

Adaptief Thermisch Comfort

Kees van der Linden (AaCee Bouwen en Milieu)

Stanley Kurvers (Apogeum Consult)

Joe Leijten

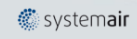
TVVL KENNISPARTNERS



BOSCH



HOILANDWATER
Xigna.



Binnenklimaat en Adaptief Thermisch Comfort

KLIMAPEDIA [nieuws](#) [over KLIMAPEDIA](#) [inloggen](#)

Thema's Modules Leerbundels Hulpmiddelen Publicaties Links Video's Presentaties **ISSO Open**

Binnenklimaat en Adaptief Thermisch Comfort

Voor comfortabele en energie-efficiënte gebouwen

[download volledige publicatie \[22.7 MB\]](#)
[Ook in druk verkrijgbaar via de boekhandel of Bol.com](#)


Bij het ontwerpen van gebouwen wordt er de laatste 50 jaar meestal vanuit gegaan dat het binnen nauwe grenzen regelen van de binnentemperatuur maximaal thermisch comfort geeft en dat dit in de meeste gevallen conditionering van de binnenlucht noodzakelijk maakt. Dit is gebaseerd op onderzoek in klimaatkamers. Er is echter de afgelopen 25 jaar op grond van veldonderzoek in een groot aantal in gebruik zijnde gebouwen een nieuwe visie ontwikkeld, *adaptief thermisch comfort* genaamd, die de nadruk legt op het vermogen van mensen om zich op verschillende manieren aan te passen aan de wisselende temperaturen zoals die voorkomen in niet geconditioneerde of beperkt gekoelde gebouwen. Als het buiten warmer is, verwachten bewoners in die gebouwen dat het binnen ook warmer is en passen zij zich ook daarnaar aan, onder andere door het openen van ramen of het aanpassen van hun kleding.

In dergelijke gebouwen zijn mensen tevredener over het binnenklimaat dan in gebouwen met een strak geregelde temperatuur, omdat het binnen nauwe grenzen regelen van de temperatuur het vermogen van het lichaam vermindert om zich aan wisselende temperaturen aan te passen. Bovendien leiden nauwe temperatuurgrenzen niet tot een hogere productiviteit.

Dat stelt wel eisen aan het gebouw, dat *bouwfysisch* zo ontworpen moet zijn dat thermisch comfort zoveel mogelijk zonder conditionering gerealiseerd kan worden, bijvoorbeeld door adequate zonwering, thermisch effectieve bouwmassa en bruikbare te openen ramen.

Adaptief thermisch comfort maakt een win-win-situatie mogelijk waarbij *en* het binnenklimaat tot meer tevredenheid stemt *en* er minder energie nodig is.

www.Klimapedia.nl



uitgave
Stichting kennisbank Bouwfysica

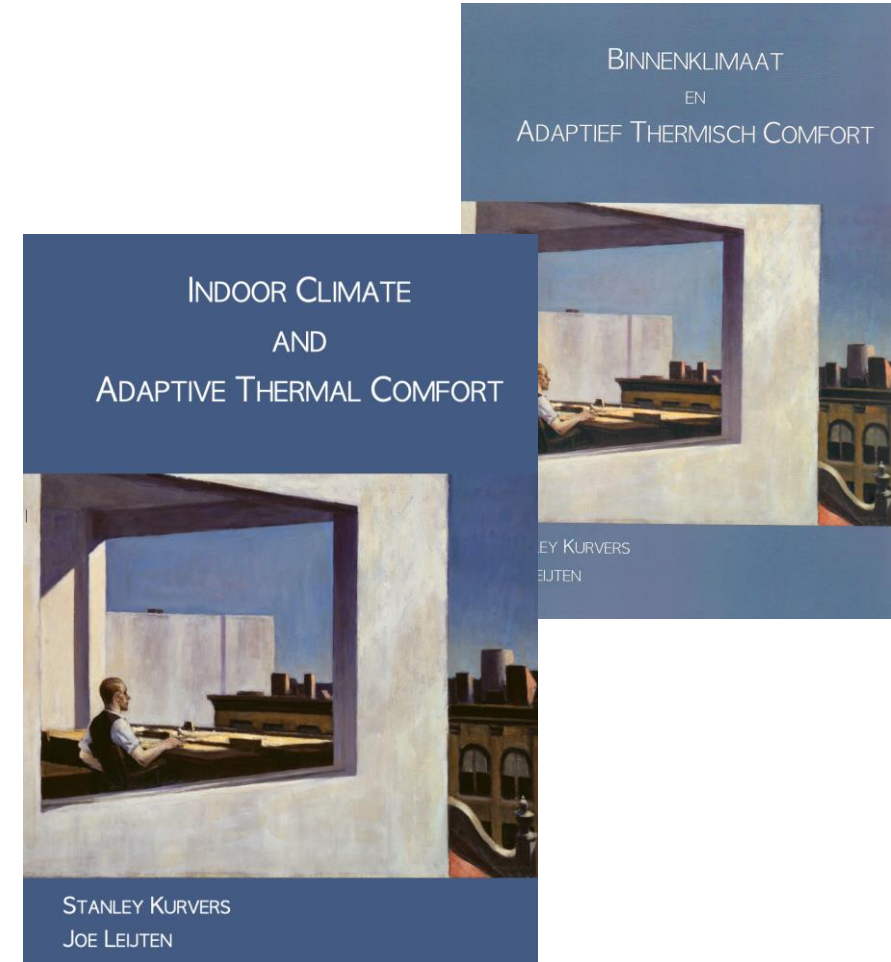
[Uitgebreide samenvatting van het boek](#)

over de auteurs

Ing. S.R. (Stanley) Kurvers studeerde Civiele Techniek en Hogere Veiligheidskunde en werkte bij de Rijks Geneeskundige Dienst, Bedrijfsgezondheidsdienst RBB, Arbo Management Groep, BBA Binnenmilieu, Faculteit Bouwkunde van de Technische Universiteit Delft.

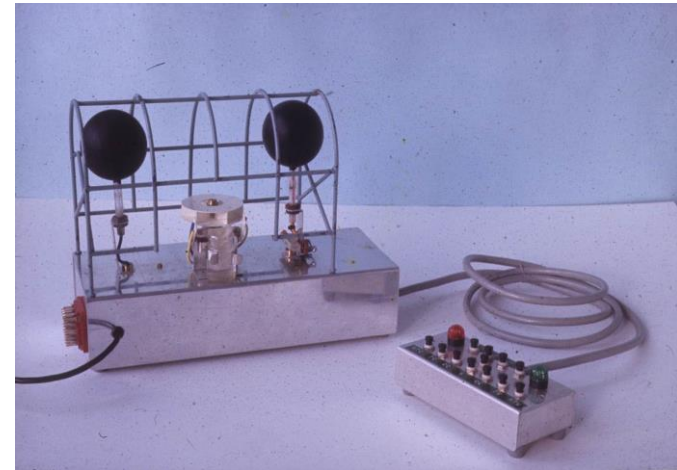
Drs. J.L. (Joe) Leijten studeerde theoretische psychologie en statistiek en vervulde functies bij de Bedrijfsgezondheidsdienst RBB, Arbo Management Groep, Maetis arbo, BBA Binnenmilieu en Faculteit Bouwkunde van de Technische Universiteit Delft.

