



BESTe Scholen

Een onderzoek naar klimaatbeheersing in schoollokalen in Caribisch Nederland
in opdracht van het Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap

2012



Universiteit van de
Nederlandse Antillen

ir. C. v.d. Sande
Dr. R.R. Pin
ing. R. Meijsing

BESTe Scholen

Een onderzoek naar klimaatbeheersing in schoollokalen in Caribisch Nederland
in opdracht van het Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap

COLOFON

Opdrachtgever:
Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap
Caribisch Nederland

Onderzoek:
Afdeling Bouwkunde en Civiele Techniek van de
Faculteit der Technische Wetenschappen
Universiteit van de Nederlandse Antillen, Curaçao

Onderzoekers:
Ir. C. van de Sande
Dr. R. Pin
Ing. R. Meijnsing

Eindredactie:
Ir. C. van de Sande

© Universiteit van de Nederlandse Antillen

INHOUDSOPGAVE

Colofon	2
Samenvatting	5
Inleiding.....	7
Aanleiding en doel van het onderzoek.....	7
Methode.....	9
Aanpak en werkwijze	9
Aanpak en Werkwijze Technische Waarden	10
Luchttemperatuur	10
Stralingsvlakken	12
Luchtvochtigheid.....	12
Luchtsnelheid	14
Luchtkwaliteit.....	15
Samenvatting uitgangspunten voor de beoordeling van de meetresultaten	18
Aanpak en Werkwijze Belevingswaarden	19
Literatuuronderzoek Beleving.....	19
Beleving.....	25
Determinanten.....	28
Design.....	28
Respondenten	28
Procedure.....	29
Vragenlijst	29
Onderzoeksdesign en meetprogramma.....	31
Resultaten	33
Analyse meetresultaten	33
Conclusies	48
Analyse Beleving	51
Analyses Beleving Gebruikers - Kwantitatief.....	51
De Achtergronden Beleving Gebruikers – Kwalitatief.....	57
Conclusies	61
Samenvattende conclusie	63
Aanbevelingen.....	65
Literatuur	71
Bijlagen.....	75
Bijlage 1: Model van Fanger	75

SAMENVATTING

Het onderzoek richt zich op het binnenklimaat van schoollokalen op de drie eilanden van Caribisch Nederland, Bonaire, St. Eustatius en Saba.

Het onderzoek kent twee invalshoeken.

Ten eerste metingen van de feitelijke omstandigheden die het binnenklimaat bepalen. Daarbij is het Model van Fanger als uitgangspunt genomen. De in dat model genoemde 'ideale' waarden zijn aangevuld met onderzoeken die de betekenis van die waarden beschrijven voor leerprestaties en het comfort in de lokalen. Gekeken is naar temperatuur, luchtvochtigheid, luchtbeweging en het CO₂-gehalte.

Als tweede invalshoek is onderzocht hoe de leerlingen en docenten het binnenklimaat beleven en waarderen op dezelfde momenten als de metingen werden gedaan. Aan de docenten is gevraagd hun ervaringen over de langere termijn aan te geven. Dit belevingswaarden onderzoek is eveneens aangevuld met een selectie van literatuur hierover.

In overleg met de opdrachtgever is afgesproken om een beperkt onderzoek op te zetten waaruit wel indicaties verkregen zouden moeten worden over hoe om te gaan met de specifieke omstandigheden. Die zijn immers heel anders dan in Nederland waardoor Nederlandse regels niet onverkort toepasbaar zijn. Op ieder eiland zijn twee schoollokalen van 1 school onderzocht gedurende 1 dag.

Het onderzoek heeft een redelijk goed beeld gegeven van de huidige omstandigheden in de schoollokalen. Daaruit kunnen voldoende conclusies getrokken worden ten aanzien van de gewenste omstandigheden. Aan de conclusies zijn aanbevelingen toegevoegd voor de wijze waarop het binnenklimaat op een niet alleen comfortabel niveau gebracht kan worden, maar ook op een niveau dat voldoet aan de eisen voor een gezonde leeromgeving en rekening houdend met milieunormen, energiebesparing en duurzaamheid.

Het realiseren van een dergelijke situatie voor alle scholen zal de nodige inspanningen en investeringen vergen, zowel financieel als in menskracht. Het onderzoek biedt een basis voor het opzetten van een pakket van eisen en regels waar zowel gebouwen als klimaatinstallaties voor schoollokalen op deze eilanden aan moeten voldoen.

INLEIDING

AANLEIDING EN DOEL VAN HET ONDERZOEK

De aanleiding voor het onderzoek is gelegen in de (soms omvangrijke) aanpassingen die de scholen op de eilanden Bonaire, St. Eustatius en Saba (destijds aangeduid als de BES-eilanden, inmiddels 'Caribisch Nederland' geheten) zullen ondergaan om te voldoen aan de nieuwe regels als gevolg van de overgang van deze eilanden van de Nederlandse Antillen naar Nederland. De klimaatregeling die nodig is in de tropen, is relatief onbekend in Nederland en de regels zijn daar dus ook niet op afgestemd. Reden waarom de Nederlandse regelgeving niet zondermeer toepasbaar is.

Duidelijk is in ieder geval dat het binnenklimaat van schoollokalen voldoende kwaliteit dient te hebben. Het Model van Fanger (zie bijlage) beschrijft de factoren die de kwaliteit van het binnenklimaat bepalen.

De keuze voor airconditioning of voor natuurlijke ventilatie is dikwijls onderwerp van discussie. Beide hebben voor- en nadelen, zowel technisch als financieel en beheersmatig. Er zullen situaties kunnen zijn die de keuze voor airconditioning noodzakelijk maken, bijvoorbeeld in het geval er sprake is van geluid-, stank- of stofoverlast als de ramen open moeten staan.

Het doel van het onderzoek is na ampele discussie geformuleerd als volgt:

“Het aanleveren van afwegingen die spelen bij de keuze van het met airco-installaties gaan koelen van schoollokalen versus het koelen van schoollokalen door natuurlijke en/of geforceerde ventilatie en isoleren van warmtestraling.”

Deze afwegingen komen tot stand door het doen van metingen naar feitelijke waarden van de kwaliteit van het binnenklimaat en het tegelijkertijd meten van de beleving van dat binnenklimaat door de gebruikers. Door deze waarden te meten en te vergelijken en deze aan te vullen met conclusies uit andere onderzoeken (via literatuuronderzoek) zullen alle aspecten van beide varianten in beeld komen. Verwacht werd dat daarmee tevens, als subdoel, “indicaties verkregen zouden kunnen worden voor aandachtspunten bij het uitwerken van natuurlijke ventilatie/koeling of het uitwerken van een mechanische koeling van de schoollokalen”.

De ervaring leert dat in de warme periode (augustus tot en met oktober) veel klachten geuit worden over te warme lokalen. Dat is de reden geweest om in deze periode de metingen te verrichten. Een aanvullend onderzoek in de koele periode (december tot en met maart) had als doel om tevens een indicatie te krijgen van feitelijke waarden en beleving onder die koelere omstandigheden. Dat kan dan vergeleken worden met de onderzoeksgegevens in de warmere periode zodat de verschillen duidelijk worden. Dat zou mogelijk indicaties kunnen geven over het eventueel niet of beperkt gebruiken van airco in de koelere periode.

Het onderzoek strekt zich uit over een zeer beperkte tijdsperiode en beperkte groepen. Dit impliceert dat slechts indicatieve waarden gevonden worden.

METHODE

AANPAK EN WERKWIJZE

In de offertefase zijn 4 mogelijke situaties t.a.v. schoollokalen geïdentificeerd:

1. een 'standaard' lokaal (bedoeld wordt het meest voorkomende type lokaal) zonder airco en met beperkte voorzieningen i.v.m. de klimatologische omstandigheden zoals regelmogelijkheid windtoetreding, zonwerend glas, zonwering, gevels in de schaduw, geventileerde zolderruimte of geïsoleerd dak of plafond. Al deze maatregelen zijn gericht op beheersing van de temperatuur. Eventueel aangevuld met plafondfans of ventilatoren voor wind-arme dagen.
2. een standaardlokaal zoals onder 1, maar dan voorzien van airco, zonder echt bouwkundige aanpassingen.
3. een lokaal dat bouwkundig optimaal aangepast is aan de klimatologische omstandigheden (temperatuurbeheersing en luchtverversing), echter zonder airco.
4. een lokaal dat voorzien is van airco inclusief luchtverversing en dat bouwkundig daar ook optimaal op aangepast is door zonwering, isolatie, luchtdichtheid en overige voorzieningen teneinde onnodig energieverlies te voorkomen.

In overleg is besloten om een minder breed onderzoek te doen en op ieder eiland op 1 school in 2 lokalen metingen te doen, waarbij die 2 lokalen dan wel bouwkundig en in grootte vergelijkbaar zijn. In feite zijn daarmee lokalen vergeleken die goeddeels passen bij het type 1 en 2. Dit type lokalen komt het meeste voor.

Het onderzoek richt zich op alle waarden die van invloed zijn op de technisch te meten behaaglijkheid in de lokalen, op de waardering van de situaties door de gebruikers en eventuele indicaties t.a.v. de leerprestaties. Met behaaglijkheid bedoelen we dan de ideale omstandigheden voor de activiteiten in de bedoelde lokalen.

Deze ideale omstandigheden zijn vastgelegd in het Model van Fanger. (zie bijlage). Dit model zal daarom gehanteerd worden als referentiekader.

Door literatuuronderzoek zal gekeken worden of het model aangevuld dient te worden met andere waarden. Bovendien is onderzocht wat de belevingswaarden zijn van de gebruikers van de betreffende lokalen, zodat een directe relatie met de meetgegevens gelegd kan worden.

AANPAK EN WERKWIJZE TECHNISCHE WAARDEN

Het onderzoek bestond uit het meten van:

- de luchttemperatuur binnen en buiten,
- de temperatuur van stralingsvlakken (oppervlaktetemperatuur van wanden, vloeren en plafonds),
- de luchtvochtigheid binnen en buiten,
- de luchtsnelheid binnen en buiten,
- de luchtkwaliteit (CO₂-gehalte) binnen en buiten.

Uitgangspunten en overwegingen bij de metingen:

LUCHTTEMPERATUUR

Ten aanzien van de luchttemperatuur is uit het Model van Fanger af te leiden dat, rekening houdend met de gebruikelijk tropenkleding, de ideale temperatuur voor het activiteitsniveau van leerlingen en docenten ligt tussen 23 (redelijk actief) en 25 (rustig zitten werken) graden Celsius. Er kan een correctie hierop van toepassing zijn, bijvoorbeeld vanwege de afkoelende werking van een luchtstroom. Tevens is uit ander onderzoek gebleken dat er door gewinning iets meer mensen (20% i.p.v. 10%) een iets (1 a 2 graden) hogere of lagere temperatuur nog aanvaardbaar vinden. (let wel, 'aanvaardbaar' is niet hetzelfde als de 'comfortabele temperatuur'. Zie ook het Model van Fanger in de bijlage). Er is ook een acceptatie van afwijkende temperaturen als deze afwijkingen maar een enkele keer voorkomen (minder dan 10% van de tijd).

In een recent onderzoeksrapport van de Gezondheidsraad (*Gezondheidsraad. Binnenluchtkwaliteit in basisscholen. Den Haag: Gezondheidsraad, 2010; publicatienr. 2010/06.ISBN 978- 90- 5549- 795- 9*) is het volgende geconcludeerd over de luchttemperatuur in schoollokalen:

“Temperatuur

De optimale omgevingstemperatuur voor hersenactiviteit is 20°C. Een aangename temperatuur in scholen ligt tussen de 18 en 22°C. Vanaf 25°C neemt de behaaglijkheid af en wordt het prestatievermogen minder.”

Bij deze constatering is het van belang de Nederlandse situatie voor ogen te houden waarbij men dikker gekleed is. Tevens is de constatering van belang dat vanaf 25°C de behaaglijkheid afneemt. Dit strookt met de waarde uit het model van Fanger. De genoemde ‘aangename temperatuur tussen 18 en 22°C’ (luchttemperatuur) is passend voor Nederlandse situaties vanwege de dikkere kleding, met name in de winterperiode. De maximale behaaglijkheidstemperatuur van 25°C geldt uiteraard zowel in NL als in de tropen. Het maakt niet uit of je het te warm hebt door dikke kleding of door een te hoge omgevingstemperatuur.

In Amerikaans onderzoek (publicatie in: Ergonomics, 2002, vol. 45, blz. 682-298, Pilcher, Nadler, Busch, bron: www.fra.dot.gov/downloads/research/temp_effects_on_perf.pdf) betreffende ‘temperature effects on performance’ is aangetoond dat tussen 70 en 80°F (21.1 en 26.6°C) er nauwelijks meetbare verschillen zijn in leerprestaties. Daarboven worden de leerprestaties significant minder, met name op het gebied van ‘attention, perceptual and mathematical-processing tasks’. Beneden 21°C neemt vooral het vermogen om te leren en te onthouden significant af.

In een onderzoek uitgevoerd door M. S. Pilman, (Loyola University, USA, bron: www.webclearinghouse.net) is aangetoond dat bij temperaturen rond de 80°F (26.6° C) en daarboven het vermogen om te onthouden afneemt.

In Fins onderzoek (bron: <http://eetd.lbl.gov/ie/pdf/LBNL-53191.pdf>) betreffende kostenbesparing door nachtventilatie waarin ook gekeken is naar de relatie tussen productiviteit en hoge temperaturen, is geconcludeerd dat boven de ‘ideaal temperatuur’ van 25°C de productie verminderd. Zij komen op een afname van productie van gemiddeld 2% per graad temperatuurstijging. In de temperatuurzone tussen 21 en 25°C graden is er geen verschil in productie.

We kunnen de conclusie trekken dat een temperatuur tussen 21 en 25°C de richtwaarde is voor een goede leeromgeving. Temperaturen boven 26.5°C beïnvloeden de leerprestaties in negatieve zin. Vanwege de lichte

zomerse kleding die in de tropen gebruikelijk is, is een waarde aan te houden van 23 tot 25°C.

STRALINGSVLAKKEN

Indien wanden in een lokaal een oppervlaktetemperatuur hebben die een aantal graden hoger is dan de luchttemperatuur, dan zal de omgevingstemperatuur ervaren worden als hoger dan de feitelijke luchttemperatuur. De temperatuurverschillen van wanden t.o.v. de luchttemperatuur mogen niet meer dan 10 graden zijn.

De verschillen tussen de oppervlaktetemperaturen van vloer en/of plafond en de luchttemperatuur, mogen niet meer zijn dan 5 graden.

Deze situaties doen zich met name in de tropen dikwijls voor bij gebouwen waarvan een of meerdere wanden gedurende de dag behoorlijk kunnen opwarmen door directe zonbestraling.

Dit geldt in bijzondere mate voor het dak, aangezien daken de hele dag door de zon worden verwarmd. Afhankelijk van de opbouw van het dak en eventuele plafonds zal ook het plafond een behoorlijk hoge oppervlaktetemperatuur kunnen hebben.

Een 2 tot 3 graden hogere temperatuur van het stralingsvlak ten opzichte van de luchttemperatuur zal ervaren worden als ongeveer 1 graad hogere omgevingstemperatuur, zeker als je in de buurt van dat stralingsvlak bent.

LUCHTVOCHTIGHEID

Over de luchtvochtigheid kan het volgende opgemerkt worden.

Uit gegevens van het Centrale Bureau voor de Statistiek van de Nederlands Antillen blijkt de gemiddelde luchtvochtigheid op de benedenwindse eilanden te variëren van 75% tot ongeveer 85% bij temperaturen van 29° tot 33°C. Gemiddeld is het 77%. Dit betekent ongeveer 24 tot 27 gram water per m³ lucht.

Op de bovenwindse eilanden is dit ongeveer 70% tot 75% RV bij temperaturen van 28° tot 32°C. Dit betekent ongeveer 23 tot 26 gram water per m³ lucht.

Bij het toepassen van airconditioning zal de luchtvochtigheid ongeveer 55 tot 60% kunnen zijn. Dit betekent bij een temperatuur van 23° tot 25°C 12 tot 14 gram water per m³. Dus de helft minder dan zonder airco.

Het model van Fanger geeft aan dat de ideale vochtigheid ligt tussen 30 en 70%. Dit zijn ook de grenswaarden die gehanteerd worden in o.a. de Nederlandse regelgeving en de Belgische regelgeving.

Op de benedenwindse eilanden is de luchtvochtigheid de meeste tijd van het jaar te hoog. Voor de bovenwindse eilanden is dat iets beter, maar zit ook rond de grens van 70%.

In het eerder vermelde recente onderzoek van de Gezondheidsraad (2010) is het volgende hierover geconstateerd:

“Relatieve vochtigheid

De relatieve luchtvochtigheid geeft aan in welke mate de lucht verzadigd is met vocht. De relatieve luchtvochtigheid dient tussen circa 35 en 70% te zijn. Een (beduidend) lagere luchtvochtigheid is op zich geen probleem, maar kan in combinatie met stoffigheid leiden tot irritaties van de slijmvliezen van ogen, neus en keel. Wanneer de luchtvochtigheid langdurig te hoog is, kunnen schimmels en/of huisstofmijten zich beter ontwikkelen. Dit kan vervolgens leiden tot (verergering van) luchtwegklachten, vooral bij mensen met gevoelige luchtwegen (Carapatiënten).”

Hieruit is af te leiden dat 70% als een bovengrens beschouwd dient te worden, die slechts beperkte tijd overschreden mag worden. Er zijn via literatuuronderzoek geen gegevens gevonden betreffende een mogelijke hogere weerstand tegen luchtwegklachten bij personen die in een klimaat leven met een RV die hoger is dan 70%. Wel zijn er heel veel onderzoeken verricht wereldwijd naar de relatie tussen de relatieve luchtvochtigheid en gezondheid. In zijn algemeenheid wordt geadviseerd om deze tussen 40 en 60% te houden. Zie bijvoorbeeld: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1474709/>

Een andere indicatie over de relatie tussen temperatuur en luchtvochtigheid, en dan in relatie tot de temperatuur, is te vinden in een publicatie over regelgeving in Australië: (bron: www.ohsrep.org.au)

“Humidity

With regard to humidity, if it's too high this will cause discomfort (excessive perspiration, exacerbation of the effects of high temperature, feelings of 'closeness', etc) and if it's too low it can cause respiratory problems. Optimum humidity levels are between 40% and 60% - but in any case they should be kept between 30% and 70%. Humidity levels

below 40% will begin to cause problems for workers with conditions such as sinusitis. (Advice: from the CSA Standard CAN/CSA Z412-00 (R2005) - "Office Ergonomics" which gives acceptable ranges of temperature and relative humidity for offices in Canada. These values are the same as recommended by the American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) Standard 55 - 2010 "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy".)"

Temperature/Humidity Ranges for Comfort

<i>Conditions</i>		<i>Relative humidity</i>	<i>Acceptable Operating Temperature</i>
Summer clothing)	(Light	If 30% then	24.5 - 28 °C
		If 60% then	23 - 25.5 °C
Winter clothing)	(Warm	If 30% then	20.5 - 25.5 °C
		If 60% then	20 - 24 °C

Source: Canadian Centre for Occupational Health and Safety - Adapted from ASHRAE 55-2010.

Op basis van al deze onderzoeken en publicaties is het reëel om te stellen dat de luchtvochtigheid bij voorkeur tussen 40 en 60% moet liggen en niet boven 70% dient te zijn.

Bij deze vochtigheidsgraad is ook de ontwikkeling van de meeste organismen het laagst. Zie o.a. de publicatie van Ben Bronsema van Bronsema Consult – TU Delft, Faculteit der Bouwkunde, bladzijde 3. (bron: http://homepage.tudelft.nl/f2n51/01_VochtVolgensBronsema.pdf)

LUCHTSNELHEID

De beweging van de lucht als gevolg van wind, fans of uitstroom van airco-apparatuur, zal een verkoelend effect geven. Dit houdt verband met het feit dat vocht van de huid sneller verdampt en de langstromende lucht ook meer warmte meeneemt. Indien de luchtbewegingen niet constant zijn, dan wordt dat al snel als onrustig ervaren. Een constante snelheid is daarom gewenst.

De luchtsnelheid mag om reden van een ideaal comfort bij temperaturen rond 28°C maximaal 0.4 m/s bedragen. Een hogere snelheid wordt als minder prettig of zelfs storend ervaren. Bij een temperatuur van 24° C is door Fanger een luchtsnelheid van maximaal 0.2 m/s aangegeven. Hoe

lager de temperatuur van de langsstromende lucht is, hoe lager de snelheid daarvan nog mag zijn.

Veel airco-installaties, m.n. split units, hebben een (te) hoge luchtsnelheid. In de directe luchtstroom van een dergelijke airco is het al snel (veel) te koud. Dit is een direct gevolg van het feit dat de lucht uit de airco ook een (veel) lagere temperatuur heeft dan de luchttemperatuur van de ruimte, anders zou er uiteraard ook geen sprake zijn van koeling. Het meten van de luchtsnelheid is daarom een belangrijk aspect om het comfort in de ruimte te meten.

In zijn algemeenheid wordt aanbevolen, en in sommige regelgeving voorgeschreven, dat er altijd een lichte luchtbeweging dient te zijn met een snelheid van 0.1 tot 0.2 m/s. Zie bijvoorbeeld de Australische compliance code “workplace amenities and work environment” (bron: www.worksafe.vic.gov.au)

De ARBO dienst in Nederland adviseert in de zomermaanden, bij een binnentemperatuur van 23° tot 26°C een maximale luchtsnelheid van 0.25 m/s.

Het effect van afkoeling door de luchtsnelheid is sterker bij lagere temperaturen dan bij hogere temperaturen. Toch wordt ook bij hogere temperaturen ervaren dat wind verkoeling geeft. Het lichaam kan immers zijn warmte makkelijker kwijt. Boven 10°C is de afkoelende werking volgens de statistische tabellen pas voelbaar met luchtsnelheden boven de 10 km/u (2.8 m/s). Bij temperaturen van rond de 30° zal dit pas zijn bij windsnelheden vanaf 4 a 5 m/s.

Bij de luchtsnelheid zoals die nog aanvaardbaar is (Fanger: 0.2 tot 0.4 m/s; ARBO: 0.25 m/s) kan geen afkoelende werking van de luchtstroom verwacht worden.

LUCHTKWALITEIT

De luchtkwaliteit is gemeten door het CO₂-gehalte te meten. Het CO₂-gehalte is ook een indicatie voor de mate waarin de lucht als ‘vers’ wordt ervaren. Zodra het CO₂-gehalte boven een waarde van 1200 ppm komt, zullen ook geuren ervaren worden bij het binnenkomen van de ruimte.

De grenswaarde (de zogenaamde hygiënische grenswaarde) ligt in Nederland op een maximum van 1200 ppm, en dit is ook vastgelegd in het Bouwbesluit. Vanaf die waarde wordt de lucht algemeen als onaangenaam en ongezond ervaren en daarmee als onaanvaardbaar gekwalificeerd. De drempelwaarde waarbij het gehalte aan CO₂ aantoonbaar effect gaat krijgen op de gezondheid, ligt veel hoger dan 1200 ppm. Uit het onderzoeksrapport van de Gezondheidsraad (2010) is verder het volgende geconcludeerd:

**“CO₂-gehalte (ppm), 98- percentiel
Gezondheidskundige beoordeling**

- < 800 Streefwaarde
Overwegen van optimalisatie door eenvoudige veranderingen, bijvoorbeeld ventilatiegedrag
- 800 – 1000 Acceptabel
Maatregelen zijn wenselijk, vaak in ventilatiegedrag maar wellicht ook door bouwkundige verbeteringen
- 1000 – 1400 Tijdelijk acceptabel
Zo spoedig mogelijk maatregelen nemen in ventilatiegedrag en zo nodig ook bouwkundige ingrepen
- > 1400 Onacceptabel
Meteen maatregelen nemen, waarschijnlijk zijn bouwkundige ingrepen noodzakelijk.”

In een onderzoek van TNO uit januari 2007 is geconcludeerd dat concentraties CO₂ die ruim boven de norm van 1200 ppm komen, een negatief effect hebben op de leerprestaties t.a.v. rekenen en lezen. (zie ‘kabinetsvisie binnenmilieu basisscholen’, kenmerk SAS 2007121677 van het directoraat Milieu, Ministerie VROM).

In België is in januari 2010 een soortgelijk onderzoek gepubliceerd door het onderzoeksbureau Vito (België) in opdracht van de Dienst Milieu & Gezondheid van het departement Leefmilieu, Natuur en Energie, en het team Milieugezondheidszorg van het agentschap Zorg en Gezondheid 2008/MIM/R/092 - 2009/MRG/R/372 - 2009/MRG/R/373 - 2009/MRG/R/374.

Ook daar trekt men de conclusie dat de leerprestaties verminderen bij te hoge concentraties. In België hanteert men als richtwaarde, vastgelegd

in het Vlaams Binnenmilieu Besluit, een maximum van 900 ppm. (bron: Vito, onderzoek Binnenmilieu in Basisscholen, België, januari 2010)

In een publicatie van Piet Jacobs (TNO Bouw en Ondergrond), Froukje van Dijken en Atze Boerstra (BBA Binnenmilieu), oktober 2007, wordt de volgende conclusie getrokken:

“De vraag ‘Welke prestatie-eisen dienen aan de luchtkwaliteit in scholen gesteld te worden om de overdracht van infectieziekten en ziekteverzuim te beperken en optimale leerprestaties te behalen?’ kan als volgt worden beantwoord: Voor de beperking van de overdracht van infectieziekten en ziekteverzuim dient de CO₂-concentratie niet meer dan 400 tot 1000 ppm boven de buitenconcentratie te liggen. Voor optimale leerprestaties kan worden gesteld dat de CO₂-concentratie in het lokaal maximaal circa 800 ppm mag zijn. Voor het vaststellen van prestatie-eisen in lokalen aan CO₂ spelen echter ook andere overwegingen een rol, zoals energieverbruik, tocht of geurhinder.”

De conclusie dat de CO₂ concentratie niet meer dan 400 tot 1000 boven de buitenconcentratie mag liggen i.v.m. overdracht infecties e.d. betekent dat de binnenwaarde dan tussen de 800 en 1400 zal liggen. De buitenwaarde kan variëren tussen 300 en 500 ppm en zal meestal tussen 350 en 400 ppm bedragen.

