie Advies en Architecten

Websites

- [41] <http://www.atal.nl>
Informatie meetapparatuur
- [42] http://atmos.es.mq.edu.au/~rdedear/ashrae_rp884_home.html
Homepage onderzoek naar thermische behaaglijkheid Brager & De Dear
- [43] <http://www.knmi.nl>
Informatie weer
- [44] <http://www.vabi.nl>
Informatie simulatiesoftware

Bijlagen

BIJLAGE 1	FORMULES EN TOELICHTINGEN BIJ HOOFDSTUK 2	85
BIJLAGE 2	EIGENSCHAPPEN ONDERZOCHE GEBOUWEN	88
BIJLAGE 3	FORMULES EN TOELICHTINGEN BIJ HOOFDSTUK 3 EN 4	92
BIJLAGE 4	WEBSITE	95
BIJLAGE 5	GRAFIEKEN EN TABELLEN METINGEN BIJ HOOFDSTUK 4	97
BIJLAGE 6	ENQUÊTEONDERDEEL THERMISCHE BEHAAGLIJKHEID	105
BIJLAGE 7	BUITENTEMPERATUUR.....	107
BIJLAGE 8	INVLOED VERSCHILLENDE PARAMETERS OP PMV.....	109
BIJLAGE 9	BEOORDELING VERTREKKEN (METINGEN)	110
BIJLAGE 10	VERGELIJKING ATG-METHODE MET OORDELEN PERSONEN	112
BIJLAGE 11	INVOERGEGEVENS GEBOUWEN TOETSINGSSIMULATIES	114
BIJLAGE 12	TEMPERATUUR INBLAASLUCHT	118
BIJLAGE 13	GEMETEN EN GESIMULEERD TEMPERATUURVERLOOP	120
BIJLAGE 14	BEOORDELING VERTREKKEN (TOETSINGSSIMULATIES).....	121
BIJLAGE 15	INVOERGEGEVENS SIMULATIES BENODIGDE KOELVERMOGEN	122

Bijlage 1 Formules en toelichtingen bij hoofdstuk 2

- In het keuzeschema op bladzijde 11 behoeven een aantal van de vragen een nadere toelichting:
 - Is er per twee personen minimaal één bruikbaar te openen raam beschikbaar?
 - Het gaat hier om ramen die echt 'bruikbaar' zijn; dat betekent o.a. dat er geen tocht moet kunnen ontstaan; in het algemeen kan worden gesteld dat hieraan wordt voldaan als het raam voorzien is van een windvaste raamuitzetter met een regelbare kierstand, maar ook andere oplossingen zijn mogelijk. Per travee dient het te openen oppervlak minimaal 0,5 m² te zijn.
 - Heeft het gebouw / de werkruimte actieve koeling
 - Met actieve koeling wordt gekoelde lucht, een koelplafond en dergelijke bedoeld. Vergroten van het effect van thermische massa (warmteaccumulatie) zoals bijvoorbeeld 'betonkernactivering' wordt niet beschouwd als actieve koeling.
 - Kan per maximaal twee personen de temperatuur in de winter en in de zomer individueel worden beïnvloed?
 - De temperatuurinstelling moet een regelbereik hebben van ±3°C rond de instelwaarde en de ingestelde waarde moet na maximaal 30 minuten bereikt zijn.
- De formules behorende bij de grafiek met de ATG-grenzen op bladzijde 12:

Tabel B1.1: Formules behorende bij de ATG-grenswaarden			
klasse	acceptatie	Gebouw/klimaatype Alpha (bovengrens alleen bij $\theta_{e,ref} > 10-12^\circ\text{C}$)	Gebouw/klimaatype Bèta (en bovengrens Alpha bij $\theta_{e,ref} < 10-12^\circ\text{C}$)
	maximaal	$\theta_{oper} = 17,80 + 0,31 \cdot \theta_{e,ref}$	$\theta_{oper} = 21,45 + 0,11 \cdot \theta_{e,ref}$
A	90%	bovengr. $\theta_{oper} < 20,30 + 0,31 \cdot \theta_{e,ref}$ ondergr. $\theta_{oper} > 20,20 + 0,11 \cdot \theta_{e,ref}$	bovengr. $\theta_{oper} < 20,70 + 0,11 \cdot \theta_{e,ref}$ ondergr. $\theta_{oper} > 20,20 + 0,11 \cdot \theta_{e,ref}$
B	80%	bovengr. $\theta_{oper} < 21,30 + 0,31 \cdot \theta_{e,ref}$ ondergr. $\theta_{oper} > 19,45 + 0,11 \cdot \theta_{e,ref}$	bovengr. $\theta_{oper} < 23,45 + 0,11 \cdot \theta_{e,ref}$ ondergr. $\theta_{oper} > 19,45 + 0,11 \cdot \theta_{e,ref}$
C	65%	bovengr. $\theta_{oper} < 22,00 + 0,31 \cdot \theta_{e,ref}$ ondergr. $\theta_{oper} > 18,95 + 0,11 \cdot \theta_{e,ref}$	bovengr. $\theta_{oper} < 23,95 + 0,11 \cdot \theta_{e,ref}$ ondergr. $\theta_{oper} > 18,95 + 0,11 \cdot \theta_{e,ref}$

N.B. de tabel geldt voor reguliere waarden van metabolisme en kledingweerstand in kantoorgebouwen ($1,0 < M < 1,4$ met; $0,5 < I_{cl} < 0,9$ clo)

Wanneer het metabolisme hoger ligt dan 1,4 met en/of als de gemiddelde kledingisolatie hoger ligt dan 0,7 clo moet de volgende correctie worden aangebracht op de grenswaarden: $\Delta\theta = -6 \cdot (I_{cl} - 0,7) - 8 \cdot (M - 1,4)$

Hierin is I_{cl} de kledingisolatie in clo (minimaal 0,7 maximaal 2,0 clo) en M is het activiteitsniveau in met (minimaal 1,4 en maximaal 4 met)

• Operatieve temperatuur

De operatieve temperatuur (t_{oper}) is gedefinieerd als de uniforme temperatuur van een ruimte waarin een persoon dezelfde hoeveelheid warmte aan straling en convectie zou uitwisselen als in de bestaande niet-uniforme omgeving.

De precieze formule voor de operatieve temperatuur is: $t_{oper} = \frac{h_c \cdot t_a + h_r \cdot \bar{t}_r}{h_c + h_r}$

waarin		
t_a	luchttemperatuur	[°C]
$\bar{t}_r$	gemiddelde stralingstemperatuur	[°C]
h_c	warmte-overdrachtscoëfficiënt voor convectie	[W/(m ² k ⁴)]
h_r	warmte-overdrachtscoëfficiënt voor straling	[W/(m ² k ⁴)]

Dit kan ook geschreven worden als:

$$t_{oper} = A \cdot t_a + (1 - A) \cdot \bar{t}_r \quad \text{met} \quad A = \frac{h_c}{h_c + h_s}$$

In de praktijk wordt de operationele temperatuur vaak gedefinieerd als het rekenkundige gemiddelde van stralings- en luchttemperatuur zoals ook in EN ISO 7730:1995. Dit rekenkundige gemiddelde is echter alleen geoorloofd als het verschil tussen de lucht- en stralingstemperatuur kleiner is dan 4 graden of als de relatieve luchtsnelheid lager is dan 0,2 m/s. Voor een grotere nauwkeurigheid kunnen de volgende waarden voor A worden gebruikt:

Tabel B1.2: waarden voor A als functie van v_{ar}			
v_{ar}	<0,2	0,2 tot 0,6	0,6 tot 1,0
A	0,5	0,6	0,7

• Formules PMV

$$\begin{aligned}
 PMV &= (0,303 \cdot e^{-0,036M} + 0,028) \{ (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - \\
 &\quad 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] - 17 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) - \\
 &\quad 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_{cl} \cdot (t_{cl} - t_a) \} \\
 t_{cl} &= 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \{ 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + \\
 &\quad f_{cl} \cdot h_{cl} \cdot (t_{cl} - t_a) \} \\
 h_c &= \begin{cases} 2,38 \cdot (t_{cl} - t_a)^{0,25} & \text{als } 2,38 \cdot (t_{cl} - t_a)^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} & \text{als } 2,38 \cdot (t_{cl} - t_a)^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \end{cases} \\
 f_{cl} &= \begin{cases} 1,00 + 1,290 \cdot I_{cl} & \text{voor } I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W} \\ 1,05 + 0,645 \cdot I_{cl} & \text{voor } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W} \end{cases}
 \end{aligned}$$

waarin:

PMV	= de voorspelde gemiddelde uitspraak	[-]
M	= het metabolisme	[W/m ²]
W	= de verrichte uitwendige arbeid	[W/m ²]
t _a	= de luchttemperatuur	[°C]
t _r	= de gemiddelde stralingstemperatuur	[°C]
p _a	= de partiële waterdampdruk van de lucht	[Pa]
t _{cl}	= de oppervlaktetemperatuur van de kleding	[°C]
I _{cl}	= de intrinsieke warmteweerstand van de kleding	[clo]
f _{cl}	= de verhouding tussen de buitenoppervlakte van de geklede mens en de oppervlakte van het ongeklede lichaam	[-]
h _c	= warmte-overdrachtscoëfficiënt voor convectie	[W/m ² K]
v _{ar}	= relatieve luchtsnelheid	[m/s]
	$= \begin{cases} v_{lucht} + 0 & \text{voor } M < 1 \text{ met} \\ v_{lucht} + 0,3 \cdot (M - 1) & \text{voor } M > 1 \text{ met} \end{cases}$	

Het wordt aanbevolen om de PMV-waarde alleen te gebruiken wanneer deze tussen -2 en +2 ligt. Bovendien wordt aanbevolen om de PMV-waarde alleen te gebruiken wanneer de zes voornaamste grootheden binnen de volgende intervallen liggen:

M	= 46 W/m ² tot 232 W/m ² (0,8 met tot 4 met)
I _{cl}	= 0 m ² ·°C/W tot 0,310 m ² ·°C/W (0 clo tot 2 clo)
t _a	= 10°C tot 30°C;
t _r	= 10°C tot 40°C;
v _{ar}	= 0 tot 1 m/s
p _a	= 0 Pa tot 2700 Pa

- Formules PPD

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2179 \cdot PMV^2)}$$

- Standaard kantooromstandigheden

luchttemperatuur	= stralingstemperatuur
relatieve vochtigheid	= 50%
luchtsnelheid	= 0,15 m/s
kledingweerstand	= 0,7 clo
metabolisme	= 1,2 met

- Formule weegfactor voor bepaling aantal gewogen overschrijdingsuren

$$\text{Weegfactor} = 0,47 + 0,22 \cdot |PMV| + 1,30 \cdot |PMV|^2 + 0,97 \cdot |PMV|^3 + 0,39 \cdot |PMV|^4$$

- Voor het bepalen van het aantal gewogen overschrijdingsuren middels simulaties moeten, volgens de Wettelijke Eisen en Richtlijnen RGD Bouwfysica [literatuurverwijzing x6], de volgende uitgangspunten worden gehanteerd:

Temperatuuroverschrijdingsberekeningen moeten:

- Voldoen aan de uitgangspunten van NEN ISO 7730;
- Voldoen aan de uitgangspunten van ISSO researchrapport 5, ISSO publicatie 32 en het RGD-document 'Uitgangspunten T.O.-berekeningen, beoordelingsformulier kantoorgebouwen';
- rekenen met een kledingweerstand in de zomerperiode van 0,7 clo;
- rekenen met een kledingweerstand in de winterperiode van 0,9 clo;
- GTO uren bepalen tijdens de gebruiksuren van 8.00 uur tot 12.00 uur en van 13.00 uur tot 17.00 uur. Hierdoor vindt telling plaats over de vastgestelde 8 uren per dag;
- Zijn gebaseerd op uurlijkse gemiddelde waarden van het buitenklimaat van het referentiejaar 1964-1965;
- Zijn gemaakt met een dynamisch temperatuursimulatieprogramma dat voldoet aan de ISSO-keurmerkeisen;
- Rekenen met een voelbaar warmtevermogen van 80W per persoon voor kantoorfuncties (metabolisme 1,2 met. = 70 W/m² lichaamsoppervlak);
- Voor verblijfsruimten met kantoorfuncties uitgaan van een totale interne warmtelast van 35 W/m². Indien speciale voorzieningen worden getroffen ter reductie van de interne warmtelast, uitgaan van de interne warmtelast die met deze voorzieningen wordt gerealiseerd;
- Voor ruimten met speciale functies uitgaan van een te verwachten interne warmtelast;
- Rekenen met de geopende stand van voorzieningen die bestemd zijn voor basisventilatie;
- Geen rekening houden met zonwerende eigenschappen van door gebruiker aan te brengen voorzieningen voor lichtregulering;
- Geen rekening houden met door de gebruiker aan te brengen binnenzonwering;
- Voor materiaalgegevens zoals warmtegeleidingscoëfficiënt, warmtecapaciteit, dichtheid en absorptie van zonne-energie uitgaan van genormeerde of algemeen geaccepteerde waarden (NEN 1068; ISSO 21; SBR 9);

Bijlage 2 Eigenschappen onderzochte gebouwen

Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch

Afmetingen kantoorvertrek

Bruto hoogte	3,40 m
Hoogte tussen vloer en plafond	2,70 m
Vertrekbreedte	3,60 m (bruto)
Vertrekdiepte	5,40 m (bruto)

Materiaalopbouw vertrek

Vloeren:	Kanaalplaatvloer 320mm, afwerklaag 50mm en vloerbedekking (tapijt)
Plafond:	Verlaagd plafond, spouw 322mm, voor 40% van het plafond. Overige deel zonder verlaagd plafond identiek aan vloer. Op deze wijze wordt het effect van het toegepaste thermisch open plafond benaderd. Toegepast is een thermisch open, uitneembaar systeemplafond, met een strook van 600mm bij de gevel en de gangwand waarin kunststof roosters (95% open) zijn aangebracht.
Binnenwand:	(metalstud) Gipsplaat 15mm, minerale wol 50mm, gipsplaat 15mm
Gevel:	Binnenblad beton 220mm, minerale wol 80mm, spouw 38mm, buitenblad metselwerk 102mm. Thermische isolatie $R_c = 2,53 \text{ m}^2\text{K/W}$.
Beglazing:	HR dubbel glas ($U=1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, $ZTA = 0,67$, $LTA = 0,70$, $ZTA \text{ incl. zonwering} = 0,15$) Afmetingen glas ($2*0,98\text{m}*1,63\text{m}$), het raam heeft een verdiepte ligging van 0,1m.

Onderzochte vertrekken

Tabel B2.1: Onderzochte vertrekken Paleis van Justitie te 's-Hertogenbosch

Kamer	Oriëntatie ramen	Aantal personen	Verdieping	Bijzonderheden
B1.12	Zuid	6	1 ^e verdieping B-vleugel	4 stramienen van 3,6m Aan één zijde open verbinding met gang in vorm van balie.
B1.48	Zuid	5	1 ^e verdieping B-vleugel	2,5 stramienen van 3,6m
B1.56	Zuid	5	1 ^e verdieping B-vleugel	3,5 stramienen van 3,6m
B3.46	Zuid	2	3 ^e verdieping B-vleugel	
C1.50	West	2	1 ^e verdieping C-vleugel	
C3.38	West	2	3 ^e verdieping C-vleugel	
D0.42	Oost	6	Begane grond D-vleugel	3 stramienen van 3,6m
D2.40	Oost	1	2 ^e verdieping D-vleugel	
D5.10	Oost	2	5 ^e verdieping D-vleugel	
E3.51	Zuid	2	3 ^e verdieping E-vleugel	

Tabel B2.2: 's-Hertogenbosch, eigenschappen kamers

Kamer	Geheel gesloten gevel?	Dress Code?	Per 2 personen minimaal 1 bruikbaar raam	Actieve koeling?	Per 2 personen temperatuur beïnvloedbaar?
B1.12	Nee	Nee	Ja	Nee	-
B1.48	Nee	Nee	Ja	Nee	-
B.1.56	Nee	Nee	Ja	Nee	-
B3.46	Nee	Nee	Ja	Nee	-
C1.50	Nee	Nee	Ja	Nee	-
C3.38	Nee	Nee	Ja	Nee	-
D0.42	Nee	Nee	Ja	Nee	-
D2.40	Nee	Nee	Ja	Nee	-
D5.10	Nee	Nee	Ja	Nee	-
E3.51	Nee	Nee	Ja	Nee	-

Rechtbank Haarlem**Afmetingen kantoorvertrek**

Bruto hoogte	3,20 m
Vertrekbreedte	4,50 m (bruto)
Vertrekdiepte	7,00 m (bruto)

Materiaalopbouw vertrek

Vloer:	Betonvloer 200mm, vloerbedekking (tapijt)
Plafond:	Thermisch gesloten, spouw 400mm.
Binnenwand:	Gipsplaat 12,5mm, minerale wol 50mm, gipsplaat 12,5mm
Gevel:	Buitenblad metselwerk 100mm, spouw 30 mm, minerale wol 55mm, binnenblad beton 100mm. Thermische isolatie $R_c = 1,79 \text{ m}^2\text{K/W}$.
Beglazing	Dubbel glas ($U=3,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, ZTA = 0,70, LTA = 0,74, ZTA incl. zonwering = 0,21) Afmetingen glas (2*1,1m*2,0m), het raam heeft een verdiepte ligging van 0,10m.

Onderzochte vertrekken

Tabel B2.3: Onderzochte vertrekken Rechtbank te Haarlem

Kamer	Oriëntatie ramen	Aantal personen	Verdieping	Bijzonderheden
B1.04	Noord	3	1 ^e verdieping B-deel	
B1.07	Zuid	2	1 ^e verdieping B-deel	
B1.10	Noord	3	1 ^e verdieping B-deel	Hoge interne warmtelast, groot aantal computers
B3.03	Zuid	2	3 ^e verdieping B-deel	Split-unit aanwezig
H0.19	West	1 à 2	Begane grond H-deel	Mobile airco aanwezig. Ramen niet te openen. Parketpolitie, geringe kledingaanpassing mogelijk
H1.21	Zuid	2	1 ^e verdieping H-deel	
H2.02	West	12	2 ^e verdieping H-deel	
H2.06	Oost	10	2 ^e verdieping H-deel	Plafond airco unit aanwezig
H2.19	Zuid	2	2 ^e verdieping H-deel	

Tabel B2.4: Haarlem, eigenschappen kamers

Kamer	Geheel gesloten gevel?	Dress Code?	Per 2 personen minimaal 1 bruikbaar raam	Actieve koeling?	Per 2 personen temperatuur beïnvloedbaar?
B1.04	Nee	Nee	Ja	Nee	-
B1.07	Nee	Nee	Ja	Nee	-
B1.10	Nee	Nee	Ja	Nee	-
B3.03	Nee	Nee	Ja	Ja (split unit)	Ja
H0.19	Ja	Ja	Nee	Ja (mobiele airco)	Ja
H1.21	Nee	Nee	Ja	Nee	-
H2.02	Nee	Nee	Nee	Nee	-
H2.06	Nee	Nee	Nee	Ja	Nee
H2.19	Nee	Nee	Ja	Nee	-

Openbaar Ministerie Arnhem**Afmetingen kantoorvertrek**

Bruto hoogte	3,20 m
Vertrekbreedte	3,90 m (bruto)
Vertrekdiepte	5,60 m (bruto)

Materiaalopbouw vertrek

Vloer:	Betonvloer 200mm, afwerklaag 50mm en vloerbedekking (tapijt)
Dak:	Beton 200mm, minerale wol 100mm en grind 60% van het plafond is thermisch gesloten (spouw 100mm)
Binnenwand:	Gipsplaat 12,5mm, minerale wol 50mm, spouw 25mm, gipsplaat 12,5mm
Gevel:	Buitenblad beton 100mm, spouw 75 mm, geïsoleerd sandwichpaneel 80mm Thermische isolatie $R_c = 2,33 \text{ m}^2\text{K/W}$.
Beglazing	HR++ glas ($U=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, ZTA = 0,64, LTA = 0,79, ZTA incl. zonwering = 0,15) Afmetingen glas (3,90m*1,57m), het raam heeft een verdiepte ligging van 0,10m.

