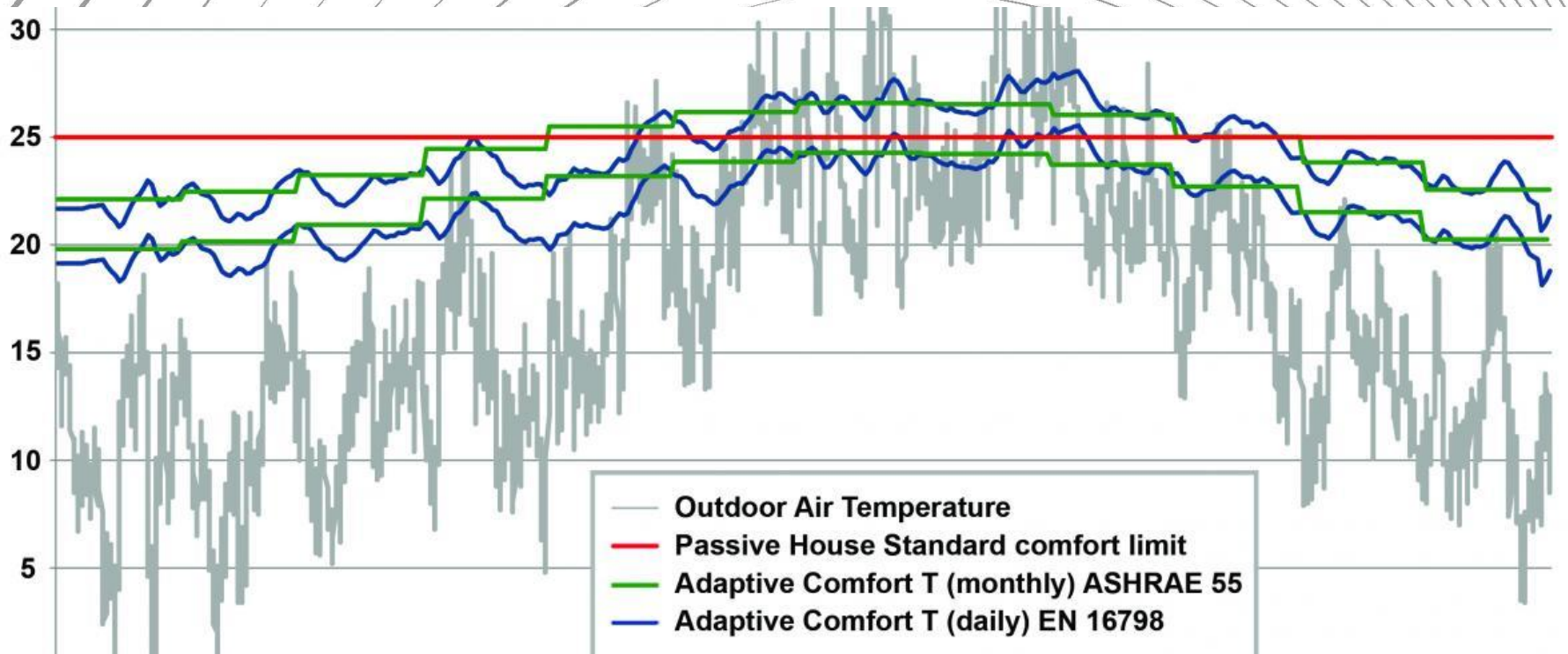


Goede praktijken voor zonwering en EPB-berekening



Prof. Dr. Shady Attia

*Sustainable Building Design Lab, UEE,
Applied Sciences, University of Liège, Belgium*
shady.attia@uliege.be

Acknowledgment



OCCuPANT



ISO/AWI 52022-5

ISO/TC 163/SC2/WG 15



Energy in Buildings and
Communities Programme

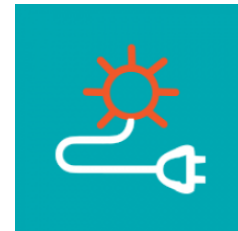
IEA Annex 80

Resilient Cooling (2019-2023) Advanced Solar Control



Programma

- I. Introductie
- II. Berekening van oververhitting in EPB
- III. In hoeverre is EPD klaar om te reageren op klimaatverandering?
- III. In hoeverre is EPD klaar om de energietransitie aan te pakken?
- IV. Conclusie en aanbevelingen



Introductie



Introductie

- ❑ Met het veranderen van het klimaat wordt het zomers warmer, en komen er vaker hittegolven voor.
- ❑ Hierdoor neemt de behoefte aan koeling toe.
- ❑ Het is zaak dat hiermee rekening wordt gehouden in het ontwerp van gebouwen.