Beide auteurs hebben jarenlange ervaring als onderzoeker en consultant op het gebied van binnenmilieu in kantoorgebouwen, scholen, ziekenhuizen en woningen. Zij ontwikkelden richtlijnen en beleidsadviezen voor onder andere de Arbeidsinspectie, Rijksvastgoedbedrijf, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Europese Unie en ISSO en publiceerden vele malen in Nederlandse tijdschriften en internationale wetenschappelijke tijdschriften en congresbundels.



Onderwerpen

- **Wat is thermisch comfort?**
- **Geschiedenis van thermisch comfort onderzoek**
- **Belangrijke resultaten thermisch comfort onderzoek**
- **Conclusies veldonderzoeken**
- **Wat is adaptatie?**
- **Adaptieve mogelijkheden in klimaatontwerp**



Wat is thermisch comfort?

- **Formele definitie:**

- “*Thermisch comfort is die **gemoedstoestand** die tevredenheid met de thermische omgeving uitdrukt en wordt vastgesteld door subjectieve evaluatie*” (NEN-EN 16798-1, 2019);

- **Kwantificeren met thermische sensatieschaal:**

1	Much too cool
2	Too cool
3	Comfortably cool
4	Comfortable and neither cool or warm (<i>neutral</i>)
5	Comfortably warm
6	Too warm
7	Much too warm

Bedford, 1936; Webb, 1959

+3	Heet
+2	Warm
+1	Beetje warm
0	Neutraal
-1	Beetje koel
-2	Koel
-3	Koud

ASHRAE, 1970

Wat is thermisch comfort?

- **Thermisch comfort is geen vaste, universele waarde uitgedrukt in**
 - Temperatuur;
 - Index zoals PMV.
- **Maar varieert o.i.v. persoonsgebonden factoren, omgeving, cultuur en sociale omstandigheden;**
- **Afwijkingen van een thermisch neutrale situatie is soms prettig (alliesthesia)**
 - Open haardvuur als je uit de kou komt;
 - Koel windje als het heet is.



Geschiedenis thermisch comfort onderzoek

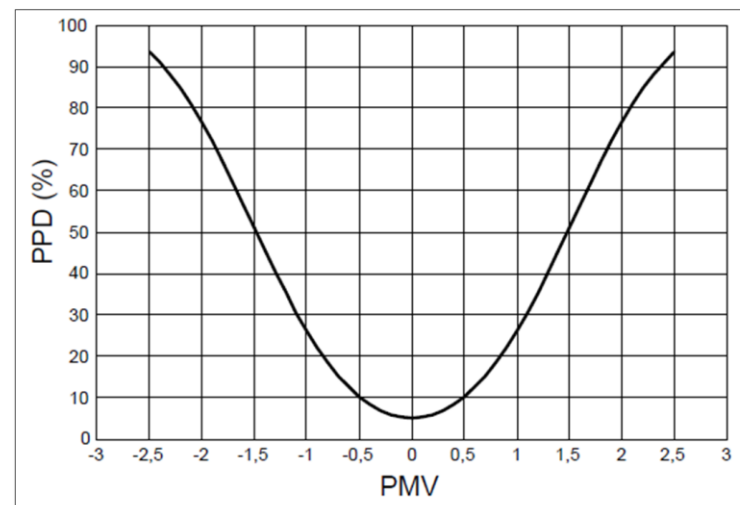
De eerste veldonderzoeken

- **Bedford, 1936:**
 - Veldonderzoek in fabrieken GB;
 - 12 fabrieken, 3085 werkneemsters;
 - Comforttemperatuur 18°C.
- **Webb, 1959:**
 - Veldonderzoek in kantoren GB, India, Singapore;
 - Comforttemperaturen 16°C (winter) tot 30°C (zomer);
 - Webb stelde dat mensen *adapteerden* aan de gemiddelde temperaturen waaraan ze gedurende langere tijd waren blootgesteld;
 - De comforttemperatuur hing samen met de buitentemperatuur.

Geschiedenis thermisch comfort onderzoek

Klimaatkameronderzoek Fanger, 1970

- 1296 proefpersonen, meest studenten;
- Geen adaptatiemogelijkheden door bv. kledingaanpassing of temperatuurregeling;
- Kort verblijf;
- Geen relatie met buitenomstandigheden;
- PMV/PPD;
- Werd populair door eenvoudige toepassing (vereenvoudiging van werkelijkheid in een formule);
- Goede PR.



Fanger, 1970

tevreden:

-1 enigszins koel

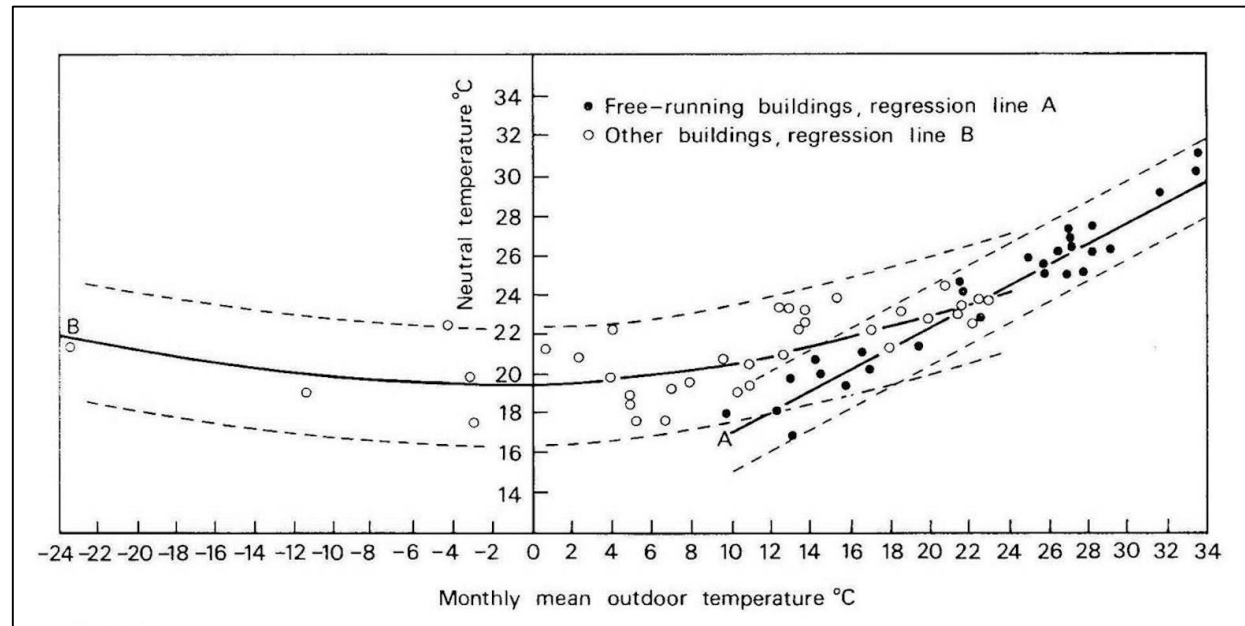
0 neutraal

1 enigszins warm

Geschiedenis thermisch comfort onderzoek

Meta-analyse Humphreys, 1975

- Veldonderzoek 1938-1974;
- De comforttemperatuur hangt samen met buitentemperatuur;
- De comforttemperatuur in niet gekoelde gebouwen (A) hangt sterker samen met de buitentemperatuur dan in gekoelde gebouwen (B).

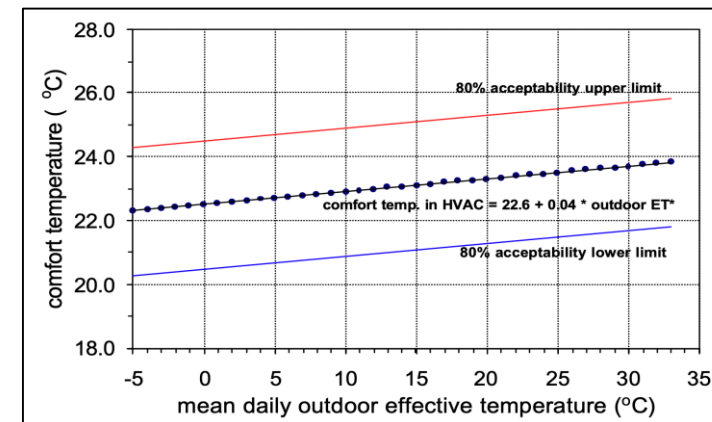
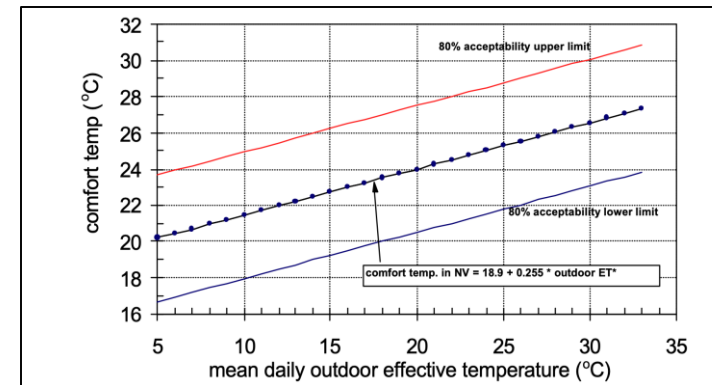


Humphreys, 1975

Geschiedenis thermisch comfort onderzoek

ASHRAE RP-994 meta-analyse De Dear, Brager & Cooper, 1997

- Veldonderzoek in 160 gebouwen (VS, Canada, GB, Australië, Azië);
- Comforttemperaturen hangen samen met gemiddelde buitentemperatuur;
- In niet gekoelde gebouwen hangt de comforttemperatuur sterker samen met buitentemperatuur dan in gekoelde gebouwen;

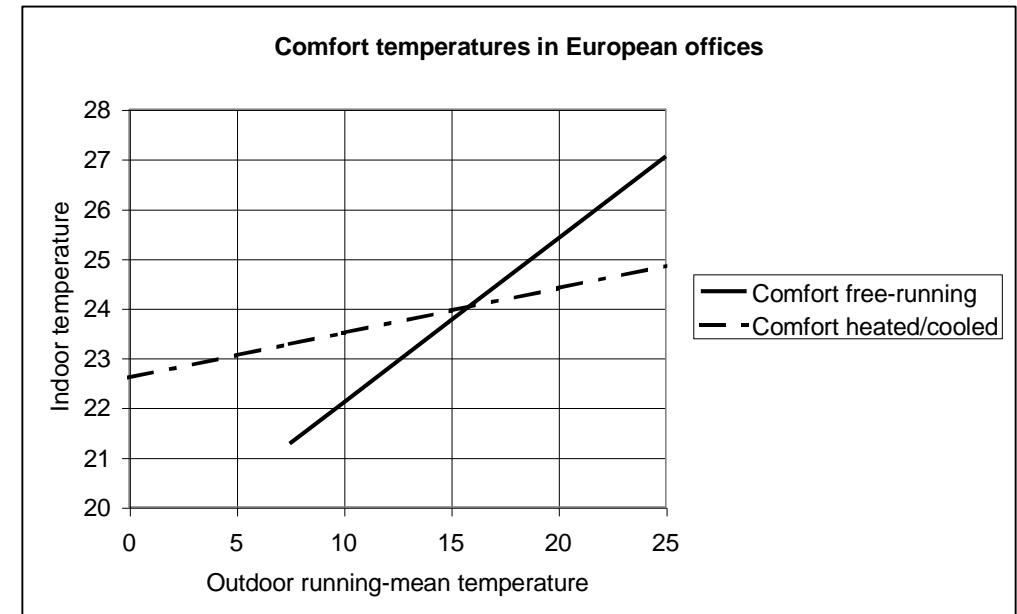


De Dear, Brager & Cooper, 1997

Geschiedenis thermisch comfort onderzoek

EU-SCATs veldonderzoek, McCartney, 2002; Nicol & Humphreys, 2005

- 26 gebouwen in o.a. GB, Zweden, Frankrijk, Portugal;
- 2 categorieën : *free-running* modus en *verwarmde en gekoelde* modus;
- Comforttemperatuur hangt af van de gewogen gemiddelde buitentemperatuur van de afgelopen dagen (RMOT).