Onderzochte vertrekken

Tabel B2.5: Onderzochte vertrekken Openbaar Ministerie te Arnhem

Kamer	Oriëntatie ramen	Aantal personen	Verdieping	Bijzonderheden
EU0027	Zuid	9	Begane grond B-vleugel	Gesloten gevel
EU0043	Zuid	2	Begane grond A-vleugel	Gesloten gevel
EU0063	Zuid	6	Begane grond A-vleugel	Gesloten gevel
EU1015	Oost	1	1 ^e verdieping D-vleugel	
EU1053	Oost	1	1 ^e verdieping B-vleugel	
EU1072	West	1	1 ^e verdieping A-vleugel	
EU2035	Oost	2	2 ^e verdieping B-vleugel	
EU3002	West	3	3 ^e verdieping D-vleugel	
EU3050	West	4	3 ^e verdieping D-vleugel	
EU3064	West	2	3 ^e verdieping D-vleugel	

Tabel B2.6: Arnhem, eigenschappen kamers

Kamer	Geheel gesloten gevel?	Dress Code?	Per 2 personen minimaal 1 bruikbaar raam	Actieve koeling?	Per 2 personen temperatuur beïnvloedbaar?
EU0027	Ja	Nee	Nee	Ja	Nee
EU0043	Ja	Nee	Nee	Ja	Nee
EU0063	Ja	Nee	Nee	Ja	Nee
EU1015	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja
EU1053	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja
EU1072	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja
EU2035	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja
EU3002	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee
EU3050	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee
EU3064	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja

Rechtbank Middelburg**Afmetingen kantoorvertrek**

	B2.15 (standaard vertrek)	B2.16 (dubbel vertrek)
Bruto hoogte	3,44 m	3,44 m
Hoogte tussen vloer en plafond	2,70 m	2,70 m
Vertrekbreedte	3,60 m (bruto)	7,20 m (bruto)
Vertrekdiepte	5,40 m (bruto)	5,40 m (bruto)

Materiaalopbouw vertrek

Vloeren:	Kanaalplaatvloer 200mm, afwerklaag 60mm en vloerbedekking (tapijt)
Plafond:	Verlaagd plafond, spouw 440mm, voor 40% van het plafond. Overige deel zonder verlaagd plafond identiek aan vloer. Op deze wijze wordt het effect van het toegepaste thermisch open plafond benaderd.
Binnenwand:	Gipsplaat 12mm, spouw 18mm, minerale wol 40mm, gipsplaat 12mm
Gevel:	Binnenblad beton 180mm, minerale wol 80mm, pleisterwerk Thermische isolatie $R_c = 2,1 \text{ m}^2\text{K/W}$.
Beglazing B2.15:	Dubbel glas ($U=3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, $ZTA = 0,43$, $LTA = 0,62$, $ZTA \text{ incl. zonwering} = 0,15$)
	Afmetingen glas ($2*1,20\text{m}*1,20\text{m}$), het raam heeft een verdiepte ligging van 0,05m.
B2.16:	Dubbel glas ($U=3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, $ZTA = 0,43$, $LTA = 0,62$, $ZTA \text{ incl. zonwering} = 0,27$)
	Afmetingen glas ($1*6,5\text{m}*1,80\text{m}$).

Onderzochte vertrekken

Tabel B2.7: Onderzochte vertrekken Rechtbank te Middelburg

Kamer	Oriëntatie ramen	Aantal personen	Verdieping	Bijzonderheden
A006	Zuid	2	Begane grond A-deel	
A205	Noord	3	2 ^e verdieping A-deel	2 stramienen van 3,6m
B005	Noord	3	Begane grond B-deel	2 stramienen van 3,6m Staat middel deuropeningen in open verbinding met aangrenzende vertrekken
B215	Noord	2	2 ^e verdieping B-deel	
B216	Zuid	2	2 ^e verdieping B-deel	2 stramienen van 3,6m Staat middel deuropeningen in open verbinding met aangrenzende vertrekken
D041	Noordwest	4	Begane grond D-deel	2 stramienen van 3,6m. Veel computers aanwezig
D042	Noordwest	1	Begane grond D-deel	
D043	West	1	Begane grond D-deel	
D157	-	1	1 ^e verdieping D-deel	Inpandig vertrek met veel beveiligingsmonitoren
D226	Zuid	1	2 ^e verdieping D-deel	

Tabel B2.8: Middelburg, eigenschappen kamers

Kamer	Geheel gesloten gevel?	Dress Code?	Per 2 personen minimaal 1 bruikbaar raam	Actieve koeling?	Per 2 personen temperatuur beïnvloedbaar?
A006	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee
A205	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee
B005	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee
B215	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee
B216	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee
D041	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee
D042	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee
D043	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee
D157	Ja	Ja	Nee	Ja	Nee
D226	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee

Bijlage 3 Formules en toelichtingen bij hoofdstuk 3 en 4

• Formule Specifiek Werkzame Massa

$$SWM = \frac{\sum f_{wm} \cdot m_w}{A_v} \quad [\text{kg/m}^2]$$

Waarin:

m_w	de werkzame massa van een laag van een wand, dak, vloer of delen ervan; $m_w = \rho_w \cdot d_{wz} \cdot A_{w,o}$	[kg]
ρ_w	de soortelijke massa van de wand	[kg/m ³]
d_{wz}	de thermisch effectieve dikte van de betreffende laag	[m]
f_{wm}	reductiefactor voor vermindering van warmte-indringing door bijvoorbeeld de aanwezigheid van een verlaagd plafond	[-]
$A_{w,o}$	de binnenwerkse (van binnenuit zichtbare) oppervlakte van het ondoorzichtige deel	[m ²]
$A_{w,t}$	de totale binnenwerkse oppervlakte	[m ²]
$A_v = \sum A_{w,t}$		

• Formule gemiddelde stralingstemperatuur

In geval van natuurlijke convectie:

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{0,25 \cdot 10^8}{\varepsilon} \cdot \left(\frac{|t_g - t_a|}{D} \right)^{0,25} \cdot (t_g - t_a) \right]^{0,25} - 273$$

In geval van gedwongen convectie

$$\bar{t}_r = \left[(t_g + 273)^4 + \frac{1,1 \cdot 10^8 \cdot v_a^{0,6}}{\varepsilon \cdot D^{0,4}} \cdot (t_g - t_a) \right]^{0,25} - 273$$

Waarin

t_r	gemiddelde stralingstemperatuur	[°C]
t_g	globetemperatuur	[°C]
t_a	luchttemperatuur	[°C]
v_a	luchtsnelheid ter plaatse van de bol	[m/s]
D	middellijn van de bol	[m]
ε	emissiecoëfficiënt	[-]

natuurlijke convectie: indien de warmte-overdrachtscoëfficiënt voor natuurlijke convectie groter is dan die voor gedwongen convectie

gedwongen convectie: indien de warmte-overdrachtscoëfficiënt voor gedwongen convectie groter is dan die voor natuurlijke convectie

$$\text{warmte-overdrachtscoëfficiënt voor natuurlijke convectie: } 1,4 \left(\frac{\Delta T}{D} \right)^{0,25}$$

$$\text{warmte-overdrachtscoëfficiënt voor gedwongen convectie: } 6,3 \frac{v_a^{0,6}}{D^{0,4}}$$

• Aannamen en formules bij berekening invloed personen en TFT-schermen op gemiddelde stralingstemperatuur:

De gemiddelde stralingstemperatuur kan voor een bepaalde plaats in een vertrek worden berekend aan de hand van zichtfactoren voor een bolvormig elementje ten opzichte van een vlak. De gemiddelde stralingstemperatuur is gedefinieerd als de temperatuur van een fictief, "zwart" vlak ($\varepsilon = 1$) dat het te beschouwen punt (vlak) geheel omsluit ($\phi=1$), waarbij de totale warmtestroom door straling die het te beschouwen punt of vlak ontvangt, gelijk is aan die in de werkelijke situatie.

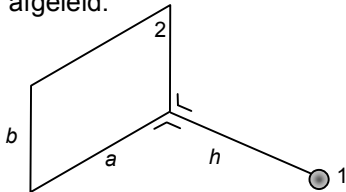
Deze gemiddelde stralingstemperatuur kan worden berekend aan de hand van de volgende gelineariseerde formule:

$$t_s = \sum_{i=2}^n \phi_{1i} \cdot t_i$$

hierin is

ϕ_{1i} de zichtfactor van vlak/elementje 1 t.o.v. de overige vlakken i
 t_i de temperatuur van de verschillende vlakken in graden Celsius

Voor het bepalen van de gemiddelde stralingstemperatuur op een willekeurige plaats in een vertrek, kan men zich in dat punt een boloppervlak van willekeurig kleine afmetingen voorstellen, dat warmtestraling uitwisselt met alle wanden van het vertrek. Voor een dergelijk bolvormig elementje ('1' in figuur B3.1) is formule (x) voor de bepaling van de zichtfactoren afgeleid.



$$\phi_{12} = \frac{1}{4\pi} \cdot \arctg \frac{a \cdot b}{h \cdot \sqrt{a^2 + b^2 + h^2}}$$

Figuur B3.1: Bolvormig elementje gelegen boven een hoek van een rechthoekig vlak

Om te bepalen welke invloed de in een vertrek aanwezige personen en TFT-schermen hebben op de gemiddelde stralingstemperatuur ter plaatste van de meetapparatuur zijn de volgende aannamen gedaan:

- Afmetingen kamer: 5,4m * 3,6m * 2,7m;
- Hoogte Bureau: 0,7m;
- de zwarte bol hangt in de ruimte 1,6m onder het plafond en 0,4m boven de tafel;
- de zwarte bol hangt op 1,8m van de zijwanden, op 2,0m van de buitenwand en op 3,4m van de gangwand;
- het TFT-scherf is geschematiseerd als een rechthoek met een breedte van 0,1m en een hoogte van 0,3m op 1m afstand van de zwarte bol, waarbij het scherm 0,5m naar de zijwanden toe is geplaatst. Door middel van het kiezen van een kleinere breedte (0,1m) dan de werkelijke breedte van een TFT-scherf (0,4m) is de, ten opzichte van de buitenwand, gedraaide positie van het scherm meegenomen in de berekening;
- de personen bevinden zich voor de zwarte bol op 0,9m afstand. De persoon is hierbij geschematiseerd als een rechthoek met een breedte van 0,3m die 0,5m boven de tafel uitkomt; Ook hierbij is een kleinere breedte aangenomen om de gedraaide positie van de persoon mee te nemen.

Verder is aangenomen dat de oppervlakte temperaturen van de vlakken in de ruimte allen gelijk zijn en dat de gemiddelde 'oppervlakte' temperatuur van personen 29°C en van TFT-schermen 31°C is.

- Bepaling vochtgehalte uit luchttemperatuur en de relatieve vochtigheid

$$C_{i,w} = C_{\max} \cdot RV / 100$$

waarin

$C_{i,w}$ = vochtgehalte binnen [g/m³]
 $C_{\max}$ = maximaal vochtgehalte binnen [g/m³]
 RV = relatieve vochtigheid [%]

$$C_{\max} = 611 \cdot e^{0,0725 \cdot t_a - 0,0002881 \cdot t_a^2 + 0,00000079 \cdot t_a^3} \quad \text{voor } t_a > 0$$

$$C_{\max} = \frac{611000 \cdot e^{0,0829 \cdot t_a - 0,0002881 \cdot t_a^2 + 0,000004403 \cdot t_a^3}}{462 \cdot (t_a + 273)} \quad \text{voor } t_a \leq 0$$

waarin
 t_a = luchttemperatuur [°C]

- Onderzoek Rijksgebouwendienst bezettingsgraad bij enkele Haagse ministeries

Tabel B3.1: Bezettingsgraad uitgedrukt in % van totale tijdsbesteding in een gemiddelde werkweek								
	Functie (zie tabel B3.2)							
Functie	1	2	3	4	5	6	7	8
Lijnmanagement (teamleider)	10	10	25	10	0	20	20	5
Ondersteuning (secretarieel + administratief medewerker)	4	38	7	12	5	10	0	24
Stafmedewerker	20	25	10	10	5	16	5	9
Directie (MT-lid)	7	12	35	5	0	20	20	1
Beleidsmedewerker (algemeen)	11	31	7	5	5	20	12	9

Tabel B3.2: Omschrijving functies tabel B3.1	
nummer	omschrijving
1	werkplekgebonden, sterk geconcentreerd werk
2	werkplekgebonden, matig geconcentreerd werk
3	Overleg op de werkplek
4	Telefoneren op de werkplek
5	Pauze e.d.
6	Overleg niet op de werkplek
7	Activiteiten buiten het gebouw
8	rest.

Tabel B3.3: Werkzaamheden per functie gesplitst in wel en niet werkplekgebonden werkzaamheden			
Functie	Werkplekgebonden werkzaamheden	Niet werkplekgebonden werkzaamheden	Rest
Lijnmanagement	55	40	5
Ondersteuning	61	15	24
Stafmedewerker	65	26	9
Directie	59	40	1
Beleidsmedewerker	54	37	9

Bijlage 4 Website

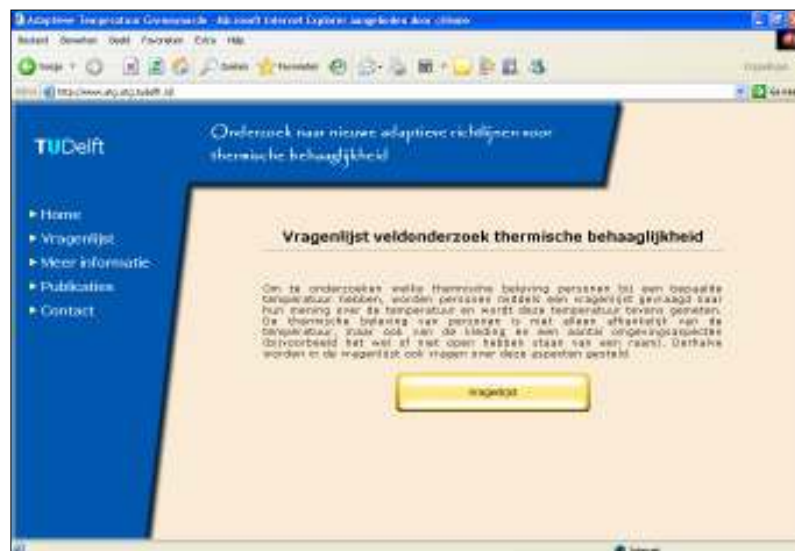
Om de enquêtes op een eenvoudige manier af te kunnen nemen is er een website opgezet: <http://www.atg.citg.tudelft.nl/>. Op deze website zijn naast de vragenlijst, enkele achtergrond informatie, publicaties en contactgegevens te vinden.

Doordat de website op een server van de faculteit civiele techniek is geplaatst is er geen beperking aan de gebruikstijd (geen jaarlijkse verlenging o.i.d. nodig) en blijft de website beschikbaar.

In de onderstaande figuur B4.1 is de beginpagina van de website weergegeven. Door in het menu op vragenlijst te klikken komt de pagina uit figuur B4.2 op het scherm.

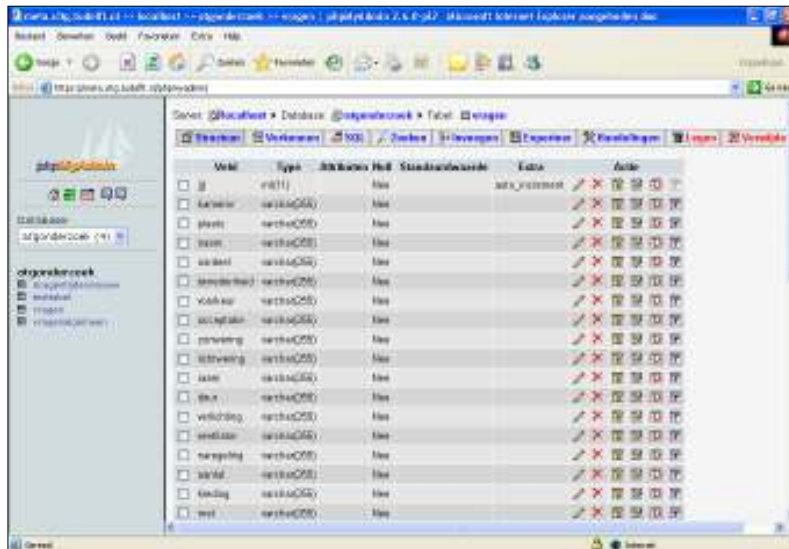


Figuur B4.1: Startpagina website www.atg.citg.tudelft.nl



Figuur B4.2: Pagina met link naar vragenlijst

Via de button 'vragenlijst' kan de enquête, zoals deze in hoofdstuk 3 is opgenomen, worden geopend. De antwoorden die de personen invullen, worden, nadat de persoon op de knop 'verzenden' heeft geklikt, automatisch in een database geplaatst. Ook deze database is gepositioneerd op een server van de Technische Universiteit Delft en heeft daardoor geen beperking aan de gebruikstijd, de gegevens blijven hierdoor bewaard. In figuur B4.3 is de site weergegeven waarop aanpassingen aan de database gedaan kunnen worden.



Figuur B4.3: Pagina met eigenschappen database

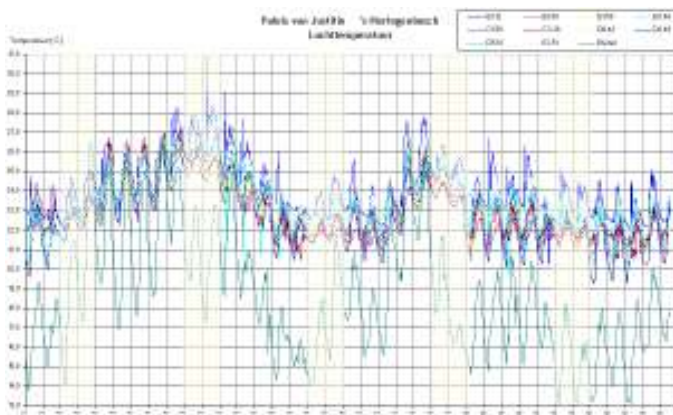
Via FTP kunnen wijzigingen aan de website worden aangebracht. Ook de database kan worden bewerkt en/of gegevens kunnen worden opgehaald. Om het ophalen van de gegevens uit de database sneller te laten verlopen is er tevens een website aangemaakt waarop deze gegevens uitgelezen kunnen worden.