Op basis van deze publicaties kan de conclusie worden getrokken dat waarden boven 1200 ppm in klaslokalen ongewenst zijn en de streefwaarde maximaal 800 dient te zijn. In Nederland is een norm van maximaal 1200 ppm vastgelegd in het Bouwbesluit.

Het CO₂ gehalte is een goede indicator voor de luchtkwaliteit. Er zijn echter meerdere vervuilingen van de lucht mogelijk in de vorm van fijn stof of giftige gassen. Gassen kunnen niet alleen van de buitenlucht afkomstig zijn, maar ook uit materialen die in de lokalen verwerkt zijn of gebruikt worden. De gebruikte bouwmaterialen dienen uiteraard van een gezonde kwaliteit te zijn. In dit onderzoek is uitsluitend het CO₂ gehalte gemeten.

SAMENVATTING UITGANGSPUNTEN VOOR DE BEOORDELING VAN DE MEETRESULTATEN

Op basis van bovenstaande gegevens kunnen we constateren dat de ideale omstandigheden als volgt zijn te beschrijven:

Temperatuur: tussen 23 en 25° C, uitgaande van lichte zomerkleding

Stralingsvlakken: een zo gering mogelijk verschil in oppervlakte temperatuur ten opzichte van de luchttemperatuur, zo mogelijk minder dan 2° C.

Luchtvochtigheid: bij voorkeur tussen 40 en 60%, niet hoger dan 70% bij temperaturen tussen 23 en 25° C.

Luchtsnelheid: bij voorkeur geen hogere luchtsnelheden dan 0.25 m/s met een maximum van 0.5 m/s.

Luchtkwaliteit: een CO₂ gehalte bij voorkeur niet hoger dan 800 ppm en een maximum van 1200 ppm.

Deze waarden gebruiken we om de gevonden waarden te toetsen.

AANPAK EN WERKWIJZE BELEVINGSWAARDEN

Uiteindelijk gaat het natuurlijk vooral om de beleving van het binnenklimaat door de gebruikers van de ruimten. Steekproefsgewijs zijn gebruikers via vragenlijsten gevraagd naar hun ervaringen. Dit geldt voor zowel leerlingen als docenten. Behalve het comfort is het effect van het binnenklimaat op de leerprestaties van de leerlingen en de arbeidsomstandigheden van de docenten van groot belang.

Er is onderzoek verricht naar:

- Literatuur over soortgelijke onderzoeken.
- De beleving door de gebruikers (zowel kwantitatief als kwalitatief) door vragenlijsten te laten invullen. In de vragenlijsten is tevens gevraagd naar de kwaliteit van het geluid en de verlichting.

LITERATUURONDERZOEK BELEVING

In de literatuur zijn een aantal studies te vinden die ingaan op de perceptie van 'thermal comfort'. Studies zijn gedaan in werkomgeving, woonomgeving en ook in leeromgevingen. Enkele studies gaan specifiek in op de tropische setting. Een aantal studies vergelijkt ook de perceptie van het comfort in het lokaal met de fysische waarden. Hieronder worden kort enkele belangrijke publicaties op dit terrein samengevat.

Wong NH, Khoo SS. Thermal comfort in classrooms in the tropics. Energy and Buildings 2003(n.35):337–51.

A field study was conducted in classrooms in Singapore, which were mechanically ventilated by fans, to assess their thermal conditions during the students' lesson hours. Thermal comfort variables were measured at the same time when students and teachers answered a survey on their perception/sensation of the indoor climate. Objective data analysis showed that none of the classes had thermal conditions falling within the comfort zone of ASHRAE standard 55. Occupants found temperature range beyond the comfort zone acceptable. This suggests that the standard is not applicable in free-running buildings in the local climate. A new PMV model, which incorporates two common forms of adaptation-reducing activity pace and expectation, still showed discrepancy in predicting actual thermal sensations, especially at lower temperatures. Comparison of the various methods of assessing thermal acceptability showed that they produce widely

disparate results, with the Bedford scale giving the highest level of acceptability. Classroom occupants generally accepted cool thermal sensations more readily than warm thermal sensations.

Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort. Stefano Paolo Corgnati_, Marco Filippi, Sara Viazzo. Building and Environment 42 (2007) 951–959

This work shows some of the results of a field study about environmental comfort investigations in classrooms. In this project thermal, acoustic, visual and air quality aspects were analysed in a number of classrooms—13 classrooms at four different high schools of the Provincia di Torino and four typical medium-sized university classrooms of the Politecnico di Torino, Italy. The investigations were carried out during the heating period. Both field measurements and subjective surveys were performed at the same time during the regular lesson periods. This paper focuses on thermal comfort, which may have a significant effect on the students' performance, in terms of attention, comprehension and learning levels. The measurement campaign consisted in measuring the thermal environment parameters—air temperature, mean radiant temperatures, air relative humidity and air velocity. Through these data, the thermal comfort Fanger's indices (predicted mean vote (PMV), and predicted percentage of dissatisfied (PPD) people) were calculated, the actual people clothing and metabolic rate being known. The subjective survey involved questions on the thermal environmental perception. They basically investigated the thermal environment acceptability and preference. Moreover, a judgement based on the typical seven point thermal sensation scale (Fanger 7- points scale) was also asked. Through the elaboration of the questionnaire data, the actual percentage of dissatisfied (PD) people of the felt thermal environment was evaluated. The judgements about the thermal environment were compared with the results of the field measurements. Moreover, the subjective mean votes were compared with the thermal environment perceptions in terms of acceptability and preference.

Thermal comfort in Italian classrooms under free running conditions during midseasons: Assessment through objective and subjective approaches. Stefano Paolo Corgnati, Roberta Ansaldi*, Marco Filippi Building and Environment 44 (2009) 785–792

This work shows the results of a field study about indoor thermal comfort, based on investigations in Italian classrooms. The surveys were carried out in Turin, in the North–West of Italy. The monitoring campaigns were performed during the mid season, in free running conditions. This study follows a previous one based on a monitoring campaign performed during the heating season. The responses from these two different configurations were integrated, analyzed and compared. The field study was conducted by physical observations, survey questionnaires and behavioral observations. Both field measurements and subjective surveys were performed at the same time during the regular lesson period. Thermal environment parameters were measured: indoor air temperature, mean radiant temperature, air relative humidity, air velocity and outdoor air temperature. Through these data, Fanger’s comfort indices were calculated (predicted mean vote and predicted percentage of dissatisfied people), the actual people clothing and metabolic rate being known; furthermore an adaptive model was applied to obtain acceptable ranges for the indoor operative temperature, in function of the outdoor climatic conditions. The subjective survey investigated the thermal sensation, the thermal acceptability and the thermal preference, using subjective scales. The subjective judgments about the thermal environment were compared with the results of the field measurements. Moreover, the thermal sensation votes were compared with the votes of acceptability and preference. The responses from this study and from the previous one, performed during the heating season, were compared. The results show a trend characterized by a gradual change in the thermal preference from the heating season to the mid and warm season. In fact, the results show a preference for environments judged slightly warm or warm during the heating period and a preference for neutral environments in the mid season.

Ventilation conditions of different indoor environments in a university. Yan Youa, Zhipeng Bai¹, Chunrong Jia², Wenting Ran¹, Jingjing Zhang¹, Xinming Hu¹ and Jing Yang¹ ¹Nankai University, China ²University of Michigan, USA. Proceedings of Clima 2007 WellBeing Indoors

Limited data exist on indoor air and environmental quality (IEQ) in schools, and how IEQ affects students’ health or performance in China. Research was conducted in different types of indoor environments in a university to explore possible relationship. Indoor temperature, relative humidity (RH), and CO₂ concentration were continuous monitored while

outdoor parameters combined with on-site climate conditions were recorded. Questionnaire concerning time-activity patterns, judgment about IAE in campus and comfortlessness possibly relative to bad ventilation was distributed to undergraduate students. Dormitories (n=20), classroom (n=20), reading rooms (n=5) and meeting rooms (n=5) were selected. Average air exchange rates were calculated using CO₂ as the tracer gas when indoor environments were not occupied. Results indicated that the best ventilation was achieved in reading rooms, and the worst situation was found in dormitories, classrooms and meeting rooms, which was accordant with occupants' more complaint. In dormitories, factors such as outdoor climate conditions, deficiency of building design, room usage and living habits of students, were considered to be essential on ventilation and indoor CO₂ concentration.

Comparison between thermal comfort predictive models and subjective responses in Italian university classrooms. Roberta Ansaldi 1, Stefano Paolo Corgnati 1 and Marco Filippi 1. 1Department of Energy (DENER), Politecnico di Torino, Torino, Italy. Proceedings of Clima 2007 WellBeing Indoors.

This work is focused on the evaluation of indoor thermal quality and shows some results of a wider field study in university classrooms. The field study was conducted through physical observations and questionnaires, performed at the same time during the regular lesson time, in a period just before the start of the heating season. The predictions of dissatisfied occupants, based both on Fanger's heat balance model and on an adaptive approach, were compared to each other. The subjective survey investigated the thermal acceptability, the thermal preference and the thermal sensation, asking students to assess their comfort on subjective scales. The calculated predicted votes were compared to the observed subjective responses. Moreover, the subjective mean votes were compared to the thermal environment perceptions in terms of acceptability and preference. The obtained results give a contribution to the enrichment of knowledge about thermal subjective responses in classrooms.

Thermal Environment for Residential Buildings in Yangtze River Region, China Baizhan Li Wei Yu Meng Liu Nan Li Key Laboratory of Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Chongqing University, Ministry of Education, Chongqing 400045, PR China. Climatic Strategies of Indoor.

Yangtze River Valley is situated within the Hot Summer and Cold Winter zone, and residents in this region of China would require HVAC system to alleviate thermal comfort conditions, although this is tempered by the Design Code (DBJ50-071-2007) for energy efficiency. A 1-year survey of about 200 residential homes was carried out in eight cities covering the breadth of the region. The acceptable temperature range for the residents in this area was 16.3–28.1_C and the thermal neutral temperature was found to be 27.6_C in summers and 17.5_C in winters. People in different area can vary in their adaptability and comfortableness. Therefore, there is a need to investigate the national comfort parameter introduced in the Code for Design of Heating and Ventilation and Air Conditioning (GB50019-2003). The results found that if air-conditioning system was set to 27.5_C instead of 26_C as required by GBJ19-87: Design Standard of Heating and Ventilation and Air Conditioning, a 16.5% saving of energy consumption could be achieved. The findings demonstrated the role of natural ventilation in the expansion of the thermal comfort zone for the residents, especially during the summer seasons. A climatic adaptability model has been established by this study to contribute to the passive climatic design strategies for a better economic and energy efficiency of buildings.

Ventilation rates in schools D.J. Clements-Croome, H.B. Awbia, Zs Bako´ -Biro´ a, N. Kochhara, M. Williamsb CA 94720 (USA) Building and Environment 43 (2008) 362–367

Research shows that poor indoor air quality (IAQ) in school buildings can cause a reduction in the students' performance assessed by short-term computer-based tests; whereas good air quality in classrooms can enhance children's concentration and also teachers' productivity. Investigation of air quality in classrooms helps us to characterize pollutant levels and implement corrective measures. Outdoor pollution, ventilation equipment, furnishings, and human activities affect IAQ. In school classrooms, the occupancy density is high (1.8–2.4m²/person) compared to offices (10m²/person). Ventilation systems expend energy and there is a trend to save energy by reducing ventilation rates. We need to establish the minimum acceptable level of fresh air required for the health of the occupants. This paper describes a project, which will aim to investigate the effect of IAQ and ventilation rates on pupils' performance and health using psychological tests. The aim is to recommend suitable ventilation rates for classrooms and examine the suitability of the air quality guidelines for classrooms. The air quality,

ventilation rates and pupils' performance in classrooms will be evaluated in parallel measurements. In addition, Visual Analogue Scales will be used to assess subjective perception of the classroom environment and SBS symptoms. Pupil performance will be measured with Computerised Assessment Tests (CAT), and Pen and Paper Performance Tasks while physical parameters of the classroom environment will be recorded using an advanced data logging system. A total number of 20 primary schools in the Reading area are expected to participate in the present investigation, and the pupils participating in this study will be within the age group of 9–11 years. On completion of the project, based on the overall data recommendations for suitable ventilation rates for schools will be formulated.

Proceedings: Indoor Air 2005 368 THE EFFECTS OF CLASSROOM AIR TEMPERATURE AND OUTDOOR AIR SUPPLY RATE ON THE PERFORMANCE OF SCHOOL WORK BY CHILDREN P Wargocki*, DP Wyon, B Matysiak and S Irgens. International Centre for Indoor Environment and Energy, Technical University of Denmark, Nils Koppels Alle, Building 402, DK-2800 Kgs. Lyngby, Denmark www.ie.dtu.dk

A field intervention experiment was conducted in two classes of 10-year-old children. Average air temperatures were reduced from 23.6°C to 20°C and outdoor air supply rates were increased from 5.2 to 9.6 L/s per person in a 2x2 crossover design, each condition lasting a week. Tasks representing 8 different aspects of schoolwork, from reading to mathematics, were performed during appropriate lessons and the children marked visual-analogue scales each week to indicate SBS symptom intensity. Increased ventilation rate increased work rate in addition, multiplication and number checking ($P < 0.05$), and subtraction ($P < 0.06$). Reduced temperature increased work rate in subtraction and reading ($P < 0.001$), and reduced errors when checking a transcript against a recorded voice reading aloud ($P < 0.07$). Reduced temperature at increased ventilation rate increased work rate in a test of logical thinking ($P < 0.03$). This experiment indicates that improving classroom conditions can substantially improve the performance of schoolwork by children.

Thermal comfort in Japanese schools. Alison G. Kwok, Chungyoon Chun. Solar Energy 74 (2003) 245–252

Comfort standards (ASHRAE 55, ISO 7730) specify exact physical criteria for producing acceptable thermal environments, which include

temperature, air movement, and humidity limits that are often difficult to comply with, particularly in the subtropical climate of Japan. Changing expectations of comfort are important in evaluating comfort since schools in Japan are not typically air-conditioned. With the rapid growth of school buildings in the US and all over the world, provisions for comfort are critical to student performance and occupant well-being. Are these temperate-climate, air-conditioning based standards applicable in these locations? This paper builds upon previous thermal comfort work that has focused primarily on office environments. For this project we adapt traditional methods of data collection and inquiry for use in the school environment. During the late summer 2000, we conducted surveys in naturally ventilated and air-conditioned schools, polling responses from 74 students, while simultaneously measuring indoor climate variables. Air-conditioned classrooms had conditions within the comfort zone, causing occupants to report 'slightly cool' thermal sensations. The naturally ventilated classrooms were 3.8°C warmer than the air-conditioned classrooms and occupants voted that conditions were also within the central three categories (surrounding neutral) of the ASHRAE thermal sensation scale—therefore equated with comfort. These 'neutral' sensations, however, do not correlate to people's preferred thermal state. Comfort responses are discussed in terms of comparisons to ASHRAE Standard 55-92 Thermal Conditions for Human Occupancy.

BELEIVING

In het artikel van Wong (2004) wordt een goed overzicht gegeven van het onderzoek naar de beleving van klaslokalen in de tropen:

A substantial proportion of the thermal comfort studies carried in the recent decades have been devoted to determining thermally comfortable temperatures in various settings, in climates ranging from temperate to tropical. The first attempt to observe and analyze thermal comfort in an equatorial (tropical) climate was done by Webb in 1949–1950. About 20 persons who had long been residents in Malaya (Singapore) were involved in the study. He derived an equatorial comfort index (ECI) which was based on the parameters of dry and wet bulb temperature and wind speed. But this index does not consider the activity level and the clothing values (clo) as variables [2]. Webb also tried to develop a monogram for the ECI [3–6]. In 1953, Ellis investigated the thermal response from 34 Europeans and 100 Asians in Singapore and concluded that thermal comfort was not affected by differences in race, age or sex. He concluded that the levels of thermal comfort were similar for acclimatized European men and women and for Asian men and women [7]. There was a study in 1978 on thermal comfort in hawker centers in Singapore. The findings of this study concluded that the combined effects of air temperature, RH and roof thermal radiation brought about the adverse conditions found in hawker center. Also the optimum corrected

value of the equatorial comfort index relevant to the environment ambient temperature was found at 26.4 °C [8]. A field study on the thermal comfort of Singapore subjects in HDB apartments had been conducted in 1988. Using probit analysis, the thermo-neutrality of subjects was calculated to be 28.5 °C in operative temperature. In this study, effective temperature (ET), standard effective temperature (SET) and predicted mean vote (PMV) gave the neutral temperature with an error of 2–4 °C. It is also found that sex and age did not affect a person's thermal sensation [9]. Busch [10] carried out a field study in Thai offices in Bangkok, Thailand. More than 1100 Thai office workers in two air-conditioned buildings and two naturally ventilated buildings were involved in the study. The neutral temperature for the air-conditioned buildings and naturally ventilated buildings were found to be 24.5 and 28.5 °C (ET), respectively. De Dear et al. [11] conducted field experiments in both naturally ventilated high rise residential buildings and air-conditioned office buildings in Singapore. The neutral temperatures of subjects in the naturally ventilated building and air-conditioned buildings were 28.5 and 24.2 °C (to), respectively. The neutral temperature for air-conditioned buildings is similar to that obtained in Busch's study in Bangkok, Thailand. From this comparison, De Dear inferred that Darwin's largely European office population has similar air-conditioning requirements to those of the office population in Southeast Asia. Karyono [12] carried out a field study in Jakarta. The study involved 596 Indonesians working in seven office buildings, one naturally ventilated, one with mixed ventilation and five air conditioned. The subjects' neutral temperature was 26.4 °C (ta, air temperature) or 26.7 °C (to, operative temperature) or 25.3 °C (teq, equivalent temperature). No significant difference was found in the neutral temperature for naturally ventilated and air-conditioned buildings. In another study, De Dear and Fountain [13] undertook a field investigation on the indoor climates of 12 air-conditioned office buildings in city of Townsville, located on the north eastern coast of Australia. The study was conducted in the dry and wet seasons. The neutral temperature was 24.2 °C (to) in the dry season and 24.6 °C (to) in the wet season. Expressed in terms of ET, thermal neutralities were virtually identical at 24.3 °C (ET) in both seasons. Kwok [14] studied the thermal comfort conditions in classrooms in Hawaii. Both naturally ventilated and classrooms air conditioned were included in the study. Neutral temperatures for the two types of classrooms were 26.8 and 27.4 °C (to), respectively. This contrasts with studies by Busch and De Dear et al. in which the neutral temperatures for naturally ventilated buildings were higher than that of air-conditioned buildings.

A field study on thermal comfort and building energy has been carried in Jakarta–Indonesia. Some 596-office workers working in seven multi-story buildings participated in this study. This research examined the neutral temperature of the whole sample and subgroup sample, such as male and female subjects, subjects under and over 40 years of age, subjects

who are considered to be thin, normal and fat, subjects with various ethnic background [15].

Two thermal comfort surveys mostly for occupants in naturally ventilated buildings in Pakistan are reported by Nicol. The surveys were conducted in five cities each representing a particular climatic region. The use of building control and clothing is analyzed. The survey shows that there is a definite relationship between indoor comfort and outdoor conditions in line with an adaptive approach to thermal comfort [16].

In 2001, a thermal comfort survey was carried out in the naturally ventilated high rise residential buildings in Singapore covering 255 residents [17,18]. The relatively high percentage acceptability (i.e. 82.6%) suggested that the occupants were generally satisfied (i.e. feel comfortable) with their thermal environment even if their thermal sensation votes (TSV) were outside the central three categories of 'neutral comfort' zone. Through the statistical analysis, some discrepancies were observed between neutral and preferred temperature. Under hot and humid tropical climate, people were found to prefer cooler environment (at 25.1 °C in ET), which is considerably lower than the neutral temperature (29.3 °C in ET).

With the exception of Karyono and Kwok, results of the above mentioned studies indicate higher neutral temperatures in naturally ventilated settings than in air-conditioned settings. While the neutral temperatures for air-conditioned environments fall near or within the prescriptions of ASHRAE standard 55-1992, occupants of naturally ventilated buildings appear to be tolerant of warmer thermal conditions. (Wong & Khoo, 2003)

Table 1
Thermal comfort researches for naturally ventilated buildings

Year	Researcher	Location	Type	Research findings
1952	R. Ellis	(Malaya) Singapore	NV	Thermal comfort (TC) survey, physiological aspects (race, gender)
1959	C.G. Webb	Singapore	NV	TC survey, effective temperature, comfort zone for Singapore within range of 25.94 ± 0.42 °C, proposed: equatorial comfort index (ECI)
1978	K.R. Rao, J.C. Ho	Singapore	NV	TC survey (hawker center) Revised neutral ECI to 25 °C
1986	M.R. Cham, S. Ali [19]	India (Roorkee)	NV	TC survey (18 Indian young male adults) Developed: tropical summer index (TSI), comfortable temperature at 28 °C (TSI) with thermal sensations change at interval of 4.5 °C
1991	De Dear, Foo and Leow	Singapore	NV AC	TC survey (residential, office) For NV: thermal neutrality (comfort) at 28.5 °C operative temperature
1992	J.F. Busch	Thailand (Bangkok)	NV AC	TC survey (office) For NV: the neutral temperature = 27.4 °C (ET) upper bound of acceptable level 31 °C (ET)
1996	F.H. Mallick [20]	Bangladesh (Dhaka)	NV	TC criteria and building design, comfort vote prediction
1998	T.H. Karyono	Indonesia (Jakarta)	NV AC	TC survey, neutral temperature Impacts cooling on energy conservation
1998	Allison Kwok	Hawaii	NV AC	TC survey (school); investigate thermal Neutrality, preference, acceptability
1996	F. Nicol et al.	Pakistan (five cities)	NV AC	TC survey used adaptive approach, relate indoor Comfort to outdoor climate
1999	J. Khedari et al. [21]	Thailand (Bangkok)	NV	Ventilation comfort chart, air velocity effects to TC
2002	N.H. Wong et al.	Singapore	NV	Neutral temperature 28.9 °C (operative temperature)

The summary of findings from some previous thermal comfort studies in the tropics are shown in Table 1.

on 21 August. On this day, a shower occurred before dawn and lasted till early morning. The rest of the morning was

DETERMINANTEN

Uit de literatuur blijken een aantal determinanten van invloed op de beleving en de prestatie van de gebruikers van de klaslokalen. De volgende determinanten werden geselecteerd en geoperationaliseerd met de volgende variabelen:

1. Beleving van het lokaal (attitude, geluid, licht)
2. Beleving van de temperatuur (gevoelstemperatuur, wens tot aanpassing, acceptatie)
3. Beleving van de lucht (geur, luchtvochtigheid, luchtsnelheid)
4. Toestand van de gebruiker (welzijn, fitheid, concentratie)

DESIGN

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van mixed methods, namelijk een concurrent explanatory design. Er zijn twee vragenlijsten:

1. Kwantitatief: Een vragenlijst met meerkeuzevragen die door alle gebruikers, dus leerlingen en de leerkracht wordt ingevuld op de 3 momenten.
2. Kwalitatief: Een vragenlijst met open vragen die alleen door de leerkracht aan het einde van de dag wordt ingevuld.

Tijdens de fysische metingen in de 6 klaslokalen (één natuurlijk geventileerd lokaal en één lokaal met airconditioning per eiland) werd ook de beleving van de gebruikers van de klaslokalen gemeten.

Het belevingsonderzoek bestaat uit 3 meetmomenten, gelijktijdig met het de fysische meting van de omstandigheden in het klaslokaal:

- De eerste meting vindt plaats voorafgaand aan de start van de schooldag.
- De tweede meting vindt halverwege de schooldag plaats.
- De derde meting vindt plaats aan het eind van schooldag, vlak voor de gebruikers het klaslokaal verlaten.

RESPONDENTEN

De gebruikers waarbij werd gemeten:

- De leerlingen (met de minimale leeftijd van 9 jaar)
- De leerkracht

In totaal vulden 221 gebruikers van de lokalen de enquêtes in, waarvan 78 op Bonaire, 60 op St Eustatius en 83 op Saba. Gedurende de dag werden de lokalen door verschillende groepen leerlingen gebruikt. De metingen gedurende de dag werden daardoor steeds door nieuwe

leerlingen ingevuld, waardoor een leereffect geen bedreiging is voor de betrouwbaarheid van de resultaten.

Daarnaast beantwoordden de 6 leerkrachten die lesgeven in de 6 lokalen de uitgebreide vragenlijst.

PROCEDURE

De vragenlijsten waren in drie talen beschikbaar (Engels, Nederlands, Papiamentu). De respondenten konden zelf kiezen in welke taal ze de vragenlijst invullen, zodat taal geen barrière vormde voor deelname aan het onderzoek. Het invullen van de kwantitatieve vragenlijst kostte naar schatting 5 minuten. Het invullen van de kwalitatieve vragenlijst voor de leerkrachten duurde ongeveer 10 minuten.

Vragenlijst

In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de operationalisering van de te meten constructen en de bijbehorende schalen. Alle vragen werden gemeten met behulp van een 5-punts schaal.