Nicol & Humphreys, 2005

Toepassing Empirisch Onderzoek

Rijksgebouwendienst, 1979 i.s.m. Rijks Geneeskundige Dienst

- **Binnenklimaatcondities in kantoorruimten van nieuwe gebouwen.**

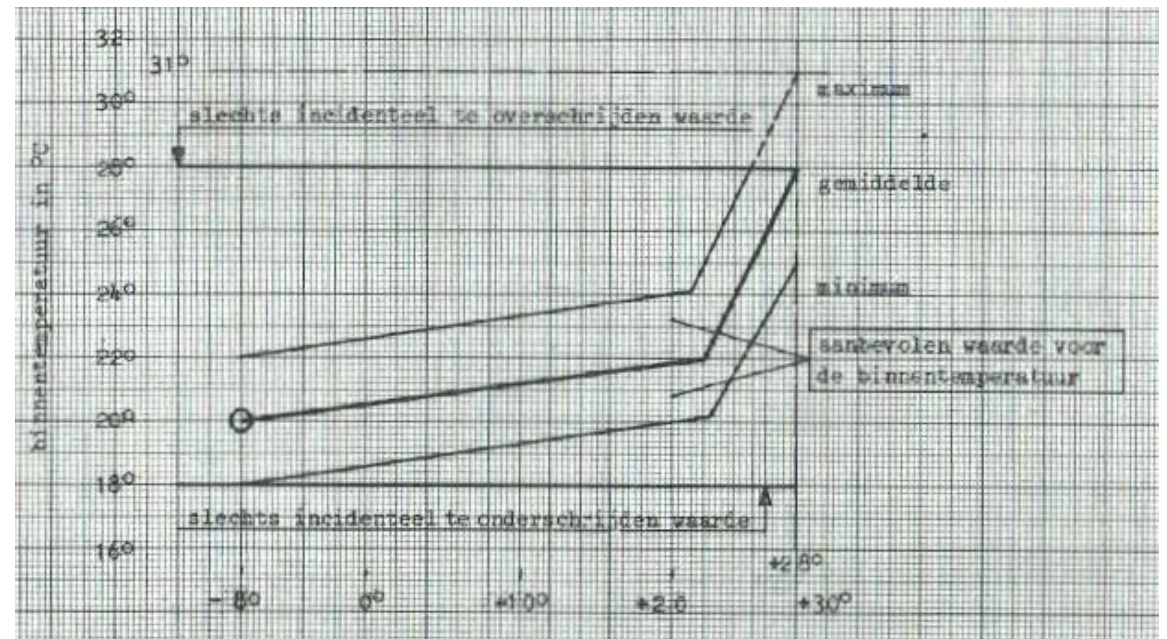
Aandacht voor

- Buitenzonwering, gebouwmassa, nachtventilatie;
- Binnentemperatuur, relatieve vochtigheid en verse luchthoeveelheid;
- Basis toegelaten temperatuuroverschrijdingen:
 - $T_i > 25\text{ °C}$ maximaal 100 uur per jaar;
 - $T_i > 28\text{ °C}$ incidenteel, max. 10-20 uur per jaar.

[90% van de tijd $-0,5 < PMV < 0,5$]

RIJKSGEBOUWENDIENST

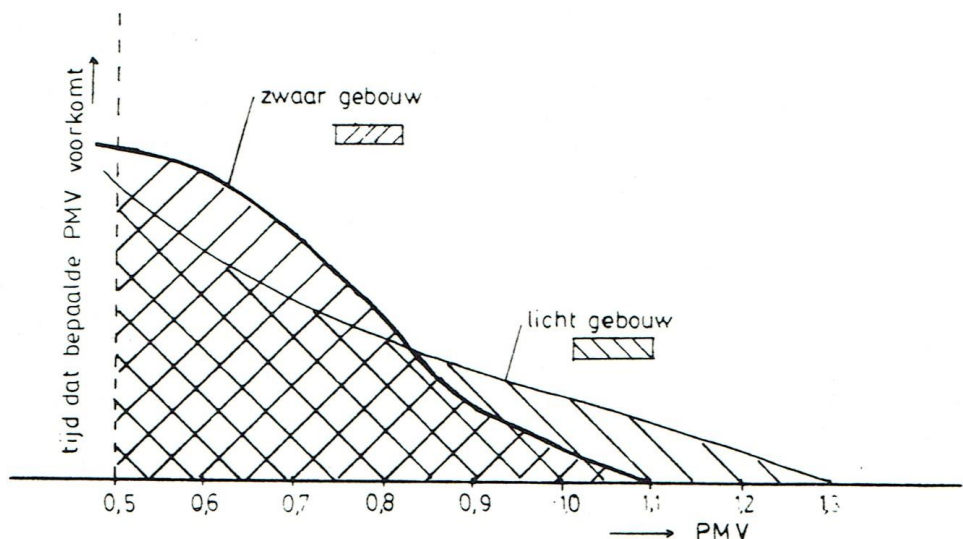
Binnenklimaatcondities in kantoorruimten van nieuwe gebouwen.



Toepassing Empirisch Onderzoek

Rijksgebouwendienst 1985-1989

- Gewogen temperatuuroverschrijdingen (maximum 150 GTO uren)
- Mate van overschrijding van $PMV = 0,5$ wordt in rekening gebracht.

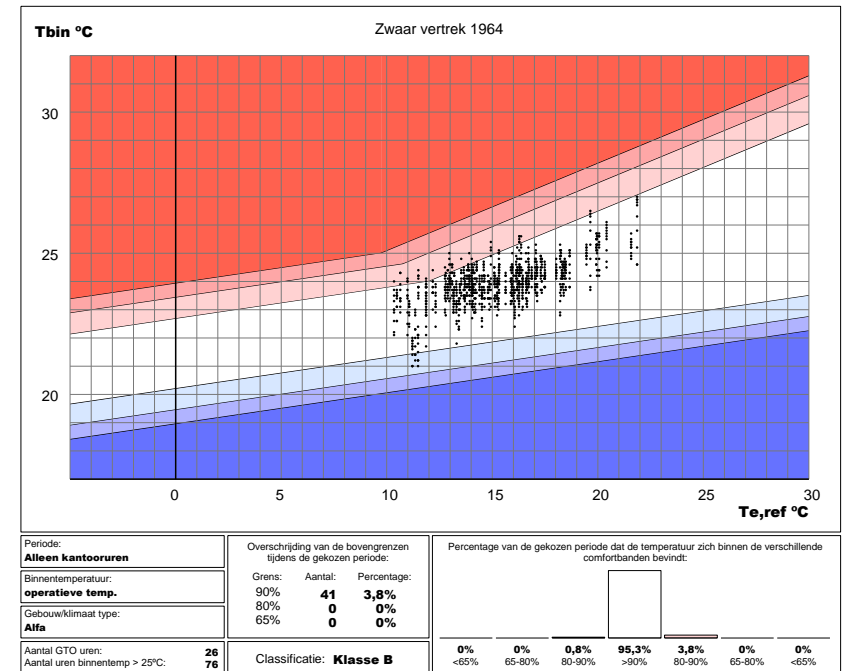
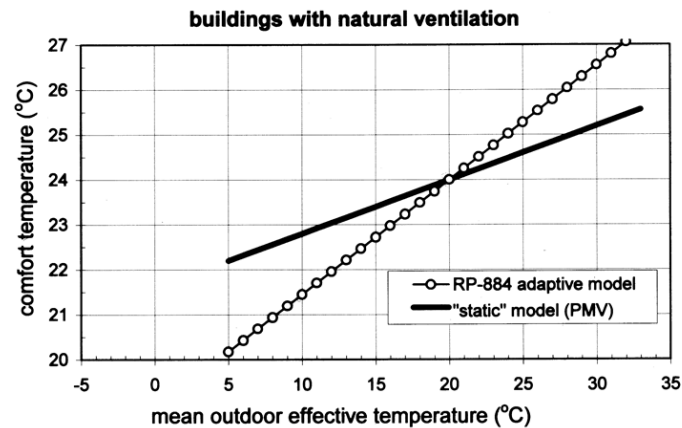
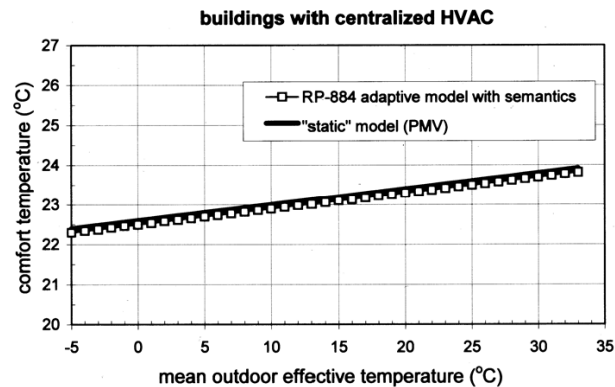