Gegevens over de inlogcodes voor FTP, de database en deze laatste website zijn te verkrijgen bij de beheerder van de site.

Bijlage 5 Grafieken en tabellen metingen bij hoofdstuk 4

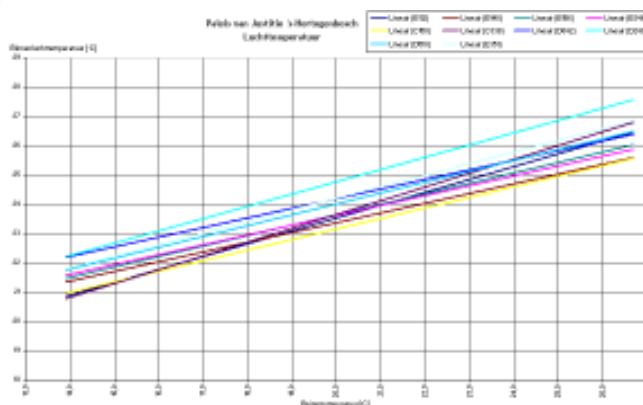
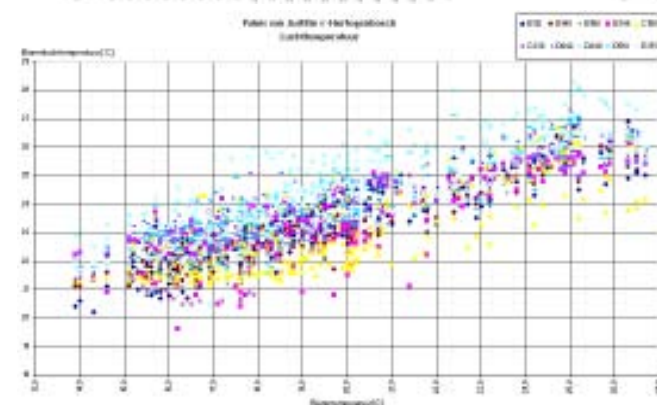
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch

Luchttemperatuur

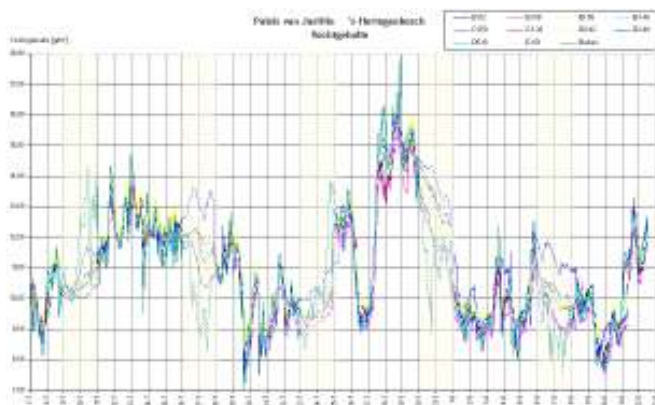


Tabel B5.1: Gemeten waarden van de luchttemperatuur [°C], 's-Hertogenbosch

	Gehele meetperiode			Ma t/m vr 8 t/m 18uur		
	Max	Gem	Min	Max	Gem	Min
Buiten	26,7	18,6	13,1	26,7	19,5	13,9
B1.12	27,0	22,2	19,3	27,0	22,9	20,2
B1.48	26,0	22,1	20,6	26,0	18,7	21,1
B1.56	26,6	22,6	20,8	26,6	23,2	20,8
B3.46	26,4	22,8	19,6	26,2	23,0	19,6
C1.50	26,7	22,4	21,0	26,7	22,5	21,2
C3.38	27,3	22,8	20,5	27,3	22,9	20,5
D0.42	26,5	23,2	21,5	26,5	19,4	21,8
D2.40	30,9	23,8	20,3	28,3	24,2	20,3
D5.10	28,0	23,0	19,9	27,1	23,5	20,9
E3.51	27,1	23,4	21,7	27,1	23,6	21,7

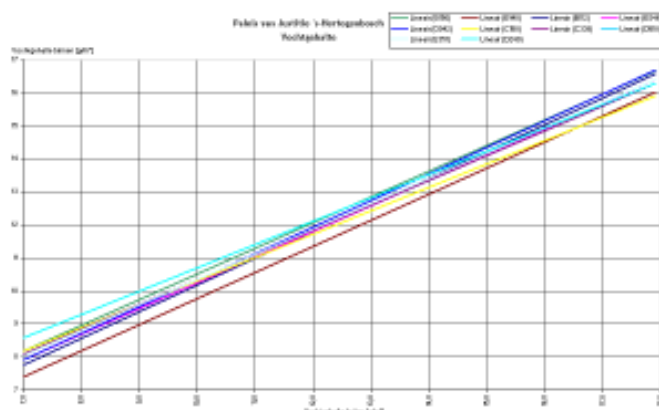
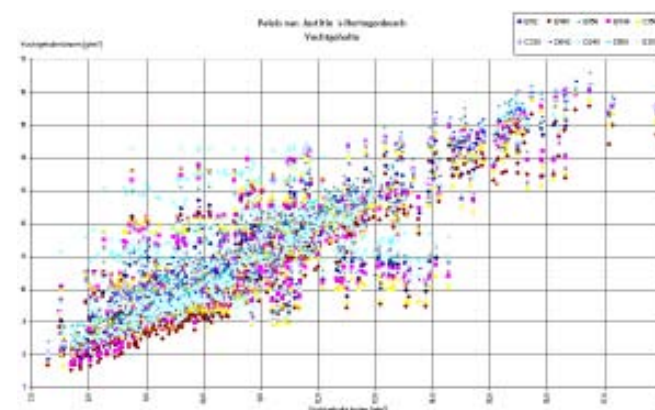


Vochtgehalte

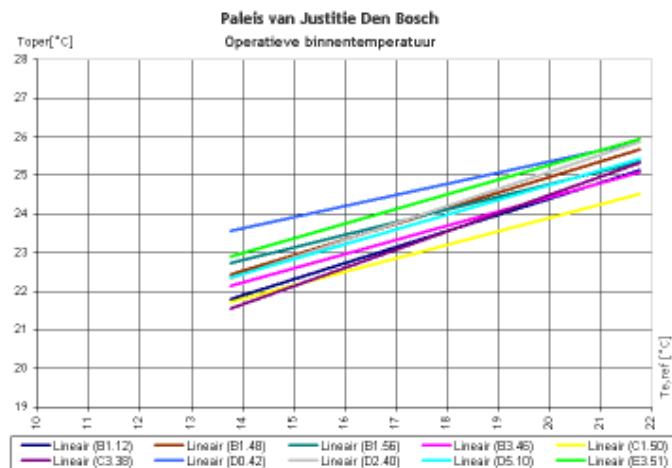


Tabel B5.2: Gemeten waarden van het vochtgehalte [g/m³], 's-Hertogenbosch

	Gehele meetperiode			Ma t/m vr 8 t/m 18uur		
	Max	Gem	Min	Max	Gem	Min
Buiten	17,9	10,8	7,0	16,7	10,9	7,0
B1.12	16,2	10,4	7,8	16,2	10,6	7,9
B1.48	15,6	9,8	7,5	15,6	10,0	7,7
B1.56	16,6	10,7	8,1	16,6	11,0	8,4
B3.46	16,0	10,5	7,7	16,0	10,5	7,8
C1.50	16,0	10,5	7,3	16,0	10,5	7,3
C3.38	16,1	10,5	8,1	16,1	10,7	8,1
D0.42	16,3	10,4	7,9	16,3	10,5	7,9
D2.40	16,0	10,9	7,8	16,0	10,7	7,8
D5.10	-	-	-	-	-	-
E3.51	16,2	10,6	8,0	16,2	10,7	8,0

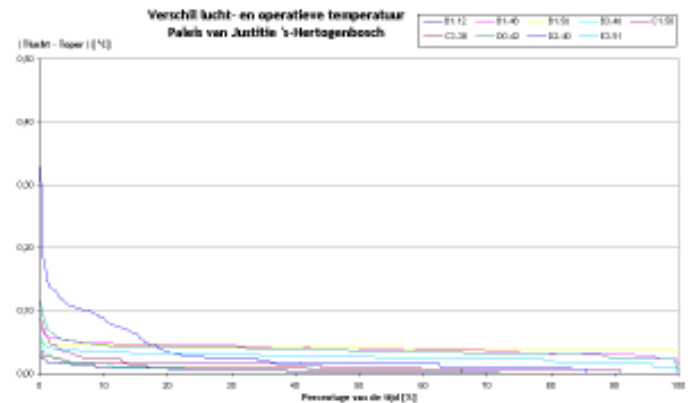
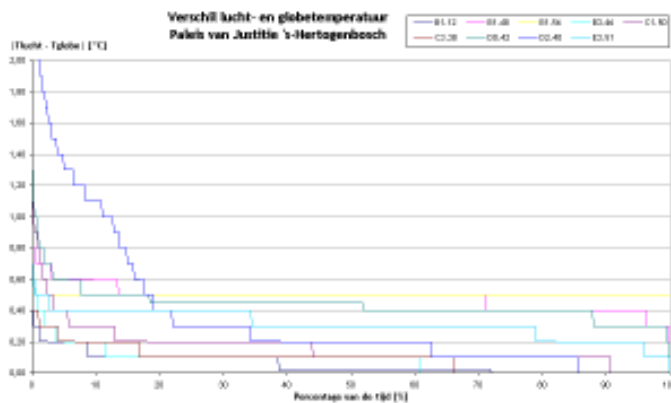


Operatieve temperatuur



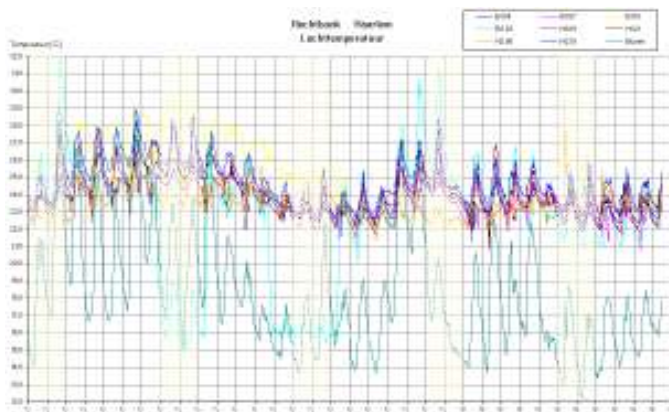
Tabel B5.3: richtingscoëfficiënt regressielijn $t_{oper} = f(t_{ref})$	
Kamer	richtingscoëfficiënt
B1.12	0,4168
B1.48	0,4045
B1.56	0,3285
B3.46	0,3689
C1.50	0,3519
C3.38	0,4731
D0.42	0,2904
D2.40	0,4414
D5.10	0,3822
E3.51	0,3798

Verschil luchttemperatuur, globetemperatuur en operatieve temperatuur



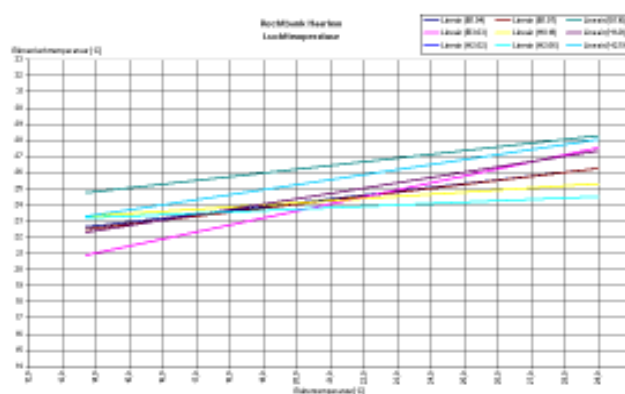
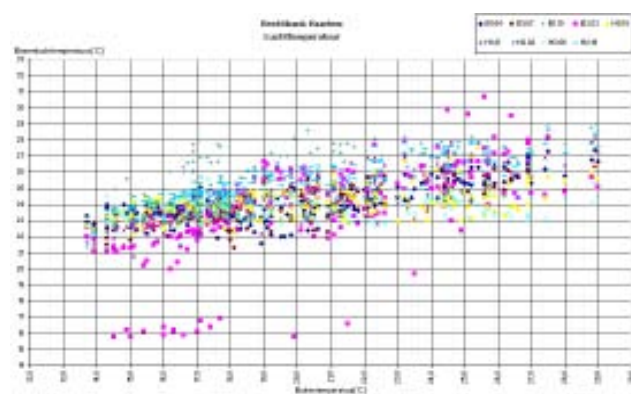
Rechtbank Haarlem

Luchttemperatuur

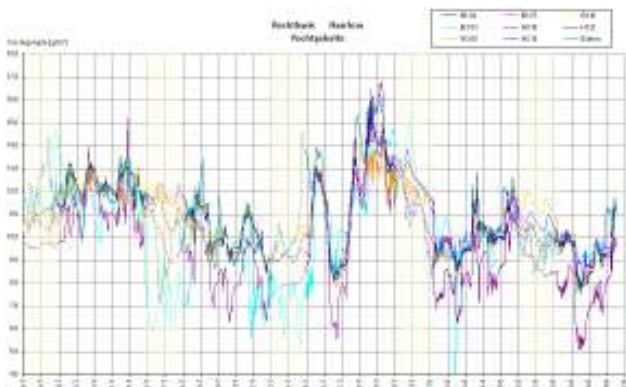


Tabel B5.4: Gemeten waarden van de luchttemperatuur [°C], Haarlem

	Gehele meetperiode			Ma t/m vr 8 t/m 18uur		
	Max	Gem	Min	Max	Gem	Min
Buiten	29,1	18,4	12,2	29,0	19,7	13,7
B1.04	27,4	23,7	21,3	27,4	23,8	21,3
B1.07	29,6	26,8	23,0	29,0	26,4	23,0
B1.10	26,7	23,4	20,8	26,5	23,7	20,8
B3.03	32,4	23,1	15,3	30,7	23,6	15,8
H0.19	27,6	23,7	22,1	27,6	24,0	22,3
H1.21	28,5	23,7	20,8	28,2	24,1	20,8
H2.02	-	-	-	-	-	-
H2.06	29,4	23,5	21,4	26,1	23,6	21,4
H2.19	28,8	24,5	21,5	28,8	24,9	21,5

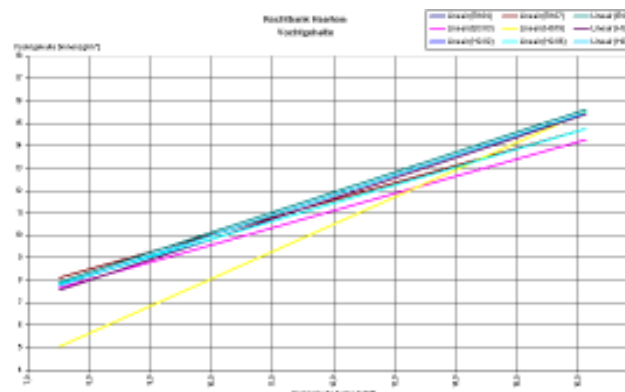
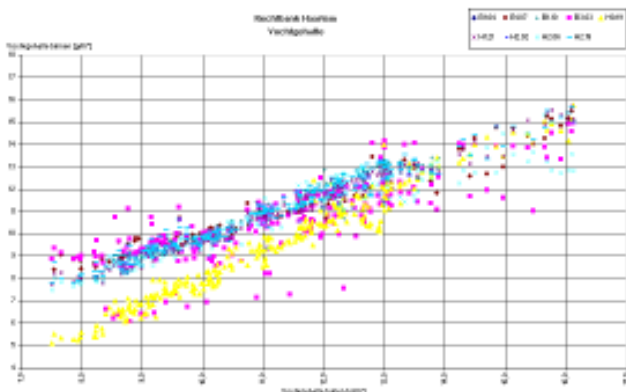


Vochtgehalte

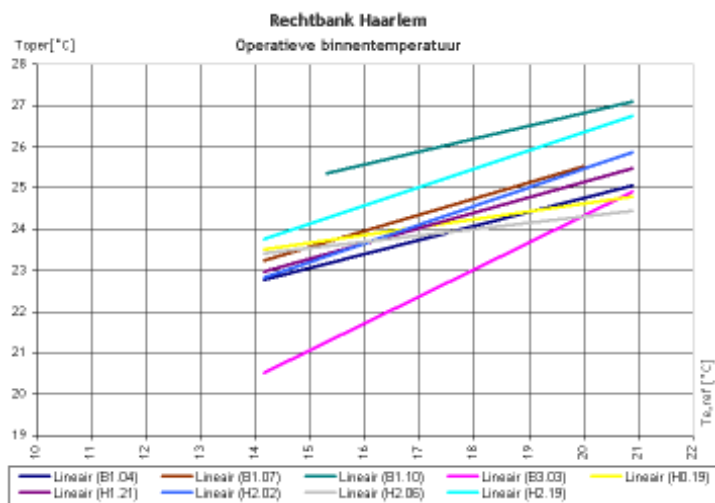


Tabel B5.5: Gemeten waarden van het vochtgehalte [g/m³], Haarlem

	Gehele meetperiode			Ma t/m vr 8 t/m 18uur		
	Max	Gem	Min	Max	Gem	Min
Buiten	16,3	10,9	7,1	16,1	11,1	7,5
B1.04	-	-	-	-	-	-
B1.07	13,4	11,2	8,8	13,4	11,4	8,8
B1.10	15,5	10,4	8,3	15,5	10,6	8,3
B3.03	15,0	10,3	5,3	15,0	10,3	6,1
H0.19	16,8	9,3	5,1	16,5	9,0	5,1
H1.21	15,7	10,5	7,7	15,7	10,5	7,7
H2.02	-	-	-	-	-	-
H2.06	15,3	10,7	7,5	15,3	10,4	7,5
H2.19	15,6	10,7	7,8	15,6	10,6	7,8



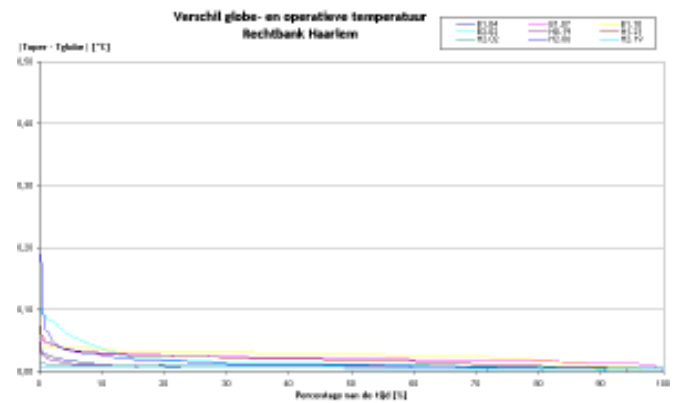
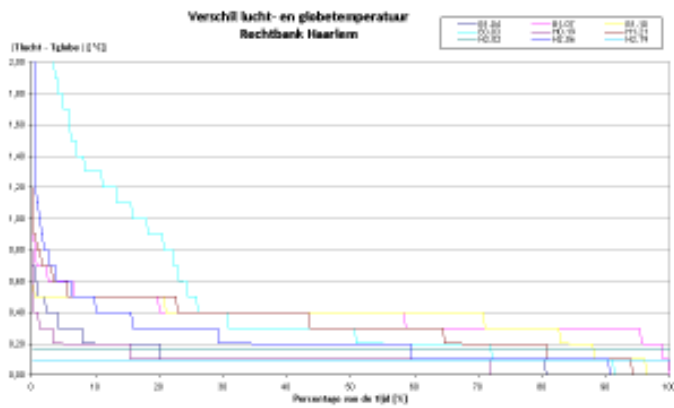
Operatieve temperatuur