Tabel 1: Operationalisering van de constructen

<i>Construct</i>	<i>Item</i>	<i>Schaal (5-puntsschaal (1-5))</i>
Beleving van het lokaal		
Attitude	Wat vind je van dit lokaal?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ik vind dit lokaal helemaal niet fijn 2. Ik vind dit lokaal niet zo fijn 3. Ik vind dit lokaal normaal 4. Ik vind dit lokaal fijn 5. Ik vind dit lokaal heel fijn
Geluid	Wat vind je van het geluid in het lokaal?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Er is te veel herrie 2. Er is een beetje herrie 3. Het geluid is goed 4. Het is een beetje stil 5. Het is veel te stil
Licht	Wat vind je van het licht in het lokaal?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Het is veel te donker 2. Het is een beetje donker 3. Het licht is goed 4. Het licht is een beetje fel 5. Het licht is veel te fel
Beleving van de temperatuur		
Temperatuur	Wat vind je van de temperatuur?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ik vind het hier heel koud 2. Ik vind het hier een beetje koud 3. Ik vind het normaal 4. Ik vind het een beetje warm 5. Ik vind het heel warm
Aanpassing	Wil je het kouder, warmer of dat het hetzelfde blijft?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Het mag veel warmer 2. Het mag een beetje warmer 3. Het mag hetzelfde blijven 4. Het mag een beetje koeler 5. Het mag veel kouder

Acceptatie	Vind je de temperatuur acceptabel?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ik vind het helemaal niet acceptabel 2. Ik vind het niet acceptabel 3. Ik vind het gemiddeld 4. Ik vind het acceptabel 5. Ik vind het zeer acceptabel
Beleving van de lucht		
Geur	Wat vind je van de geur in het lokaal?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Het stinkt heel erg 2. Het stinkt een beetje 3. Het ruikt gewoon 4. Het ruikt wel lekker 5. Het ruikt heel erg lekker
Luchtvochtigheid	Wat vind je van de lucht in het lokaal?	<ol style="list-style-type: none"> 1. De lucht is veel te droog 2. De lucht is een beetje droog 3. De lucht is goed 4. De lucht is een beetje vochtig 5. De lucht is heel erg vochtig
Luchtsnelheid	Wat vind je van de fan/airco in het lokaal?	<ol style="list-style-type: none"> 1. De fan/airco blaast veel te veel 2. De fan/airco blaast een beetje te veel 3. De fan/airco staat goed 4. De fan/airco blaast te weinig 5. De fan/airco blaast veel te weinig
Toestand van de gebruiker		
Welzijn	Hoe voel je je op dit moment?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ik voel me heel slecht 2. Ik voel me slecht 3. Ik voel me normaal 4. Ik voel me goed 5. Ik voel me heel goed
Fitheid	Hoe fit ben je?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ik ben heel moe 2. Ik ben een beetje moe 3. Ik ben normaal 4. Ik ben best fit 5. Ik heb heel veel energie
Concentratie	Kun je je concentreren?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ik kan me heel slecht concentreren 2. Ik kan me slecht concentreren 3. Mijn concentratie is gemiddeld 4. Ik kan me goed concentreren 5. Ik kan me heel goed concentreren

ONDERZOEKSDESIGN EN MEETPROGRAMMA

Het onderzoek is uitgevoerd in de warme periode op 30 september in 2 lokalen van de Scholen Gemeenschap Bonaire, op 3 oktober in 2 lokalen van de Comprehensive School op Saba en op 4 oktober in 2 lokalen van de G. Van Puttenschool op St. Eustatius. Op iedere school zijn gedurende 1 dag 3 series metingen uitgevoerd: bij aanvang van het gebruik van het lokaal, halverwege de gebruikperiode en aan het einde van de gebruikperiode van het lokaal.

De volgende metingen zijn uitgevoerd:

- buitentemperatuur
- oppervlaktetemperatuur buitengevels
- binnentemperatuur
- oppervlaktetemperatuur binnenzijde gevels en binnenwanden
- oppervlaktetemperatuur plafond en vloer
- windsnelheid buiten
- luchtsnelheid binnen
- luchtvochtigheid buiten
- luchtvochtigheid binnen
- CO₂-gehalte buiten
- CO₂-gehalte binnen

Tevens zijn metingen gedaan middels zogenoemde 'loggers'. Deze hebben de luchttemperatuur en de luchtvochtigheid in de lokalen ieder kwartier gemeten tussen 9 uur 's avonds en 2 uur 's middags de volgende dag.

Op Bonaire is op 27 januari 2011 een extra meting gedaan.

Dit onderzoek is indicatief voor een natuurlijk geventileerd lokaal in de koele periode van het jaar. Het is niet zinvol om tevens een airco gekoeld lokaal te onderzoeken in de koele periode. Dat zou wel interessant geweest zijn als het energiegebruik onderdeel van het onderzoek zou zijn geweest. Het doel was vooral om te zien welk binnenklimaat bereikt kan worden in de koelere periode in een lokaal dat voldoende 'op de wind' is gebouwd.

Bij dit onderzoek zijn twee metingen uitgevoerd in een lokaal van de Scholen Gemeenschap Bonaire.

In de vragenlijsten zijn ook vragen over geluid en verlichting opgenomen. Hier zijn geen metingen naar gedaan, zodat geen

vergelijking gemaakt kan worden tussen beleving en meetgegevens. Wel zijn er naast de gevonden belevingswaarden algemene waarnemingen van de onderzoekers voor deze twee aspecten. Deze resultaten zijn derhalve subjectief en ze maken geen formeel deel uit van dit onderzoek.

RESULTATEN

ANALYSE MEETRESULTATEN

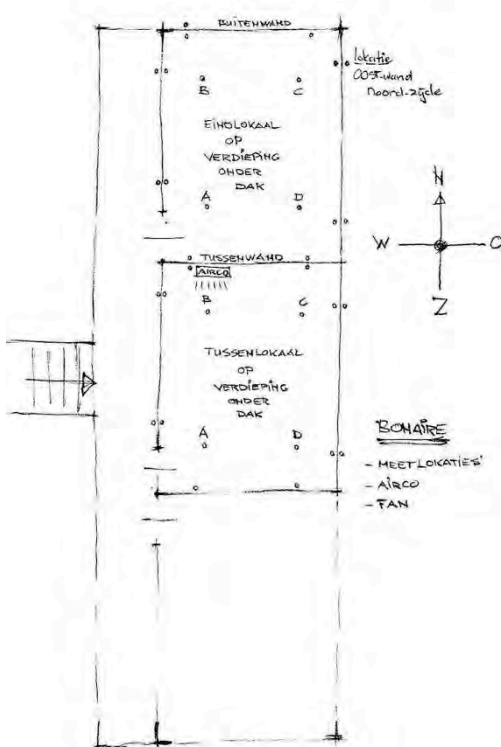
De onderzoeksresultaten zijn per school geanalyseerd. Deze worden in tabelvorm weergegeven op de volgende pagina's.

Op de linker pagina zijn de meetgegevens vermeld, aangevuld met een situatieschets en een foto. Op de rechter pagina zijn de gegevens geanalyseerd.

Bonaire Scholengemeenschap 30 september 2011 lokaal zonder airco													
luchttemperatuur in lokaal gemeten met handmeter en logger. Luchtvochtigheid gemeten met logger. Zie bijlage voor loggegevens.													
Meetpunten	meting 1 07.15 - 07.45 u				meting 2 11.00 - 11.30 u				meting 3 13.45 - 14.15 u				opmerkingen
	locatie 1n*	locatie 1o*	locatie 1z*	locatie 1w*	locatie 2n	locatie 2o	locatie 2z	locatie 2w	locatie 3n	locatie 3o	locatie 3z	locatie 3w	
wand noord bi		29		29		31.7		31.2		32.3		32.1	
wand noord bu		30.4		30.4		30.5		30.5		35.4*		x	* in de zon
wand oost bi	28.6		28.6		33.2		32.5		33.6		33.4		
wand oost bu	36.6		36.6		34.4		34.5		34.4		33.9		
wand zuid bi		28.5		28.5		30.7		31		31.5		31.8	
wand zuid bu		29		29		29.6		29.3		30.5		30.1	binnenwand
wand west bi	29		29		31.6		31.3		32.7		32.9		
wand west bu	30.4		30.5		33.5		33.5		35.4		35.4		
	locatie 1A	locatie 1B	locatie 1C	locatie 1D	locatie 2A	locatie 2B	locatie 2C	locatie 2D	locatie 3A	locatie 3B	locatie 3C	locatie 3D	
plafond	29.2	29.1	29.3	29.1	32.3	32.3	32.1	32.1	33.1	32.7	32.8	33.1	
vloer	28.7	29.3	29.3	28.6	30.6	31.3	31.3	30.6	31.6	32	31.9	31.1	
luchttemperatuur	28.5				33.1				32.6				
luchttemp logger	28.7				31.6				32.3				
luchtvochtigheid bi	84.1				69.6				65.9				
luchtvochtigheid bu	68				68				68				gemiddeld, +/- 2
luchtsnelheid bi	0 - 0.5				1 a 2				0 - 1, soms 2				
CO2 bi [ppm]	375				385				375				
CO2 bu [ppm]	375				385				375				
buitentemperatuur	30				33				33.5				
weersgesteldheid	zonnig				zonnig				zonnig				
windsnelheid	2 - 3, soms 4				1 a 2, soms 4 a 5				2 a 3				
windrichting	oost-zuid-oost				oost-zuid-oost				oost-zuid-oost				

* aanduidingen: noordzijde, oostzijde, zuidzijde en westzijde

plattegrond lokalen en foto westgevel

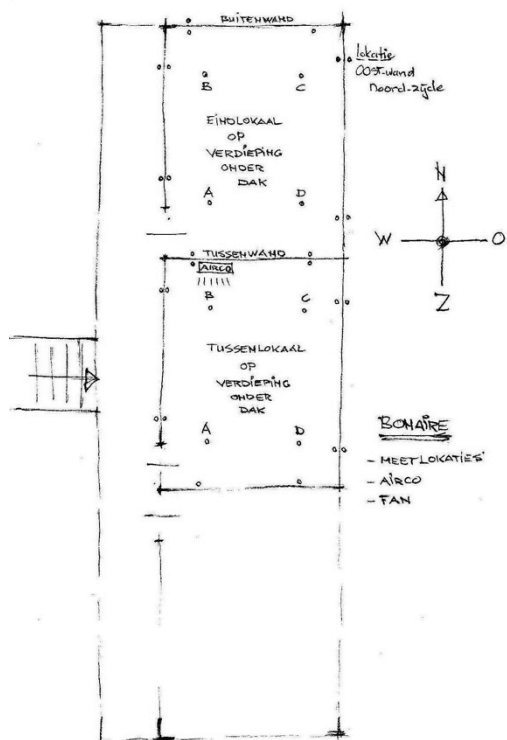


Bonaire Scholengemeenschap Bonaire (SGB)	Meting 30 september 2011, lokaal zonder airco
School en lokaal	Het betreft een middelbare school met diverse opleidingen. Het gemeten lokaal bevindt zich op de bovenste laag en aan de noordzijde in een nieuwbouwblok van twee lagen dat ontworpen is voor natuurlijke ventilatie. Zowel oost- als westgevel zijn voorzien van shutters. Deze shutters zijn tot een bepaalde hoogte van aluminium, daarboven van glas. Het glasgedeelte komt daardoor niet in de zon. Het dak heeft aan beide zijden een behoorlijk overstek.
Oriëntatie	Dit gebouw is met de lange gevel georiënteerd op het oosten, hetgeen in principe ongunstig is vanwege de opwarming door de opkomende en ondergaande zon.
Omstandigheden	De omstandigheden zijn kenmerkend voor de warme periode. Het was een echt warme dag met temperaturen tot 34°C, hetgeen ook voor de warme periode hoog is. Normaal is 32 tot 33°. De ochtendtemperatuur is 30° C en er is een lichte wind van 2 tot 4 m/s. Het is overwegend zonnig.
Bijzonderheden	Voor een lokaal dat is ontworpen op natuurlijke ventilatie/koeling is het opmerkelijk dat er geen plafondfans aanwezig zijn voor wind-arme dagen. Het dak is geïsoleerd met boven de isolatieplaten een luchtspouw en een aluminium golfplaat. De wanden zijn niet geïsoleerd. De wanden zijn aan de buitenzijde lichtblauw geschilderd. De shutters zijn zover mogelijk open gezet. Sommige zijn echter niet meer goed regelbaar doordat het mechaniek kapot is gegaan. Het lokaal had een wisselende bezetting met ongeveer 15 tot 20 leerlingen.
Temperatuur	De buitentemperatuur loopt gedurende de meetperiode (= lesperiode) op van 30 tot 33.6°C. De binnentemperatuur loopt in dezelfde periode op van 28.6 tot 32.5°C. (gemiddelde van meting met handmeter en logger) Gemiddeld is de binnentemperatuur 0.7 tot 1.5° lager dan de buitentemperatuur. De binnentemperatuur is de hele lesperiode hoger dan de aangegeven maximum temperatuur. De stralingstemperatuur van vloer, plafond of wanden is nergens meer dan 2° afwijkend van de binnentemperatuur. Dit heeft derhalve geen invloed op de gevoelstemperatuur.
Luchtvochtigheid	De luchtvochtigheid is in de ochtend binnen 84% tegen 68% buiten. Dit is te verklaren uit het feit dat het lokaal gedurende de nacht afgesloten is. Zodra de shutters open zijn is de RV binnen vrijwel gelijk aan die buiten. Gemiddeld over de dag is de RV ongeveer 68%, wat net beneden het maximum is.
Luchtsnelheid	De luchtsnelheid die binnen is gemeten varieert van 0.5 tot 2 m/s. Dit is logisch aangezien we te maken hebben met een natuurlijk geventileerde ruimte en de wind niet constant is. De windsnelheden varieerden van 1 tot 3 en soms tot 4 a 5 m/s. Hieruit blijkt dat de luchtsnelheden binnen ongeveer de helft zijn van de windsnelheid buiten, hetgeen aangemerkt kan worden als te verwachten bij deze constructie. Deze snelheden liggen (ver) boven de comfortgrens van 0.5 m/s.
Lucht kwaliteit	Het CO2 gehalte is gelijk aan dat van de buitenlucht, aangezien er een behoorlijke luchtverversing is door de wind. Dit voldoet aan de gewenste waarde.
Samenvattende conclusie	Het lokaal is veel warmer dan gewenst. De overschrijding van de maximaal gewenste temperatuur (25°C) varieert van 3.6° tot 7.5°. De overige parameters voldoen aan de gewenste waarden. De luchtsnelheid is soms te hoog en de windvlagen zijn te wisselend. De luchtvochtigheid zit op de grens van de gewenste waarde.

Bonaire Scholengemeenschap 30 september 2011 lokaal met airco (1 unit in werking, 2e unit nog niet geplaatst)													
luchttemperatuur in lokaal gemeten met handmeter en logger. Luchtvochtigheid gemeten met logger. Zie bijlage voor loggegevens.													
Meetpunten	meting 1 07.45 - 08.15 u				meting 2 10.30 - 11.00 u				meting 3 13.00 - 13.30 u				opmerkingen
	locatie 1n*	locatie 1o*	locatie 1z*	locatie 1w*	locatie 2n	locatie 2o	locatie 2z	locatie 2w	locatie 3n	locatie 3o	locatie 3z	locatie 3w	
wand noord bi		29.0		29.0		29.6		29.3		30.5		30.1	binnenwand
wand noord bu		28.5		28.5		30.7		31.0		31.5		31.8	binnenwand
wand oost bi	29.1		29.0		31.9		31.3		32.8		32.5		
wand oost bu	36.5		36.5		35.0		35.0		35.6		35.2		
wand zuid bi		29.0		29.0		29.1		29.1		29.5		29.5	
wand zuid bu		x		x		x		x		x		x	binnenwand, niet gemeten
wand west bi	29.0		29.0		29.9		29.3		30.9		31.8		
wand west bu					30.1		30.0		35		34.7		
	locatie 1A	locatie 1B	locatie 1C	locatie 1D	locatie 2A	locatie 2B	locatie 2C	locatie 2D	locatie 3A	locatie 3B	locatie 3C	locatie 3D	
plafond	29.7	29.6	29.3	29.4	32.1	30.2	30.5	30.4	32.0	31.0	31.5	31.5	
vloer	28.7	28.5	28.8	29.8	29.0	28,4	29.3	29.2	29.7	29.1	29.6	29.6	
luchttemperatuur	28.6				30				32				
luchttemp logger	29.1				30.1				30.7				
luchtvochtigheid bi	68.8				64.6				58.4				
luchtvochtigheid bu	68				68				68				gemiddeld, +/- 2
luchtsnelheid bi	0.8 - 1*				0.8 - 1				0				* op 1 m van airco
CO2 bi [ppm]	660				1015				1000				ong 20 pers in lokaal
CO2 bu [ppm]	375				385				375				
buitentemperatuur	30				33				33.5				
weersgesteldheid	zonnig				zonnig				zonnig				
windsnelheid	2 - 3, soms 4				1 - 2, soms 4 - 5				3-Feb				
windrichting	oost-zuid-oost				oost-zuid-oost				oost-zuid-oost				

* aanduidingen: noordzijde, oostzijde, zuidzijde en westzijde

shutters gesloten, 1 airco aangesloten

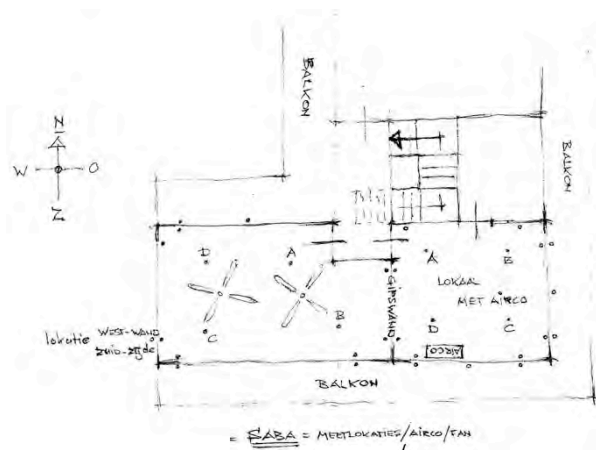


Bonaire Scholengemeenschap Bonaire (SGB)	Meting 30 september 2011, lokaal met airco
School en lokaal	Het betreft een middelbare school met diverse opleidingen. Het gemeten lokaal bevindt zich op de bovenste laag en in het midden van een nieuwbouwblok in twee lagen dat ontworpen is voor natuurlijke ventilatie. Dit lokaal ligt naast het lokaal dat gemeten is in de situatie zonder airco.
Oriëntatie	Dit gebouw is met de lange gevel georiënteerd op het oosten. Zowel oost- als westgevel zijn voorzien van shutters. Deze shutters zijn tot een bepaalde hoogte van aluminium, daarboven van glas. Het glasgedeelte komt daardoor niet in de zon. Het dak heeft aan beide zijden een behoorlijk overstek.
Omstandigheden	De omstandigheden zijn kenmerkend voor de warme periode. Het was een echt warme dag met temperaturen tot 34°C, hetgeen ook voor de warme periode hoog is. Normaal is 32 tot 33°. De ochtendtemperatuur is 30° C en er is een lichte wind van 2 tot 4 m/s. Het is overwegend zonnig.
Bijzonderheden	Voor een lokaal dat is ontworpen op natuurlijke ventilatie/koeling is het opmerkelijk dat er geen plafondfans aanwezig zijn voor wind-arme dagen. Het dak is geïsoleerd met boven de isolatieplaten een luchtspouw en een aluminium golfplaat. De wanden zijn niet geïsoleerd. De wanden zijn aan de buitenzijde lichtblauw geschilderd. De shutters zijn zo goed mogelijk gesloten. Sommige zijn echter niet meer goed regelbaar doordat het mechaniek kapot is gegaan. Het lokaal had een wisselende bezetting met ongeveer 15 tot 20 leerlingen. De airco installatie bestaat uit 2 split units. Er was slechts 1 unit in werking. De tweede was nog niet geplaatst. Bij het uitvoeren van de metingen was niet bekend dat er nog een tweede unit geplaatst moest worden. Dit werd bekend nadat de metingen waren uitgevoerd.
Temperatuur	De buitentemperatuur loopt gedurende de meetperiode (= lesperiode) op van 30 tot 33.6°C. De binnentemperatuur loopt in dezelfde periode op van 28.8 tot 31.3°C. (gemiddelde van meting met handmeter en logger) Gemiddeld is de binnentemperatuur 1.2 tot 3° lager dan de buitentemperatuur. De binnentemperatuur is de hele lesperiode hoger dan de aangegeven maximum temperatuur. De stralingstemperatuur van vloer, plafond of wanden is nergens meer dan 2° afwijkend van de binnentemperatuur. Dit heeft derhalve geen invloed op de gevoelstemperatuur.
Luchtvochtigheid	De luchtvochtigheid is in de ochtend binnen vrijwel hetzelfde als buiten. Door de airco daalt daarna de RV tot 58.4%, hetgeen de gewenste RV is. Gemiddeld over de lesperiode is de RV ongeveer 64%, wat aanvaardbaar is.
Luchtsnelheid	De luchtsnelheid die binnen is gemeten varieert van 0 tot 1 m/s in de luchtstroom van de airco. Dichtbij de airco is dit teveel, daarbuiten is de luchtstroom niet meer merkbaar.
Luchtqualiteit	Het CO2 gehalte is in de ochtend al meteen te hoog. Dit is te verklaren uit het gegeven dat het lokaal de hele nacht afgesloten is geweest en het CO2 gehalte de dag daarvoor waarschijnlijk hoog is geweest. Gedurende de lesperiode loopt het gehalte op tot 1000, wat nog onder het maximum ligt, maar hoger dan gewenst.
Samenvattende conclusie	Het lokaal is warmer dan gewenst. De overschrijding van de maximaal gewenste temperatuur (25°C) varieert van 3.8° tot 6.3°. Dit is slechts deels te verklaren door het nog niet geplaatst zijn van de tweede unit. De koelcapaciteit lijkt te laag, maar er kan ook een defect aan deze airco geweest zijn. Er kan ook een foute afstelling zijn geweest. De luchtsnelheid van de airco is te hoog. De luchtvochtigheid is gunstig aan het einde van de lesperiode. Na plaatsing van de tweede unit zal dit al sneller voldoende zijn. Door het niet aanwezig zijn van de tweede unit is deze meting niet representatief voor een airco gekoeld lokaal. Uit de bouwkundige constructie is af te leiden dat de wanden nauwelijks een isolerende werking hebben. Opmerkelijk is dat aan het plafond vrij hoge temperaturen gemeten worden, ondanks de aanwezige isolatie. De oostwand staat in de vroege ochtend deels in de zon, waardoor deze wand ook aan de binnenzijde warmer is dan de overige wanden.

Saba Comprehensive School 3 oktober 2011 lokaal zonder airco, met 2 plafondfans													
luchttemperatuur in lokaal gemeten met handmeter en logger. Luchtvochtigheid gemeten met logger. Zie bijlage voor loggegevens.													
Meetpunten	meting 1 07.15 - 07.45 u				meting 2 10.15 - 10.45 u				meting 3 13.00 - 13.30 u				opmerkingen
	locatie 1n*	locatie 1o*	locatie 1z*	locatie 1w*	locatie 2n	locatie 2o	locatie 2z	locatie 2w	locatie 3n	locatie 3o	locatie 3z	locatie 3w	
wand noord bi		27.5		26.9		28.5		27.5		29.5		28.7	
wand noord bu		29.1		29.1		29.2		29.2		29.4		29.4	
wand oost bi	27.5		27.5		28.5		28.4		29.2		29.2		
wand oost bu	26.1		26.2		24.5		24.5		24.6		24.5		
wand zuid bi		26.9		26.9		27.7		27.6		28.6 (38*)		29	* = op glas gemeten
wand zuid bu		29.9		29.9		30.1		30.1		36.8*		32.3*	* = op glas gemeten
wand west bi	26.9		26.9		27.3		27.9		29.2		29.2		
wand west bu	29.1		29.1		29.2		29.2		29.4		29.4		
	locatie 1A	locatie 1B	locatie 1C	locatie 1D	locatie 2A	locatie 2B	locatie 2C	locatie 2D	locatie 3A	locatie 3B	locatie 3C	locatie 3D	
plafond	27.8	27.8	27.5	27.3	28	28.5	28	28.3	29.2	29.5	29	29	
vloer	28	28.1	28	27.9	28.4	28.5	28.5	28	29	29.5	29.3	28.8	
luchttemperatuur	27.5				28.9				29.3				
luchttemp logger	27.8				28.5				29.2				
luchtvochtigheid bi	76.8				76.2				74				
luchtvochtigheid bu	72				72				72				gemiddeld, +/- 2
luchtsnelheid bi	0 - 0.5 / 1-3 m/s bij open raam noordzijde				0 - 0.5 / 1-3 m/s bij open raam noordzijde				0.5 - 1.5 m/s				2 x plafondfan
CO2 bi [ppm]	355				575 / 450 bij open raam				525 / 430 bij open raam				
CO2 bu [ppm]	355				425				425				
buitentemperatuur	26				28				30				
weersgesteldheid	zonnig, verspreide bewolking				zonnig, verspreide bewolking				zonnig, verspreide bewolking				
windsnelheid	1-3 m/s				1-3 m/s				1-3 m/s				
windrichting	N-O				N-O				N-O				

* aanduidingen: noordzijde, oostzijde, zuidzijde en westzijde

Plattegrond lokalen, ramen beperkt geopend, deels niet meer te openen.

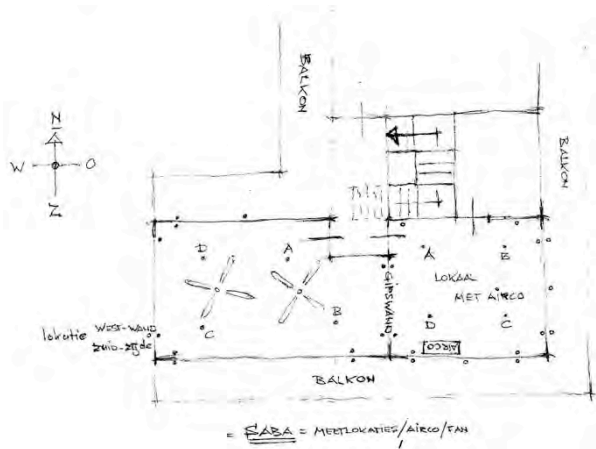


Saba Saba Comprehensive School	Meting 3 oktober 2011, lokaal zonder airco
School en lokaal	Het betreft een middelbare school met diverse opleidingen. Het gemeten lokaal bevindt zich op de bovenste laag aan de zuidwestzijde in een oudbouwblok in twee lagen dat oorspronkelijk ontworpen is voor natuurlijke ventilatie. Al geruime tijd worden deze lokalen met airco gekoeld. Voor deze meting is de airco uitgeschakeld.
Oriëntatie	Dit gebouw is met de lange gevel georiënteerd op het zuiden. De zuid- en de noordgevel zijn voorzien van kleine schuiframen. Deze ramen konden niet alle meer geopend worden. Door de situering komt alleen de zuidgevel na 13.00 uur in de zon. Dit is vrijwel het einde van de lestijd.
Omstandigheden	De omstandigheden zijn kenmerkend voor de warme periode. Het was een dag met temperaturen tot 30°C, hetgeen voor de warme periode normaal is. De ochtendtemperatuur is 26° C en er is een lichte wind van 1 tot 3 m/s. Het is overwegend zonnig met een lichte bewolking.
Bijzonderheden	De ramen kunnen slechts beperkt open, waardoor er weinig wind door het lokaal waait. De 2 plafondfans geven enige luchtbeweging wat prettig aanvoelt. Het lokaal had een wisselende bezetting met ongeveer 10 tot 15 leerlingen.
Temperatuur	De buitentemperatuur loopt gedurende de meetperiode (= lesperiode) op van 26 tot 30°C. De binnentemperatuur loopt in dezelfde periode op van 27.6 tot 29.2°C. (gemiddelde van meting met handmeter en logger) In de ochtend is de binnentemperatuur hoger dan de buitentemperatuur. Dit komt omdat het lokaal gedurende de nacht gesloten was en er waarschijnlijk veel warmte binnenkomt gedurende de middag als de zon op de zuidgevel staat. Aan het einde van de meetperiode is de binnentemperatuur 0.8° lager dan buiten. De binnentemperatuur is de hele lesperiode hoger dan de aangegeven maximum temperatuur. De stralingstemperatuur van vloer, plafond of wanden is nergens meer dan 2° afwijkend van de binnentemperatuur. Dit heeft derhalve geen invloed op de gevoelstemperatuur.
Luchtvochtigheid	De luchtvochtigheid is in de ochtend binnen 76.8% tegen 72% buiten. Dit is te verklaren uit het feit dat het lokaal gedurende de nacht afgesloten is. Zodra de ramen open zijn daalt de RV binnen langzaam tot 74% wat net boven de rv van de buitenlucht ligt. Dit is verklaarbaar door de relatief geringe luchtverversing vanwege de kleine raamopeningen. Gemiddeld over de dag is de RV ongeveer 75%, wat boven het maximum is.
Luchtsnelheid	De luchtsnelheid die binnen is gemeten varieert van 0 tot 0.5 m/s. Dit is conform de gewenste luchtbeweging. Bij de geopende ramen is de snelheid soms hoger door de windvlagen.
Luchtqualiteit	Het CO2 gehalte is iets hoger dan dat van de buitenlucht doordat er beperkte ventilatie is door de relatief kleine raamopeningen. De waarden vallen ruim binnen de gewenste waarden.
Samenvattende conclusie	Het lokaal is warmer dan gewenst. De overschrijding van de maximaal gewenste temperatuur (25°C) varieert van 2.6° tot 4.2°. De luchtvochtigheid zit boven de grens van de gewenste waarde.