Bij een licht gebouw zijn de overschrijdingen gedurende dezelfde periode aanzienlijk hoger

Toepassing Empirisch Onderzoek

ISSO publicatie 74: 2004

- Adaptieve temperatuurgrenzen;
- Basis: RP-884, Brager & DeDear

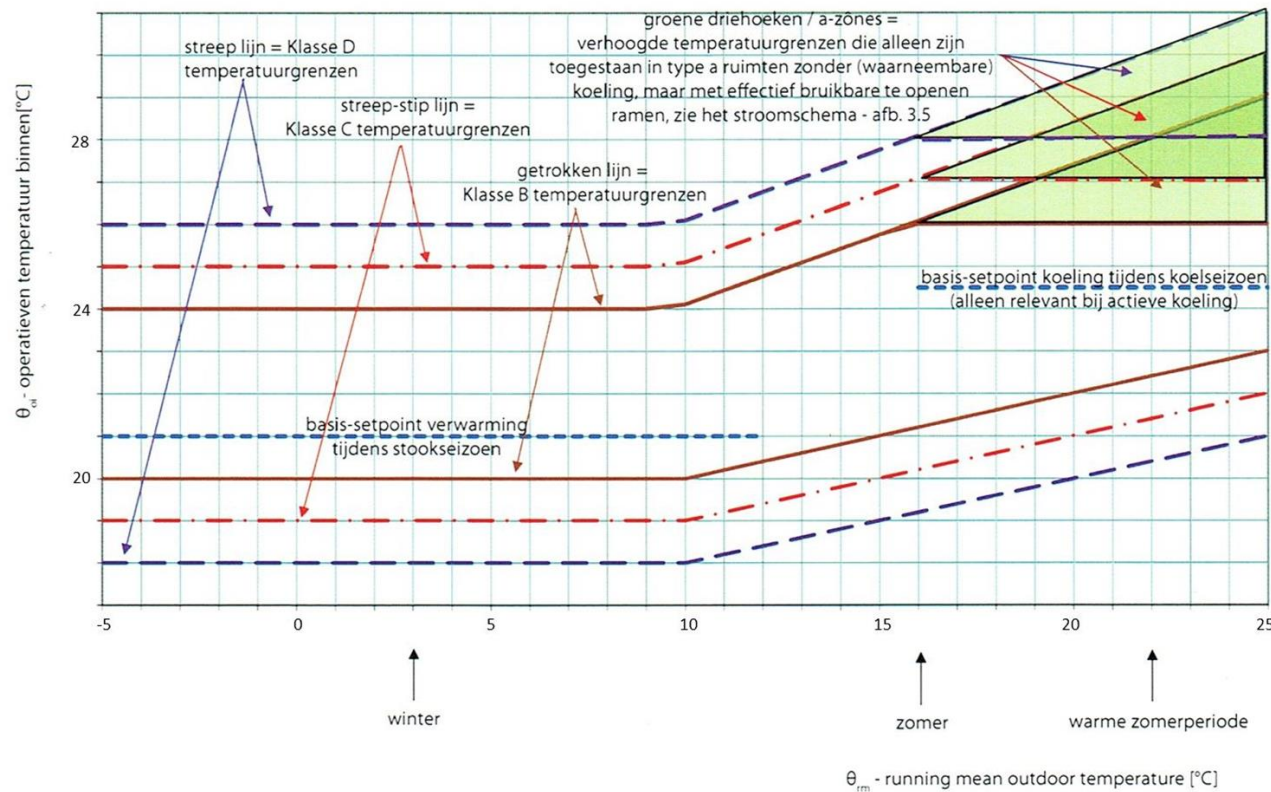


ISSO74, 2004

Toepassing Empirisch Onderzoek

ISSO Publicatie 74, 2014 - PVE Gezonde Kantoren, 2021

- Basis: SCATs- onderzoek, ISSO publicatie 74: 2004



Thermische adaptatie

- **De onderzoeken van Humphreys & Nicol, het ASHRAE RP-884- en SCATs- onderzoek toont aan dat mensen adapteren aan het binnenklimaat.**
- **3 soorten adaptatie:**
 - Fysiologisch
 - Gedragmatig
 - Psychologisch

Thermische adaptatie

- **Fysiologische adaptatie:**

- Vasodilatatie;
- Vasoconstrictie;
- Zweeten;
- Rillen.

Wisselende omstandigheden activeren fysiologische adaptatie;

Langdurig verblijf in ruimtes met constante temperatuur vermindert fysiologisch adaptatievermogen;

Menu | **nrc**

Mijn nieuws



Gebruik liever geen airco maar wen aan de warmte

Gezondheid Blootstelling aan variatie in temperatuur maakt ons weerbaar, schrijven *Wouter van Marken Lichtenbelt* en *Hannah Pallubinsky*.

26 juli 2022

Thermische adaptatie

- **Gedragmatig**
 - Kleding aanpassen;
 - Luchtsnelheden beïnvloeden (raam, ventilator);
 - Temperatuur aanpassen (raam, thermostaat, zonwering);
 - Inspanning aanpassen.
- **Psychologisch**
 - Ervaringen met weer, klimaat en temperaturen in gebouw sturen de verwachtingen en acceptatie.