Tabel B5.6: richtingscoëfficiënt
regressielijn $t_{oper} = f(t_{e,ref})$

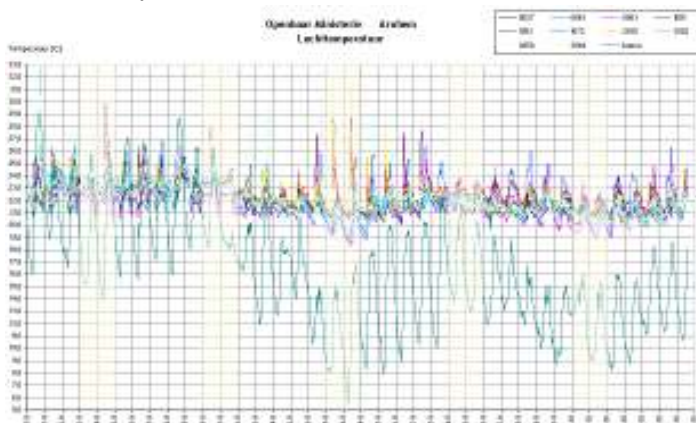
Kamer	richtingscoëfficiënt
B1.04	0,3369
B1.07	0,3907
B1.10	0,3127
B3.03	0,6537
H0.19	0,1907
H1.21	0,3704
H2.02	0,4500
H2.06	0,1524
H2.19	0,4437

Verschil luchttemperatuur, globetemperatuur en operatieve temperatuur



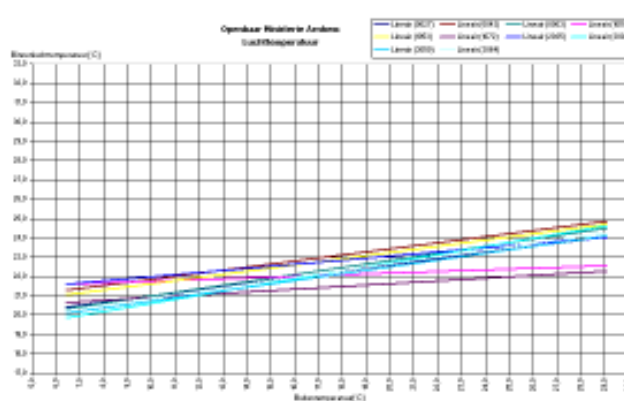
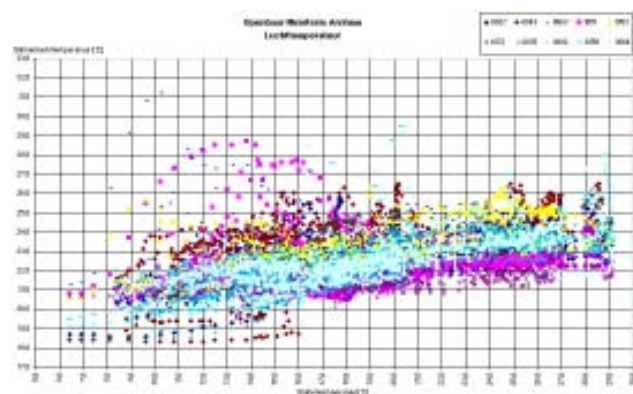
Openbaar Ministerie Arnhem

Luchttemperatuur

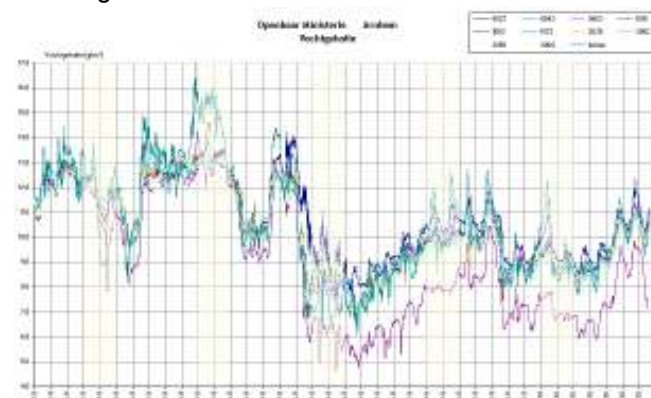


Tabel B5.7: Gemeten waarden van de luchttemperatuur [°C], Arnhem

	Gehele meetperiode			Ma t/m vr 8 t/m 18uur		
	Max	Gem	Min	Max	Gem	Min
Buiten	29,1	16,4	5,6	29,1	18,4	6,4
0027	26,3	22,1	18,6	25,8	22,3	18,6
0043	27,0	22,1	18,3	26,5	23,2	18,3
0063	26,3	21,8	18,5	26,3	22,5	18,5
1015	29,9	22,1	20,0	28,7	22,1	20,5
1053	26,3	22,6	20,4	26,3	23,0	20,4
1072	25,1	21,7	19,6	25,0	21,5	19,6
2035	31,7	22,4	20,0	31,2	22,9	20,4
3002	32,8	22,2	19,0	27,5	22,4	19,1
3050	30,5	22,0	19,4	29,5	22,2	19,5
3064	30,6	22,1	19,6	29,4	22,4	19,7

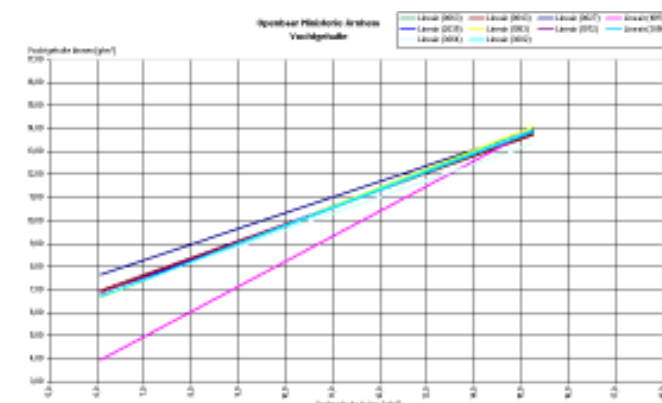
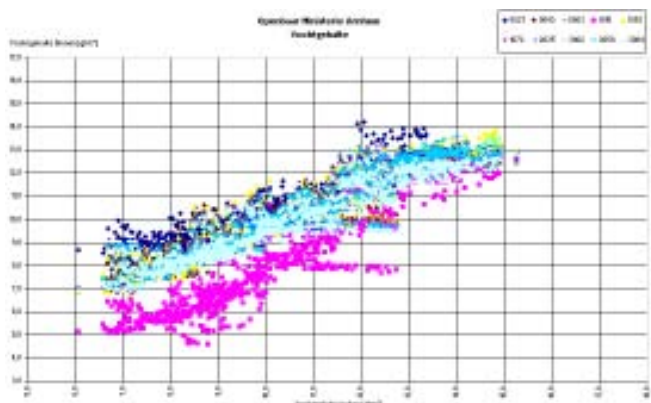


Vochtgehalte

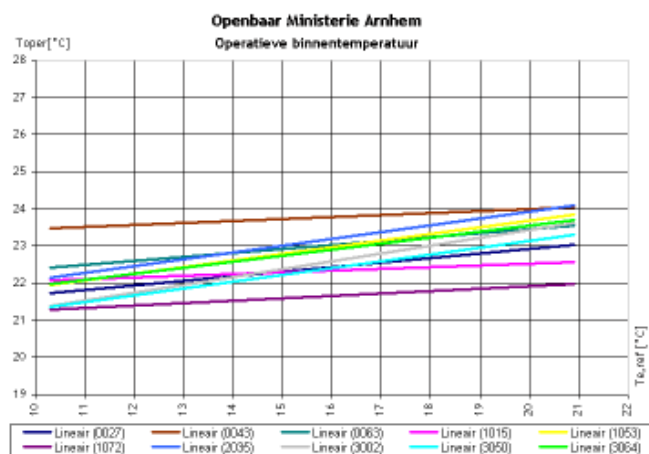


Tabel B5.8: Gemeten waarden van het vochtgehalte [g/m³], Arnhem

	Gehele meetperiode			Ma t/m vr 8 t/m 18uur		
	Max	Gem	Min	Max	Gem	Min
Buiten	17,1	10,6	6,0	15,3	10,7	6,1
0027	14,2	10,0	7,8	14,2	10,1	7,8
0043	14,2	10,3	6,6	12,9	10,4	6,9
0063	14,2	10,3	6,6	13,2	10,3	6,8
1015	14,2	9,1	4,6	12,9	9,0	4,6
1053	14,6	10,4	6,7	13,9	10,4	6,7
1072	14,2	10,4	6,8	13,4	10,4	6,8
2035	14,3	10,3	6,6	13,2	10,4	6,8
3002	14,1	10,4	6,8	13,6	10,3	6,9
3050	14,1	10,3	6,7	13,6	10,3	6,9
3064	13,5	10,0	6,5	12,9	10,1	6,9



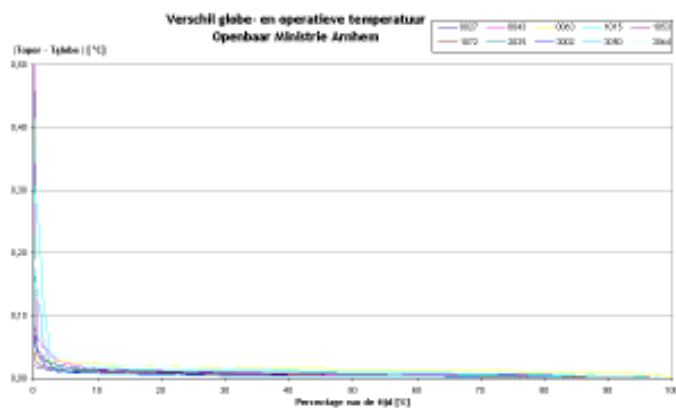
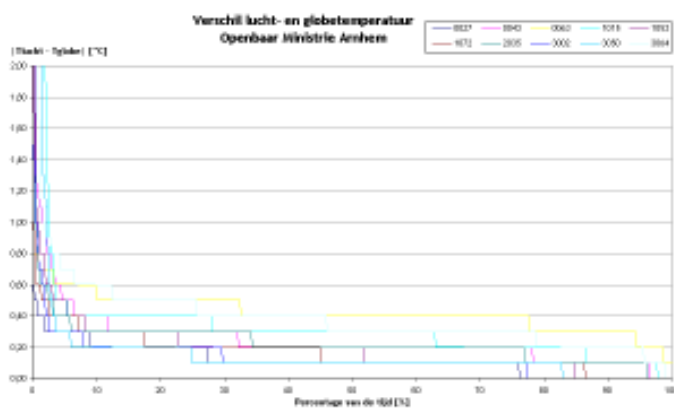
Operatieve temperatuur



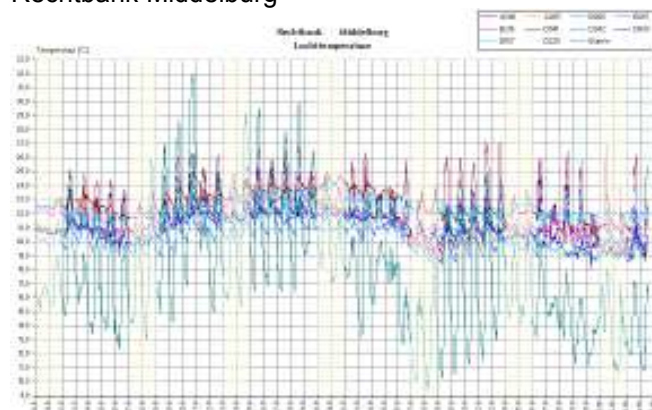
Tabel B5.9: richtingscoëfficiënt
regressielijn $t_{\text{oper}} = f(t_{\text{ref}})$

Kamer	richtingscoëfficiënt
0027	0,1224
0043	0,0544
0063	0,1054
1015	0,0468
1053	0,1776
1072	0,0639
2035	0,1827
3002	0,2107
3050	0,1821
3064	0,1626

Verskil luchttemperatuur, globetemperatuur en operatieve temperatuur

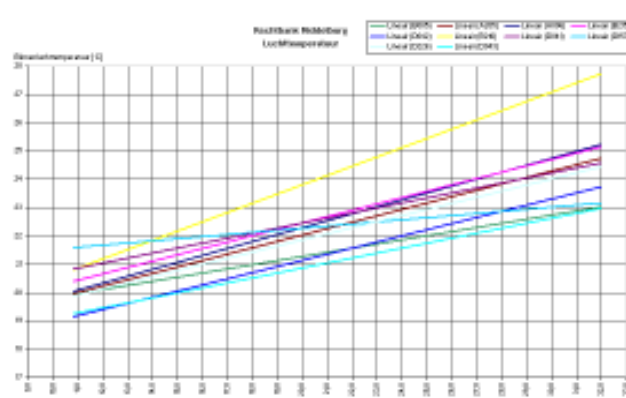
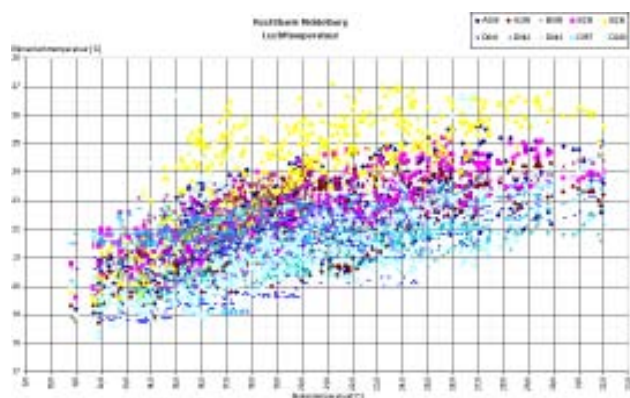


Rechtbank Middelburg

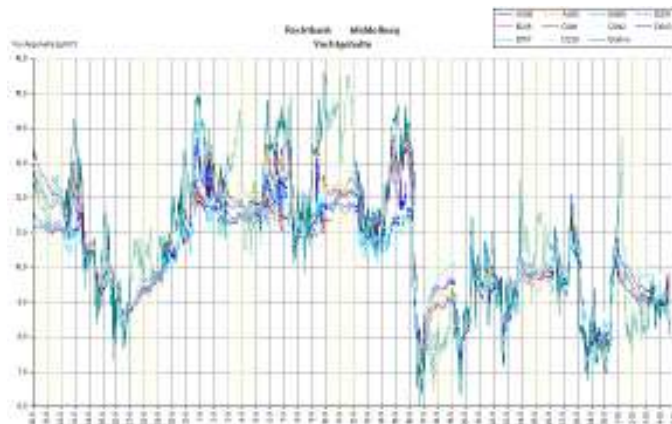


Tabel B5.10: Gemeten waarden van de luchttemperatuur [°C], Middelburg

	Gehele meetperiode			Ma t/m vr 8 t/m 18uur		
	Max	Gem	Min	Max	Gem	Min
Buiten	32,0	17,6	9,3	32,0	19,7	10,8
0027	25,6	21,5	19,1	25,6	22,5	19,1
0043	24,7	21,3	18,5	24,7	22,1	18,7
0063	23,3	20,5	18,3	23,3	21,5	18,8
1015	25,3	22,0	19,0	25,3	22,5	19,6
1053	27,1	22,1	18,6	27,1	23,9	18,9
1072	25,3	22,7	20,4	24,9	22,7	20,5
2035	26,3	21,0	18,7	25,1	21,4	18,7
3002	23,8	20,9	18,1	23,5	21,0	18,1
3050	24,1	22,5	21,0	23,9	22,2	21,2
3064	32,4	21,4	18,8	32,4	21,9	18,8

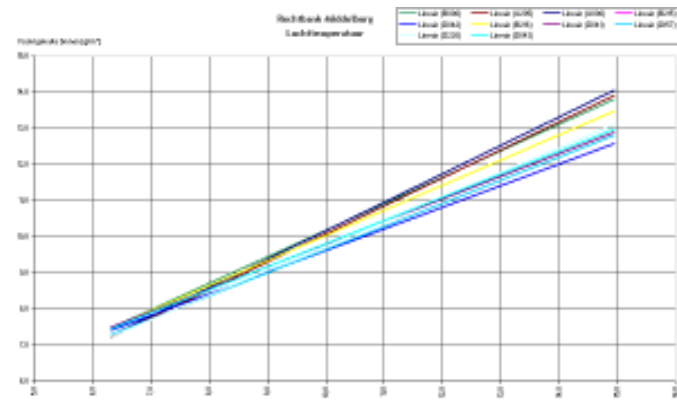
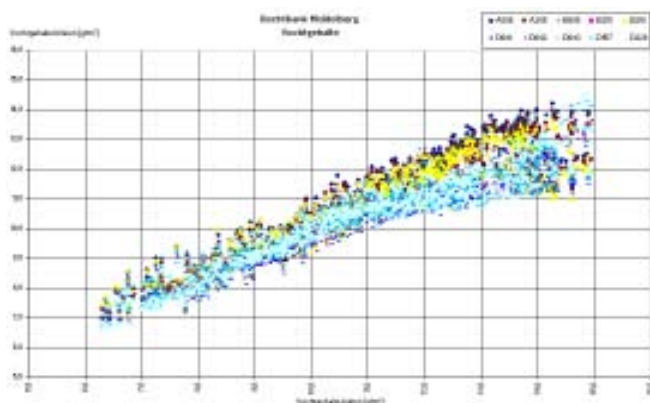


Vochtgehalte

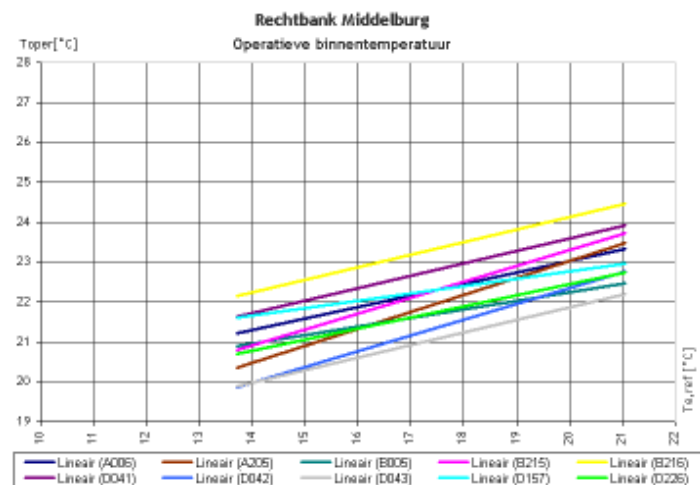


Tabel B5.11: Gemeten waarden van het vochtgehalte [g/m³], Middelburg

	Gehele meetperiode			Ma t/m vr 8 t/m 18uur		
	Max	Gem	Min	Max	Gem	Min
Buiten	15,6	10,9	6,0	14,9	10,7	6,3
0027	14,2	10,6	6,6	14,2	10,7	6,9
0043	14,0	10,6	6,7	14,0	10,6	7,0
0063	14,2	10,6	6,9	14,2	10,7	7,2
1015	-	-	-	-	-	-
1053	13,6	10,3	6,8	13,6	10,5	7,2
1072	13,8	10,3	6,8	13,6	10,2	6,9
2035	13,7	10,1	7,0	13,6	10,0	7,1
3002	13,7	10,3	7,1	13,4	10,3	7,2
3050	14,3	10,3	6,5	14,3	10,1	6,7
3064	14,8	10,6	6,5	14,8	10,2	6,6