Saba Comprehensive School 3 oktober 2011 lokaal met airco (2 plafondfans, zeer langzaam) orkaanshutters geplaatst.													
luchttemperatuur in lokaal gemeten met handmeter en logger. Luchtvochtigheid gemeten met logger. Zie bijlage voor loggegevens.													
Meetpunten	meting 1 07.45 - 08.15 u				meting 2 10.45 - 11.15 u				meting 3 13.30 - 14.00 u				opmerkingen
	locatie 1n*	locatie 1o*	locatie 1z*	locatie 1w*	locatie 2n	locatie 2o	locatie 2z	locatie 2w	locatie 3n	locatie 3o	locatie 3z	locatie 3w	
wand noord bi		26.1		26.2		25.6		25.4		25.4 (25.4*)		24.9	* gemeten op glas
wand noord bu		x		x		x		x		x		x	aangrenzend lokaal
wand oost bi	26.2		26.2		27.1*		25.9		25.5 (25.5*)		26.1		* gemeten op glas
wand oost bu	30		30		29.3		29.3		27.3		27.8		
wand zuid bi		26.8		26.4		25.9 (26.5*)		25.5		26.0 (28.9*)		25.9	* gemeten op glas
wand zuid bu		29.7		29.7		29.9		29.9		34.5		34.2	
wand west bi	26.1		26.2		24.5		24.5		24.6		24.5		
wand west bu	27.5		27.5		28.5		28.4		29.2		29.2		binnenwand
	locatie 1A	locatie 1B	locatie 1C	locatie 1D	locatie 2A	locatie 2B	locatie 2C	locatie 2D	locatie 3A	locatie 3B	locatie 3C	locatie 3D	
plafond	26.3	26.1	26.7	26.8	25.3	26.1	26.3	25.7	25.5	25.5	26.4	26	
vloer	26.9	26.7	27.2	27	25.5	26	26	25.8	25.1	24.9	25.8	25.4	
luchttemperatuur	24.7				23.5				24				
luchttemp logger	25.7				24				23.6				
luchtvochtigheid bi	55.7				51.6				47.1				
luchtvochtigheid bu	72				72				72				gemiddeld, +/- 2
luchtsnelheid bi	0 - 0.5 (1 - 1.5)*				1 - 0.5 (1 - 1.5*)				1 - 0.5 (1 - 1.5*)				* luchtstroom airco
CO2 bi [ppm]	1020				2175				1680 - 1700				
CO2 bu [ppm]	350				425				425				
buitentemperatuur	26.7				28.3				30				
weersgesteldheid	zonnig				zonnig				zonnig				
windsnelheid	0.5 - 1.5				1 a 2				1 a 2				
windrichting	N-O				N-O				N-O				

* aanduidingen: noordzijde, oostzijde, zuidzijde en westzijde

Tekening situering lokalen, foto waarop zichtbaar aanwezige storm shutters.

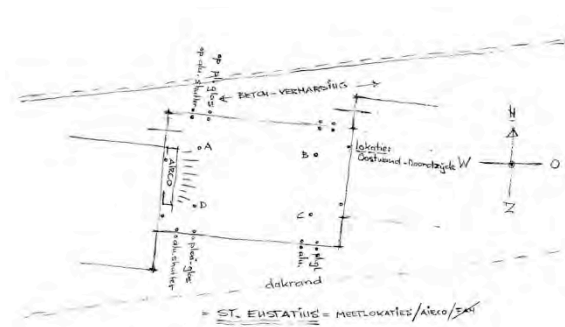


Saba Saba Comprehensive School	Meting 3 oktober 2011, lokaal met airco
School en lokaal	Het betreft een middelbare school met diverse opleidingen. Het gemeten lokaal bevindt zich op de bovenste laag aan de zuidoostzijde in een oudbouwblok in twee lagen dat oorspronkelijk ontworpen is voor natuurlijke ventilatie. Al geruime tijd worden deze lokalen met airco gekoeld.
Oriëntatie	Dit gebouw is met de lange gevel georiënteerd op het zuiden. De zuidgevel heeft kleine schuiframen die op de dag van de meting voorzien waren van orkaan shutters en dus volledig gesloten waren. De oostgevel heeft geen ramen. De noordgevel grenst aan een ander gebouwdeel. Door de situering komt alleen de zuidgevel na 13.00 uur in de zon. Dit is vrijwel het einde van de lestijd.
Omstandigheden	De omstandigheden zijn kenmerkend voor de warme periode. Het was een dag met temperaturen tot 30°C, hetgeen voor de warme periode normaal is. De ochtendtemperatuur is 26° C en er is een lichte wind van 1 tot 3 m/s. Het is overwegend zonnig met een lichte bewolking.
Bijzonderheden	De 2 plafondfans draaien heel langzaam en geven enige luchtbeweging wat prettig aanvoelt. Het lokaal had een wisselende bezetting met ongeveer 10 tot 15 leerlingen.
Temperatuur	De buitentemperatuur loopt gedurende de meetperiode (= lesperiode) op van 26 tot 30°C. De binnentemperatuur neemt in dezelfde periode af van 25.2 tot 23.8°C. (gemiddelde van meting met handmeter en logger) In de ochtend is de binnentemperatuur al iets lager dan de buitentemperatuur. Dit komt omdat het lokaal gedurende de nacht gesloten was en de airco al voor het begin van de lestijden aangezet wordt. Aan het einde van de meetperiode is de binnentemperatuur 6.2° lager dan buiten. De binnentemperatuur is de hele lesperiode binnen de grenzen van de gewenste temperatuur. De stralingstemperatuur van vloer of plafond is nergens meer dan 2° afwijkend van de binnentemperatuur. De oost- en de zuidgevel hebben gedurende ¼ van de meetperiode een iets meer dan 2° hoger temperatuur, met name op het glas. Dit is deels ook het gevolg van de aanwezige orkaan shutters. Dit heeft een beperkte invloed op de binnentemperatuur. In de buurt van deze wanden/ramen zal de gevoelstemperatuur ongeveer 1° hoger zijn. Daarmee wordt de maximum temperatuur van 25°C nog niet overschreden.
Luchtvochtigheid	De luchtvochtigheid is in de ochtend binnen 55.7% tegen 72% buiten. Dit is te verklaren uit het feit dat het lokaal gedurende de nacht afgesloten is en het lokaal de dag ervoor ook gekoeld werd. De RV daalt gedurende de lestijd tot 47.1%. Gemiddeld over de dag is de RV ongeveer 51%, wat binnen de gewenste marges van 40 tot 60% is.
Luchtsnelheid	De luchtsnelheid die binnen is gemeten varieert van 0 tot 0.5 m/s. Dit is conform de gewenste luchtbeweging. Bij de airco is de snelheid 1 tot 1.5 m/s. Dit is te hoog.
Luchtkwaliteit	Het CO2 gehalte is in de ochtend al hoger dan gewenst, maar nog wel onder het maximum. Dit komt doordat het lokaal gedurende de nacht niet is geventileerd. Gedurende een deel van de lestijd loopt het CO2 gehalte op tot boven 2000 ppm. Tegen het einde van de lestijd daalt dit weer tot 1700 ppm. Deze waarden vallen ruim buiten de maximale waarde van 1200 ppm.
Samenvattende conclusie	Het lokaal heeft een goede temperatuur. De luchtsnelheid van de airco is boven de gewenste waarde. Het CO2 gehalte is ver boven de gewenste waarde. De westgevel komt in het begin van de middag al in de zon, waardoor deze wand erg warm wordt en er dus meer warmte naar binnen komt.

St. Eustatius G. van Puttenschool 4 oktober 2011 lokaal zonder airco													
luchttemperatuur in lokaal gemeten met handmeter en logger. Luchtvochtigheid gemeten met logger. Zie bijlage voor loggegevens.													
Meetpunten	meting 1 08.30 - 09.00 u				meting 2 10.45 - 11.15 u				meting 3 13.45 - 14.15 u				opmerkingen
	locatie 1n*	locatie 1o*	locatie 1z*	locatie 1w*	locatie 2n	locatie 2o	locatie 2z	locatie 2w	locatie 3n	locatie 3o	locatie 3z	locatie 3w	
wand noord bi		29.4*/29.6**		29.5*/29.9**		30.9*/31.2**		31.5*/32.3**		31.1*/31.7**		32.2*/32.7**	* op plexiglas ** op alu shutter
wand noord bu		29.9*/29.8**		30.0*/30.2**		31.6*/31.8**		32.4*/32.7**		31.6*/31.6**		32.5*/32.8**	* op plexiglas ** op alu shutter
wand oost bi		28.9		28.7	29.7		29.5		30.3		30.2		niet gemeten, binnenwand
wand oost bu	x		x		x		x		x		x		niet gemeten, binnenwand
wand zuid bi		29.3*/29.3**		29.3*/29.3**		30.4*/30.4**		30.4*/30.7**		30.6*		30.7*30.8**	* op plexiglas ** op alu shutter
wand zuid bu		30.3*		30.7*/30.3**		30.3*		30.3*		30.0*		30.4*	* op plexiglas ** op alu shutter
wand west bi		29.1		28.8	29.7		29.7		30.5		30.4		niet gemeten, binnenwand
wand west bu	x		x		x		x		x		x		niet gemeten, binnenwand
	locatie 1A	locatie 1B	locatie 1C	locatie 1D	locatie 2A	locatie 2B	locatie 2C	locatie 2D	locatie 3A	locatie 3B	locatie 3C	locatie 3D	
plafond	30	30.8	29.5	29.3	31.4	34.8	30.9	31.3	31.7	33.2	30.7	30.6	
vloer	29.3	29.2	29.0	29.0	31.1	30.1	29.7	29.9	30.7	30.4	30.1	30.2	
luchttemperatuur	29.1				30.4				30.6				
luchttemp logger	29.4				30.8				30.9				
luchtvochtigheid bi	75.4				70.8				69.8				
luchtvochtigheid bu	69				69				69				
luchtsnelheid bi	0 - 0.5				0 - 0.5				0 - 0.5				
CO2 bi [ppm]	470				450				400				
CO2 bu [ppm]	375				375				400				
buitentemperatuur	30				30.5				31				
weersgesteldheid	zonnig, verspreide bewolking				zonnig, verspreide bewolking				zonnig, verspreide bewolking				
windsnelheid	1-4 m/s				2-4 m/s				2-3.5 m/s				
windrichting	oost				oost				oost				

* aanduidingen: noordzijde, oostzijde, zuidzijde en westzijde

Tekening situering, foto geopende shutters zuidgevel. Onderzijde niet te openen vanwege defect mechanisme.

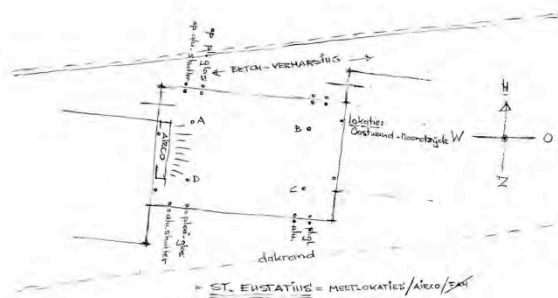


St. Eustatius G. van Puttenschool	Meting 4 oktober 2011, lokaal zonder airco
School en lokaal	Het betreft een middelbare school met diverse opleidingen. Het gemeten lokaal bevindt zich in een eenlaags bouwblok dat oorspronkelijk ontworpen is voor natuurlijke ventilatie. Al geruime tijd worden deze lokalen met airco gekoeld. De zuidgevel en de noordgevel bestaan uit verticale elementen die afwisselend voorzien zijn van aluminium shutters of transparante delen van dubbelwandig Perspex. De daken hebben een ruime overstek waardoor de wanden uit de zon blijven. Dit lokaal bevindt zich in een ander blok dan het lokaal dat gemeten is <u>met</u> airco.
Oriëntatie	Dit gebouw is met de lange gevel op het zuiden georiënteerd.
Omstandigheden	De omstandigheden zijn kenmerkend voor de warme periode. Het was een dag met temperaturen rond 30°C, hetgeen voor de warme periode normaal is. De ochtendtemperatuur is 28° C en er is een lichte wind van 1 tot 4 m/s. Het is overwegend zonnig met een lichte bewolking.
Bijzonderheden	Het lokaal had een wisselende bezetting met ongeveer 10 tot 15 leerlingen.
Temperatuur	De buitentemperatuur loopt gedurende de meetperiode (= lesperiode) op van 30 tot 31°C. De binnentemperatuur loopt in dezelfde periode op van 29.3 tot 30.8°C. (gemiddelde van meting met handmeter en logger) De binnentemperatuur is de hele lesperiode gemiddeld 5° hoger dan het maximum van de gewenste temperatuur. De stralingstemperatuur van vloer, plafond en wanden is nergens meer dan 2° afwijkend van de binnentemperatuur. Dit heeft derhalve geen effect op de gevoelstemperatuur.
Luchtvochtigheid	De luchtvochtigheid is in de ochtend binnen 75.4% tegen 69% buiten. Dit heeft mogelijk te maken met een hogere RV gedurende de nacht. De RV daalt al snel naar een niveau net boven dat van de RV buiten als gevolg van het openen van de ramen. De RV is gemiddeld rond de 70%, wat het maximum van het aanbevolen percentage is.
Luchtsnelheid	De luchtsnelheid die binnen is gemeten varieert van 0 tot 0.5 m/s. Dit is conform de gewenste luchtbeweging. De windrichting (oostelijk) en de oriëntatie van het lokaal is de reden dat er nauwelijks echt wind door het lokaal waait.
Luchtkwaliteit	Het CO2 gehalte is in de ochtend iets hoger dan buiten. Dit komt doordat het lokaal gedurende de nacht niet is geventileerd. Gedurende de lestijd daalt het CO2 gehalte tot 400 ppm., hetzelfde niveau als buiten.
Samenvattende conclusie	Het lokaal heeft een veel te hoge temperatuur (5° te hoog). De overige parameters zijn binnen de gewenste marges.

St. Eustatius G. van Puttenschool 4 oktober 2011 lokaal met airco													
luchttemperatuur in lokaal gemeten met handmeter en logger. Luchtvochtigheid gemeten met logger. Zie bijlage voor loggergegevens.													
Meetpunten	meting 1 07.30 - 08.00 u				meting 2 10.00 - 10.30 u				meting 3 13.15 - 13.45 u				opmerkingen
	locatie 1n*	locatie 1o*	locatie 1z*	locatie 1w*	locatie 2n	locatie 2o	locatie 2z	locatie 2w	locatie 3n	locatie 3o	locatie 3z	locatie 3w	
wand noord bi		24.2*/23.5**		25.0*/24.5**		25.5*/24.6**		26.7*/25.6**		28.0*/27.1**		28.8*/28.3**	* op shutters/ ** op plexiglas
wand noord bu		24.2*/26.6**		24.9*/27.3**		26.4*/29.2**		26.8*/30.2**		30.5*/32.5**		30.5*/32.2**	* op shutters/ ** op plexiglas
wand oost bi	24.2		25.2		23.1		24.4		24.6		24.9		binnenwand
wand oost bu	x		x		x		x		x		x		niet gemeten, binnenwand
wand zuid bi		26.5*/24.5**		28.5*/28.4**		28.7*/25.0**		30.6*/26.4**		30.5*/27.2**		33.2*/27.6**	* op shutters/ ** op plexiglas
wand zuid bu		27.0*/27.7**		28.5*/28.4**		28.7*/29.3**		29.8*/29.9**		30.3*/30.1**		30.3*/30.3**	* op shutters/ ** op plexiglas
wand west bi	25.0		25.6		24.6		25.3		25.2		25.7		binnenwand
wand west bu	x		x		x		x		x		x		niet gemeten, binnenwand
	locatie 1A	locatie 1B	locatie 1C	locatie 1D	locatie 2A	locatie 2B	locatie 2C	locatie 2D	locatie 3A	locatie 3B	locatie 3C	locatie 3D	
plafond	24.2	22.8	23.9	25.6	26.7	23.5	25.1	26.8	29.2	26.2	27.0	28.4	
vloer	24.7	23.4	24.1	25	24.4	22.9	23.6	24.4	25.4	24.4	24.7	24.5	
luchttemperatuur	21*/22.3				22.5				23.7*/24.0				airco uit na 13.30 u
luchttemp logger	22.4				22.4				25.8				* in luchtstroom airco
luchtvochtigheid bi	60				62.1				70.4				
luchtvochtigheid bu	69				69				69				gemiddeld, +/- 2
luchtsnelheid bi	1.5*				2.3*				x				* in luchtstroom airco
CO2 bi [ppm]	750				760				752				
CO2 bu [ppm]	375				375				400				
buitentemperatuur	28.3				30.8				31				
weersgesteldheid	zonnig, verspreide bewolking				zonnig, verspreide bewolking				zonnig, verspreide bewolking				
windsnelheid	1 - 4 m/s				2 - 4 m/s				2 - 3.5 m/s				
windrichting	oost				oost				oost				

* aanduidingen: noordzijde, oostzijde, zuidzijde en westzijde

Tekening situering, shutters gesloten, lichtstroken zijn gemaakt van dubbelwandig acrylaat.

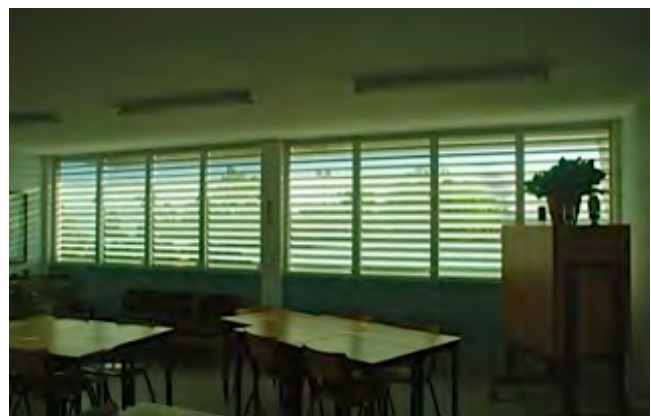
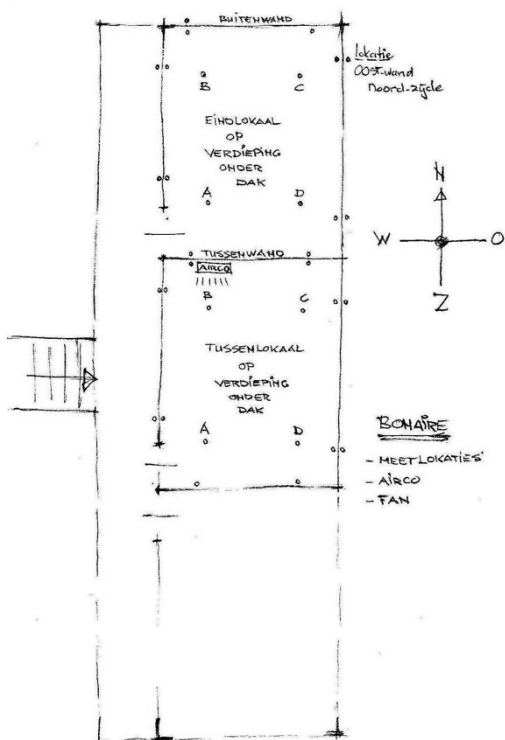


St. Eustatius G. van Puttenschool	Meting 4 oktober 2011, lokaal met airco
School en lokaal	Het betreft een middelbare school met diverse opleidingen. Het gemeten lokaal bevindt zich in een eenlaags bouwblok dat oorspronkelijk ontworpen is voor natuurlijke ventilatie. Al geruime tijd worden deze lokalen met airco gekoeld. De zuidgevel en de noordgevel bestaan uit verticale elementen die afwisselend voorzien zijn van aluminium shutters of transparante delen van dubbelwandig Perspex. De daken hebben een ruime overstek waardoor de wanden uit de zon blijven.
Oriëntatie	Dit gebouw is met de lange gevel georiënteerd op het zuiden.
Omstandigheden	De omstandigheden zijn kenmerkend voor de warme periode. Het was een dag met temperaturen rond 30°C, hetgeen voor de warme periode normaal is. De ochtendtemperatuur is 28° C en er is een lichte wind van 1 tot 4 m/s. Het is overwegend zonnig met een lichte bewolking.
Bijzonderheden	Er hangen grote airco units (split unit systeem) die een behoorlijke luchtstroom geven. Het lokaal had een wisselende bezetting met ongeveer 10 tot 15 leerlingen. Het laatste lesuur is onverwacht uitgevallen zodat geen leerlingen meer aanwezig waren tijdens de laatste meting. De airco is halverwege de meting gestopt.
Temperatuur	De buitentemperatuur loopt gedurende de meetperiode (= lesperiode) op van 28 tot 31°C. De binnentemperatuur neemt in dezelfde periode toe van 22.4 tot 24.9°C. (gemiddelde van meting met handmeter en logger) In de ochtend is de binnentemperatuur al ruim lager dan de buitentemperatuur. Dit komt omdat het lokaal gedurende de nacht gesloten was en de airco al voor het begin van de lestijden aangezet wordt. Aan het einde van de meetperiode is de binnentemperatuur 6.1° lager dan buiten. De binnentemperatuur is gedurende het grootste deel van de lesperiode 0.5 tot 1° lager dan de gewenste temperatuur. De stralingstemperatuur van de vloer is nergens meer dan 2° afwijkend van de binnentemperatuur. Het plafond is op enkele plaatsen tot ruim 4° warmer, wat wijst op een verstoring van de dakisolatie in het dak of op het plafond. De noord- en de zuidgevel hebben tot ruim 7° hogere temperaturen, met name op het plexiglas. In de buurt van deze wanden/ramen zal de gevoelstemperatuur ongeveer 1 tot 2° hoger zijn. Daarmee rekenend wordt de maximum temperatuur van 25°C nog niet overschreden, behalve bij de derde meting (geen leerlingen aanwezig, airco uit). Deze straling is waarschijnlijk de reden dat de airco op een relatief lage temperatuur is ingesteld om de comforttemperatuur te ervaren. Dit betekent uiteraard extra energie en dus ook hogere kosten.
Luchtvochtigheid	De luchtvochtigheid is in de ochtend binnen 60% tegen 69% buiten. Dit is te verklaren uit het feit dat het lokaal gedurende de nacht afgesloten is en het lokaal de dag al vroeg gekoeld werd. De RV loopt gedurende de lestijd op tot 62.1 en uiteindelijk 69%. Dat laatste is uiteraard het gevolg van het stopzetten van de airco. Gemiddeld over de dag is de RV ongeveer 61%, wat aansluit op het maximaal gewenste percentage. Het deels slecht sluiten van de shutters is waarschijnlijk de belangrijkste oorzaak dat er relatief veel vocht van buiten naar binnen komt. Met een airco mag een RV van 50 tot 55% verwacht worden.
Luchtsnelheid	De luchtsnelheid bij de airco is 1.5 tot 2.3 m/s. Dit is veel te hoog. Buiten de luchtstroom van de airco was geen luchtstroming meetbaar wat betekent dat deze constant onder 0.5m/s bleef.
Luchtkwaliteit	Het CO2 gehalte is gedurende de lesperiode vrijwel constant rond 750 ppm. Dit is binnen de voorkeursgrenswaarden van 400 tot 800. Dit zal mede het gevolg zijn van het feit dat er relatief kleine aantallen leerlingen waren en er relatief veel infiltratie is (onbedoelde ventilatie via kieren zoals de minder goed sluitende shutters).
Samenvattende conclusie	Het lokaal heeft een iets te lage temperatuur. Door onvoldoende warmte-isolatie van de wanden en deel van het dak/plafond wordt er meer energie gebruikt dan nodig is. De luchtsnelheid van de airco is ruim boven de gewenste waarde. Het CO2 gehalte is goed. Verwacht mag worden dat dit hoger zal zijn bij grotere groepen. Opvallend is dat het dubbelwandige plexiglas redelijk isolerend is. Het aluminium geeft de warmte wel goed door, maar neemt de warmte minder gemakkelijk op. Dit is een typische eigenschap van aluminium.