ASHRAE Global Thermal Comfort database II

Földváry Ličina et al., 2018; Li et al., 2019 ; Cheung et al., 2019; Parkinson, de Dear & Brager, 2020.

- **Al het veldonderzoek samengebracht in een database:**

- Ruim 100.000 records;
- 30 landen;
- 6 continenten;
- 16 klimaatzones.

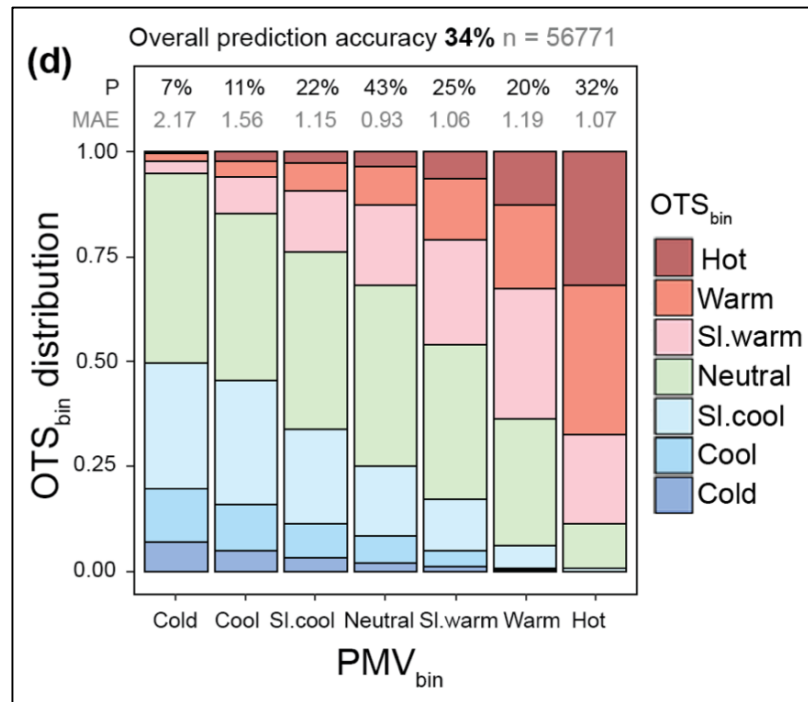
<https://datadryad.org/stash/dataset/doi:10.6078/D1F671>



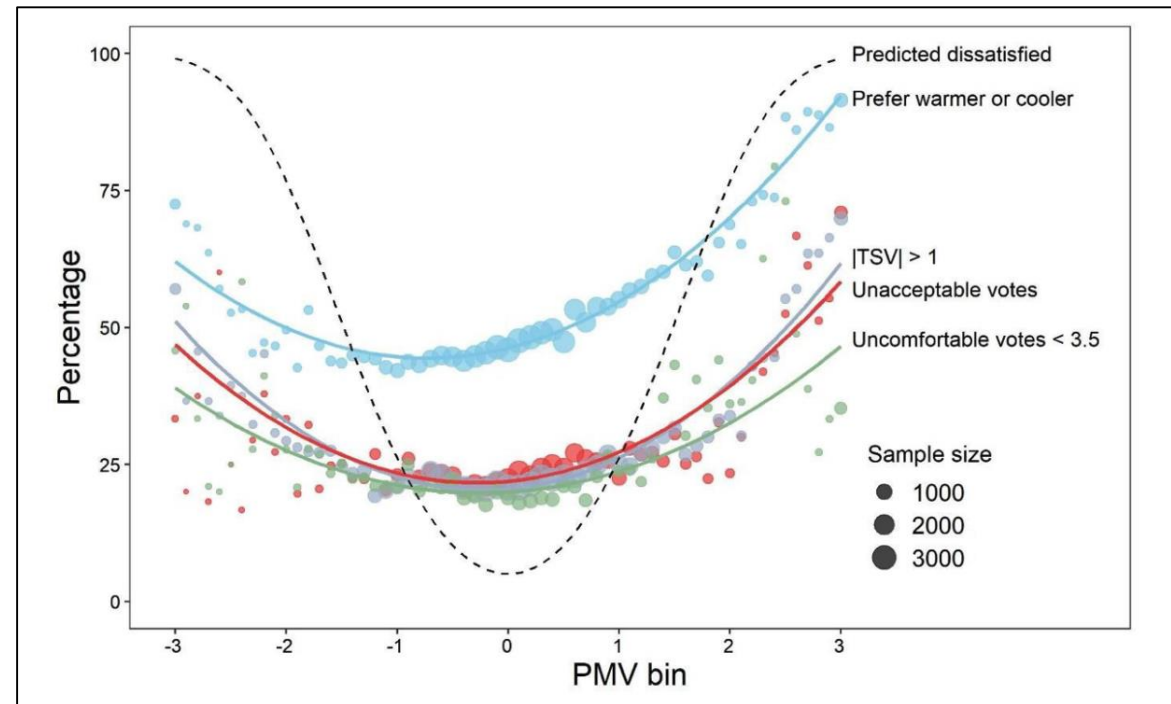
ASHRAE Global Thermal Comfort database II

Enkele resultaten

- PMV voorspelt comfort slecht;
- Voorspellende nauwkeurigheid gemiddeld 34%.