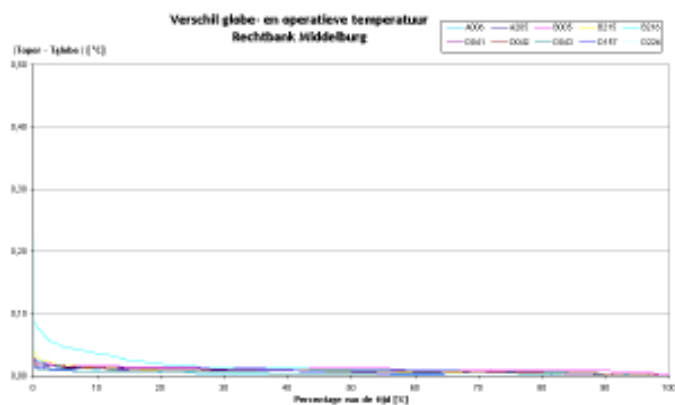
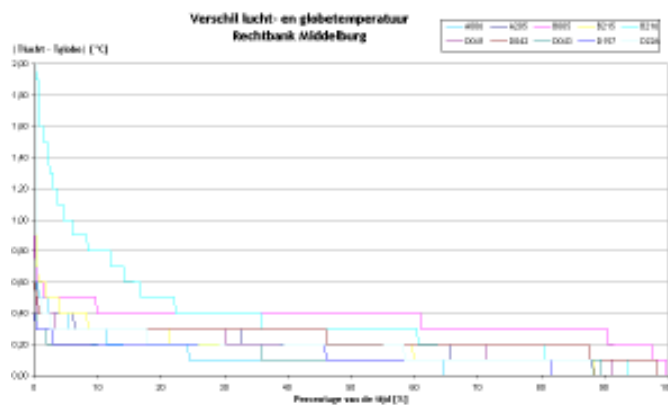


Operatieve temperatuur



Tabel B5.12: richtingscoëfficiënt regressielijn $t_{oper} = f(t_{ou,ref})$	
Kamer	richtingscoëfficiënt
A006	0,2686
A205	0,4259
B005	0,2142
B215	0,3990
B216	0,3169
D041	0,3131
D042	0,3975
D043	0,3152
D157	0,1851
D226	0,2786

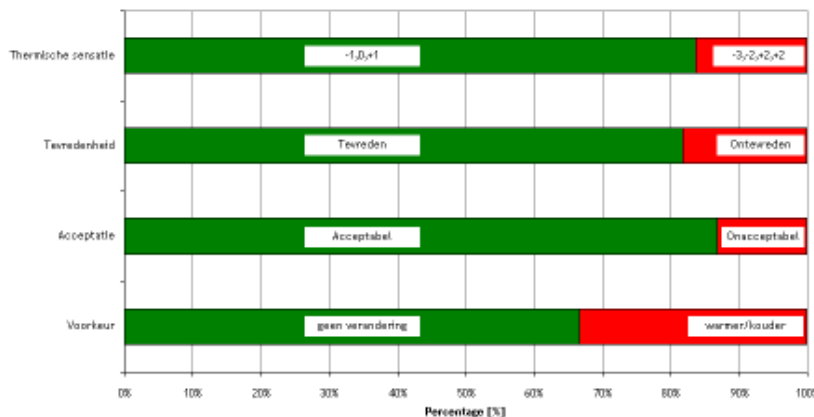
Verschil luchttemperatuur, globetemperatuur en operatieve temperatuur



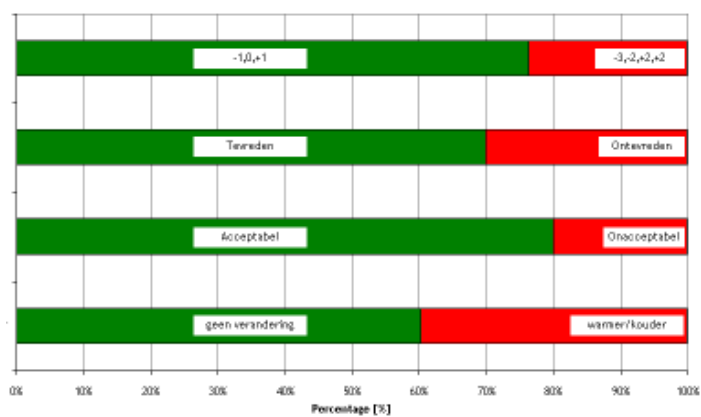
Bijlage 6 Enquêteonderdeel thermische behaaglijkheid

Verdeling gegeven antwoorden per gebouw

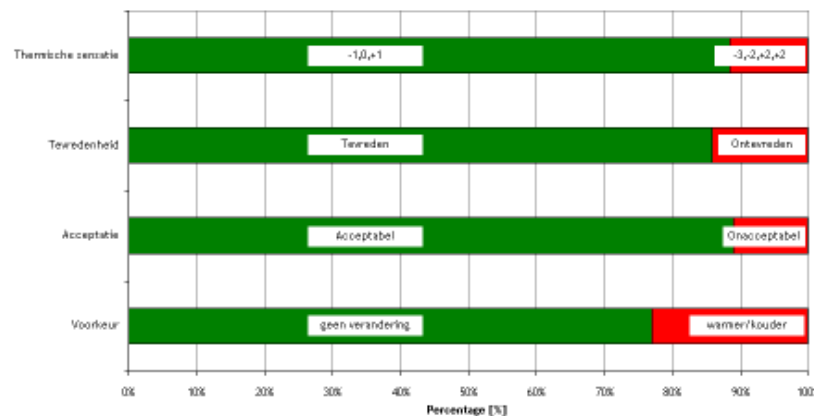
Verdeling gegeven antwoorden op enquête
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch



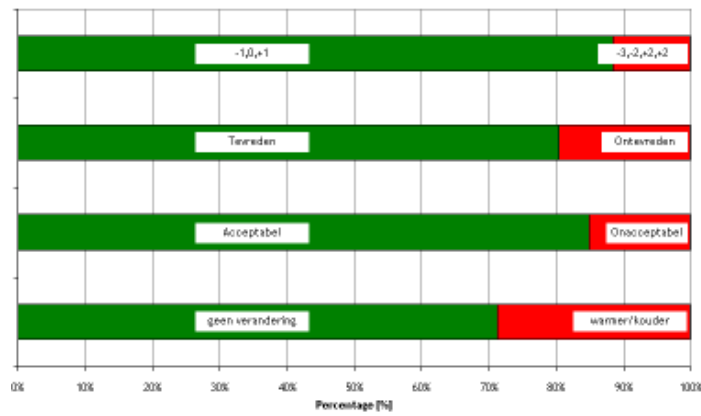
Verdeling gegeven antwoorden op enquête
Rechtbank Haarlem



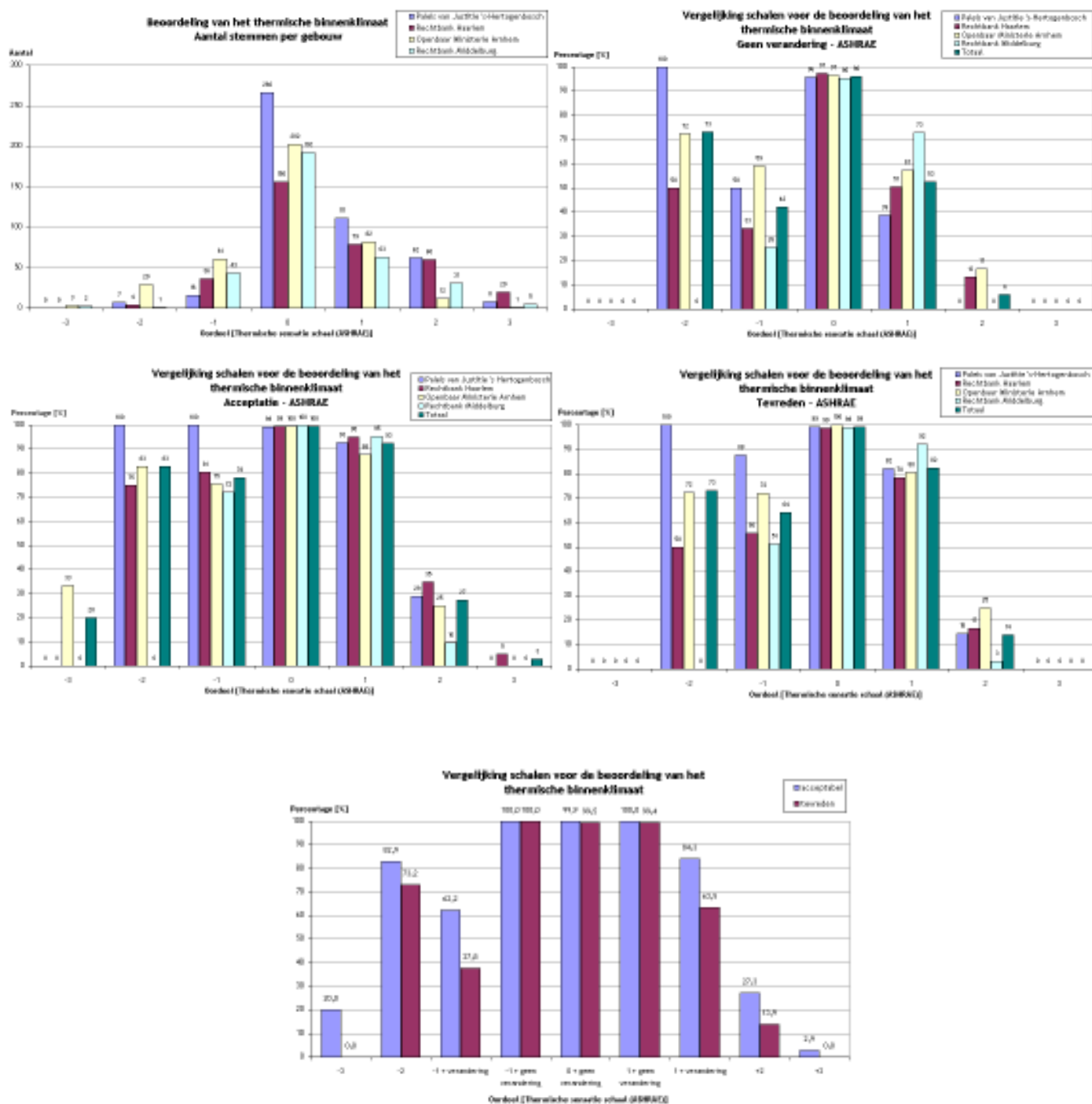
Verdeling gegeven antwoorden op enquête
Openbaar Ministerie Arnhem



Verdeling gegeven antwoorden op enquête
Rechtbank Middelburg



Vergelijking schalen voor de beoordeling van het thermische binnenklimaat

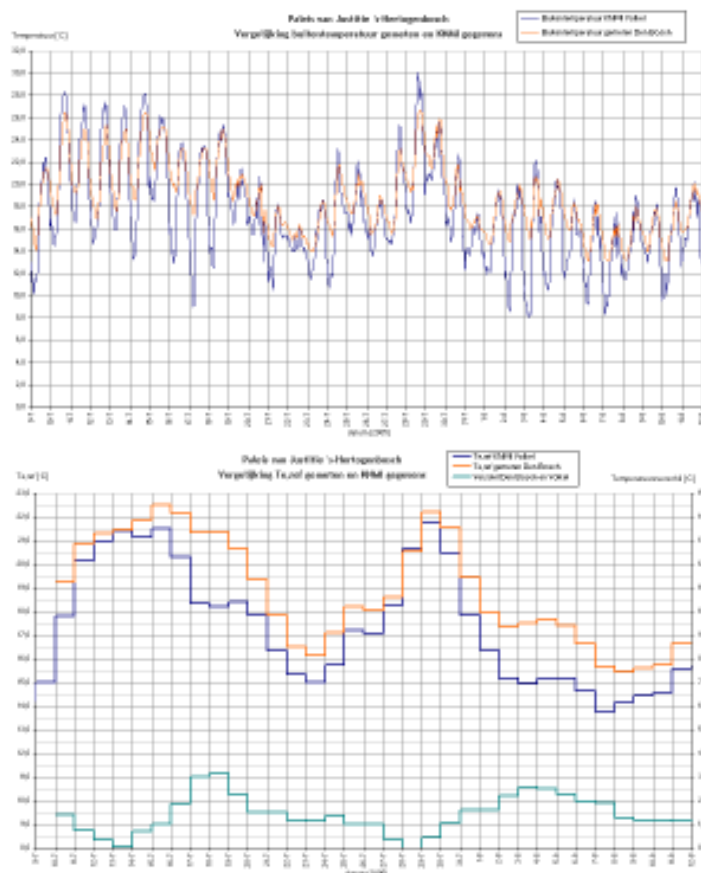


Tabel B6.1: Aantal stemmen per schaal

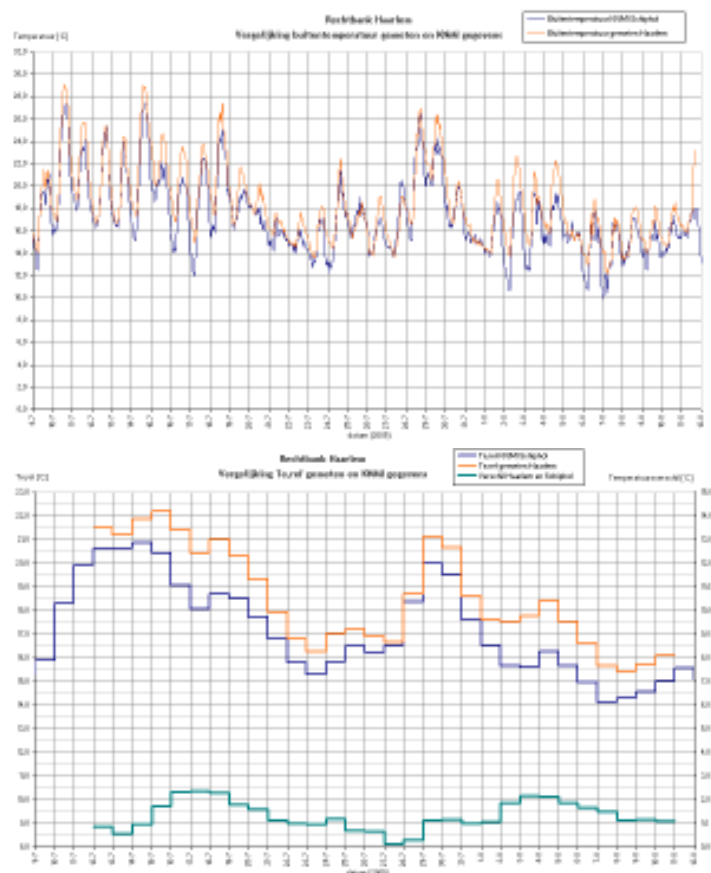
Aantal	-3	-2	-1	-1 + geen verandering	0 + geen verandering	1 + geen verandering	1	2	3
totaal	5	41	90	66	785	176	159	165	34
acceptabel	1	34	56	66	784	176	134	45	1
tevreden	0	30	34	66	781	175	101	23	0

Bijlage 7 Buitentemperatuur

Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch



Rechtbank Haarlem



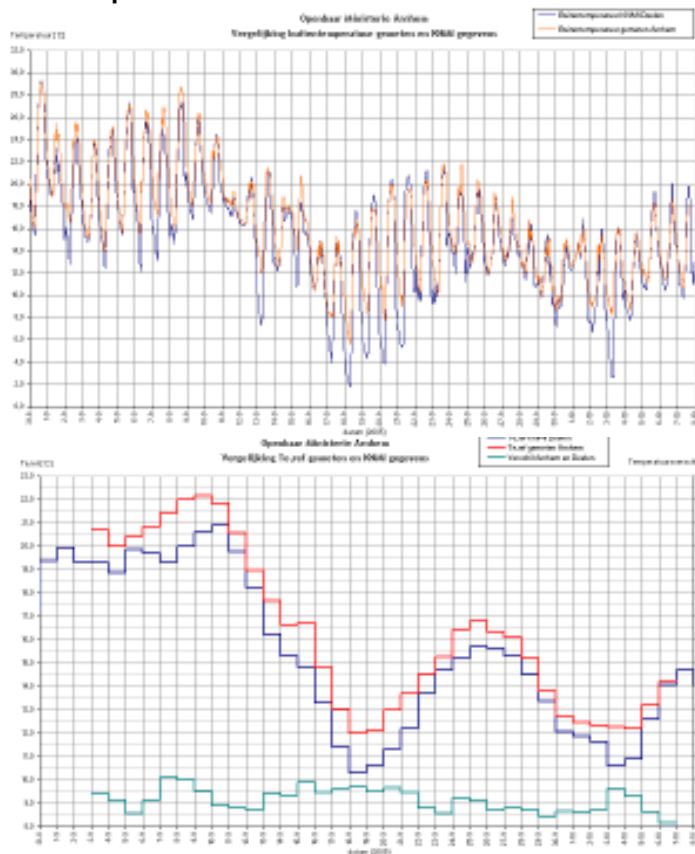
Tabel B7.1: buitenklimaat 's-Hertogenbosch

Algemeen			
		's-Hertogenbosch zelf gemeten	Volkel KNMI
T_e [°C]	Max	26,7	30,1
	Gem	18,7	17,2
	Min	13,1	8,1
$T_{e,ref}$ [°C]	Max	22,5	21,8
	Gem	18,8	17,4
	Min	15,4	13,8
Verschil $T_{e,ref}$'s-Hertogenbosch en $T_{e,ref}$ Volkel [°C]			
Maximaal		3,14	
Gemiddeld		1,40	
Minimaal		-0,09	
Standaard deviatie		0,79	