Scholengemeenschap Bonaire 27 januari 2011 lokaal zonder airco									
luchttemperatuur in lokaal gemeten met handmeter en logger. Luchtvochtigheid gemeten met logger. Zie bijlage voor loggergegevens.									
Meetpunten	meting 1 07.30 - 08.00 u				meting 2 12.30 - 13.00 u				opmerkingen
	locatie 1n*	locatie 1o*	locatie 1z*	locatie 1w*	locatie 2n	locatie 2o	locatie 2z	locatie 2w	
wand noord bi		26.9		26.9		28.6		28.5	buitenmuur in schaduw
wand noord bu		26.8		26.8		30.6		30.6	
wand oost bi	27.0		26.8		29.3		29.3		meting 1 zon, meting 2 schaduw binnenwand
wand oost bu	29.4		29.4		30.5		30.5		
wand zuid bi		27.4		27.6		28.6		28.7	
wand zuid bu		27.4		27.6		28.6		28.6	
wand west bi	27.0		27.0		29.1		29.2		
wand west bu	26.8		26.9		31.4		31.3		
	locatie A	locatie B	locatie C	locatie D	locatie A	locatie B	locatie C	locatie D	
plafond	27.0	27.0	27.5	27.5	29.4	29.4	28.8	28.8	
vloer	27.5	27.8	27.7	27.8	29.1	28.7	28.9	28.6	
luchttemperatuur	26.5				28.9				
luchttemp logger	26.5				28.9				
luchtvochtigheid bi	75.5				72.1				
luchtvochtigheid bu	75				72				
luchtsnelheid bi	0.5 - 2/0 - 1				0.5 - 1/1 - 2.5				afhankelijk van locatie
CO2 bi [ppm]	365				410				
CO2 bu [ppm]	365				400				
buitentemperatuur	27.7				29.6				
weersgesteldheid	zonnig, verspreide bewolking				zonnig, verspreide bewolking				
windsnelheid	2.5 - 4				2.5 - 4 a 5				
windrichting	oost				oost				

* aanduidingen: noordzijde, oostzijde, zuidzijde en westzijde

Tekening situering eindlokaal, shutters volledig geopend.



Scholengemeenschap Bonaire (SGB)	Meting 27 januari 2011, lokaal zonder airco Extra meting in koele periode van het jaar!
School en lokaal	Het betreft een middelbare school met diverse opleidingen. Het gemeten lokaal bevindt zich op de bovenste laag en aan de noordzijde in een nieuwbouwblok van twee lagen dat ontworpen is voor natuurlijke ventilatie. Zowel oost- als westgevel zijn voorzien van shutters. Deze shutters zijn tot een bepaalde hoogte van aluminium, daarboven van glas. Het glasgedeelte komt daardoor niet in de zon. Het dak heeft aan beide zijden een behoorlijk overstek.
Oriëntatie	Dit gebouw is met de lange gevel georiënteerd op het oosten en westen, hetgeen in principe ongunstig is vanwege de opwarming door de opkomende en ondergaande zon.
Omstandigheden	De omstandigheden zijn kenmerkend voor de koele periode. Het was een dag met temperaturen van 27 tot net onder 30°C, hetgeen voor de koele periode normaal is. Er is een lichte wind van 2.5 tot 4 a 5 m/s. Het is overwegend zonnig met een verspreide bewolking.
Bijzonderheden	Het lokaal had een bezetting met ongeveer 20 leerlingen. Er zijn 2 metingen verricht vanwege het onverwachte feit dat er proefwerken werden gegeven en deze niet onderbroken konden worden. Meting 1 was bij het begin van de lesperiode, de tweede meting aan het einde van de lesperiode. Er zijn geen fans in het lokaal aangebracht.
Temperatuur	De buitentemperatuur loopt gedurende de meetperiode (= lesperiode) op van 27.7 tot 29.6°C. De binnentemperatuur loopt in dezelfde periode op van 26.5 tot 28.9°C. (alleen gemeten met logger). De binnentemperatuur is 1.5 tot 4° hoger dan het maximum van de gewenste temperatuur. De stralingstemperatuur van vloer, plafond en wanden is nergens meer dan 2° afwijkend van de binnentemperatuur. Dit heeft derhalve geen effect op de gevoelstemperatuur. De gemiddelde temperatuur is ongeveer 1° lager dan de buitentemperatuur. De gevoelstemperatuur ligt iets (0.5 tot 1°) lager bij de enkele windvlaag die op enkele plaatsen in het lokaal soms voelbaar is. Dit heeft derhalve geen invloed op de algemene gevoelstemperatuur in het lokaal.
Luchtvochtigheid	De luchtvochtigheid is vrijwel hetzelfde als buiten, 72 tot 75 %. Dit is boven het aanbevolen maximum.
Luchtsnelheid	De luchtsnelheid die binnen is gemeten varieert van 0 tot 0.5 m/s. Dit is conform de gewenste luchtbeweging. De windrichting (oostelijk) en de oriëntatie van het lokaal is de reden dat er af en toe een windvlaag voelbaar is in het lokaal, echter niet op iedere plek.
Luchtkwaliteit	Het CO2 gehalte is hetzelfde als buiten, tussen 365 en 410 ppm, hetgeen als ideaal is aan te merken.
Samenvattende conclusie	Het lokaal heeft een te hoge temperatuur (1.5 tot 4°). De ochtendtemperatuur is volgens de standaard nog aanvaardbaar, maar loopt snel op. De overige parameters zijn binnen de gewenste marges.

CONCLUSIES

Als belangrijkste en meest opvallende zaken die we kunnen concluderen uit de technische metingen noemen we het volgende.

De metingen geven een algemeen beeld te zien van te hoge temperaturen bij natuurlijke ventilatie. In de koele periode met een buitentemperatuur in de ochtend van 27.7°C, is de afwijking met de maximaal gewenste temperatuur geringer dan in de warme periode en kan in de vroege ochtend nog als acceptabel gekenmerkt worden. De nachten zijn in die periode ook koeler waardoor het gebouw zelf ook wat koeler is geworden. Halverwege de ochtend zal de temperatuur meestal echter al redelijk opgelopen zijn en is de afwijking ten opzichte van de ideale temperatuur al 3° of meer.

Bij natuurlijke ventilatie volgt het binnenklimaat uiteraard het buitenklimaat hetgeen kan betekenen dat de RV (te) hoog is. Het CO₂-gehalte is goed, maar overige luchtkwaliteitsaspecten zijn niet gemeten. Te denken valt aan fijn stof of andere luchtverontreiniging en geuren.

Bij de metingen van de lokalen met airco valt op dat over het algemeen de temperaturen goed zijn (tussen 23 en 25°C) en de luchtvochtigheid eveneens als goed is aan te merken (tussen 50 en 60%). De luchtkwaliteit (CO₂ gehalte) is minder goed tot slecht en in sommige gevallen hoger dan 1200 ppm wat als maximum waarde beschouwd kan worden.

Dat laatste hangt samen met de mate van infiltratie (niet-geplande ventilatie via kieren en andere openingen) en vooral met het aantal personen in het lokaal. Ook speelt een belangrijke rol of het lokaal extra geventileerd is buiten de lestijden, bijvoorbeeld in de nacht. Daar waar dat niet gebeurt, is de ochtendsituatie al aan het maximum van het gewenste niveau waardoor al snel een overschrijding van de maximaal toelaatbare waarde (1200 ppm) aan de orde is. Geconcludeerd wordt dat de luchtverversing onvoldoende is bij de airco-gekoelde lokalen en slechts acceptabel is indien er relatief weinig leerlingen in de lokalen aanwezig zijn en/of er sprake is van relatief veel infiltratie. Dat laatste is negatief voor het energieverbruik.

De wanden van de lokalen zijn nergens geïsoleerd. Op St. Eustatius zijn de buitengevels deels voorzien van

dubbelwandig plexiglas dat matig tot redelijk isolerend is. Op Bonaire en St. Eustatius zijn de lokalen voorzien van een redelijk groot dakoverstek, waardoor de wanden niet snel opwarmen. Op Bonaire is de situering t.o.v. de wind gunstig, maar niet gunstig t.o.v. de zon. De daken hebben een redelijke tot matige isolatiewaarde gezien de waarden van de oppervlaktetemperaturen van de plafonds.

De meetresultaten komen redelijk overeen met wat verwacht kan worden op basis van de technische gegevens. Warmte-isolatie is beperkt aanwezig of in het geheel niet, wat niet gunstig is voor het energiegebruik.

Op basis van de metingen van de technische waarden zou de voorkeur uit moeten gaan naar lokalen met een airconditioning installatie.

ANALYSE BELEVING

ANALYSES BELEVING GEBRUIKERS - KWANTITATIEF

<i>Contract</i>	<i>Item</i>	<i>Totaal M (sd) (N=221)</i>	<i>Bonaire M (sd) (N=78)</i>	<i>StEustatius M (sd) (N=60)</i>	<i>Saba M (sd) (N=83)</i>
Attitude	Wat vind je van dit lokaal?	3.06 (.88)	2.90 (.75)	3.05 (.96)	3.23 (.90)
Geluid	Wat vind je van het geluid in het lokaal?	2.46 (.81)	2.51 (.77)	2.42 (.77)	2.43 (.89)
Licht	Wat vind je van het licht in het lokaal?	3.12 (.72)	3.26 (.69)	2.79 (.64)	3.23 (.72)
Temperatuur	Wat vind je van de temperatuur?	3.56 (1.05)	4.21 (.82)	3.05 (.98)	3.31 (1.00)
Aanpassing	Wil je het kouder, warmer of dat het hetzelfde blijft?	3.91 (1.03)	4.22 (.82)	3.63 (1.07)	3.82 (1.12)
Acceptatie	Vind je de temperatuur acceptabel?	2.93 (1.00)	2.45 (1.05)	3.23 (.83)	3.16 (.89)
Geur	Wat vind je van de geur in het lokaal?	2.91 (.53)	2.71 (.63)	2.93 (.31)	3.07 (.49)
Luchtvochtigheid	Wat vind je van de lucht in het lokaal?	2.55 (.77)	2.31 (.83)	2.75 (.54)	2.63 (.81)
Luchtsnelheid	Wat vind je van de fan/airco in het lokaal?	3.36 (.90)	3.70 (.71)	3.21 (.97)	3.13 (.93)
Welzijn	Hoe voel je je op dit moment?	3.14 (.88)	2.69 (.74)	3.35 (.94)	3.41 (.80)
Fitheid	Hoe fit ben je?	3.02 (1.06)	2.53 (.95)	3.10 (.93)	3.42 (1.07)
Concentratie	Kun je je concentreren?	3.32 (.91)	3.08 (.92)	3.40 (.92)	3.48 (.86)

TOTAAL

Over het geheel genomen is de attitude van de gebruikers ten opzichte van de schoollokalen neutraal. Men vindt de lokalen gemiddeld prettig, geeft aan dat er een klein beetje herrie is, het licht in het lokaal vindt men goed. De temperatuur vindt men enigszins warm, qua aanpassing geeft men aan dat het een beetje koeler mag en de acceptatie van de temperatuur is gemiddeld. De geur vindt men normaal, de lucht vindt men iets te droog, de luchtsnelheid vindt men iets te laag. Wat betreft de gesteldheid van de gebruiker laten de resultaten zien dat deze licht positief is: men voelt zich iets boven gemiddeld goed, men geeft aan gemiddeld fit te zijn en de concentratie waardeert men als iets boven gemiddeld.

DE EILANDEN VERGELEKEN

Een vergelijking tussen de eilanden laat zien dat de beleving van het lokaal minst positief is in Bonaire. Qua geluid en licht zijn verschillen klein. De temperatuur wordt in Bonaire het meest warm ervaren, gebruikers van Bonaire hebben ook de grootste wens tot aanpassing van temperatuur naar

beneden en vinden de temperatuur ook het minst acceptabel. De beleving van de geur en luchtvochtigheid verschilt weinig tussen de eilanden, echter de luchtsnelheid wordt op Bonaire veel minder ervaren dan op de andere twee eilanden. De toestand van de gebruikers van de lokalen is op Bonaire het minst positief en op Saba het meest positief.

BONAIRE

Contract	Item	Natuurlijke ventilatie			Airconditioning		
		Begin M(sd) (N=9)	Midden M(sd) (N=22)	Eind M(sd) (N=0*)	Begin M(sd) (N=12)	Midden M(sd) (N=17)	Eind M(sd) (N=18)
	Gemiddelde Temperatuur	28.6°C	32.3°C	32.5°C	28.8°C	30°C	31.3°C
Attitude	Wat vind je van dit lokaal?	3.11 (.60)	2.91 (.81)	-	2.92 (.51)	2.71 (.85)	2.94 (.80)
Geluid	Wat vind je van het geluid in het lokaal?	2.78 (.44)	2.72 (.55)	-	3.17 (.58)	2.41 (.80)	1.78 (.65)
Licht	Wat vind je van het licht in het lokaal?	2.77 (.44)	3.09 (.43)	-	3.17 (.39)	3.35 (.70)	3.67 (.97)
Temperatuur	Wat vind je van de temperatuur?	4.22 (.67)	4.55 (.80)	-	3.58 (.79)	4.06 (.90)	4.38 (.61)
Aanpassing	Wil je het kouder, warmer of dat het hetzelfde blijft?	4.33 (.50)	4.50 (.60)	-	3.92 (.67)	3.82 (1.24)	4.39 (.61)
Acceptatie	Vind je de temperatuur acceptabel?	2.33 (1.12)	1.91 (1.02)	-	3.08 (.79)	2.65 (1.27)	2.55 (.70)
Geur	Wat vind je van de geur in het lokaal?	3.00 (.00)	2.95 (.38)	-	2.92 (.29)	2.47 (.87)	2.35 (.70)
Luchtvochtigheid	Wat vind je van de lucht in het lokaal?	2.11 (.60)	2.27 (.94)	-	2.75 (.62)	2.47 (.80)	2.00 (.84)
Luchtsnelheid	Wat vind je van de fan/airco in het lokaal?	3.67 (.50)	3.36 (.58)	-	3.50 (.52)	3.71 (.92)	4.22 (.55)
Welzijn	Hoe voel je je op dit moment?	2.44 (.53)	2.41 (.85)	-	3.25 (.45)	3.71 (.92)	4.22 (.55)
Fitheid	Hoe fit ben je?	2.56 (.88)	2.23 (.92)	-	2.92 (.51)	2.76 (1.15)	2.39 (.98)
Concentratie	Kun je je concentreren?	3.00 (.87)	2.59 (.85)	-	3.75 (.45)	3.13 (1.02)	3.24 (.90)

*Geen meting i.v.m. uitvallen les

Beleving van het lokaal

Een vergelijking tussen de momenten op de dag laat zien dat men gemiddeld genomen aan het begin van de dag licht positiever is over het natuurlijk geventileerde lokaal, echter het geluid in het natuurlijk geventileerde lokaal wordt negatiever beoordeeld in vergelijking met het begin van de dag in de airconditioning.

Beleving van de temperatuur

De gebruikers beleven de temperatuur in een natuurlijk geventileerd lokaal als warmer dan een met airco gekoeld lokaal. De wens tot aanpassing (koeler) is groter en de acceptatie van de temperatuur is minder. In beide situaties neemt de gepercipieerde temperatuur en de wens tot aanpassing toe en de acceptatie af naarmate de dag vordert.

Beleving van de lucht

De geur in de airco-gekoelde lokalen wordt licht negatiever beoordeeld dan de geur in het natuurlijk geventileerde lokaal. De geur in het lokaal

met airco wordt negatiever beoordeeld naarmate de dag vordert. Ook vindt men daar de lucht steeds droger worden en de lichtsnelheid steeds lager. In het natuurlijk geventileerde lokaal is men echter naarmate de dag vordert licht positiever over de luchtvochtigheid en de lichtsnelheid.

Toestand van de gebruiker

Over het algemeen voelt de gebruiker zich beter, fitter en geconcentreerder in het lokaal met airco dan in het natuurlijk geventileerde lokaal. Opvallend is dat het gepercipieerde welzijn toeneemt gedurende de dag in het lokaal met airco, men geeft echter aan minder fit te worden en de concentratie is in het begin van de dag hoger dan later op de dag. Ook in het lokaal met natuurlijke ventilatie neemt de gepercipieerde fitheid en concentratie licht af.

ST EUSTATIUS

Contract	Item	Natuurlijke ventilatie			Airconditioning		
		Begin M(sd) (N=9)	Midden M(sd) (N=9)	Eind M(sd) (N=0*)	Begin M(sd) (N=16)	Midden M(sd) (N=11)	Eind M(sd) (N=15)
	Gemiddelde Temperatuur	29.3°C	30.6°C	30.8°C	22.4°C	22.5°C	24.9°C
Attitude	Wat vind je van dit lokaal?	2.00 (1.00)	2.44 (.88)	-	3.50 (.82)	3.36 (.50)	3.33 (.82)
Geluid	Wat vind je van het geluid in het lokaal?	1.56 (.53)	2.56 (.88)	-	2.38 (.62)	2.45 (.69)	2.87 (.64)
Licht	Wat vind je van het licht in het lokaal?	3.00 (.00)	2.78 (.44)	-	2.47 (.83)	2.64 (.67)	3.14 (.53)
Temperatuur	Wat vind je van de temperatuur?	4.00 (1.00)	4.33 (.71)	-	2.69 (.48)	2.45 (.52)	2.53 (.64)
Aanpassing	Wil je het kouder, warmer of dat het hetzelfde blijft?	4.33 (1.00)	4.78 (.44)	-	3.38 (.72)	2.73 (.47)	3.47 (1.25)
Acceptatie	Vind je de temperatuur acceptabel?	2.89 (.78)	2.44 (.53)	-	3.69 (.60)	3.45 (.69)	3.27 (.96)
Geur	Wat vind je van de geur in het lokaal?	2.88 (.35)	3.00 (.00)	-	2.81 (.40)	3.00 (.00)	3.00 (.38)
Luchtvochtigheid	Wat vind je van de lucht in het lokaal?	3.00 (.00)	3.00 (.00)	-	2.81 (.40)	2.55 (.69)	2.53 (.74)
Lichtsnelheid	Wat vind je van de fan/airco in het lokaal?	4.29 (.95)	4.75 (.50)	-	3.06 (.57)	2.64 (.67)	2.87 (.83)
Welzijn	Hoe voel je je op dit moment?	3.00 (.50)	2.78 (.97)	-	3.94 (1.00)	3.18 (1.08)	3.40 (.63)
Fitheid	Hoe fit ben je?	3.11 (.78)	2.78 (1.09)	-	3.31 (.87)	2.82 (1.33)	3.27 (.59)
Concentratie	Kun je je concentreren?	3.33 (1.00)	3.00 (.50)	-	3.44 (.89)	3.64 (1.21)	3.47 (.92)

*Geen meting i.v.m. uitvallen les

Beleving van het lokaal

Men is over de gehele dag genomen positiever over het lokaal met airco dan het natuurlijk geventileerde lokaal. Een vergelijking tussen de momenten op de dag laat zien dat men gemiddeld genomen aan het begin van de dag licht positiever is over het lokaal met airco, terwijl men in het natuurlijk geventileerde lokaal negatiever is aan het begin van de dag, dan midden op de dag. Over het geluid is men in beide lokalen aan

het begin van de dag negatiever dan later op de dag. Het licht vindt men in het lokaal met airco aan het begin van de dag iets aan de donkere kant, later iets aan de felle kant.

Beleving van de temperatuur

Net als op Bonaire beleven de gebruikers op St Eustatius de temperatuur in een natuurlijk geventileerd lokaal als warmer dan een met airco gekoeld lokaal. En ook hier is de wens tot aanpassing (koeler) groter en de acceptatie van de temperatuur is minder. In beide lokalen neemt de acceptatie af naarmate de dag vordert.

Beleving van de lucht

De geur wordt in beide lokalen min of meer gelijk beoordeeld, in het begin van de dag iets negatiever dan later op de dag. De luchtvochtigheid wordt in het lokaal met airco negatiever (een beetje droog) beoordeeld dan in het lokaal met natuurlijke ventilatie, de gepercipieerde droogte in het lokaal met airco neemt gedurende de dag licht toe. In het lokaal met airco blaast de airco halverwege de dag ietsje meer, in het lokaal met natuurlijke ventilatie vindt men juist dat de fan te weinig blaast en gedurende de dag steeds meer te kort schiet.

Toestand van de gebruiker

Over het algemeen voelt de gebruiker zich beter, fitter en geconcentreerder in het lokaal met airco dan in het natuurlijk geventileerde lokaal. Het gepercipieerde welzijn neemt gedurende de dag af in het lokaal met airco en men geeft aan minder fit te worden. De concentratie is in het midden van de dag iets hoger dan aan het begin en einde van de dag. In het lokaal met natuurlijke ventilatie neemt de gepercipieerde fitheid en concentratie licht af.

Contract	Item	Natuurlijke ventilatie			Airconditioning		
		Begin M(sd) (N=9)	Midden M(sd) (N=19)	Eind M(sd) (N=10)	Begin M(sd) (N=14)	Midden M(sd) (N=17)	Eind M(sd) (N=14)
	Gemiddelde Temperatuur	27.7°C	28.7°C	29.3°C	25.2°C	23.8°C	23.8°C
Attitude	Wat vind je van dit lokaal?	3.11 (.60)	2.84 (.90)	2.50 (.71)	3.43 (.76)	3.71 (.92)	3.57 (.85)
Geluid	Wat vind je van het geluid in het lokaal?	2.80 (.63)	2.42 (1.22)	1.50 (.53)	2.93 (.27)	2.00 (.82)	2.86 (.36)
Licht	Wat vind je van het licht in het lokaal?	2.70 (.48)	3.05 (.40)	3.20 (.79)	3.29 (.73)	3.38 (.72)	3.64 (.93)
Temperatuur	Wat vind je van de temperatuur?	3.30 (.48)	3.68 (1.00)	4.30 (.67)	2.93 (.73)	2.88 (.72)	3.00 (1.36)
Aanpassing	Wil je het kouder, warmer of dat het hetzelfde blijft?	3.90 (.99)	4.05 (1.08)	4.40 (.70)	4.36 (.84)	2.87 (.96)	3.57 (1.28)
Acceptatie	Vind je de temperatuur acceptabel?	3.10 (.32)	2.95 (.62)	1.90 (.88)	3.86 (.86)	3.38 (.72)	3.42 (.76)
Geur	Wat vind je van de geur in het lokaal?	3.00 (.00)	3.00 (.00)	2.80 (.42)	3.21 (.58)	3.00 (.65)	3.36 (.63)
Luchtvochtigheid	Wat vind je van de lucht in het lokaal?	2.80 (.79)	2.68 (.82)	1.60 (.84)	2.50 (.52)	2.94 (.44)	2.93 (.83)
Luchtsnelheid	Wat vind je van de fan/airco in het lokaal?	2.40 (.84)	3.11 (.83)	3.20 (1.14)	3.93 (.92)	2.88 (.34)	3.14 (.95)
Welzijn	Hoe voel je je op dit moment?	3.20 (.42)	3.16 (.76)	2.70 (.48)	3.57 (.76)	3.63 (.81)	4.00 (.78)
Fitheid	Hoe fit ben je?	3.80 (.79)	3.42 (1.07)	2.60 (1.17)	3.57 (1.28)	3.69 (.95)	3.29 (.91)
Concentratie	Kun je je concentreren?	3.40 (.51)	3.42 (.84)	2.60 (.84)	3.57 (.64)	3.50 (.89)	4.14 (.77)

Beleving van het lokaal

Men is over de gehele dag genomen positiever over het lokaal met airco dan het natuurlijk geventileerde lokaal. Een vergelijking tussen de momenten op de dag laat zien dat men gemiddeld genomen aan het begin van de dag licht positiever is over het lokaal met natuurlijke ventilatie. Over het geluid is men in het lokaal met natuurlijke ventilatie met het vorderen van de dag steeds negatiever over het geluid (steeds meer herrie). In beide lokalen neemt de licht sterkte gedurende de dag toe.

Beleving van de temperatuur

Net als op Bonaire en St Eustatius beleven de gebruikers op Saba de temperatuur in een natuurlijk geventileerd lokaal als warmer dan in een met airco gekoeld lokaal. En ook hier is wens tot aanpassing (koeler) groter en de acceptatie van de temperatuur is minder. Uitzondering is hierbij de wens tot aanpassing in het lokaal met airco aan het begin van de dag. Met name de acceptatie van de temperatuur in het natuurlijk geventileerde lokaal neemt gedurende de dag sterk af.

Beleving van de lucht

De geur wordt in beide lokalen min of meer gelijk beoordeeld, net als de luchtvochtigheid. De luchtvochtigheid wordt in het lokaal met natuurlijke ventilatie gedurende de dag steeds negatiever

(te droog) beoordeeld. In het lokaal met airco blaast de airco halverwege de dag ietsje meer, in het lokaal met natuurlijke ventilatie vindt men juist dat de fan te weinig blaast en gedurende de dag steeds meer te kort schiet.

Toestand van de gebruiker

Over het algemeen voelt de gebruiker zich beter, fitter en geconcentreerder in het lokaal met airco dan in het natuurlijk geventileerde lokaal. Het gepercipieerde welzijn neemt gedurende de dag af in het lokaal met natuurlijke ventilatie en juist toe in het lokaal met airco. Ook geeft men in het lokaal met natuurlijke ventilatie aan gedurende de dag minder fit te worden en ook neemt daar de gepercipieerde concentratie aan het einde van de dag sterk af. Opvallend is dat de gepercipieerde concentratie in het lokaal met airco aan het einde van de dag het hoogst is.

DE ACHTERGRONDEN BELEVING GEBRUIKERS – KWALITATIEF

De 6 docenten die les gaven in de lokalen beantwoordden allen de uitgebreide vragenlijst waarin hen werd gevraagd naar hun ervaring met zowel lokalen met airco als natuurlijk geventileerde lokalen.

BELEVING VAN HET LOKAAL

De docenten werd gevraagd naar wat zij prettig vonden aan hun lokaal en de omstandigheden in het lokaal. Uit de resultaten blijkt dat de inrichting van het lokaal en het meubilair belangrijk is voor de beleving van het lokaal. Andere belangrijke aspecten die genoemd worden door de docenten zijn: akoestiek, wind, hygiëne, het kunnen reguleren van de temperatuur en rumoer van buiten af.