Cheung et al., 2019



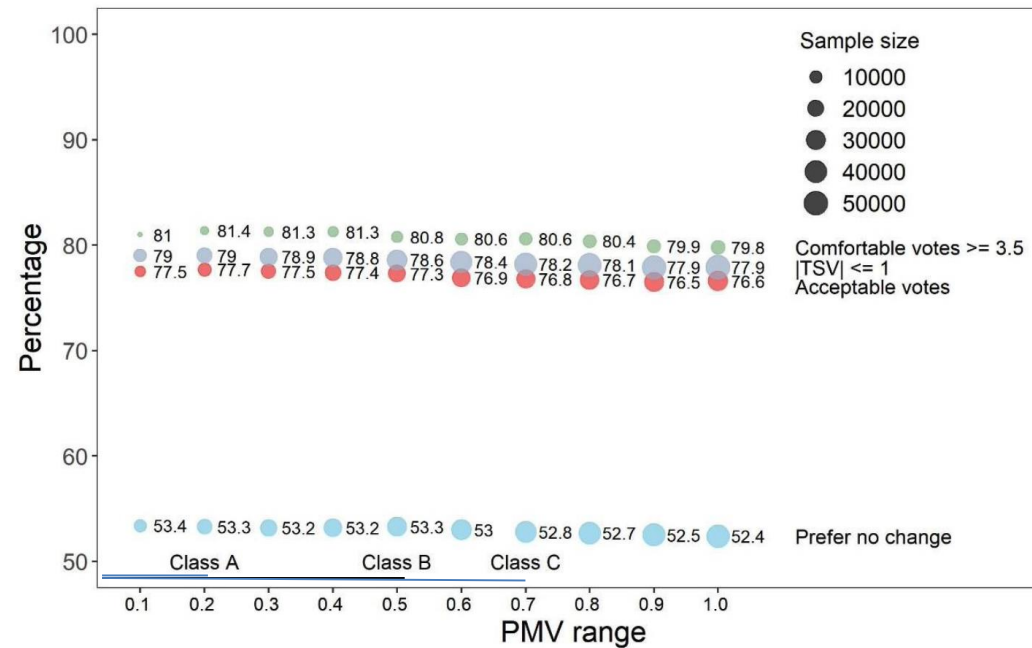
Li et. al, 2019

ASHRAE Global Thermal Comfort database II

Enkele resultaten

Binnenklimaatklassen

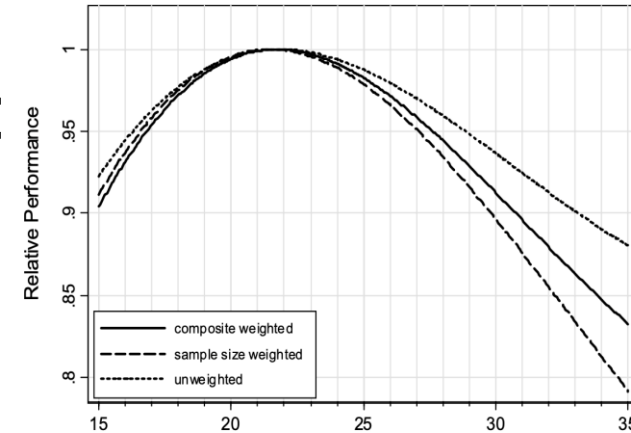
Binnenklimaat niet comfortabeler naarmate binnen nauwere categorieën wordt geregeld.



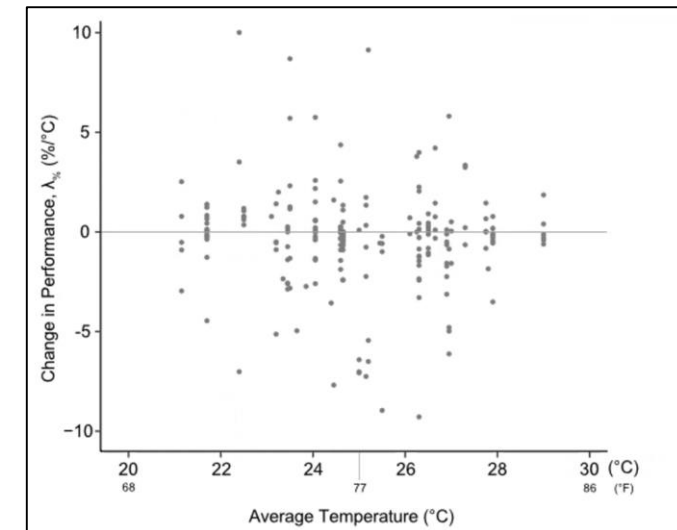
Li et al., 2019

Temperatuur en Prestatie

- Volgens REHVA/ISSO: maximum prestatie bij 22°C
- Nieuwe meta-analyse
 - Gebaseerd op meer onderzoeken;
 - Betere statistische analyse.
- Resultaten:
 - REHVA/ISSO-model zeer laag voorspellend vermogen;
 - Prestatie piekt niet bij 22°C;
 - Geen verschillen in prestatie tussen 18°C en 34°C;
 - Model mag niet worden gebruikt om het effect van de temperatuur op de werkprestatie te voorspellen;
 - Model is ongeschikt om gebouwen te ontwerpen of te controleren.



Seppänen et al., 2006



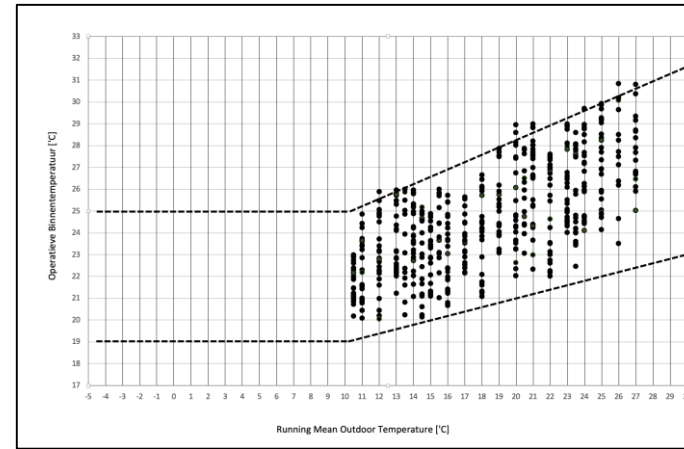
Porras-Salazar et al., 2021

Lessen uit 80 jaar thermisch comfortonderzoek

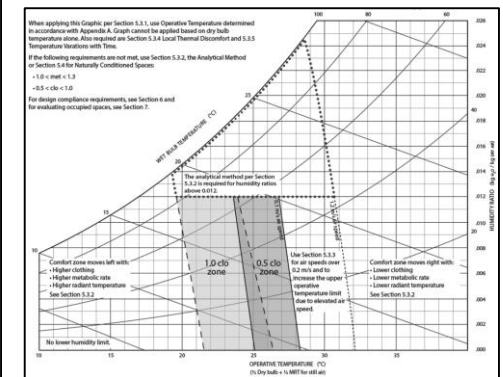
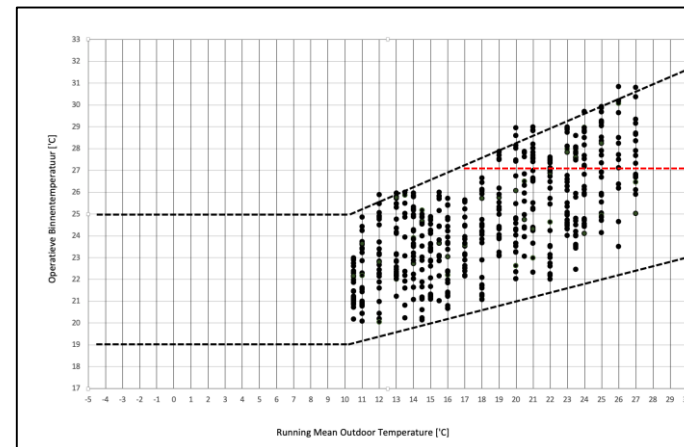
- **Ontwerpaanbevelingen voor optimaal thermisch comfort:**
 - Prestatie-eisen voor comfortabele binnentemperaturen in de praktijk;
 - Binnentemperaturen beheersen door bouwfysische ontwerp oplossingen;
 - Ontwerpen van mogelijkheden voor:
 - Gedragmatige adaptatie;
 - Fysiologische adaptatie;
 - Psychologische adaptatie
 - Klimaatinstallatietype gericht op comfort en gezondheid;
- **Heroverwegen toepasbaarheid Fanger-model**

Prestatie-eisen voor comfortabele binnentemperaturen

- **NV- en hybride gebouwen:**
 - Operatieve temperatuur blijft grotendeels binnen bandbreedte categorie II van NEN-EN 16798-1 klasse C, type α van ISSO74;
 - Nauwere bandbreedte geeft geen beter comfort;
 - Overschrijdingen voldoen aan CIBSE TM52, 2013;
- **Airconditioned gebouwen:**
 - Operatieve temperatuur blijft grotendeels binnen bandbreedte klasse C, type β van ISSO74 of voldoet aan ASHRAE-55, 2015.