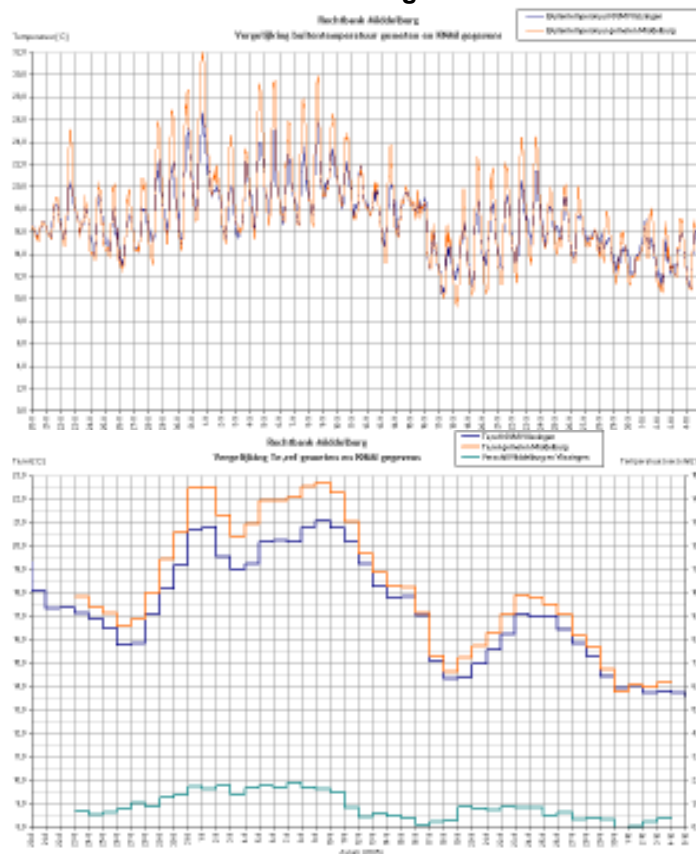
Tabel B7.2: buitenklimaat Haarlem

Algemeen			
		Haarlem zelf gemeten	Schiphol KNMI
T_e [°C]	Max	29,1	27,8
	Gem	18,4	17,2
	Min	12,2	9,9
$T_{e,ref}$ [°C]	Max	22,2	20,9
	Gem	18,5	17,1
	Min	15,4	14,2
Verschil $T_{e,ref}$ Haarlem en $T_{e,ref}$ Schiphol [°C]			
Maximaal		2,38	
Gemiddeld		1,35	
Minimaal		0,13	
Standaard deviatie		0,61	

Openbaar Ministerie Arnhem



Rechtbank Middelburg



Tabel B7.3: buitenklimaat Arnhem

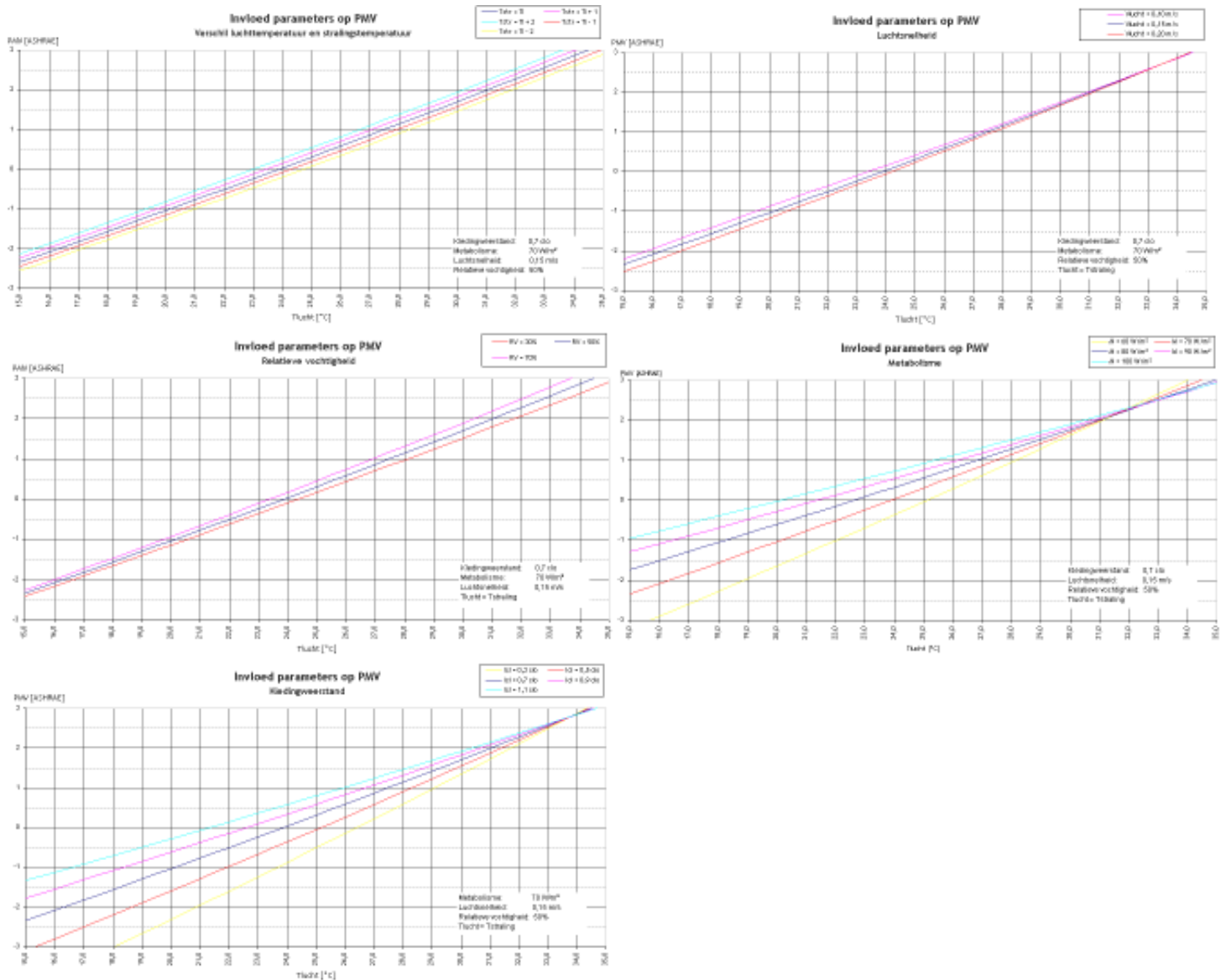
Algemeen			
		Arnhem zelf gemeten	Deelen KNMI
T _e [°C]	Max	29,1	29,2
	Gem	16,4	15,2
	Min	5,6	1,8
T _{e,ref} [°C]	Max	22,2	20,9
	Gem	16,2	15,1
	Min	12,0	10,3
Verschil T _{e,ref} Arnhem en T _{e,ref} Deelen [°C]			
Maximaal		2,10	
Gemiddeld		1,13	
Minimaal		0,15	
Standaard deviatie		0,49	

Tabel B7.4: buitenklimaat Middelburg

Algemeen			
		Middelburg zelf gemeten	Vlissingen KNMI
T _e [°C]	Max	32,0	26,6
	Gem	17,6	17,1
	Min	9,3	10,5
T _{e,ref} [°C]	Max	22,7	21,1
	Gem	18,1	17,3
	Min	13,8	13,7
Verschil T _{e,ref} Middelburg en T _{e,ref} Vlissingen [°C]			
Maximaal		1,90	
Gemiddeld		0,87	
Minimaal		-0,16	
Standaard deviatie		0,57	

Bijlage 8 Invloed verschillende parameters op PMV

In onderstaande figuren is de gevoeligheid van de PMV weergegeven voor de parameters die benodigd zijn om deze PMV te berekenen.



Bijlage 9 Beoordeling vertrekken (metingen)

Beoordeling vertrekken aan de hand van de metingen

Tabel B9.1: Verdeling gemeten operationele temperaturen en indeling kwaliteitsklassen Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch

kamer	klimaat type	Werk uren	min						max		Vertrekken toetsen aan:		
			<65%	65-80%	80-90%	>90%	90-80%	80-65%	<65%		ondergrens	bovengrens	beide
B1.12	Alpha	208	0	4	26	178	0	0	0		C	A	C
B1.48	Alpha	208	0	0	3	196	9	0	0		B	B	B
B1.56	Alpha	208	0	0	4	200	4	0	0		B	B	B
B3.46	Alpha	208	3	5	7	193	0	0	0		voldoet niet	A	voldoet niet
C1.50	Alpha	208	0	1	59	148	0	0	0		C	A	C
C3.38	Alpha	208	5	12	27	159	5	0	0		voldoet niet	B	voldoet niet
D0.42	Alpha	208	0	0	0	181	25	0	0		A	B	B
D2.40	Alpha	208	4	2	9	182	11	0	0		voldoet niet	B	voldoet niet
D5.10	Alpha	208	0	0	5	198	5	0	0		B	B	B
E3.51	Alpha	208	0	0	0	202	3	3	0		A	C	C

Tabel B9.2: Verdeling gemeten operationele temperaturen en indeling kwaliteitsklassen Rechtbank Haarlem

kamer	klimaat type	Werk uren	min						max		Vertrekken toetsen aan:		
			<65%	65-80%	80-90%	>90%	90-80%	80-65%	<65%		ondergrens	bovengrens	beide
B1.04	Alpha	184	0	0	6	170	8	0	0		B	B	B
B1.07	Alpha	96	0	0	1	85	9	1	0		B	C	C
B1.10	Alpha	88	0	0	0	31	29	20	8		A	voldoet niet	voldoet niet
B3.03	Alpha	182	22	3	17	127	8	2	3		voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
H0.19	Bèta	184	0	0	0	145	25	9	5		A	voldoet niet	voldoet niet
H1.21	Alpha	184	0	0	3	169	12	0	0		B	B	B
H2.02	Bèta	184	0	0	0	125	31	6	22		A	voldoet niet	voldoet niet
H2.06	Bèta	182	0	0	2	149	31	0	0		B	B	B
H2.19	Alpha	184	0	0	1	120	52	11	0		B	voldoet niet	voldoet niet

Tabel B9.3: Verdeling gemeten operationele temperaturen en indeling kwaliteitsklassen Openbaar Ministerie Arnhem

kamer	klimaat type	Werk uren	min						max		Vertrekken toetsen aan:		
			<65%	65-80%	80-90%	>90%	90-80%	80-65%	<65%		ondergrens	bovengrens	beide
0027	Bèta	216	2	8	57	143	4	0	2		voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
0043	Bèta	216	1	0	14	136	37	16	12		voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet
0063	Bèta	216	0	6	34	154	19	3	0		C	C	C
1015	Alpha	205	0	2	83	118	2	0	0		C	B	C
1053	Alpha	216	0	1	18	197	0	0	0		C	A	C
1072	Alpha	216	9	32	106	69	0	0	0		voldoet niet	A	voldoet niet
2035	Alpha	216	0	1	21	190	2	2	0		C	C	C
3002	Bèta	216	2	9	36	167	2	0	0		voldoet niet	B	voldoet niet
3050	Bèta	216	0	9	53	154	0	0	0		C	A	C
3064	Alpha	215	0	0	34	178	3	0	0		B	B	B

Tabel B9.4: Verdeling gemeten operationele temperaturen en indeling kwaliteitsklassen Rechtbank Middelburg

kamer	klimaat type	Werk uren	min						max		Vertrekken toetsen aan:		
			<65%	65-80%	80-90%	>90%	90-80%	80-65%	<65%		ondergrens	bovengrens	beide
A006	Bèta	248	28	31	42	146	1	0	0		voldoet niet	B	voldoet niet
A205	Bèta	248	34	33	69	112	0	0	0		voldoet niet	A	voldoet niet
B005	Bèta	248	31	36	109	72	0	0	0		voldoet niet	A	voldoet niet
B215	Bèta	248	19	24	63	142	0	0	0		voldoet niet	A	voldoet niet
B216	Bèta	248	11	12	24	152	44	5	0		voldoet niet	C	voldoet niet
D041	Bèta	248	0	0	41	207	0	0	0		B	A	B
D042	Bèta	248	64	33	94	57	0	0	0		voldoet niet	A	voldoet niet
D043	Bèta	248	92	79	62	15	0	0	0		voldoet niet	A	voldoet niet
D157	Bèta	248	0	0	85	163	0	0	0		B	A	B
D226	Bèta	244	63	44	54	79	1	1	2		voldoet niet	voldoet niet	voldoet niet

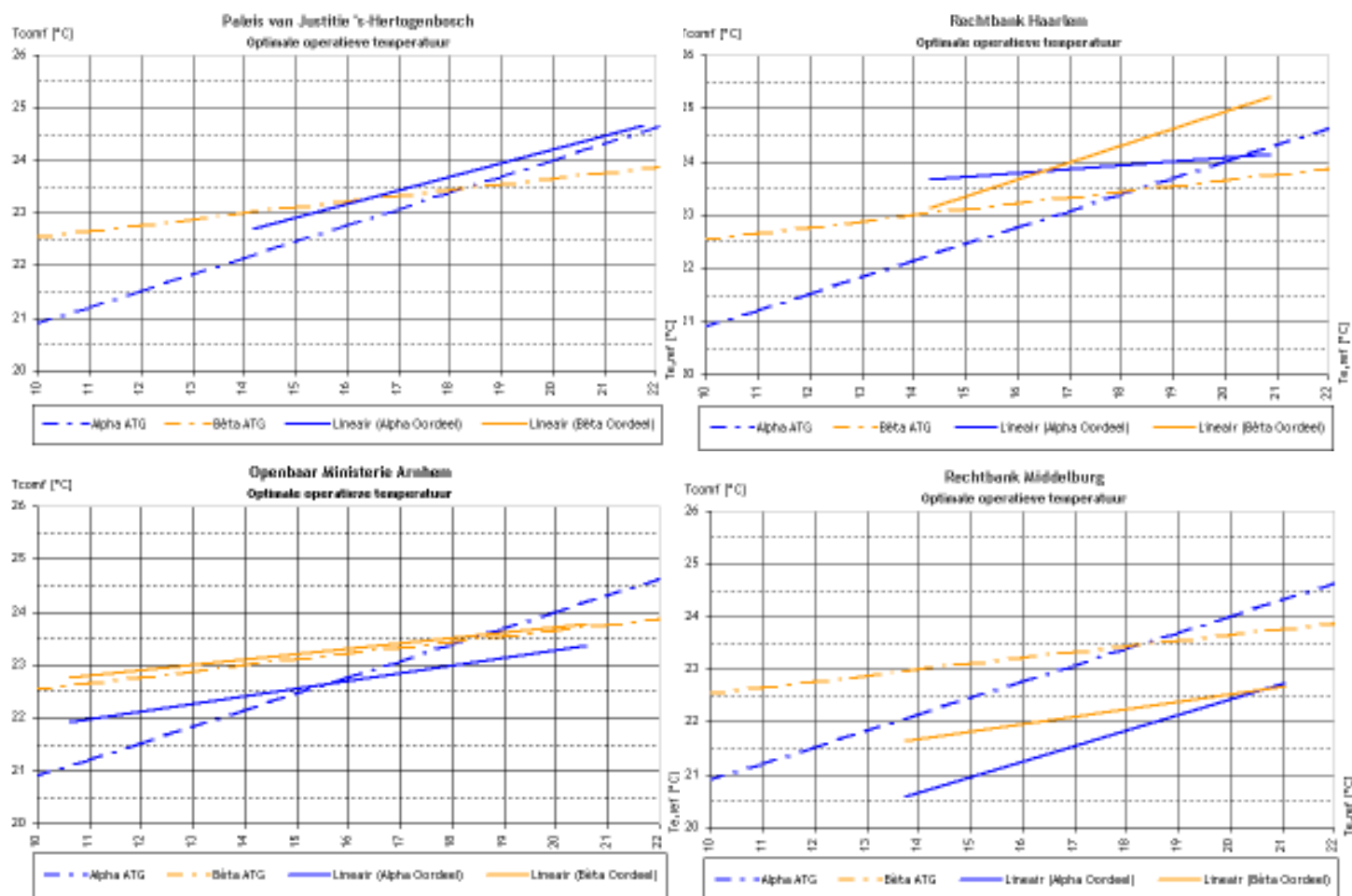
Beoordeling vertrekken aan de hand van de gefitte simulaties

Tabel B9.5: Verdeling gemeten operationele temperaturen en indeling kwaliteitsklassen Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch												
kamer	klimaat type	Werk uren	min <65%	65-80%	80-90%	>90%	90-80%	80-65%	max <65%	Vertrekken toetsen aan:		
										ondergrens	bovengrens	beide
B3.46	Alpha	208	0	0	1	206	1	0	0	B	B	B
E3.51	Alpha	208	0	0	0	199	9	0	0	B	B	B
B1.04	Alpha	184	0	0	0	149	16	8	1	B	voldoet niet	voldoet niet
EU2035	Alpha	216	0	0	9	178	1	0	0	B	B	B
EU3064	Alpha	216	0	0	33	170	0	0	0	B	A	B
B2.15	Bèta	248	0	11	79	158	0	0	0	C	A	C
B2.16	Bèta	248	0	5	41	185	13	2	0	C	C	C

Bijlage 10 Vergelijking ATG-methode met oordelen personen

ISSO publicatie 74 bladzijde 16

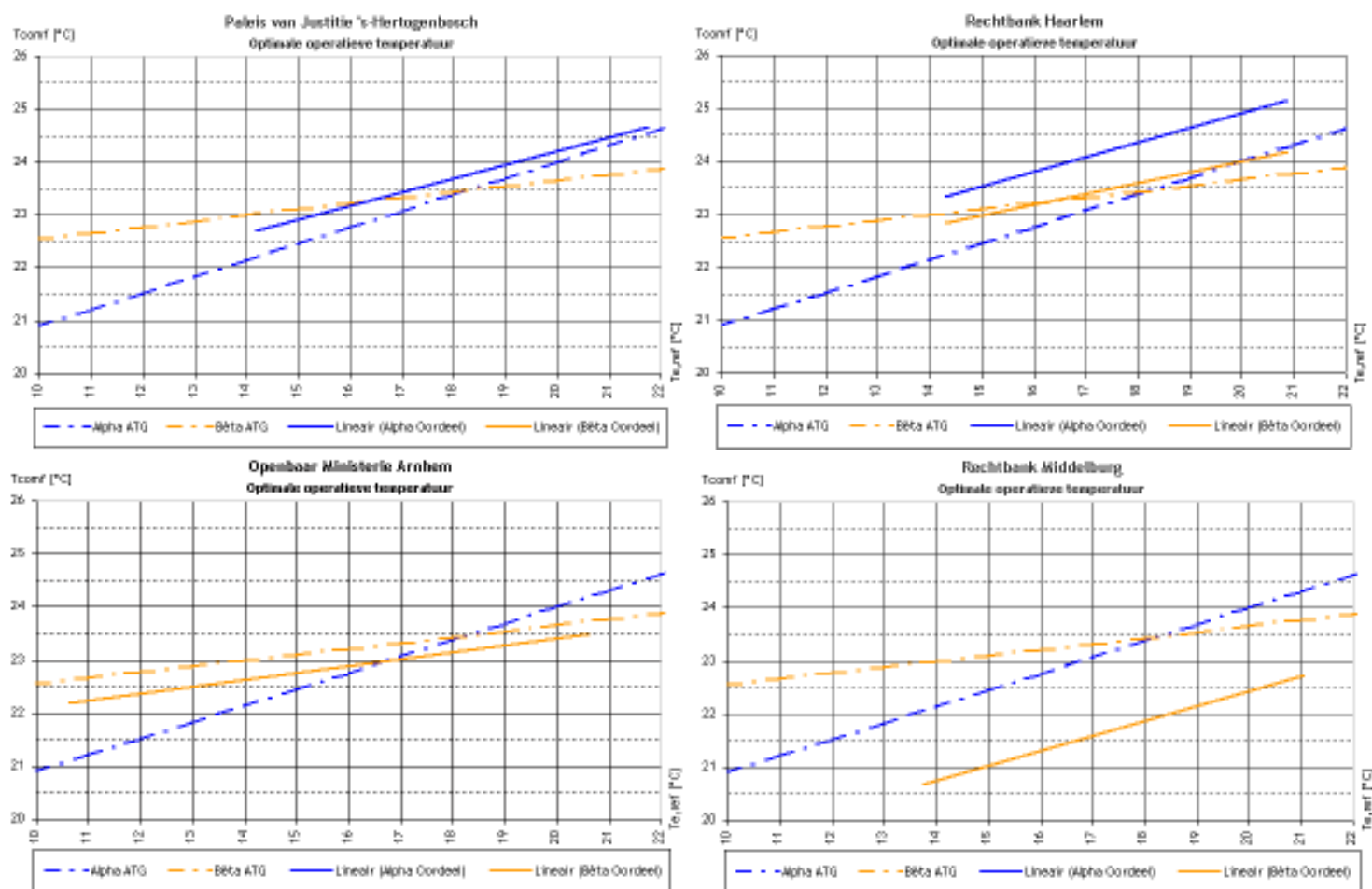
In onderstaande figuur zijn voor de vier gebouwen de grafieken met deze regressielijnen weergegeven. Hierbij is uitgegaan van de Alpha/Beta indeling volgens het keuzeschema op bladzijde 16 van ISSO publicatie 74 (Zie ook figuur 3.7)



Optimale operationele binnentemperatuur volgens beoordeling deelnemers onderzoek in de vier gebouwen.
Indeling klimaattypen overeenkomstig bladzijde 16 ISSO publicatie 74

volgens Brager & De Dear

In onderstaande figuur zijn voor de vier gebouwen de grafieken met deze regressielijnen weergegeven. Hierbij is uitgegaan van een indeling op basis van het wel (Bèta) of niet (Alpha) aanwezig zijn van actieve koeling, een vereenvoudiging van de classificatie volgens Brager & De Dear (B&dD).