Bonaire zonder airco:	<ul style="list-style-type: none"> - Leuke inrichting - Sinds kort beschikt het lokaal over airco's en dat is erg aangenaam. Zonder airco's is het niet uit te houden. - Als de ramen en de deur open staan hebben we last van de geluiden uit de gymzaal en de techniek ruimten en de airco's van de omliggende lokalen - In Nederland heeft men verwarming voor de wintermaanden. De situatie in de tropen is daarmee te vergelijken. Voor de warme maanden dus airco's.
Bonaire met airco:	<ul style="list-style-type: none"> - Het is een nieuw lokaal met nieuwe meubels - De airconditioning is zeer slecht (men is hier trouwens mee bezig hieraan te werken) - Het is zeer gehorig - Het licht is goed - Door de slechte airconditioning hangt er ook een onaangename geur af en toe - Ik hoop dat het probleem met de airco in mijn lokaal snel wordt opgelost!! (met alle positieve gevolgen van dien).
St Eustatius zonder airco:	<ul style="list-style-type: none"> - De inrichting is ok - De temperatuur en de wind is niet ok - Ik zou graag airco hebben om de temperatuur te kunnen aanpassen. Dan kunnen ook de shutters en de deur dicht.
St Eustatius met airco:	<ul style="list-style-type: none"> - Het lokaal is redelijk schoon - Er is een whiteboard (geen krijtstof) - Groot genoeg - Het is rumoerig (aan het schoolplein + airco) - Airco is moeilijk te regelen - Storende omstandigheden zijn: als het regent, als lagere school speelkwartier heeft en ik een huiswerkopdracht doe, als elektriciteit uitvalt: geen licht en geen airco.
Saba zonder airco:	<ul style="list-style-type: none"> - Huiselijke elementen - Licht dat storend is - Slechte akoestiek, waardoor rumoerigheid van enkele leerlingen overheerst - Lawaai uit aangrenzende lokalen - Grootte van het lokaal in verband met echo van de stemmen etc.
Saba met airco:	<ul style="list-style-type: none"> - Prettig is het nieuwe meubilair - Niet prettig is slechte niet-werkende stoel.

Voorkeur voor lesgeven met airco of natuurlijke ventilatie

Alle docenten geven aan het liefst les te geven in een klaslokaal gekoeld met airco. De redenen die docenten hiervoor geven zijn het hogere rendement bij de leerlingen, hoger energie niveau, minder vermoeidheidsverschijnselen en de betere concentratie.

Bonaire zonder airco:	- Voorkeur voor airco's. meer/hoger rendement bij de leerlingen. Betere concentratie
Bonaire met airco:	- Voorkeur voor lesgeven in een leslokaal met een goed werkende airco
St Eustatius zonder airco:	- Voorkeur voor altijd airco
St Eustatius met airco:	- Voorkeur voor airco, want leerlingen werken beter en concentreren zich beter.
Saba zonder airco:	- Met airco. Soms is er helemaal geen wind en dat wordt een onhoudbare situatie. Energie niveau daalt, eerder vermoeidheidsverschijnselen. Hierdoor presteer ik minder.
Saba met airco:	- Met airco, dit is regelbaar

Voordelen van een lokaal met airco

De docenten noemden een aantal voordelen van een lokaal met airco. Meest genoemd is dat een airco zorgt voor meer rust in de klas: geluiden en wind van buitenaf worden uitgesloten waardoor geen interventie plaatsvindt.

Bonaire zonder airco:	- Minder tot geen geluidsoverlast - Kinderen kunnen zich beter concentreren
Bonaire met airco:	- Geen overlast! - Geen interventie van derden (die storen op welke manier dan ook)
St Eustatius zonder airco:	- Geluid en wind blijven buiten - Temperatuur is aangenaam
St Eustatius met airco:	- Constante temperatuur - Veel meer rust in de klas
Saba zonder airco:	- Meer energie - Geen hinder van leerlingen die heen en weer lopen (deur is nl dicht) - Concentratie is beter - Aan het einde van de dag heb ik meer energie
Saba met airco:	- Regelbaarheid

Voordelen van een lokaal met natuurlijke ventilatie

Alle docenten, op 1 na, geven aan geen voordelen te zien van lokalen met natuurlijke ventilatie.

Bonaire zonder airco:	- Geen voordelen
Bonaire met airco:	- Geen voordelen
St Eustatius zonder airco:	- Geen voordelen
St Eustatius met airco:	- In een rustige schoolomgeving is een klas met open ramen veel gezonder, dat zou ik het liefste hebben
Saba zonder airco:	- Zoals vandaag zie ik geen voordelen, alleen maar nadelen
Saba met airco:	- Geen enkel voordeel

Nadelen van een lokaal met airco

Alle docenten, op 1 na, geven aan geen nadelen te zien van lokalen met airco.

Bonaire zonder airco:	- Die zijn er in dit lokaal niet
Bonaire met airco:	- Geen nadelen
St Eustatius zonder airco:	- Geen nadelen
St Eustatius met airco:	- Ongezond - Geen verse lucht - Niet goed onderhouden airco's: erg ongezond
Saba zonder airco:	- Geen
Saba met airco:	- Droge lucht

Nadelen van een lokaal met natuurlijke ventilatie

Alle docenten zien nadelen van een lokaal met natuurlijke ventilatie. Meest genoemd is de geluidsoverlast door rumoer van buiten af (omgeving school, schoolplein).

Bonaire zonder airco:	- Geluidsoverlast - Concentratieproblemen - Materialen die wegwaaien
Bonaire met airco:	- Te veel geluid - Te veel last van anderen die voorbij komen lopen enzovoorts
St Eustatius zonder airco:	- Geluid - Wind
St Eustatius met airco:	- In deze school houdt het in dat er veel ruis van het schoolplein en omgeving in de klas binnen komt. Niet goed voor de rust in de klas.
Saba zonder airco:	- Geluidsoverlast - Gebrek aan energie, ook bij de leerlingen - Lusteloosheid
Saba met airco:	- Hierbij ben je afhankelijk van de weersomstandigheden

BELEVING VAN DE TEMPERATUUR

Acceptabel

De docenten werd gevraagd naar hun beleving van de temperatuur. Alle docenten die lesgeven in een lokaal met natuurlijke ventilatie geven aan dat temperatuur niet acceptabel te vinden, met namen na 9 uur 's ochtends.

Bonaire zonder airco:	- Nee, de temperatuur is niet acceptabel. 's Ochtends tot een uur of 9 valt het wel mee, na 9 uur is het niet uit te houden
Bonaire met airco:	- De temperatuur is niet acceptabel omdat het 's morgens al bij het begin van de lessen benauwd is (zeer benauwd zelfs)
St Eustatius zonder airco:	- Nee, de temperatuur is niet acceptabel, de temperatuur varieert van warm tot bloedheet
St Eustatius met airco:	- Met airco is de temperatuur zeer acceptabel - Als geen airco dan om 9 uur al te heet
Saba zonder airco:	- Onacceptabel, 's ochtends is het koel, maar na 9 uur werd het warm.
Saba met airco:	- Dit is regelbaar

Mogelijkheden voor het aanpassen van de temperatuur

De helft van de docenten geeft aan geen mogelijkheid te hebben om de temperatuur in het lokaal aan te passen. Ontbreken van afstandsbediening, defecte afstandsbediening of ramen die niet open kunnen verhinderen dit.

Bonaire zonder airco:	- Ramen open - Airco hoger of lager zetten
Bonaire met airco:	- Op dit moment zijn er niet veel mogelijkheden
St Eustatius zonder airco:	- Nee, de afstandsbediening is nergens aanwezig dus het is alleen aan/uit.
St Eustatius met airco:	- Nee, ik heb een afstandsbediening maar die werkt niet goed - Als ik de ramen open doe wordt het gauw te warm
Saba zonder airco:	- Meeste ramen kunnen niet open - De fan kan wel aan maar, maar zacht of harder levert de fan mij keelpijn op of sinuspijnen etc.
Saba met airco:	- Is regelbaar

BELEVING VAN DE LUCHT

De helft van de docenten geeft aan dat de luchtvochtigheid te laag is. Zij hebben last van droge lippen, keel en ogen. Daarnaast zijn er docenten die last hebben van overmatige transpiratie.

Bonaire zonder airco:	- De luchtvochtigheid is ok
Bonaire met airco:	- De luchtvochtigheid is droog, maar ik transpireer ook veel
St Eustatius zonder airco:	- Ik zweet erg veel
St Eustatius met airco:	- Niet te droog en niet te luchtvochtig als de airco werkt - Als de airco niet werkt dan veel zweten
Saba zonder airco:	- De lucht werd droger, last van keelpijn, vaker water drinken - Droge keel, keelpijn
Saba met airco:	- Droge lippen en soms ogen

TOESTAND VAN DE GEBRUIKER

Concentratieniveau van de docent

Over het algemeen geven docenten aan zich goed te kunnen concentreren. Een aantal docenten geeft aan last te hebben van hoofdpijn. Gekoelde ruimte en een dichte deur helpt de concentratie te verhogen.

Bonaire zonder airco:	- Als de airco niet aanstaat heb ik vaak last van hoofdpijn
Bonaire met airco:	- Ja ik kan mij concentreren als het stil is, omdat het lokaal ietwat afgezonderd staat.
St Eustatius zonder airco:	- Ja
St Eustatius met airco:	- Ja, ik kan me goed concentreren, dit is een fijn lokaal in vergelijking met andere in deze school
Saba zonder airco:	- Tegen twaalf uur werd ik erg moe - Ik transpireerde een beetje - Als de deur dicht is en de ruimte gekoeld dan kan ik me beter concentreren en ook meer presteren
Saba met airco:	- Ja

Concentratieniveau van de leerlingen

Vier van de zes docenten geven aan dat het concentratieniveau van leerlingen in een lokaal met airco hoger is.

Bonaire zonder airco:	- <geen respons>
Bonaire met airco:	- Het concentratieniveau van de leerlingen is beter in een klas met airco.
St Eustatius zonder airco:	- Geen mening
St Eustatius met airco:	- Dit is beter in een airco lokaal
Saba zonder airco:	- In een airco lokaal is de concentratie van de leerlingen veel beter - In een aircolokaal worden zij minder moe
Saba met airco:	- Heb zeven jaar ervaring in Caribisch gebied, concentratie is beter in aircolokaal

Invloed op de leerprestatie van de leerlingen

Alle docenten geven aan dat het wel of niet koelen van het lokaal met een airco van invloed is op de leerprestatie van de leerling. Een airco heeft daarbij de voorkeur.

Bonaire zonder airco:	- Dit heeft zeker invloed, airco heeft voorkeur
Bonaire met airco:	- Koel met airco! De leerlingen vragen daar ook zelf om
St Eustatius zonder airco:	- Met airco is het lokaal dicht dus minder afleiding
St Eustatius met airco:	- Ja dit heeft invloed op de concentratie van de leerlingen
Saba zonder airco:	- Jazeker, de airco levert betere prestaties bij de leerlingen op. Zij kunnen in een gekoelde ruimte zich beter inzetten. - Worden minder moe. Vooral na 10 uur kan het soms behoorlijk warm worden ook al heb je de airco aan. Met fan/openramen wordt het probleem van concentratieverlies en betere prestaties leveren nog groter.
Saba met airco:	- Hoofdpijn zonder airco

CONCLUSIES

Als belangrijkste en meest opvallende zaken die we kunnen concluderen uit het belevingsonderzoek kunnen we het volgende aangeven.

Met name de rust in het lokaal doordat de ramen en deur dicht kunnen, waardoor er minder geluiden en afleidingen zijn, lijkt volgens de docenten te zorgen voor een betere concentratie en hogere leerprestatie. De lagere temperatuur zorgt daarnaast voor een hoger energie niveau en minder lusteloosheid.

We zien dit ook terug in de metingen van de beleving in de lokalen door de gebruikers. Op basis van het belevingsonderzoek zou de voorkeur uit moeten gaan naar lokalen met airco.

Een lastig te plaatsen fenomeen zijn de meerdere opmerkingen over te droge ogen of irritaties aan de ogen. Deze opmerkingen zijn niet terug te voeren op te droge lucht of andere gemeten waarden. Klachten over irritaties zijn mogelijk te relateren aan andere verontreinigingen in de lucht of onvoldoende verlichting. De klachten in

St. Eustatius houden mogelijk verband met het feit dat de filters van de split units niet regelmatig schoongemaakt waren. Deze mogelijke oorzaak zou verholpen worden volgens de schoolleiding. Er kunnen echter ook andere oorzaken zijn die niet hun oorsprong vinden in de installaties van de schoollokalen.

SAMENVATTENDE CONCLUSIE

CONCLUSIE

De lokalen zonder airco installatie worden het minst gewaardeerd door leerlingen en leerkrachten. Deze natuurlijk geventileerde lokalen kenmerken zich door de prettige (buiten-)lucht, maar ook door veel afleiding als gevolg van geluiden van naastgelegen lokalen of leerlingen op het schoolterrein. De temperatuur in de lokalen is gemeten op ongeveer 1° lager dan de buitenlucht. De luchtsnelheid is lager dan buiten en wisselend van snelheid (soms ook geen beweging) wat onrustig is. De afwezigheid van (plafond-)fans is mede reden dat er soms geen luchtbeweging is. Dat wordt als negatief ervaren. De kwaliteit van de lucht is uitsluitend beoordeeld op het CO₂-gehalte en niet op overige kwaliteiten als gehalte fijn stof of schadelijke gassen.

De luchtvochtigheid (conform de buitenlucht) zit rond of boven het maximum van 70%. De natuurlijk geventileerde lokalen voldoen soms in het begin van de ochtend aan de norm voor de omgevingstemperatuur, zeker in de koele periode. De onrust in de lokalen vanwege open ramen en deuren wordt door de leerkrachten als ongewenst en sterk afleidend gekenmerkt.

Meestentijds voldoen de lokalen niet aan de normen voor een goed binnenklimaat in een leslokaal en wijken daar sterk vanaf in temperatuur.

De lokalen die met airco gekoeld worden, worden het hoogst gewaardeerd door leerlingen en leerkrachten. De temperatuur is een belangrijke parameter, zowel in beleving als vanwege het belang van de leerprestaties. Deze lokalen zijn ook rustiger omdat er minder afleiding is door geluiden van buiten. De luchtkwaliteit en de luchtsnelheid overschrijden (in enkele gevallen teveel) de normen en/of streefwaarden. Ook maken sommige installaties relatief veel lawaai. De koude luchtstrook veroorzaakt op sommige plekken in het lokaal voor een afwijking van de gemiddelde luchttemperatuur. De stralingstemperaturen van wanden, vloer en plafond zijn in geringe mate hoger dan de luchttemperatuur. Dat is niet storend, maar het is wel een indicatie voor een warmtestroom, wat een verlies van energie betekent. Ten opzichte van de natuurlijk geventileerde lokalen waarderen met name de leerkrachten de rust omdat er minder storende geluiden zijn. Tevens wijzen zij op de hogere concentratie van

de leerlingen, hetgeen ondersteund wordt door de aangehaalde literatuur wat betreft leerprestaties.

De onderzochte met airco gekoelde lokalen voldoen niet aan de normen voor een goed binnenklimaat in een leslokaal vanwege de gevonden waarden t.a.v. luchtkwaliteit en luchtsnelheid. De temperatuur is wel goed. Geconstateerd wordt dat de bekende split unit niet geschikt is als airco installatie voor schoollokalen.

OPMERKINGEN BIJ HET ONDERZOEK

Het onderzoek is door de kleine omvang en korte meetduur slechts indicatief voor het binnenklimaat van deze lokalen en de beleving daarvan door de gebruikers.

De meting in Bonaire van het lokaal met airconditioning is niet representatief vanwege het ontbreken van 1 split unit en het vermoedelijk niet optimaal functioneren van de aanwezige unit. Tevens werden in Bonaire veel hogere temperaturen en daarmee een lagere acceptatie gemeten dan in Saba en St. Eustatius. Dat was o.a. het gevolg van de op de meetdagen verschillende buitentemperaturen.

De gevonden waarden van de metingen en het belevingsonderzoek zijn grotendeels in overeenstemming met hetgeen via het model van Fanger kan worden afgeleid.

Het aanvullende literatuuronderzoek naar comfort, kwaliteit van het binnenklimaat en relaties met leerprestaties geeft een goed beeld van de te hanteren waarden voor een goed binnenklimaat voor schoollokalen. In sommige onderzoeken worden hogere temperaturen die als 'neutraal' worden gekenmerkt gevonden dan af te leiden is uit het model van Fanger. Het is niet geheel duidelijk waar die hogere acceptatiegraad aan gerelateerd is, maar wel dat deze uitsluitend geldt voor natuurlijk geventileerde ruimtes. In die onderzoeken is geen relatie gelegd met leerprestaties.

Uit een onderzoek van Mayer (1990-1994) is gebleken dat een 1° lagere temperatuur voor het comfort minder acceptabel is dan een 1° hogere temperatuur.

De leerprestaties worden in de onderzoeken vooral gerelateerd aan temperatuur en luchtkwaliteit (CO₂-gehalte) en deels aan de luchtvochtigheid. De daarbij gevonden waarden zijn scherper begrensd dan de comfortwaarden en zijn daarmee bepalend voor schoollokalen. De soms lage bezetting van de lokalen is de belangrijkste reden dat in de meeste gekoelde lokalen het CO₂ gehalte binnen de normen blijft. Bij een hogere bezetting wordt die waarde al snel overschreden.

AANBEVELINGEN

Deze aanbevelingen zijn verdeeld naar verschillende zaken die een rol spelen bij de klimaatbeheersing, te weten: gedrag, bouwkundige voorzieningen, apparatuur en regelgeving.

Gedrag

Het gedrag heeft invloed in de volgende betekenissen:

- Aandacht voor ventilatie.
- Het beheren en onderhouden van de apparatuur.
- Het beïnvloeden van de instelling van de temperatuur en ventilatorsnelheid van de airco installatie.

Bestaande gebouwen:

- Zolang er nog geen aanpassingen hebben plaatsgevonden aan de gebouwen en/of airco-installaties, wordt aanbevolen om de lokalen 's nachts goed te ventileren. Instrueer de conciërges om 's nachts of vroege ochtend de lokalen goed te ventileren, zeker als er veel leerlingen in de klas zijn geweest. Dit is gunstig voor de luchtkwaliteit en het gebouw koelt ook iets af. Dat laatste geldt zeker voor de (nog) niet-airco-gekoelde lokalen. Nachtventilatie zal in een aantal gevallen (beperkte) bouwkundige aanpassingen vergen in verband met inbraakpreventie of het aanbrengen van mechanische ventilatie.
- Het is gewenst en soms noodzakelijk om de lokalen met veel leerlingen tussen de uren te ventileren (zogenaamde spuventilatie) door ramen en de deur te openen zodat er voldoende verse lucht binnenkomt. Dit hoeft maar gedurende een korte tijd, bijvoorbeeld 5 minuten. Het spreekt voor zich dat dergelijke ventilatie ook (veel) verlies aan energie betekent. Deze oplossing is dus wel noodzakelijk, maar het is gewenst om op korte termijn andere ventilatievoorzieningen aan te brengen.
- Het personeel dient zich bewust te zijn van de noodzaak van ventilatie en, in geval er nog geen aanpassingen hebben plaatsgevonden, hoe je dat op een zodanige manier doet dat er niet onnodig veel energie verloren gaat. De mate van spuventilatie is afhankelijk de bezettingsgraad.
- Docenten en conciërges dienen goed geïnformeerd zijn over de bediening van de apparatuur en er

energiebewust mee om te gaan. Bijvoorbeeld: “24 of 25°C is de juiste temperatuur en een airco gaat niet sneller of beter koelen door deze op 18° in te stellen”.

- Een reguliere schoonmaak van de filters is noodzakelijk, afhankelijk van het soort installatie en de mate van aangetroffen vervuiling.

Bestaande en nieuwe gebouwen:

- Kies bij voorkeur voor een centrale inregeling van de apparatuur met beperkte beïnvloeding door de gebruikers. Gebruikers vinden het altijd belangrijk om de temperatuur en de luchtsnelheid te kunnen beïnvloeden. Door een centrale inregeling wordt echter voorkomen dat te lage temperaturen en te hoge luchtsnelheden ingeschakeld kunnen worden.
- Zorg voor een goede instructie van docenten en overig personeel over de werking en het gebruik van de apparatuur.

Bouwkundige voorzieningen

- Isoleren van het gebouw.
- Beperken van infiltratie.
- Aanbrengen ventilatievoorzieningen.
- Zonwering aan buitenzijde gebouw.

Bestaande gebouwen:

- Laat een nader onderzoek uitvoeren naar de mogelijkheden van een betere warmte-isolatie. De isolatie van het dak is primair, omdat het dak de hele dag in de zon staat en hoge oppervlaktetemperaturen kan bereiken. Uit het onderzoek bleek dat de oppervlaktetemperatuur van de plafonds over het algemeen 2° hoger is dan de luchttemperatuur. Dit betekent energieverlies. Dakisolatie dient bij voorkeur zodanig te zijn dat het plafondoppervlak vrijwel de binnen-luchttemperatuur heeft. Voor daken kan isolatie aan de binnenzijde aangebracht worden of op het plafond. Een goede afwerking is belangrijk om nestgelegenheid voor ongedierte of nat worden van de isolatie door lekkages te voorkomen. Het isolatiemateriaal dient dus volledig ‘ingepakt’ te zijn.
- Zorg voor schaduw op de gevels (aanbrengen zonwering of beplanting) en zorg voor lichte kleuren van dak en gevels. Voorkom in ieder geval direct zonlicht op glas door het

aanbrengen van buitenzonwering. Daarmee zal in de meeste gevallen de warmtetoetreding beperkt zijn.

- In gevallen waar wanden sterk worden opgewarmd door de zon en schaduw niet aangebracht kan worden, zal isolerend materiaal nodig zijn. Isolatiemateriaal dient in dat geval bij voorkeur aan de buitenzijde aangebracht te worden. Door de accumulatiecapaciteit van de wanden is het comfort hoger en kunnen wisselingen in warmtelast (omvang groep leerlingen, extra toetreding warme lucht bij spuiventilatie) opgevangen worden. Indien dat niet mogelijk is, kan ook isolatie aan de binnenzijde worden aangebracht, bij voorkeur in de vorm van een geïsoleerde voorzetwand met gipsplaat.
- Bereken altijd of er inwendige condensatie zou kunnen optreden. Let er op, vanwege de relatieve onbekendheid van plaatselijke aannemers met isoleren, dat bijvoorbeeld minerale wol die voorzien is van een dampremmende laag, net andersom dan in Nederland geplaatst dient te worden. De vochtstroom is hier van buiten naar binnen, aangezien een airco de lucht ontvochtigt en de buitenlucht een hoge relatieve luchtvochtigheid heeft.
- Beperk de infiltratie door een goede afdichting van kieren en openingen. Zorg echter ook voor te openen ramen voor het geval de airco en/of luchtverversing uitvalt. Shutters zijn in principe voor airco gekoelde lokalen geen goede keuze, aangezien ze in de meeste gevallen niet voldoende afsluiten. In de huidige situatie spelen (slecht sluitende) shutters een belangrijke rol in de infiltratie van verse lucht. Het vanwege energiebesparing minimaliseren van de infiltratie, bijvoorbeeld door het afdichten of vervangen van shutters, is sterk af te raden als er nog geen nieuwe ventilatievoorziening is.

Nieuwbouw:

- Voor nieuwbouw wordt over het algemeen om meerdere redenen gekozen voor lichte bouwconstructies. Bouwfysisch gezien heeft dit voordelen, zeker als de ruimten niet 24/7 in gebruik zijn. Daarmee wordt voorkomen dat stenen vloeren en wanden iedere keer opnieuw gekoeld moet worden. Het comfort is het hoogst als de wanden en vloeren dezelfde temperatuur hebben als de gewenste luchttemperatuur binnen. Die situatie wordt met lichte constructies snel bereikt. Nadeel van deze lichte constructies is, dat de ruimte snel opwarmt als de installatie

uitvalt of als er in korte tijd veel mensen binnenkomen. De capaciteit van de installatie dient daar op berekend te zijn.

- Het soort gebouw heeft invloed op het beheer. Gebouwen met een hoog accumulatief vermogen (zware muren en vloeren) zullen in de ochtend bijvoorbeeld eerder gekoeld moeten gaan worden dan lichte bouwconstructies.
- Naast een optimale isolatie van daken is het belangrijk om te kiezen voor een dakbedekking met een lichte kleur (bijvoorbeeld het witte TPO voor platte daken) of een ander materiaal (zoals aluminium) dat goed in staat is warmtestraling te reflecteren.
- Daken dienen bij voorkeur een voldoende overstek te hebben om de gevels uit de zon te houden. Dit is tevens een bescherming van de materialen en verflagen en het biedt een bescherming tegen regen.
- Langwerpige gebouwen bij voorkeur situeren met de lange gevels naar het noorden en zuiden. De opkomende en neergaande zon is moeilijk af te schermen, maar deze verwarmt dan alleen de korte zijden, dus de kleinste geveloppervlakken. De lange zijden zijn door de hoge zonnestand gemakkelijk door een dakoverstek in de schaduw te houden.

Apparatuur

Goede klimaat installaties vergen hoge investeringen. Aandacht voor de volgende aspecten ten behoeve van goede schoollokalen is daarom van belang.

Er worden hierna 3 verschillende typen airco-installaties genoemd:

- Een centrale airco-installatie die bestaat uit een centrale koel- en ventilatie-unit voor een gebouw met meerdere ruimtes of voor meerdere gebouwen.
- Een centrale unit die bestaat uit een geïntegreerde koel- en ventilatie-unit per afzonderlijke ruimte. Deze wordt in het midden van het plafond gemonteerd. Deze units zijn voor schoollokalen te verkiezen boven split-units vanwege de betere circulatie met een lagere lichtsnelheid. Als de ventilatie niet in de unit geïntegreerd is, zal uiteraard alsnog voorzien dienen te worden in een afzonderlijke toevoer van voldoende verse lucht.
- Een split unit die uitsluitend de lucht koelt en deze in de ruimte doet circuleren.

Bestaande gebouwen:

- In die gevallen waar (nog) niet gekozen wordt voor het vervangen van split units, kunnen afzonderlijke mechanische ventilatievoorzieningen aangebracht worden. Om het energieverlies te beperken (de lucht in een lokaal dient bij volle bezetting een tot meerdere keren per uur volledig ververst te worden!) dienen deze voorzien te zijn van een warmtewisselaar zodat de inkomende lucht al iets gekoeld wordt.
- Indien in bestaande gebouwen de aanleg van een centrale unit (nog) niet haalbaar of mogelijk is maar er wel een nieuwe airco geplaatst wordt, kies dan voor split units die voorzien zijn van een inverter. Een inverter vergt een iets hogere investering van 10 tot 15 %, maar gebruikt minder energie doordat de compressor modulerend kan werken. Dit kan tot 50% lager energieverbruik leiden. Deze inverter techniek is inmiddels voor meerdere typen apparaten beschikbaar.