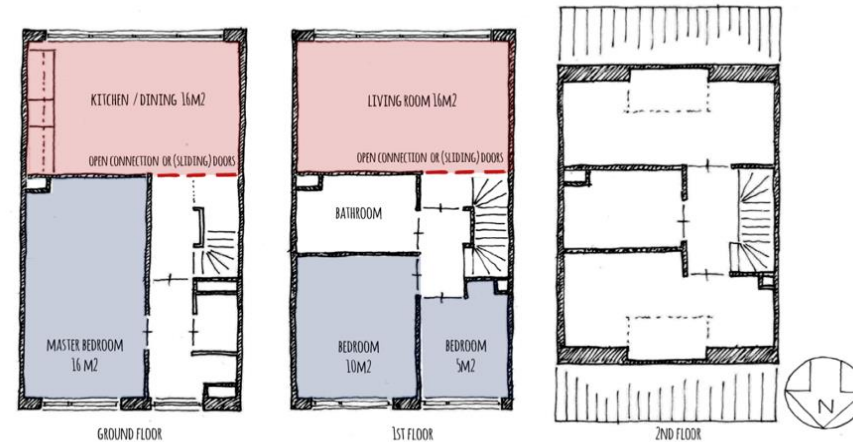
ISSO74, 2014



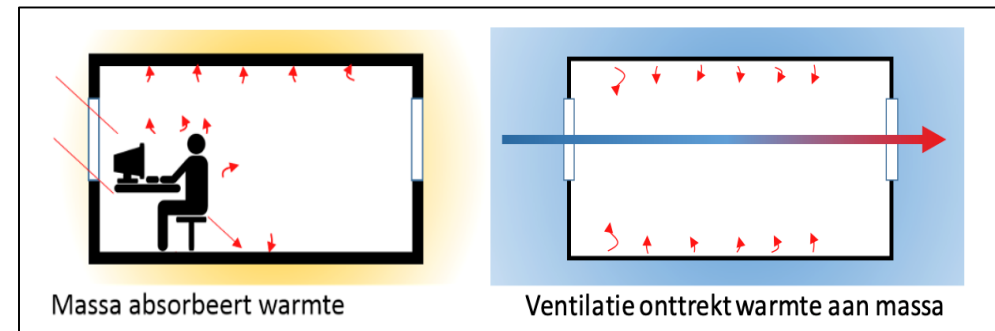
ASHRAE 55, 2017

Binnentemperaturen beheersen door bouwfysische ontwerp oplossingen

- **Locatie, vorm, ruimtelijke indeling en zon;**
- **Ramen en daglicht:**
 - Glaspercentage maximaal 50%;
- **Beschaduwing:**
 - Regelbare buitenzonwering, $g < 0,2$;
- **Thermische massa:**
 - Gebouwmassa i.c.m. nachtventilatie;



Alders, 2016



Massa absorbeert warmte

Ventilatie onttrekt warmte aan massa

TVVL, 2016

Ontwerp adaptatiemogelijkheden

- ***Gedragmatige adaptatie:***
 - Te openen ramen:
 - Tochtvrij;
 - (Traploze) kierinstellingen;
 - Temperatuurinstelling stookseizoen van -2°C tot $+2^{\circ}\text{C}$ te regelen rond setpoint;
 - Plafondventilatoren, regelbaar, stil (borstelloze gelijkstroommotor);
 - Dresscode belemmert adaptatie (en kost dus energie);
 - Temperatuurzones binnen gebouw;
 - Adaptieve werkplek (temperatuur, lichtsnelheid, licht).



Big Ass Fans



Ontwerp adaptatiemogelijkheden

- **Bevorderen *fysiologische* adaptatie:**
 - Stel mensen bloot aan wisselende temperaturen zoals die in een goed ontworpen natuurlijk geventileerd of hybride / mixed-mode gebouw voorkomen;
 - Blootstelling aan nauwe temperatuurgrenzen, zoals die meestal voorkomen in airconditioned gebouwen, vermindert het vermogen tot fysiologische adaptatie.
- **Bevorderen *psychologische* adaptatie:**
 - Temperaturen zijn voor de bewoners begrijpelijk en voorspelbaar op grond van het type gebouw en de buitentemperatuur;
 - Ervaringen sturen de verwachtingen en maakt adaptatie gemakkelijker.

BINNENKLIMAAT EN ADAPTIEF THERMISCH COMFORT

- Binnenklimaat en Adaptief Thermisch Comfort, zie www.klimapedia.nl onder “publicaties”.
- Parkinson, T., de Dear, R. & Brager, G. (2020) Nudging the adaptive thermal comfort model. Energy and Buildings, 206, 109559.
- Li, P., Parkinson, T., Brager, G., Schiavon, S., Cheung, T. C., & Froese, T. (2019). A data-driven approach to defining acceptable temperature ranges in buildings. Building and Environment, 153, 302-312.
- Cheung, T., Schiavon, S., Parkinson, T., Li, P., & Brager, G. (2019). Analysis of the accuracy on PMV–PPD model using the ASHRAE Global Thermal Comfort Database II. Building and Environment, 153, 205-217.
- Routledge Handbook of Resilient Thermal Comfort, Edited By Fergus Nicol, Hom Bahadur Rijal, Susan Roaf, 2022.
- Nicol, F., Humphreys, M., & Roaf, S. (2012). Adaptive thermal comfort: principles and practice. Routledge.
- Humphreys, M.A., Nicol, J.F., Roaf, S. (2016). Adaptive Thermal Comfort: Foundations and Analysis, Routledge.

STANLEY KURVERS
JOE LEJTEN

Verder lezen

INDOOR CLIMATE AND ADAPTIVE THERMAL COMFORT

STANLEY KURVERS
JOE LEJTEN

Bedankt voor je aandacht.
Zijn er nog vragen?