Optimale operationele binnentemperatuur volgens beoordeling deelnemers onderzoek in de vier gebouwen.
Indeling klimaattypen overeenkomstig Brager & De Dear

Bijlage 11 Invoergegevens gebouwen toetsingssimulaties

Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch

Afmetingen kantoorvertrek

Bruto hoogte	3,40 m
Hoogte tussen vloer en plafond	2,70 m
Vertrekbreedte	3,60 m (bruto)
Vertrekdiepte	5,40 m (bruto)

Materiaalopbouw vertrek

Vloeren:	Kanaalplaatvloer 320mm, afwerklaag 50mm en vloerbedekking (tapijt)
Plafond:	Verlaagd plafond, spouw 322mm, voor 40% van het plafond. Overige deel zonder verlaagd plafond identiek aan vloer. Op deze wijze wordt het effect van het toegepaste thermisch open plafond benaderd. Toegepast is een thermisch open, uitneembaar systeemplafond, met een strook van 600mm bij de gevel en de gangwand waarin kunststof roosters (95% open) zijn aangebracht.
Binnenwand:	(metalstud) Gipsplaat 15mm, minerale wol 50mm, gipsplaat 15mm
Gevel:	Binnenblad beton 220mm, minerale wol 80mm, spouw 38mm, buitenblad metselwerk 102mm. Thermische isolatie $R_c = 2,53 \text{ m}^2\text{K/W}$.
Beglazing:	HR dubbel glas ($U=1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, $ZTA = 0,60$, $LTA = 0,65$, $ZTA \text{ incl. zonwering} = 0,19$) Afmetingen glas ($2*0,98\text{m}*1,63\text{m}$), het raam heeft een verdiepte ligging van 0,1m.

Luchtuitwisseling

- Infiltratie	4,4 m ³ /h (overeenkomstig meting PEUTZ)
- Open raam*	$1 + 0,33 * v_{\text{wind}} [1/\text{h}]$
- Luchtuitwisseling met gang	250 m ³ /h

*vanaf 22,5°C voor kamer B3.46, raam blijft gesloten voor kamer E3.51

Interne warmteproductie

De interne warmteproductie wordt bepaald door de aanwezige personen, apparatuur en verlichting. Gerekend is met werkdagen van 8.00 tot 17.00 uur, waarbij gedurende de middagpauze (12.00-13.00uur) geen interne warmteproductie optreedt.

Aanwezig is het grootste deel van de tijd één personen die standaard kantoorwerkzaamheden uitvoert (Metabolisme = 1,24 met, hetgeen overeenkomt met een warmteproductie van 130W) en in de zomer een kledingpakket met een weerstand van 0,7clo draagt. VA114 berekent zelf aan de hand van de temperatuur de verhouding tussen voelbaar en latente warmteafdracht. Het convectieve deel is vastgesteld op 50% van het totale vermogen overeenkomstig uitgangspunten TO berekeningen van de RGD.

Ten aanzien van de (individueel bedienbare) verlichting wordt rekening gehouden met een thermisch open plafond en mechanische ventilatie waarbij de verlichtingsenergie van de armaturen niet direct wordt afgevoerd. Het geïnstalleerde vermogen is op 11 W/m^2 ($4*45\text{W TL-buizen} + 35\text{W voorschakelapparatuur}$) gesteld.

Voor de aanwezige apparatuur is gerekend met $4,5 \text{ W/m}^2$, waarvan 100% convectief wordt afgegeven (1 maal computer + TFT-scherm = 90W; mix van de maximale waarde van 130 W en de waarde behorende bij de stand-by stand van 20W)

Resumerend kan het volgende overzicht worden opgesteld:

Personen	4	W/m^2	($130\text{W} * 60\% \text{ voelbaar} / (3,6\text{m} * 5,4\text{m})$)
Apparatuur	4,5	W/m^2	
Armatuur	11	W/m^2	
Totaal	19,5	W/m^2	

Overige invoergegevens

- De zonwering schakelt bij 200 W/m^2
- De ventilatielucht wordt ingebracht via inblaasroosters en afgevoerd via het plenum boven het thermisch open plafond waarbij de armaturen niet zijn aangesloten
- Naast het door te rekenen vertrek zijn eveneens een aangrenzende gang en een tegenoverliggend vertrek in het model meegenomen. Voor de naast-, boven- en onderliggende vertrekken is aangenomen dat het identieke ruimten zijn.

Rechtbank Haarlem**Afmetingen kantoorvertrek**

Bruto hoogte	3,20 m
Vertrekbreedte	4,50 m (bruto)
Vertrekdiepte	7,00 m (bruto)

Materiaalopbouw vertrek

Vloer:	Betonvloer 200mm, vloerbedekking (tapijt)
Plafond:	Thermisch gesloten, spouw 400mm.
Binnenwand:	Gipsplaat 12,5mm, minerale wol 50mm, gipsplaat 12,5mm
Gevel:	Buitenblad metselwerk 100mm, spouw 30 mm, minerale wol 55mm, binnenblad beton 100mm. Thermische isolatie $R_c = 1,79 \text{ m}^2\text{K/W}$.
Beglazing	Dubbel glas ($U=3,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $ZTA = 0,70$, $LTA = 0,74$, $ZTA \text{ incl. zonwering} = 0,21$) Afmetingen glas ($2*1,1\text{m}*2,0\text{m}$), het raam heeft een verdiepte ligging van 0,10m.

Luchtuitwisseling

- Infiltratie	0,2 [1/h]
- Open raam*	$1 + 0,33*v_{\text{wind}}$ [1/h]
- Luchtuitwisseling met gang *vanaf 22,5°C	100 m ³ /h

Interne warmteproductie

De interne warmteproductie wordt bepaald door de aanwezige personen, apparatuur en verlichting. Gerekend is met werkdagen van 8.00 tot 17.00 uur, waarbij gedurende de middagpauze (12.00-13.00uur) geen interne warmteproductie optreedt.

Aanwezig is in kamer B1.04 het grootste deel van de tijd twee personen die standaard kantoorwerkzaamheden uitvoert (Metabolisme = 1,24 met, hetgeen overeenkomt met een warmteproductie van 130W) en in de zomer een kledingpakket met een weerstand van 0,7clo dragen. VA114 berekent zelf aan de hand van de temperatuur de verhouding tussen voelbaar en latente warmteafdracht. Het convectieve deel is vastgesteld op 50% van het totale vermogen overeenkomstig uitgangspunten TO berekeningen van de RGD.

Ten aanzien van de (individueel bedienbare) verlichting wordt rekening gehouden met een thermisch open plafond en mechanische ventilatie waarbij de verlichtingsenergie van de armaturen niet direct wordt afgevoerd. Het geïnstalleerde vermogen is op 10 W/m^2 gesteld.

Voor de aanwezige apparatuur is gerekend met 6 W/m^2 , waarvan 100% convectief wordt afgegeven (2 maal computer + TFT-scherm = $2*90\text{W}$)

Resumerend kan het volgende overzicht worden opgesteld:

Personen	5	W/m^2	$2*130\text{W} * 60\% \text{ voelbaar} / (4,5\text{m} * 7,0\text{m});$
Apparatuur	6	W/m^2	
Armatuur	10	W/m^2	
Totaal	21	W/m^2	

Overige invoergegevens

- De zonwering schakelt bij 300 W/m^2
- De ventilatielucht wordt ingebracht via inblaasroosters en afgevoerd via het plenum boven het thermisch open plafond waarbij de armaturen niet zijn aangesloten
- Naast het door te rekenen vertrek zijn eveneens een aangrenzende gang en een tegenoverliggend vertrek in het model meegenomen. Voor de naast-, boven- en onderliggende vertrekken is aangenomen dat het identieke ruimten zijn.

Openbaar Ministerie Arnhem**Afmetingen kantoorvertrek**

Bruto hoogte	3,20 m
Vertrekbreedte	3,90 m (bruto)
Vertrekdiepte	5,60 m (bruto)

Materiaalopbouw vertrek

Vloer:	Betonvloer 200mm, afwerklaag 50mm en vloerbedekking (tapijt)
Dak:	Beton 200mm, minerale wol 100mm en grind 60% van het plafond is thermisch gesloten (spouw 100mm)
Binnenwand:	Gipsplaat 12,5mm, minerale wol 50mm, spouw 25mm, gipsplaat 12,5mm
Gevel:	Buitenblad beton 100mm, spouw 75 mm, geïsoleerd sandwichpaneel 80mm Thermische isolatie $R_c = 2,33 \text{ m}^2\text{K/W}$.
Beglazing	HR++ glas ($U=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $ZTA = 0,60$, $LTA = 0,70$, $ZTA \text{ incl. zonwering} = 0,22$) Afmetingen glas (3,90m*1,57m), het raam heeft een verdiepte ligging van 0,10m.

Luchtuitwisseling

- Infiltratie	0,1 [1/h]
- Open raam*	$1 + 0,33 \cdot v_{\text{wind}}$ [1/h]
- Luchtuitwisseling met gang	150 m ³ /h
*vanaf 22°C	

Interne warmteproductie

De interne warmteproductie wordt bepaald door de aanwezige personen, apparatuur en verlichting. Gerekend is met werkdagen van 8.00 tot 17.00 uur, waarbij gedurende de middagpauze (12.00-13.00uur) geen interne warmteproductie optreedt.

Aanwezig is in de kamers EU3064 en EU2035 het grootste deel van de tijd één personen die standaard kantoorwerkzaamheden uitvoert (Metabolisme = 1,24 met, hetgeen overeenkomt met een warmteproductie van 130W) en in de zomer een kledingpakket met een weerstand van 0,7clo draagt. VA114 berekent zelf aan de hand van de temperatuur de verhouding tussen voelbaar en latente warmteafdracht. Het convectieve deel is vastgesteld op 50% van het totale vermogen overeenkomstig uitgangspunten TO berekeningen van de RGD.

Ten aanzien van de (individueel bedienbare) verlichting wordt rekening gehouden met een thermisch open plafond en mechanische ventilatie waarbij de verlichtingsenergie van de armaturen direct wordt afgevoerd. Het geïnstalleerde vermogen is op 11 W/m² gesteld.

Voor de aanwezige apparatuur is gerekend met 4,5 W/m², waarvan 100% convectief wordt afgegeven (1 maal computer + TFT-scherm = 90W)

Resumerend kan het volgende overzicht worden opgesteld:

Personen	4	W/m ²	130W * 60% voelbaar / (3,9m * 5,4m);
Apparatuur	4,5	W/m ²	
Armatuur	11	W/m ²	
Totaal	19,5	W/m ²	

Overige invoergegevens

- De zonwering schakelt bij 200 W/m²
- De ventilatielucht wordt ingebracht via inblaasroosters en afgevoerd via het plenum boven het thermisch open plafond waarbij de armaturen niet zijn aangesloten
- Naast het door te rekenen vertrek zijn eveneens een aangrenzende gang en een tegenoverliggend vertrek in het model meegenomen. Voor de naast-, boven- en onderliggende vertrekken is aangenomen dat het identieke ruimten zijn.

Rechtbank Middelburg**Afmetingen kantoorvertrek**

	B2.15 (standaard vertrek)	B2.16 (dubbel vertrek)
Bruto hoogte	3,44 m	3,44 m
Hoogte tussen vloer en plafond	2,70 m	2,70 m
Vertrekbreedte	3,60 m (bruto)	7,20 m (bruto)
Vertrekdiepte	5,40 m (bruto)	5,40 m (bruto)

Materiaalopbouw vertrek

Vloeren:	Kanaalplaatvloer 200mm, afwerklaag 60mm en vloerbedekking (tapijt)
Plafond:	Verlaagd plafond, spouw 440mm, voor 40% van het plafond. Overige deel zonder verlaagd plafond identiek aan vloer. Op deze wijze wordt het effect van het toegepaste thermisch open plafond benaderd.
Binnenwand:	Gipsplaat 12mm, spouw 18mm, minerale wol 40mm, gipsplaat 12mm
Gevel:	Binnenblad beton 180mm, minerale wol 80mm, pleisterwerk Thermische isolatie $R_c = 2,1 \text{ m}^2\text{K/W}$.
Beglazing B2.15:	Dubbel glas ($U=3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, $ZTA = 0,35$, $LTA = 0,55$, $ZTA \text{ incl. zonwering} = 0,20$) Afmetingen glas ($2*1,20\text{m}*1,20\text{m}$), het raam heeft een verdiepte ligging van 0,05m.
B2.16:	Dubbel glas ($U=3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, $ZTA = 0,35$, $LTA = 0,55$, $ZTA \text{ incl. zonwering} = 0,27$) Afmetingen glas ($1*6,5\text{m}*1,80\text{m}$).

Luchtuitwisseling

- Infiltratie	0,1 [1/h]
- Open raam*	$1 + 0,33*v_{\text{wind}}$ [1/h]
- Luchtuitwisseling met gang	150 m^3/h

*vanaf 22,5°C voor kamer B2.15, raam blijft gesloten voor kamer B2.16

Interne warmteproductie

De interne warmteproductie wordt bepaald door de aanwezige personen, apparatuur en verlichting. Gerekend is met werkdagen van 8.00 tot 17.00 uur, waarbij gedurende de middagpauze (12.00-13.00uur) geen interne warmteproductie optreedt.

Aanwezig is in kamer B2.15 het grootste deel van de tijd één personen die standaard kantoorwerkzaamheden uitvoert (Metabolisme = 1,24 met, hetgeen overeenkomt met een warmteproductie van 130W) en in de zomer een kledingpakket met een weerstand van 0,7clo draagt. In kamer B2.16 zijn dit twee personen. VA114 berekent zelf aan de hand van de temperatuur de verhouding tussen voelbaar en latente warmteafdracht. Het convectieve deel is vastgesteld op 50% van het totale vermogen overeenkomstig uitgangspunten TO berekeningen van de RGD.

Ten aanzien van de (individueel bedienbare) verlichting wordt rekening gehouden met een thermisch open plafond en mechanische ventilatie waarbij de verlichtingsenergie van de armaturen niet direct wordt afgevoerd. Het geïnstalleerde vermogen is op 11 W/m^2 ($4*45\text{W TL-buizen} + 35\text{W voorschakelapparatuur}$) gesteld.

Voor de aanwezige apparatuur is gerekend met $4,5 \text{ W/m}^2$, waarvan 100% convectief wordt afgegeven (1 maal computer + TFT-scherm = 90W)

Resumerend kan het volgende overzicht worden opgesteld:

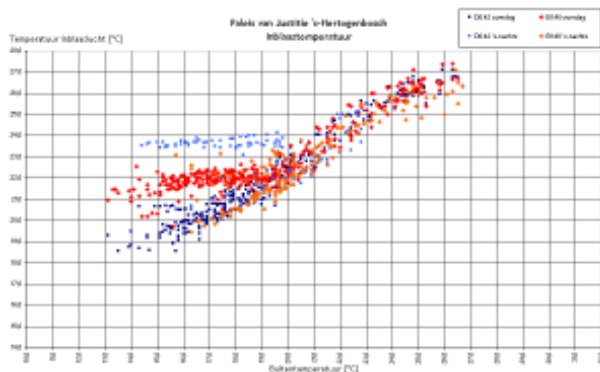
Personen	4	W/m^2	(kamer B2.15: $130\text{W} * 60\% \text{ voelbaar} / (3,6\text{m} * 5,4\text{m});$ kamer B2.16: $2*130\text{W} * 60\% \text{ voelbaar} / (7,2\text{m} * 5,4\text{m}))$
Apparatuur	4,5	W/m^2	
Armatuur	11	W/m^2	
Totaal	19,5	W/m^2	

Overige invoergegevens

- De zonwering schakelt bij 250 W/m^2 voor kamer B2.15, in B2.16 is deze altijd in dezelfde stand
- De ventilatielucht wordt ingebracht via inblaasroosters en afgevoerd via het plenum boven het thermisch open plafond waarbij de armaturen niet zijn aangesloten
- Naast het door te rekenen vertrek zijn eveneens een aangrenzende gang en een tegenoverliggend vertrek in het model meegenomen. Voor de naast-, boven- en onderliggende vertrekken is aangenomen dat het identieke ruimten zijn.