Nieuwbouw:

- Kies altijd voor een geïntegreerde airconditioning, dus koeling met toevoer van verse lucht. Uit beheers- en onderhoudsoverwegingen is een centrale airco-installatie in de meeste situaties uiteindelijk de meest adequate oplossing.
- Om de juiste waarden te bereiken voor een adequate leeromgeving zoals in dit rapport aangegeven, is het van belang de benodigde capaciteit van zowel de luchtverversing als de koeling goed aandacht te geven. Denk daarbij o.a. aan lage luchtsnelheden (max 0.5 m/s.) en sterke wisselingen in het gebruik van de lokalen. De omstandigheden in klaslokalen zijn wezenlijk anders dan bijvoorbeeld die in kantoren. Daar gaat men in de berekeningen normaal uit van 5 tot 8 m² per persoon, voor schoollokalen dient men echter te rekenen met 1.2 m² per persoon. (30 leerlingen in een lokaal van 35 m²).
- Kies voor een installatie die lage onderhouds- en beheerskosten heeft. Het energiegebruik dient uiteraard zo laag mogelijk te zijn, waarvoor voor veel apparaten o.a. de inverter techniek beschikbaar is.
- Kies voor geluidarme apparatuur.

Regelgeving

Aangezien Nederlandse regels en richtlijnen niet zondermeer toepasbaar zijn in de tropische omstandigheden van Caribisch Nederland, is er geen toetsingskader om te bepalen of schoollokalen een optimale leeromgeving bieden.

Op termijn is het wenselijk om een normering op te stellen waarin alle parameters van isolatie, temperatuurregeling en luchtkwaliteit worden opgenomen. Daarin dienen ook normen voor energiezuinigheid, geluid en licht opgenomen te worden. Deze richtlijnen kunnen het beste opgesteld worden nadat over een voldoende lange periode ervaringen zijn opgedaan met diverse installaties en voorzieningen.

Tot aan het moment dat er nieuwe regelgeving is opgesteld, kan dit rapport gebruikt worden als richtlijn voor de te bereiken waarden ten behoeve van een goede leeromgeving:

- een luchttemperatuur tussen 23 en 25°C
- een luchtsnelheid tussen 0.25 en 0.5 m/s
- een CO₂-gehalte tussen 400 en 800 ppm met een maximum van 1200 ppm
- een relatieve luchtvochtigheid tussen 40 en 60%.

Daarnaast gelden uiteraard de genoemde waarden t.a.v. comfort, zoals de temperatuur van wanden en plafonds.

Algemeen

- Ga altijd uit van de optimale klimaatinstallatie, zeker voor nieuwbouw. Een klimaatinstallatie die niet optimaal functioneert, geeft iedere dag ergernis en klachten en kost veel geld voor onderhoud en beheer. Bezuinigingen op klimaatinstallaties leveren vrijwel altijd (veel) hogere onderhouds- en beheerskosten op, waardoor het aanvankelijke voordeel uiteindelijk teniet gedaan wordt of zelfs duurder uitvalt.
- Voor bestaande gebouwen wordt aanbevolen om per gebouw een analyse van de algehele toestand te maken om de juiste voorzieningen aan te brengen, zowel bouwkundig als installatietechnisch. Ieder gebouw heeft immers zijn bijzondere eigenschappen.
- Om een verdere kostenbesparing te bereiken kan onderzocht worden of, nadat alle maatregelen t.a.v. isolatie en optimale apparatuur zijn getroffen, ook duurzame energiebronnen

ingezet kunnen worden in de vorm van windenergie of zonne-energie.

- Uit het belevingswaardenonderzoek is naar voren gekomen dat geluid van buiten als storend wordt ervaren voor de concentratie. Aandacht voor geluidisolatie is dus ook belangrijk. Dat kan in samenhang met het aanpakken van de infiltratie in bestaande gebouwen.
- Voor nieuwbouw ontstaan er mogelijkheden om extra aandacht te geven aan de situering van de gebouwen. Dat heeft effect op bijvoorbeeld de bezonning. Maar ook de positionering ten opzichte van geluid producerende activiteiten zoals sportvoorzieningen, schoolplein, kantine, autoverkeer en dergelijke is van belang om geluidoverlast voor klaslokalen te voorkomen.
- Het verdient aanbeveling om nader onderzoek te doen naar het verlichtingsniveau en de akoestiek in de schoollokalen en dan met name naar de nagalmtijd. Deze aspecten zijn niet onderzocht. Tijdens de onderzoeken is wel geconstateerd dat er waarneembare verschillen zijn tussen de verschillende scholen in de verlichtingsniveaus en, in mindere mate, in de akoestische eigenschappen. Ten aanzien van de verlichting is bijzondere aandacht nodig voor het helderheidsverschil met het daglicht. De toetreding van daglicht kan ingezet worden om energie voor kunstverlichting te besparen, bijvoorbeeld door indirecte daglichttoetreding. Dit vergt aandacht in de ontwerpfase van de gebouwen.

LITERATUUR

American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE). (2010). Standard 55 – 2010 "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy".

Ansaldi, R., Corgnati, S. P., & Filippi, M. (2007). Comparison between thermal comfort predictive models and subjective responses in Italian university classrooms. *Proceedings of Clima, WellBeing Indoors*.

Arundel, A. V., Sterling, E. M., Biggin, J. H., & Sterling, T. D. (1986). Indirect health effects of relative humidity in indoor environments. *Environmental Health Perspectives*, 65, 351.

Bronsema, B., & Besselink, H. (2002). Hybrid ventilation: our first choice! *CIB REPORT*, 117–129.

Charles, K. A., *Fanger's Thermal comfort and Draught Models*. – IRC-RR-162, 2003

Clements-Croome, D., Awbi, H., Bako-Biro, Z., Kochhar, N., & Williams, M. (2008). Ventilation rates in schools. *Building and environment*, 43(3), 362–367.

Corgnati, S. P., Ansaldi, R., & Filippi, M. (2009). Thermal comfort in Italian classrooms under free running conditions during mid seasons: Assessment through objective and subjective approaches. *Building and Environment*, 44(4), 785–792.

Corgnati, S. P., Filippi, M., & Viazzo, S. (2007). Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: Subjective preferences and thermal comfort. *Building and environment*, 42(2), 951–959.

Drijver, M., Verberk, M., & de Jongste, J. (2010). Binnenluchtkwaliteit in basisscholen: Gezondheidsraad beoordeelt stand van kennis (Forum).

Gezondheidsraad. (2010). Binnenluchtkwaliteit in basisscholen.

Kwok, A. G., & Chun, C. (2003). Thermal comfort in Japanese schools. *Solar Energy*, 74(3), 245–252.

Li, B., Yu, W., Liu, M., & Li, N. (2011). Climatic Strategies of Indoor Thermal Environment for Residential Buildings in Yangtze River Region, China. *Indoor and Built Environment*, 20(1), 101.

Linden, ir. A. C. van der, *Bouwfysica*. – Utrecht/Zutphen, ThiemeMeulenhoff, 2006

Pilcher, J. J., Nadler, E., & Busch, C. (2002). Effects of hot and cold temperature exposure on performance: a meta-analytic review. *Ergonomics*, 45(10), 682–698.

Pilman, M. S. (2001). The Effects of Air Temperature Variance on Memory Ability. *Loyola University Clearinghouse*.

Stranger, M., e.a. (2010). Binnenlucht in Basisscholen (BIBA, Vito NV).

Seppanen, O., Fisk, W. J., & Faulkner, D. (2003). Cost benefit analysis of the night-time ventilative cooling in office building.

Wargocki, P., & Wyon, D. P. (2009). The effects of classroom air temperature and outdoor air supply rate on performance of school work by children.

Wong, N. H., & Khoo, S. S. (2003). Thermal comfort in classrooms in the tropics. *Energy and buildings*, 35(4), 337–351.

Youa, Y., Bai, Z., Jia, C., Ran, W., Zhang, J., Hu, X., & Yang, J. (z.d.). Ventilation conditions of different indoor environments in a university.

BIJLAGEN

BIJLAGE 1: MODEL VAN FANGER

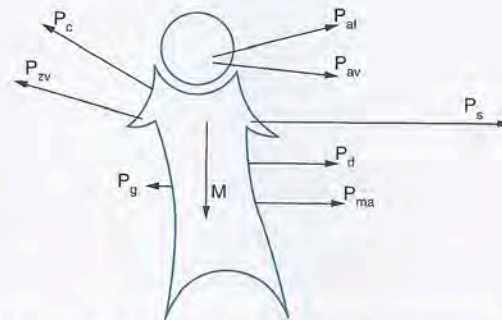
Een van de dingen waar men naar streeft bij het ontwerpen van een nieuw gebouw, is een behaaglijk binnenklimaat voor de mensen die erin komen te wonen of werken. Daarvoor moet men beschikken over een methode om uit de meetbare, fysische grootheden af te leiden welke waardering de mens voor het binnenklimaat zal hebben. Uiteraard zullen daarbij de situatie waarin deze mens zich bevindt (rustig zitten, zwaar werken) en de soort kleding die hij draagt, invloed hebben. De meeste modellen voor het hanteerbaar maken van thermische behaaglijkheid dateren vanaf de jaren 1970 en zijn voornamelijk gebaseerd op laboratoriumonderzoek.

Vanaf 2000 komen er steeds meer gegevens beschikbaar over de waardering van het thermisch binnenklimaat in de werkelijke situatie. Van over de hele wereld zijn resultaten van veldstudies bijeengebracht. Hieruit is rechtstreeks een verband tussen de buitentemperatuur en de binnen gewenste situatie afgeleid. Het blijkt dat er onder meer sprake is van psychologische adaptatie. Dat betekent dat de (recente) ervaring met het buitenklimaat en de verwachting die men heeft ten aanzien van de binnen heersende temperatuur, mede het individuele oordeel bepalen. In perioden met hogere buitentemperaturen blijkt men hogere binnentemperaturen dan met Fangers model worden gevonden, geen probleem te vinden.

5.1 Thermische behaaglijkheid, model van Fanger

Door verschillende onderzoekers zijn modellen ontwikkeld. Een van de meest bekende is het model van Fanger (1970). Dit model wordt hier uitgebreid besproken omdat het goed inzicht geeft in de zaken waar het bij thermische behaaglijkheid om gaat. In het model wordt uitgegaan van een energiebalans voor de mens in een stationaire situatie. Hierin wordt de in het lichaam door de stofwisseling vrijgemaakte energie (metabolisme) gelijkgesteld aan de afgevoerde energie (zie figuur 5.1).

Uiteraard kan de warmtebalans worden beïnvloed door het wijzigen van de kleding



- M de in het lichaam door de stofwisseling ontwikkelde energie (metabolisme)
- P_{ma} de uitwendig verrichte mechanische arbeid
- P_d de door dampdiffusie door de huid afgevoerde energie (latente warmte)
- P_{zv} door zweetverdamping afgevoerde warmte (verdampingswarmte)
- P_{av} met de ademhaling afgevoerde (voelbare) warmte
- P_c convectieve warmteuitwisseling aan de binnenlucht aan het buitenoppervlak van het lichaam (de kleding)
- P_s door straling aan de omringende wanden afgegeven warmte aan het buitenoppervlak van het lichaam (de kleding)
- P_g door geleiding afgevoerde warmte (meestal verwaarloosbaar klein)

Figuur 5.1 Warmtebalans van een mens in een ruimte

(warmte weerstand). Door het toevoegen van comforteisen betreffende huidtemperatuur en zweetvorming aan deze energiebalans, komt Fanger op een behaaglijke vergelijking. Hiervoor zijn experimenten met proefpersonen verricht. Daarbij is een schaal gebruikt zoals is weergegeven in figuur 5.2.

De neutrale situatie op deze schaal is gedefinieerd door een luchttemperatuur van $T_l = 29\text{ °C}$ en een gelijke, uniforme stralingstemperatuur, een relatieve luchtvochtigheid van $\varphi = 30\%$ en een luchtsnelheid van $v = 0,1\text{ m/s}$, voor een ongekledede mens bij een expositietijd van een uur. Bij dezelfde omstandigheden zal de kwalificatie 'zeer heet' bij $T_l = T_s = 45\text{ °C}$ liggen en de uitspraak 'zeer koud' bij $T_l = T_s = 10\text{ °C}$. De vergelijkingen van Fanger – die hij heeft



Figuur 5.2 Schaal voor het toekennen van een getalwaarde aan een bepaalde waardering van het binnenklimaat

afgeleid op basis van onderzoek met proefpersonen in een laboratoriumsituatie – gelden voor het gebied tussen een waardering van -2 tot 2 . Uit zijn vergelijkingen volgt een 'Predicted Mean Vote' (voorspelde gemiddelde waardering, PMV) die met de getallen op de schaal van figuur 5.2 kan worden vergeleken.

Op een waardering van een binnenklimaat volgens de vergelijkingen van Fanger hebben allerlei dingen zoals leeftijd, verschil in sekse, land van herkomst en ras geen meetbare invloed. Als er al verschillen zijn, komen die wellicht eerder voort uit het feit dat verschillende personen bij dezelfde omstandigheden bijvoorbeeld een ander metabolisme (de door de stofwisseling in het lichaam ontwikkelde energie) hebben. Wanneer je buiten het door Fanger bestudeerde 'behaaglijkheidsgebied' komt ($PMV > 2$ of $PMV < -2$), bestaan er waarschijnlijk wel grote verschillen zoals hierboven bedoeld.

Beperkingen bij het model van Fanger zijn dat het alleen geldt binnen het behaaglijkheidsgebied, en dat het uitgaat van een stationaire situatie. Hierdoor kun je voor een kort verblijf in een ruimte (tot een half uur) of voor kortdurende activiteiten geen waardering van het klimaat maken.

Er zijn ook modellen gemaakt die meer rekening houden met het dynamische karakter van de processen, tot volledig dynamische modellen toe waarin het menselijk lichaam in vier lagen is verdeeld. Deze modellen worden vooral voor onderzoeksdoeleinden gebruikt en

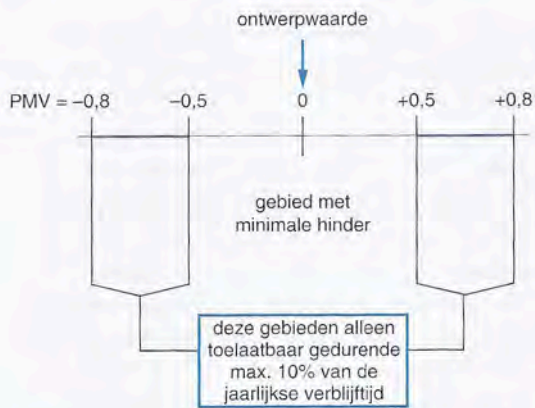
zijn minder goed bruikbaar voor de praktijk. In de praktijk wordt vooral gewerkt met het model van Fanger. Het verschaft in normale situaties waarbij je binnen het behaaglijkheidsgebied blijft (woningen, kantoren, scholen enzovoort) voldoende inzicht in de zaken waar het bij behaaglijkheid om gaat.

Een voordeel van het model van Fanger is dat er gemakkelijk mee kan worden gewerkt met behulp van een pc of een (programmeerbaar) zakrekenapparaat. Overigens is nog lang niet alles over de reacties van mensen op een bepaald binnenklimaat bekend. Fanger werkte met vaste groepen, meest mannelijke studenten tussen 20 en 30 jaar, die toch in zekere zin 'getraind' waren.

5.2 Gewenste binnen-temperatuur op basis van PMV

Hoewel er voor de praktische toepassing nieuwe richtlijnen in ontwikkeling zijn, die gebaseerd zijn op de 'adaptieve thermische behaaglijkheidsgrenzen' afgeleid uit veldonderzoek, kijken we eerst op basis van het model van Fanger naar gewenste binnentemperaturen. Enerzijds doen we dit omdat het voor het verkrijgen van inzicht in de reactie van mensen op een bepaald binnentemperatuur nuttig is, anderzijds omdat de adaptieve temperatuur-grenzen strikt genomen alleen nog maar voor kantoorwerk geldig zijn.

Op basis van de beschouwingen van Fanger is het mogelijk aanbevelingen te doen voor het in een gebouw te realiseren binnenklimaat. Hierbij wordt er rekening mee gehouden dat men binnen zekere grenzen als individu in staat is zich aan het binnenklimaat aan te passen door wijziging van de isolatiewaarde van de kleding (aan- of uittrekken van trui, vest, jasje enzovoort). Als je ervan uitgaat dat deze aanpassing $\pm 0,3$ clo (zie verderop) kan bedragen, kun je berekenen dat – uitgaande van de gemiddelde kledingisolatie – een fluctuatie in het binnenklimaat van $PMV = -0,5$ tot $PMV = +0,5$ onder normale omstandigheden zeker toelaatbaar is (zie figuur 5.3). Uit de praktijkervaring blijkt verder dat incidenteel (bijvoorbeeld bij



Figuur 5.3 Schaal voor het beoordelen van het binnenklimaat in een gebouw

extreme buitenklimaatcondities) een overschrijding, respectievelijk onderschrijding van dit gebied tot $PMV = \pm 0,8$ tijdelijk (bijvoorbeeld 10% van de jaarlijkse verblijftijd) zonder meer toelaatbaar is.

Uit zijn experimenten heeft Fanger verder een verband kunnen afleiden tussen de PMV en het percentage mensen dat het binnenklimaat als warm of koel zal ervaren. In een volgens berekening neutrale toestand ($PMV = 0$) ervaart ongeveer 5% van de proefpersonen het klimaat toch nog als warm of koel. Bij $PMV = 0,5$ vindt circa 10% het warm en bij $PMV = 0,8$ circa

20%. Bij negatieve PMV's gelden ongeveer gelijke percentages ten aanzien van het aantal personen dat het klimaat als koel ervaart, zie figuur 5.4 voor het verband tussen de PPD (het voorspelde aantal ontevreden, 'Predicted Percentage Dissatisfied') en de PMV.

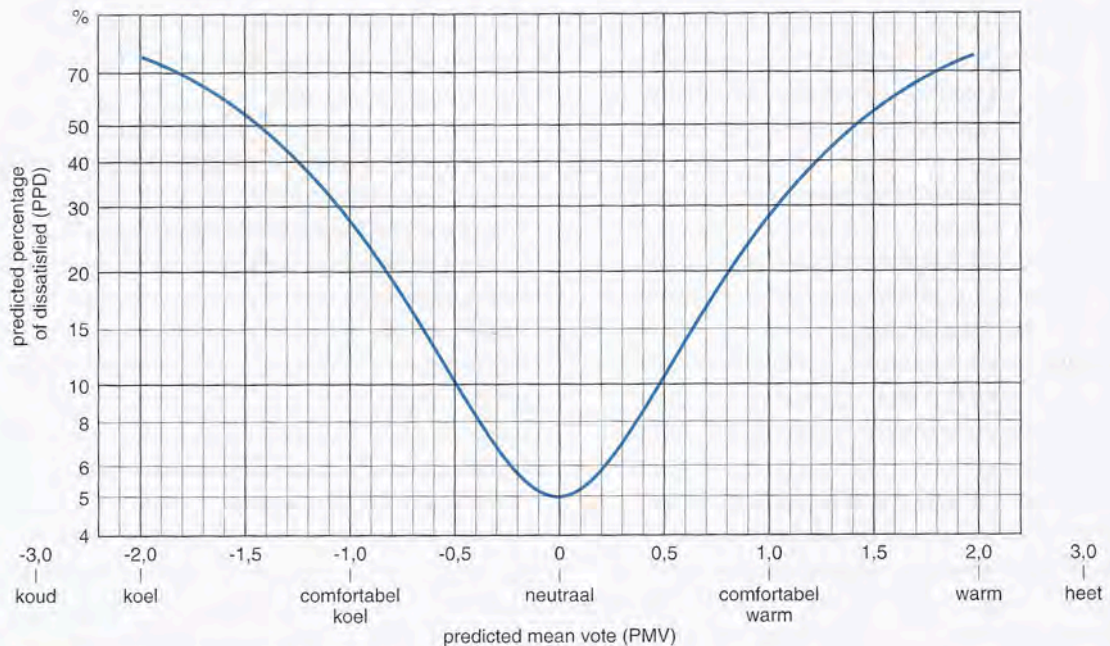
Hoewel het in principe het beste is om het binnenklimaat met een behaaglijkeheidsindex (zoals de PMV) te beschrijven, is het nuttig om voor de praktijk een 'vertaling' te maken naar de te realiseren binnenluchttemperatuur bij bepaalde combinaties van de overige invloedsfactoren. Bij de regeling van de meeste installaties is namelijk voorlopig de luchttemperatuur nog het criterium.

Een van de variabelen die je daarbij moet bekijken is het metabolisme. Er is daarom een indeling gemaakt van de meest voorkomende activiteitsniveaus in een vijftal klassen (zie figuur 5.5).

Daarnaast is de aanname van de kledingweerstand van belang.

De kledingweerstand (I_{clo}) wordt uitgedrukt in clo ($1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$).

Deze eenheid is ontstaan doordat men een *business suit* (driedelig pak) als referentie heeft gekozen (zie figuur 5.6).



Figuur 5.4 Verband tussen PPD en PMV

klasse	activiteit	metabolisme* [W]
I	rusten (liggend)	85
II	rustig zitten, lezen	105
III	algemeen kantoorwerk, brieven schrijven, tekenwerk	130
IV	typen, algemene laboratoriumwerkzaamheden, lesgeven	160
V	licht montagewerk, huis-houdelijke werkzaamheden (strijken, afwassen)	200

* Hierbij is uitgegaan van een lichaamsoppervlakte van 1,8 m².

Figuur 5.5 Indeling van activiteiten naar een vijftal klassen van metabolisme

Uit sommige onderzoeken blijkt dat in dezelfde omstandigheden vrouwen vaak kleding met een 0,1 tot 0,2 clo lagere weerstand dragen dan mannen. Voor het opstellen van uitgangspunten voor het te realiseren binnenklimaat (woning, school, kantoor) kunnen de volgende waarden worden aangehouden, gemiddeld voor mannen en vrouwen:

- zomer 0,4–1,0 clo, gemiddeld 0,7 clo;
- winter 0,6–1,2 clo, gemiddeld 0,9 clo.

De spreiding rond het gemiddelde moet je zien als de aanpassing in kleding die een persoon individueel kan realiseren om op het aangeboden binnenklimaat te reageren.

Uitgaand van deze waarden, geven we hierna bij vaste aannamen voor de andere variabelen de benodigde binnenluchttemperatuur bij verschillende PMV. Daarnaast doen we aanbevelingen voor toelaatbare waarden voor de luchtsnelheid en de relatieve vochtigheid.

Luchttemperatuur

In figuur 5.7 is voor de hiervoor genoemde vijf activiteitsniveaus aangegeven welke luchttemperatuur, in afhankelijkheid van de stralingstemperatuur, in de wintersituatie ($I_{\text{clo}} = 0,9$) hoort bij een PMV van respectievelijk 0, –0,5 en –0,8. Op dezelfde manier is voor de zomersituatie ($I_{\text{clo}} = 0,7$) aangegeven welke luchttemperatuur hoort bij een PMV van res-

type kleding	waarde [clo]
ongekleed	0
bikini	0,05
korte broek	0,1
normale tropische kleding (korte broek, shirt met open kraag en korte mouwen, licht ondergoed)	0,3
lichte zomerkleding (dunne lange broek, shirt met korte mouwen)	0,5
licht (zomer)kostuum	0,8
normaal kostuum (overhemd met stropdas)	1,0
zwaar kostuum met vest, lang ondergoed	1,5
kleding voor de poolstreken	3,0–4,0

Figuur 5.6 Globale indicatie van de warmteweerstand van verschillende soorten kleding, uitgedrukt in clo (1 clo = 0,155 m² · K/W)

pectievelijk 0, 0,5 en 0,8. Verder is uitgegaan van een luchtsnelheid van $v = 0,15$ m/s en een relatieve vochtigheid van de lucht van $\varphi = 50\%$. Met name de invloed van de relatieve vochtigheid is echter betrekkelijk gering. Uit deze tabellen kun je bepalen welke temperatuur je in een bepaalde situatie moet nastreven als ontwerptemperatuur (PMV = 0) en binnen welke temperatuurgrenzen je bij voorkeur 90% van de tijd moet blijven ($-0,5 < \text{PMV} < 0,5$). De temperaturen voorbij $\text{PMV} = \pm 0,8$ gelden als grenzen die je slechts incidenteel zou mogen overschrijden. Zo'n overschrijding is overigens niet schadelijk, alleen minder comfortabel (zie ook figuur 5.3). Voor het verder beoordelen van wat men met kleding nog kan doen, kun je globaal aangehouden dat een verandering met 0,2 clo een verschil van circa 1 °C in temperatuur betekent.

Voor de zomersituatie is in figuur 5.8 apart aangegeven hoe de situatie eruitziet als wordt uitgegaan van een luchtsnelheid van $v = 0,4$ m/s (grotere luchtbeweging door het openen van ramen). Er blijken dan ongeveer 1 °C hogere temperaturen mogelijk te zijn. Realiseer je echter dat lang niet op alle plaatsen in het vertrek een dergelijke luchtsnelheid kan worden gere-

	luchttemperatuur [°C]						
	PMV =	winter ($I_{clo,i} = 0,9$)			zomer ($I_{clo,i} = 0,7$)		
		-0,8	-0,5	0	0	+ 0,5	+ 0,8
activiteitenniveau I,							
M = 85 W							
$T_s = T_\ell$	24	24	26	27	28	29	
$T_s = T_\ell - 2$	24	25	26	28	29	29	
$T_s = T_\ell - 4$	25	26	27	28	30	30	
$T_s = T_\ell + 2$	23	24	25	26	27	28	
$T_s = T_\ell + 4$	22	23	24	25	26	27	
activiteitenniveau II,							
M = 105 W							
$T_s = T_\ell$	21	22	24	25	27	28	
$T_s = T_\ell - 2$	22	23	25	26	28	29	
$T_s = T_\ell - 4$	23	24	26	27	29	29	
$T_s = T_\ell + 2$	20	22	23	24	26	27	
$T_s = T_\ell + 4$	20	21	22	24	25	26	
activiteitenniveau III,							
M = 130 W							
$T_s = T_\ell$	19	20	22	24	26	27	
$T_s = T_\ell - 2$	19	21	23	24	26	28	
$T_s = T_\ell - 4$	20	22	24	25	27	28	
$T_s = T_\ell + 2$	18	19	21	23	25	26	
$T_s = T_\ell + 4$	17	18	21	22	24	25	
activiteitenniveau IV,							
M = 160 W							
$T_s = T_\ell$	15	17	20	22	24	25	
$T_s = T_\ell - 2$	16	18	21	22	25	26	
$T_s = T_\ell - 4$	17	19	22	23	26	27	
$T_s = T_\ell + 2$	15	16	19	21	23	24	
$T_s = T_\ell + 4$	14	15	18	20	22	24	
activiteitenniveau V,							
M = 200 W							
$T_s = T_\ell$	11	14	17	19	22	23	
$T_s = T_\ell - 2$	12	14	18	20	22	24	
$T_s = T_\ell - 4$	13	15	18	20	23	25	
$T_s = T_\ell + 2$	11	13	16	18	21	23	
$T_s = T_\ell + 4$	10	12	15	17	20	22	

Figuur 5.7 Benodigde luchttemperatuur voor een bepaalde PMV-waarde ($\varphi = 50\%$, $v = 1,15$ m/s)

aliseerd en dat daarnaast op bepaalde plaatsen een veel te hoge luchtsnelheid zal heersen, zodat er discussies zullen ontstaan over ramen open of ramen dicht, als er meerdere personen in het vertrek verblijven.

In deze tabellen is de invloed van de stralings-temperatuur weergegeven door een verschil

tussen lucht- en stralingstemperatuur. Zo geldt de situatie $T_\ell = T_s$ voor een ruimte met een gering buitenwandaandeel, of een inpandige ruimte en een lichte bouwconstructie, of een inmiddels redelijk stationair geworden situatie (continu verwarmen).

Een situatie $T_s = T_\ell - 2$ of $T_\ell - 4$ betekent dat de stralingstemperatuur achterblijft bij de lucht-

PMV =	luchttemperatuur [°C] bij activiteitsniveau								
	II M = 105 W			III M = 130 W			IV M = 160 W		
	0	+ 0,5	+ 0,8	0	+ 0,5	+ 0,8	0	+ 0,5	+ 0,8
$T_s = T_\ell$	26	28	28	25	26	27	23	25	26
$T_s = T_\ell - 2$	27	28	29	25	27	28	24	26	27
$T_s = T_\ell - 4$	28	29	30	26	28	29	24	26	28
$T_s = T_\ell + 2$	26	27	28	24	26	27	22	24	26
$T_s = T_\ell + 4$	25	26	27	23	25	26	22	24	25

Figuur 5.8 Benodigde luchttemperatuur voor de aangegeven PMV-waarde bij verschillende activiteitsniveaus (kledingweerstand 0,7 clo, $\phi = 50\%$, $v = 0,4$ m/s)

temperatuur. Dit komt dicht bij koude glasvlakken voor, of in zwaardere gebouwen tijdens het eerste deel van de dag, vooral na het weekeinde als de binnentemperatuur 's nachts (uit oogpunt van efficiënt energiegebruik) lager is geweest. Vooral bij gebouwen met luchtverwarming zal dit sterk spelen. Ook 's zomers kan deze situatie optreden, als bij zonbestraling de binnenluchttemperatuur (bijvoorbeeld door de convectieve warmteafgifte van meubels of een binnenzonwering) snel stijgt en de stralingstemperatuur hierbij achterblijft. Dit geldt natuurlijk niet voor de plaats vlak achter de binnenzonwering; daarvoor geldt de volgende situatie.

Een verschil $T_s = T_\ell + 2$ of $T_\ell + 4$ treedt op in ruimten waar één of meer vlakken een duidelijk hogere temperatuur hebben dan bij de luchttemperatuur. Dit geldt bijvoorbeeld bij stralingsverwarming of bij door de zon sterk opgewarmde vlakken in de zomer. Ook in gebouwen waar de binnenlucht mechanisch wordt gekoeld, treedt deze situatie op.

Relatieve luchtvochtigheid

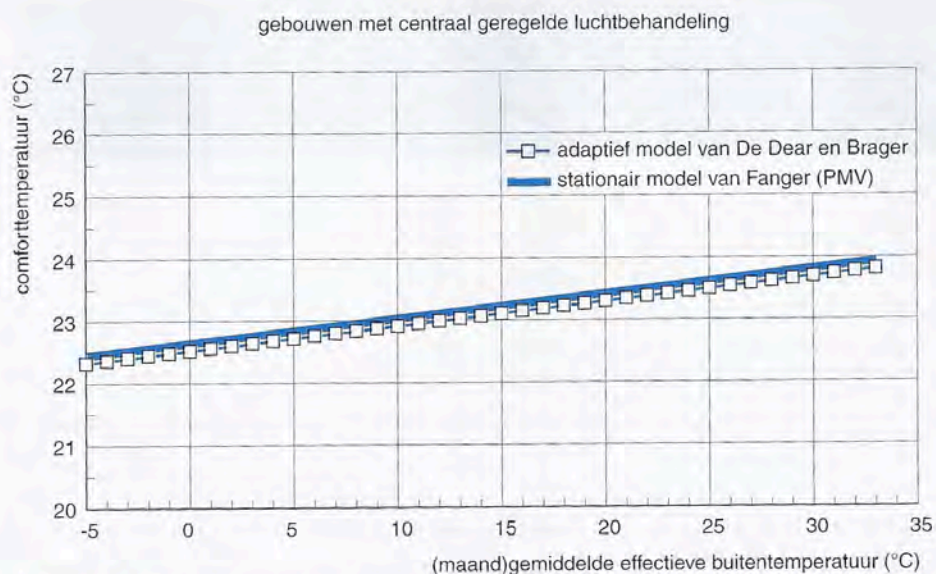
Om redenen van (thermische) behaaglijkheid hoeft aan de relatieve vochtigheid nauwelijks een eis te worden gesteld. Naar boven toe wordt vaak een grens aangehouden van $\phi = 70\%$ of een vochtgehalte van $x = 12$ g/kg. Naar beneden toe is er uit behaaglijkheidsoogpunt geen grens te noemen. De vaak gehanteerde ondergrens van $\phi = 30\%$ vindt zijn ontstaan in het feit dat onder deze waarde verhoogde kans bestaat op het ontstaan van

statische elektriciteit en verhoogde stofontwikkeling met daarmee gepaard gaande irritatie van slijmvliezen. Uit oogpunt van algemene behaaglijkheid is het daarom zinvol ook aan de hier genoemde grenzen voor de relatieve vochtigheid aandacht te besteden.

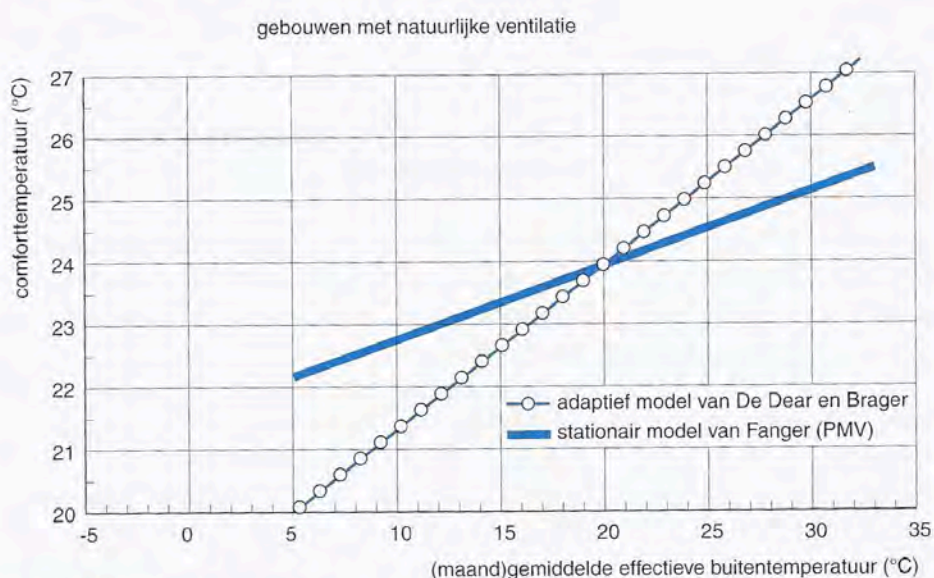
5.3 Adaptieve thermische behaaglijkheid

De binnenklimaatcriteria die we hiervoor hebben besproken, zijn gebaseerd op een statisch behaaglijkheidsmodel. Daarbij kunnen een aantal kanttekeningen worden gemaakt:

- De kledingweerstand moet worden opgegeven. Afgezien van de onzekerheid die in de waarde bestaat – zelfs gegeven het kledingensemble – is dit een van de variabelen die een persoon over het algemeen juist zal gebruiken om zijn tevredenheid met het klimaat te optimaliseren, in plaats van dat dit een vastgestelde bepalende factor is.
- Het metabolisme dat hoort bij een bepaalde activiteit, kan een grote spreiding vertonen.
- Het model gaat uit van steady-state-situaties. Het effect van het dynamische karakter van de thermische condities wordt dus niet meegenomen in de beschouwing.
- Het statische model gaat uit van het idee dat alleen thermofysiologische aspecten de thermische sensatie bepalen. Het is echter duidelijk dat ook niet-thermische factoren een rol spelen. Met name de mate waarin een persoon zelf invloed kan uitoefenen op de omgeving, maar ook het verwachtingspatroon ten aanzien



Figuur 5.9 Comforttemperatuur in relatie tot gemiddelde buitentemperatuur bij gesloten gebouwen met een centraal geregelde klimaatinstallatie



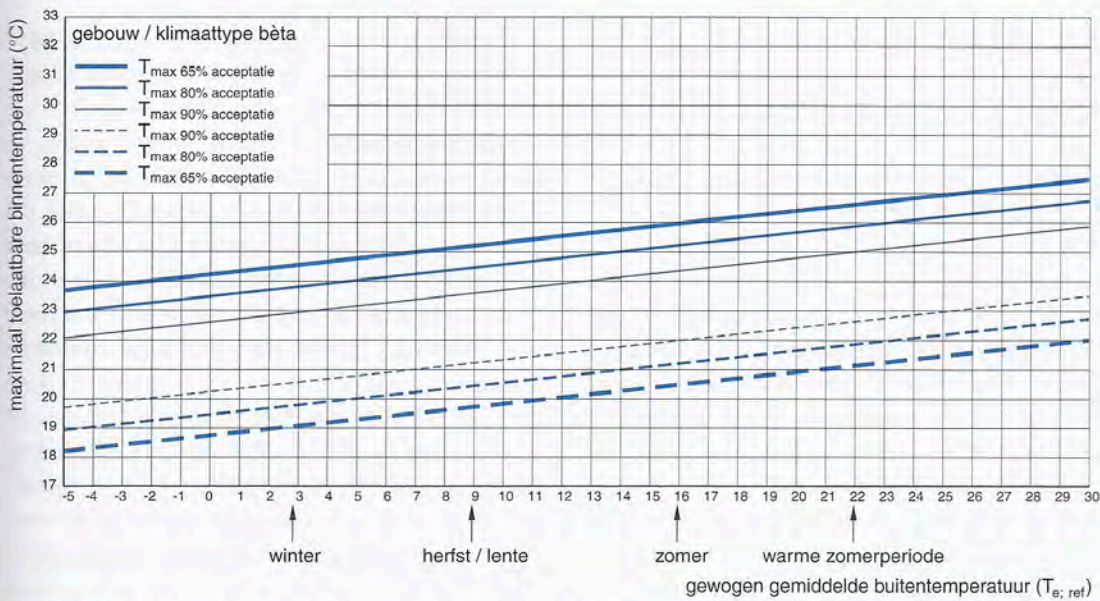
Figuur 5.10 Comforttemperatuur in relatie tot gemiddelde buitentemperatuur bij natuurlijk geventileerde gebouwen met mogelijkheden voor individuele beïnvloeding van het binnenklimaat

van het thermische binnenklimaat, zijn belangrijke factoren.

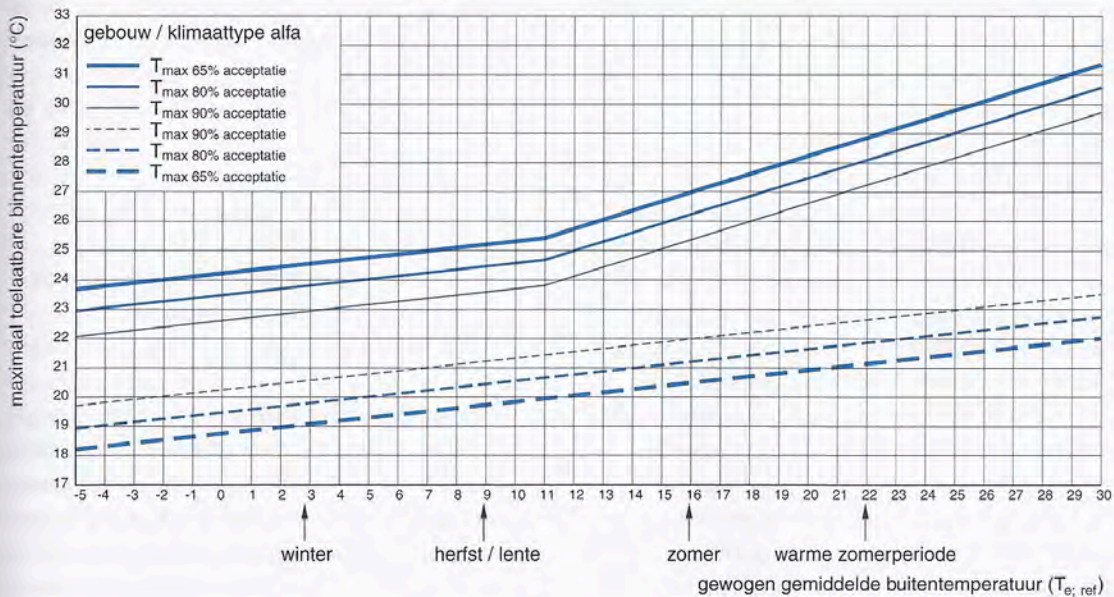
De eerste twee punten kunnen in principe worden opgevangen door bij gebruik van de statische modellen de invoergrootheden kledingweerstand en metabolisme te variëren. Dit wordt echter zelden gedaan. Het derde punt is naar verwachting maar van beperkt belang, omdat de beschouwde situatie (kantoorarbeid) min of meer stationair is. Het vierde punt is het

belangrijkst. Onderzoek van met name Brager en De Dear draagt nieuwe inzichten aan over de waardering van gebouwgebruikers voor het aangeboden binnenklimaat.

Wanneer rekening wordt gehouden met aanpassing van de kledingweerstand bij verschillende buitentemperaturen, worden voor gebouwen met een centraal geregelde binnentemperatuur en zonder te openen ramen met het statische model van Fanger overiger



Figuur 5.11 Maximaal toelaatbare operationele binnentemperatuur voor een bepaalde acceptatie, afhankelijk van de buitentemperatuur $T_{e,ref}$ voor gebouwen met gesloten gevels en centraal geregelde luchtbehandeling. Voor de volledigheid zijn ook de ondergrenzen weergegeven.



Figuur 5.12 Maximaal toelaatbare operationele binnentemperatuur voor een bepaalde acceptatie, afhankelijk van de buitentemperatuur $T_{e,ref}$ voor gebouwen met te openen ramen en goede mogelijkheden voor individuele beïnvloeding van het thermisch binnenklimaat. Voor de volledigheid zijn ook de ondergrenzen weergegeven.

dezelfde 'comforttemperaturen' gevonden als met het adaptieve model, dat is opgesteld op basis van verzamelde gegevens van veldonderzoek. In figuur 5.9 is dit in een grafiek weergegeven.

Voor gebouwen met te openen ramen en met mogelijkheden voor persoonlijke beïnvloeding van het binnenklimaat, blijkt dat gebouwgebruikers een van de 'neutrale thermische situatie' (zoals berekend met het PMV-model) afwijkende 'comforttemperatuur' aangegeven. Bij lage buitentemperaturen ligt de comfort-

temperatuur lager dan het PMV-model aan-geeft en bij hogere buitentemperaturen hoger (zie figuur 5.10).

Het blijkt dat de comforttemperatuur in de praktijk voor natuurlijk geventileerde gebouwen veel sterker meebeweegt met de buitentemperatuur dan kan worden verklaard met het statische PMV-model. Als je rekening houdt met het aanpassen van de kledingweerstand en het vergroten van de luchtsnelheid in het vertrek bij hogere temperaturen, verklaart dat slechts de helft van het waargenomen verschil. De andere helft lijkt met name te maken te hebben met de psychologische aanpassing aan een binnenklimaat dat het buitenklimaat veel sterker volgt dan in een geklimatiseerd gebouw. Dit leidt tot de conclusie dat de recente thermische geschiedenis die een persoon heeft ondergaan een belangrijke rol speelt, samen met de verwachtingen die een gebruiker heeft ten aanzien van zijn gebouwde omgeving.

De comforttemperatuur in het adaptieve model is gerelateerd aan de 'gemiddelde buitentemperatuur'. Dat betekent voor de Nederlandse zomersituatie – waarin de gemiddelde dagtemperatuur over een periode van meerdere dagen nooit de 23–25 °C overschrijdt – dat afwijkingen ten opzichte van waarden gevonden met het PMV-model tot circa 1 °C beperkt blijven (zie figuur 5.10). Gecombineerd met het feit dat in de praktijk tot 2005 vrijwel nooit met een met de buitentemperatuur meebewegende comforttemperatuur werd gerekend, betekenen de nieuwe inzichten niettemin een belangrijke verbetering voor de praktijk.

Dat geldt met name voor de bovengrens van de aan te houden binnentemperatuur. Bij hogere buitentemperaturen ontstaat meer ruimte, bij lagere buitentemperaturen worden de richtwaarden strenger ten opzichte van de 'oude' richtwaarde van 25 °C. Voor gebouwen met gesloten gevels en centrale luchtbehandeling (koeling) heeft dit laatste consequenties. Het verklaart daarnaast ook de ontevredenheid van gebruikers in een deel van deze gebouwen. Binnentemperaturen van 25 °C bij de lagere buitentemperaturen in het voor- en najaar zijn gewoon te hoog. De nieuwe grenswaarden zijn

vastgelegd in ISSO-publicatie 74 (maart 2004) en hier weergegeven in figuur 5.11 en 5.12.

Er wordt onderscheid gemaakt in gebouw/klimaatype alfa en bèta. Type alfa staat voor gebouwen met te openen ramen en goede beïnvloedingsmogelijkheden van het thermisch binnenklimaat door de individuele gebouwgebruiker. Type bèta staat voor gebouwen met geheel gesloten gevels en centraal geregelde luchtbehandeling.

De lijnen hebben wat betreft de maximaal en minimaal toelaatbare binnentemperatuur betrekking op de *operatieve temperatuur*, aangenomen als het rekenkundig gemiddelde van de luchttemperatuur en de stralingstemperatuur.

$T_{e,ref}$ wordt bepaald uit het gemiddelde van de maximale en minimale buiten(lucht)temperatuur van de beschouwde dag en de drie daarvoorafgaande dagen, volgens de formule:

$$T_{e,ref} = \frac{T_v + 0,8 \cdot T_g + 0,4 \cdot T_{eg} + 0,2 \cdot T_{eeg}}{2,4}$$

waarin:

- T_v = de buitentemperatuur van vandaag
- T_g = de buitentemperatuur van gisteren
- T_{eg} = de buitentemperatuur van eergisteren
- T_{eeg} = de buitentemperatuur van eereergisteren

Gedurende het stookseizoen en bij in werking zijnde verwarming (bij gemiddelde buitentemperaturen onder 10 à 15 °C) is per saldo geen sprake van een alfa-gebouw/klimaat. Het effect van gedragsadaptatie (onder andere kleding) speelt dan nog wel een rol, maar psychologische adaptatie niet meer. Daarom wordt bij een $T_{e,ref}$ beneden 10–12 °C voor gebouw/klimaatype alfa dezelfde operatieve temperatuurgrens aangehouden als bij bèta. Dit is in de grafiek voor gebouw/klimaatype alfa zichtbaar als de lijnen links van de knik.

Voor de volledigheid zijn ook de ondergrenzen voor 65, 80 en 90% acceptatie met stippellijnen in de grafieken opgenomen. Zowel voor het alfa- als het bèta-gebouw/klimaatype worden de ondergrenzen gehanteerd die zijn gevonden voor geheel gesloten gebouwen.

voor het geval je tegen de ondergrens aanzit, wordt aangenomen dat de perceptie van de gebruikers bij beide gebouw/klimaattypen ongeveer gelijk is en in beide gevallen zullen dan de ramen gesloten zijn.

De figuren gelden voor een algemene kantooromgeving en daarmee vergelijkbare situaties. Bij afwijkende omstandigheden kan ter indicatie een correctie op de grenswaarden worden toegepast op basis van metabolisme en kledingweerstand in die situatie.

Voor een standaardsituatie kan worden uitgegaan van de grenzen voor 80% acceptatie.

Voor gebouwen waarbij een extra hoge kwaliteit wordt nagestreefd, kunnen de lijnen voor 90% acceptatie worden gebruikt. De lijnen voor 65% acceptatie kunnen worden gebruikt als referentie bij bestaande gebouwen (metingen in oudere gebouwen naar aanleiding van metingen) of bij tijdelijke (nood)gebouwen, als grenzen waar je in feite niet buiten mag komen. In alle gevallen geldt echter dat in zeer warme perioden incidentele overschrijding van de lijnen toelaatbaar moet worden geacht, om te voorkomen dat extreem grote installaties zouden moeten worden aangebracht.

5.4 Plaatselijk discomfort

Naast een algemene waardering voor het klimaat zoals we hierboven hebben besproken, moet je ook rekening houden met plaatselijke onbehaaglijkheid. In de standaardsituatie gaat men uit van een uniforme lucht- en stralingstemperatuur. De totale comfortervaring kan echter ook worden beïnvloed door een te grote verticale temperatuurgradiënt (te groot temperatuurverschil tussen hoofd en voeten), of door een asymmetrische stralingsbelasting (koud raam, te hoge temperatuur van stralingsverwarming). Daarnaast kan een te koude vloer of een te sterke luchtbeweging problemen veroorzaken.

Verticale temperatuurgradiënt

Als de algemene behaaglijkheid ligt in het gebied van $-0,5 < PMV < 0,5$ of binnen de adaptieve temperatuurgrenzen, en er geen sprake is van stralingsasymmetrie (zie hierna) of

tocht, dan is een verschil in luchttemperatuur tussen hoofd (1,1 m) en enkels (0,1 m) van 3 °C toelaatbaar. Wanneer de overige omstandigheden niet bekend zijn, kun je als vuistregel een toelaatbare temperatuurgradiënt van 1,5 °C aanhouden.

Asymmetrische thermische straling

De asymmetrie in de stralingstemperatuur (bijvoorbeeld door een koud raam) mag niet meer bedragen dan 10 °C. In verticale richting (verwarmingsplafonds) mag de asymmetrie niet meer dan 5 °C zijn. Met asymmetrie bedoelen we hier een verschil in de stralingstemperatuur die je ontvangt vanuit een halve bol naar de ene kant van de ruimte (bijvoorbeeld het raam) en een halve bol naar de andere kant van de ruimte. Dit geldt ook in verticale richting. Daarbij moet je bedenken dat het hierbij niet alleen gaat om de temperatuur van het raam of plafond, maar om de gemiddelde stralingstemperatuur van alle vlakken die je binnen een halve bol ziet.

Vloertemperatuur

In ruimten waar mensen met normaal schoeisel verblijven, wordt een oppervlaktetemperatuur van minimaal 19 °C aanbevolen en van maximaal 28 °C. In veel gebouwen wordt 's nachts een lagere temperatuur aangehouden dan overdag, in verband met het efficiënt omspringen met energie. Daardoor moeten aan het begin van de dag ook de constructies weer worden opgewarmd. Als de vloer te koud blijft, ondervind je daar hinder van. De genoemde minimumtemperatuur dient dan ook bij voorkeur hooguit 1,5 uur na het begin van de werktijd te zijn bereikt. Vooral bij vloeren boven buitenlucht moet je hier bijzondere aandacht aan schenken. Deze vloeren moeten afdoende worden geïsoleerd en aan de bovenzijde worden afgewerkt met een materiaal met een geringe warmtecapaciteit (lichte afwerklaag, tapijt). De maximumtemperatuur is van belang bij een gebouw met vloerverwarming. Bij het ontwerpen van een vloerverwarming moet je hiermee terdege rekening houden.

luchttemperatuur [°C]	maximaal toelaatbare luchtsnelheid v [m/s] bij activiteitsniveau			
	I-II	III	IV	V
20	0,15	0,15	0,20	0,20
22	0,15	0,20	0,20	0,20
24	0,20	0,20	0,20	0,30
26	0,30	0,30	0,30	0,40
28	0,30	0,40	0,40	0,40

Figuur 5.13 Maximaal toelaatbare luchtsnelheid binnen, bij de verschillende activiteitsniveaus volgens figuur 5.5 en bij verschillende luchttemperaturen in de situatie $T_{\ell} = T_s$

Luchtsnelheid

Bij het ontwerp van mechanische ventilatie-installaties, airconditioning en luchtverwarming moet je bij het kiezen van de uitblaasornamenten opletten dat de luchtsnelheden in de verblijfszone niet te hoog worden. In figuur 5.13 is voor de verschillende activiteitsniveaus aangegeven welke gemiddelde luchtsnelheid bij een bepaalde luchttemperatuur maximaal toelaatbaar is. Verder geldt dat de luchtsnelheid niet te sterk mag fluctueren.

De genoemde waarden zijn afgeleid uit het Duitse normblad DIN 1946. Een en ander geldt uiteraard niet alleen voor door klimaatinstallaties veroorzaakte luchtstromingen, maar is ook bruikbaar voor het beoordelen van door natuurlijk oorzaken (tocht, koudeval enzovoort) veroorzaakte problemen. Overigens beginnen er meer genuanceerde beoordelingsmogelijkheden voor de luchtsnelheid (tocht) te komen. Van groot belang blijkt ook de fluctuatie in de luchtsnelheid te zijn.