Bijlage 12 Temperatuur inblaaslucht

Paleis van Justitie te 's-Hertogenbosch

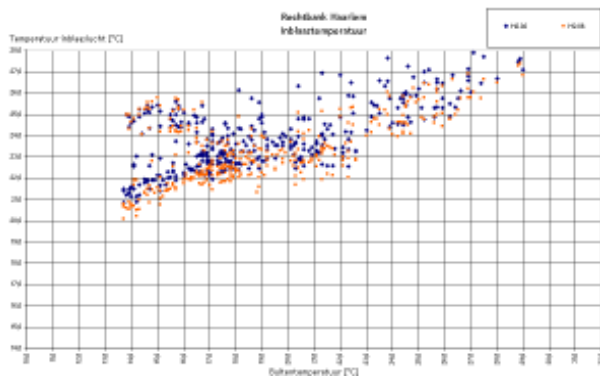


Figuur B11.1: Gesimuleerde inblaastemperatuur als functie van de buitenluchttemperatuur

Tabel B12.1: Voorwaarden nachtventilatie

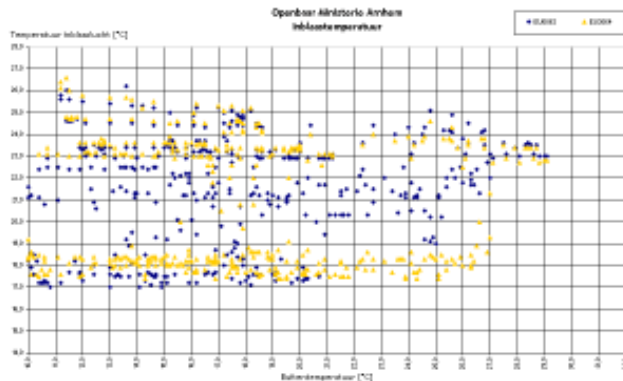
	B3.46	E3.51
Aanschakelen als T_{binnen}	$> 22,5^{\circ}\text{C}$	$> 23,8^{\circ}\text{C}$
Uitschakelen als T_{binnen}	$< 21,3^{\circ}\text{C}$	$< 23,3^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{binnen}} - T_{\text{buiten}}$	$> 3\text{K}$	$> 3\text{K}$
Uitschakelen als T_{buiten}	$< 12^{\circ}\text{C}$	$< 12^{\circ}\text{C}$

Rechtbank te Haarlem



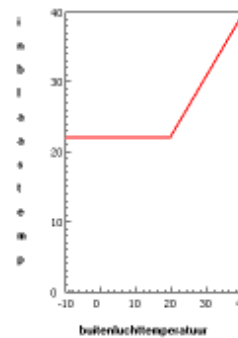
Figuur B11.3: Gemeten inblaastemperatuur als functie van de buitenluchttemperatuur

Openbaar Ministerie te Arnhem

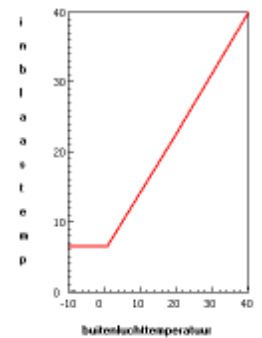


Figuur B11.5: Gemeten inblaastemperatuur als functie van de buitenluchttemperatuur

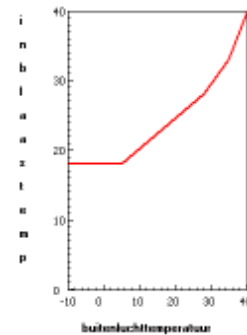
Overdag



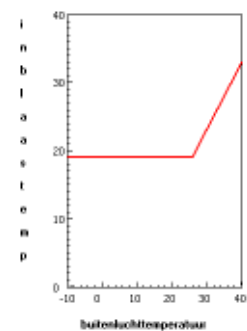
's nachts



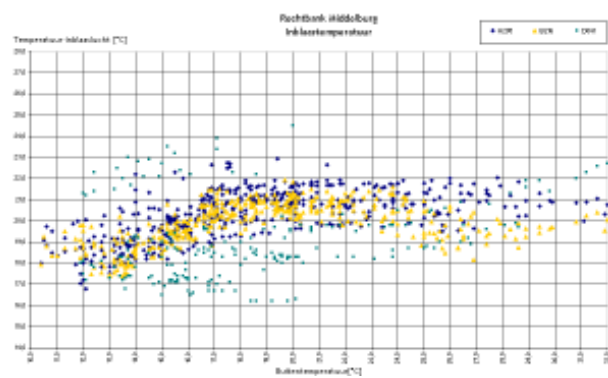
Figuur B11.2: Gesimuleerde inblaastemperatuur als functie van de buitenluchttemperatuur kamer B3.46



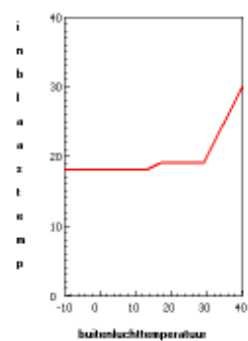
Figuur B11.4: Gesimuleerde inblaastemperatuur als functie van de buitenluchttemperatuur



Figuur B11.6: Gesimuleerde inblaastemperatuur als functie van de buitenluchttemperatuur

Rechtbank te Middelburg

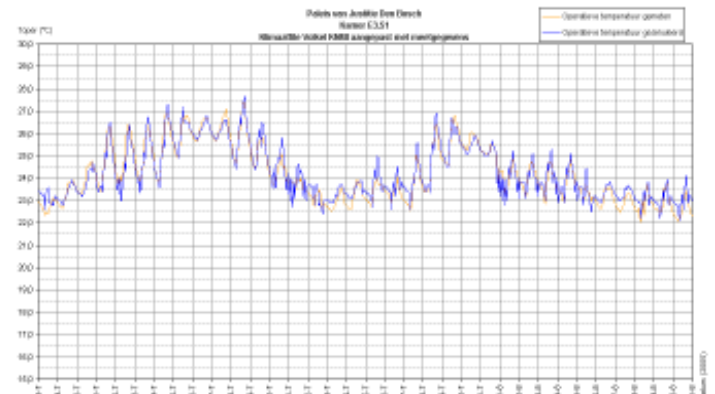
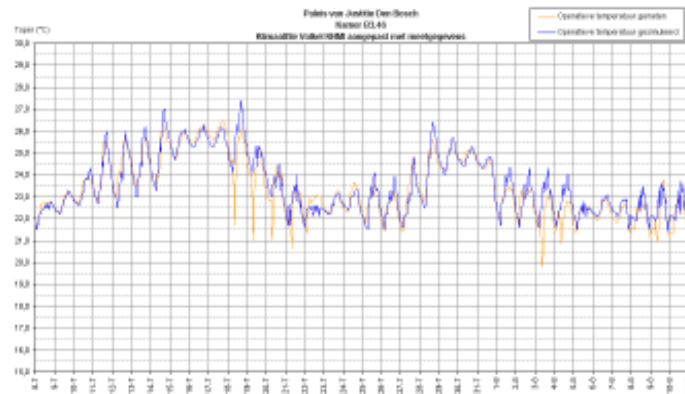
Figuur B11.7: Gemeten inblaastemperatuur als functie van de buitenluchttemperatuur



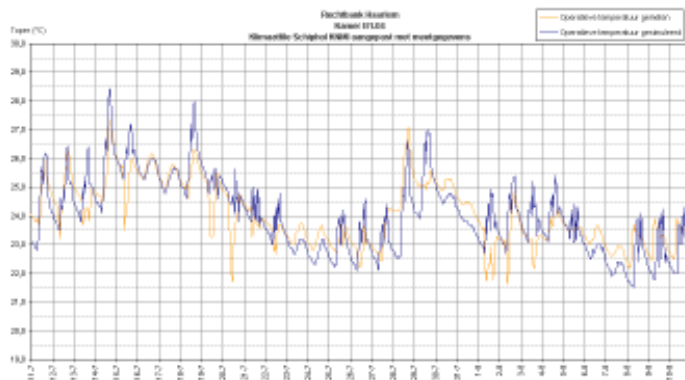
Figuur B11.8: Gesimuleerde inblaastemperatuur als functie van de buitenluchttemperatuur

Bijlage 13 Gemeten en gesimuleerd temperatuurverloop

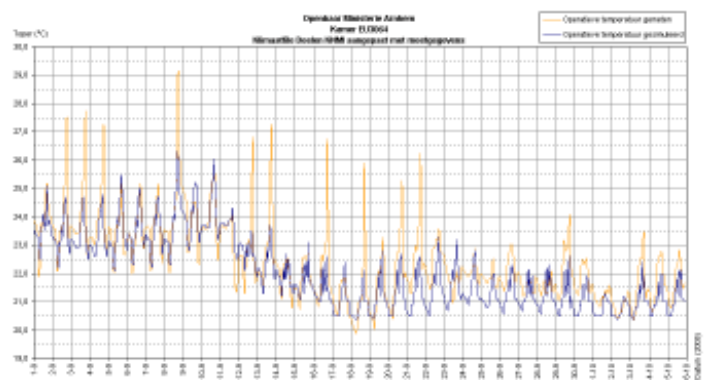
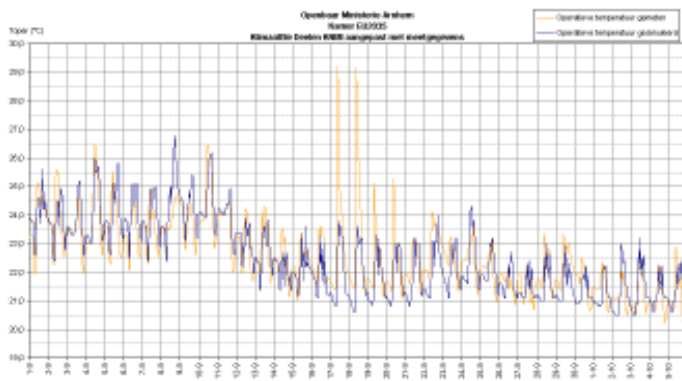
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch



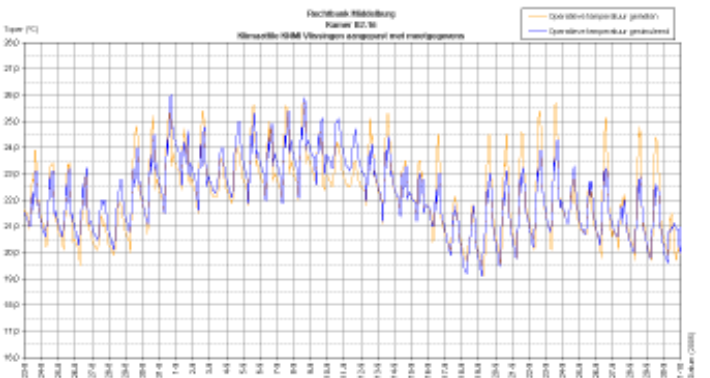
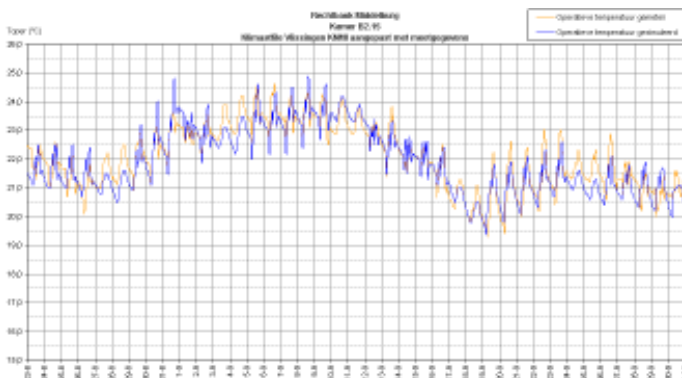
Rechtbank Haarlem



Openbaar Ministerie Arnhem



Rechtbank Middelburg



Bijlage 14 Beoordeling vertrekken (toetsingssimulaties)

Tabel B14.1: Resultaten toetsingssimulatie voor de onderzochte gebouwen.
Gefitte simulatiemodellen met klimaatjaar 1964/65

Gebouw	Vertrek	GTO [weeguur]	TO [uur]		ATG (overschrijding grenzen) [uur]					
			>25°C	>28°C	<65%	<80%	<90%	>90%	>80%	>65%
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	B3.46	54	61	2	0	0	2	34	7	0
	E3.51	75	87	2	0	0	45	52	3	0
Rechtbank Haarlem	B1.04	96	102	7	0	0	24	53	6	0
Openbaar Ministerie Arnhem	EU2035	18	35	1	0	0	19	8	0	0
	EU3064	18	35	0	0	0	55	10	0	0
Rechtbank Middelburg	B2.15	0	0	0	0	55	531	0	0	0
	B2.16	0	0	0	0	44	330	0	0	0

Tabel B14.2: Resultaten toetsingssimulatie voor de onderzochte gebouwen.

Gefitte simulatiemodellen met klimaatjaar 1964/65, verhoogde interne warmtelast (28 W/m²)

Gebouw	Vertrek	GTO [weeguur]	TO [uur]		ATG (overschrijding grenzen) [uur]					
			>25°C	>28°C	<65%	<80%	<90%	>90%	>80%	>65%
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	B3.46	127	153	6	0	0	3	117	33	10
	E3.51	247	285	12	0	0	2	266	81	25
Rechtbank Haarlem	B1.04	179	203	18	0	0	8	164	42	12
Openbaar Ministerie Arnhem	EU2035	94	163	4	0	0	3	143	12	2
	EU3064	70	123	2	0	0	11	60	13	0
Rechtbank Middelburg	B2.15	0	8	0	0	9	167	4	0	0
	B2.16	0	10	0	0	18	167	12	0	0

Tabel B14.3: Resultaten toetsingssimulatie voor de onderzochte gebouwen.

Gefitte simulatiemodellen met klimaatjaar 1964/65, verhoogde interne warmtelast (35 W/m²)

Gebouw	Vertrek	GTO [weeguur]	TO [uur]		ATG (overschrijding grenzen) [uur]					
			>25°C	>28°C	<65%	<80%	<90%	>90%	>80%	>65%
Paleis van Justitie 's-Hertogenbosch	B3.46	231	242	15	0	0	0	253	77	32
	E3.51	459	494	43	0	0	0	555	229	94
Rechtbank Haarlem	B1.04	369	351	52	0	0	0	393	130	51
Openbaar Ministerie Arnhem	EU2035	276	341	14	0	0	2	396	107	19
	EU3064	168	235	11	0	0	4	186	42	14
Rechtbank Middelburg	B2.15	4	32	0	0	3	52	31	5	0
	B2.16	15	70	0	0	6	51	99	14	0

Bijlage 15 Invoergegevens simulaties benodigde koelvermogen

Referentiegebouw 's-Hertogenbosch

Bij de simulaties van het gebouw van het Paleis van Justitie te 's-Hertogenbosch is één vertrek gemodelleerd. Eigenschappen vertrek:

Ligging en oriëntatie vertrek

Het vertrek is gelegen op een tussenverdieping en wordt omsloten door identieke ruimten.
De ramen zijn op het westen georiënteerd.

Afmetingen kantoorvertrek

- Bruto hoogte 3,40 m
- Hoogte tussen vloer en plafond 2,70 m
- Vertrekbreedte 3,60 m (bruto)
- Vertrekdiepte 5,40 m (bruto)

Materiaalopbouw vertrek

- Vloeren: Kanaalplaatvloer 320mm, afwerklaag 50mm en vloerbedekking (tapijt)
- Plafond: Verlaagd plafond, spouw 322mm, voor 50% van het plafond. Overige deel zonder verlaagd plafond. Op deze wijze wordt het effect van het toegepaste thermisch open plafond benaderd.
Toegepast is een thermisch open, uitneembaar systeemplafond, met een strook van 600mm bij de gevel en de gangwand waarin kunststof roosters (95% open) zijn aangebracht.
- Binnenwand: metalstud: Gipsplaat 15mm, minerale wol 50mm, gipsplaat 15mm
- Gevel: Binnenblad beton 220mm, minerale wol 80mm, spouw 38mm, buitenblad metselwerk 102mm. Thermische isolatie $R_c = 2,53 \text{ m}^2\text{K/W}$.
- Beglazing: HR dubbel glas ($U=1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, $ZTA = 0,67$, $LTA = 0,75$, $ZTA \text{ incl. zonwering} = 0,15$)
Afmetingen glas ($2 \times 0,98\text{m} \times 1,63\text{m}$)
Het raam heeft een verdiepte ligging van 0,1m

Interne warmteproductie

In het vertrek wordt warmte geproduceerd door

- Personen 9 W/m^2 aanwezig van 8-12 en van 13-17 uur $CF^{24} = 0,50$
- Apparatuur 15 W/m^2 aan van 8-12 en van 13-17 uur $CF = 1,00$
- Armatuur 11 W/m^2 aan van 8-17 uur $CF = 0,68$

De totale interne warmtelast bedraagt 35 W/m^2 .

Overige uitgangspunten

- Het raam wordt geopend indien de binnentemperatuur stijgt boven de 24°C en weer gesloten indien de temperatuur onder de 24°C zakt
- De zonwering schakelt bij 250 W/m^2
- Geen omliggende bebouwing
- Geen extra massa voor interieur meegenomen
- Opwarming ventilatielucht door ventilator en in de kanalen is 1.5K
- De ventilatielucht wordt ingebracht via inblaasroosters en afgevoerd via het plenum boven het thermisch open plafond waarbij de armaturen niet zijn aangesloten
- Installatie aan van 7-19 uur, stand-by rest van de dag

Referentiegebouw Middelburg

Bij de simulaties van het gebouw van de rechtbank te Middelburg is eveneens één vertrek gemodelleerd. Eigenschappen vertrek:

Ligging en oriëntatie vertrek

Het vertrek is gelegen onder het dak en wordt omsloten door identieke ruimten.
De ramen zijn op het oosten georiënteerd.

²⁴ CF = convectiefactor

Afmetingen kantoorvertrek

- Bruto hoogte 3,44 m
- Hoogte tussen vloer en plafond 2,70 m
- Vertrekbreedte 3,60 m (bruto)
- Vertrekdiepte 5,40 m (bruto)

Materiaalopbouw vertrek

- Vloeren: Kanaalplaatvloer 200mm, afwerklaag 60mm en vloerbedekking (tapijt)
- dak: Opbouw dak: Dakleer, minerale wol 80mm, afwerklaag 70mm, kanaalplaat 150mm, spouw 440mm en verlaagd plafond.
Verlaagd plafond voor 50% van het plafond. Overige deel zonder verlaagd plafond. Op deze wijze wordt het effect van het toegepaste thermisch open plafond benaderd.
- Binnenwand: Style-line Variant code EA82
Gipsplaat 12mm, spouw 18 mm, minerale wol 40mm, gipsplaat 12mm
- Gevel: Binnenblad beton 180mm, minerale wol 80mm, pleisterlaag.
Thermische isolatie $R_c = 2,10 \text{ m}^2\text{K/W}$.
- Beglazing: Dubbel glas ($U=3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, $ZTA = 0,43$, $LTA = 0,62$, $ZTA \text{ incl. zonwering} = 0,15$)
Afmetingen glas ($2*1,2\text{m}*1,2\text{m}$)
Het raam heeft een verdiepte ligging van 0,05m

Interne warmteproductie

In het vertrek wordt warmte geproduceerd door

- Personen 9 W/m^2 aanwezig van 8-12 en van 13-17 uur CF = 0,50
- Apparatuur 15 W/m^2 aan van 8-12 en van 13-17 uur CF = 1,00
- Armatuur 11 W/m^2 aan van 8-17 uur CF = 0,68

De totale interne warmtelast bedraagt 35 W/m^2 .

Overige uitgangspunten

- Het raam wordt geopend indien de binnentemperatuur stijgt boven de 24°C en weer gesloten indien de temperatuur onder de 24°C zakt
- De zonwering schakelt bij 250 W/m^2
- Geen omliggende bebouwing
- Geen extra massa voor interieur meegenomen
- Opwarming ventilatielucht door ventilator en in de kanalen is 1.5K
- De ventilatielucht wordt ingebracht via inblaasroosters en afgevoerd via het plenum boven het thermisch open plafond waarbij de armaturen niet zijn aangesloten
- Installatie aan van 6-19 uur, stand-by rest van de dag

Uitgangspunten installatie (centrale koeling)

Voor de centrale koeling zijn twee varianten onderzocht:

- Topkoeling

Eigenschappen					
Water aanvoertemp.	12°C				
Water retourtemp.	18°C				
Luchttemperatuur	23°C	en RV	75%	aan de ingang	
Luchttemperatuur	18°C	en RV	95%	aan de uitgang	
- Volledige koeling

Eigenschappen					
Water aanvoertemp.	12°C				
Water retourtemp.	18°C				
Luchttemperatuur	28°C	en RV	60%	aan de ingang	
Luchttemperatuur	18°C	en RV	95%	aan de uitgang	