EPB 'Energieprestaties en Binnenklimaat'



Rekenmethode: oververhittingsindicator

- ❑ Bij nieuwbouw wooneenheden moet het risico op oververhitting worden beperkt. De oververhittingsindicator – die aangeeft hoe hoog de kans op oververhitting is – moet onder een bepaalde maximale waarde blijven. De eis op oververhitting wordt afgetoetst per EPW-eenheid.
- ❑ EPB softwarepakketten zijn gebruikt om de energieprestatie van gebouwen te berekenen.

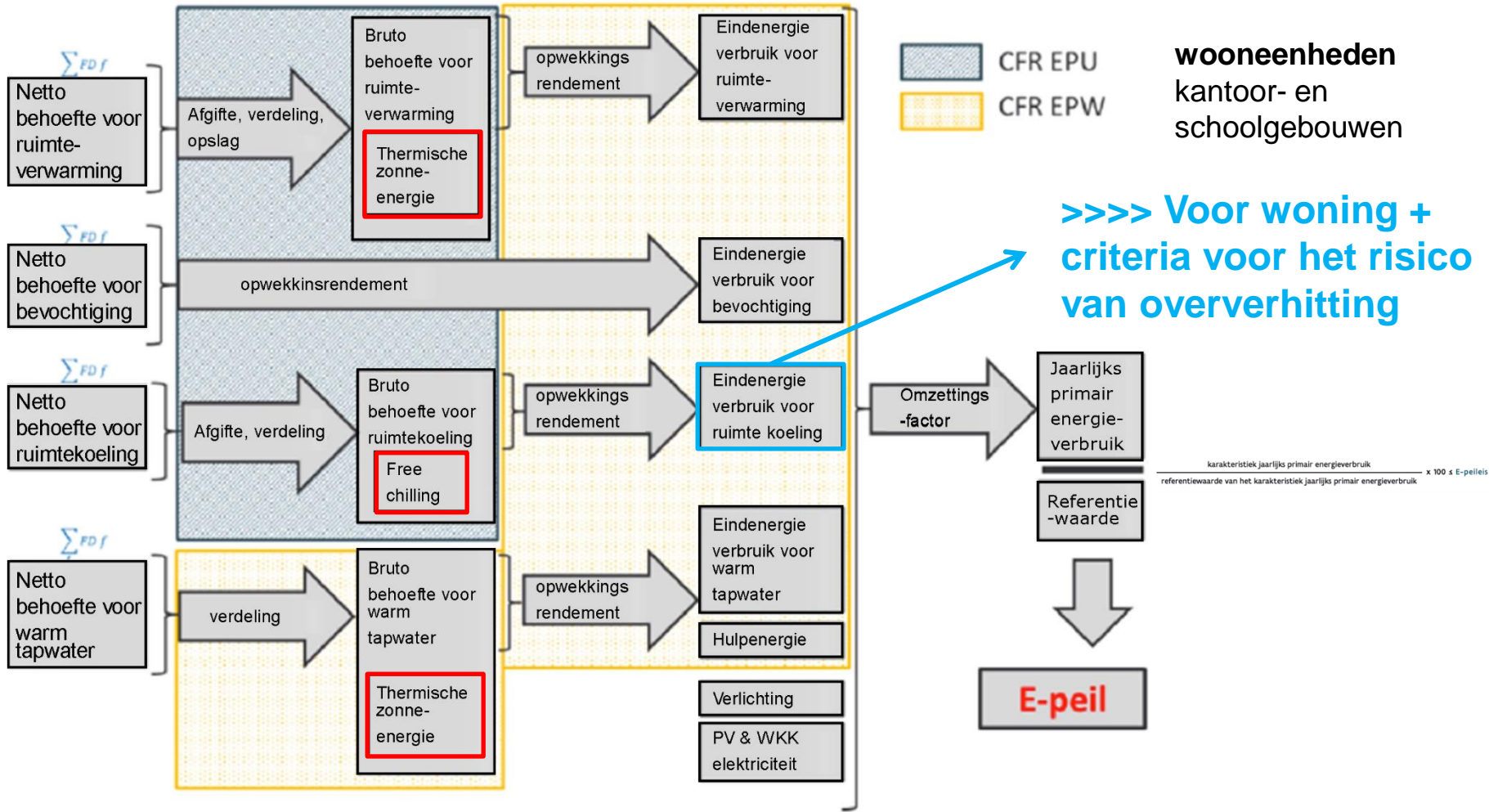
Berekening van het Ew-niveau

Het doel van de energieprestatieregelgeving is het 'karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik' beperken. Dat karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik moet kleiner blijven dan een referentiewaarde:

$$\frac{\text{karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik}}{\text{referentiewaarde van het karakteristiek jaarlijks primair energieverbruik}} \times 100 \leq \text{E-peilis}$$

gedeelt

Berekening van het Ew-niveau



Energetische boomstructuur



Gegevens over oververhitting worden gecodeerd in verschillende knooppunten van de energieboom.

Eindenergieverbruik voor ruimtekoeling

The screenshot shows a software interface for building energy simulation. On the left is a project tree for 'WONING (3)' with sub-items: 'vz1', 'E-peil', 'Scheidingsconstructies', 'Verwarming (1)', 'Ventilatie (2)', 'Inertie (1)', and 'Sanitair warm water'. On the right is a panel titled 'Installatiecomponenten' with the following settings:

- Verwarmingssysteem : Ja Neen
- Actieve koeling : Ja Neen
- Passieve koeling via bodemwarmtepomp : Ja Neen
- Oppervlakte van de koelvloer : m²


$$Q_{\text{cool, net, m}} = P_{\text{cool}} - Q_{\text{excess, cool, m}}$$

**conventionele kans
op actieve koeling**

warmtewinsten boven de
setpunt voor koelen (23°C)

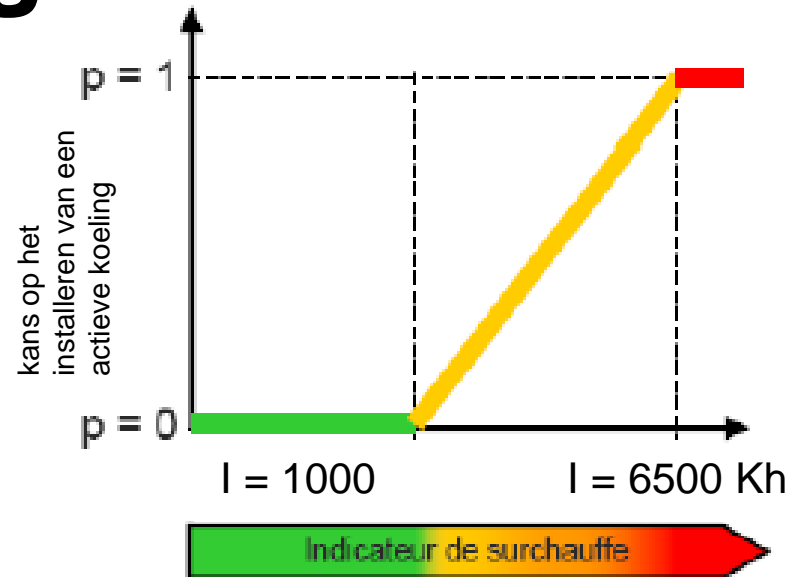
Waarschijnlijkheid behoefte aan actieve koeling berekenen

$$p_{cool} = \max\left\{0, \min\left(\frac{I_{overh} - I_{overh,thresh}}{I_{overh,max} - I_{overh,thresh}}, 1\right)\right\}$$

Oververhittingsindicator !

De oververhittingsindicator is een relatie tussen winsten en verliezen in de gebouw.

Het hangt af van zonnewinst, warmtewinsten en thermische massa van het gebouw.



$$I_{overh,sec\ i,m} = Q_{excess\ norm,sec\ i,m} = \sum_{m=1}^{12} Q_{excess\ norm,sec\ i,m} \quad (Kh)$$

$$Q_{excess\ norm,sec\ i,m} = \frac{(1-\eta_{util,overh,sec\ i,m}) \cdot (1-f_{cool,geo,sec\ i,m}) \cdot Q_{g,overh,sec\ i,m}}{H_{T,overh,sec\ i,m} + H_{V,overh,sec\ i,m}} \cdot \frac{1000}{3,6}$$

Oververhitting criterium

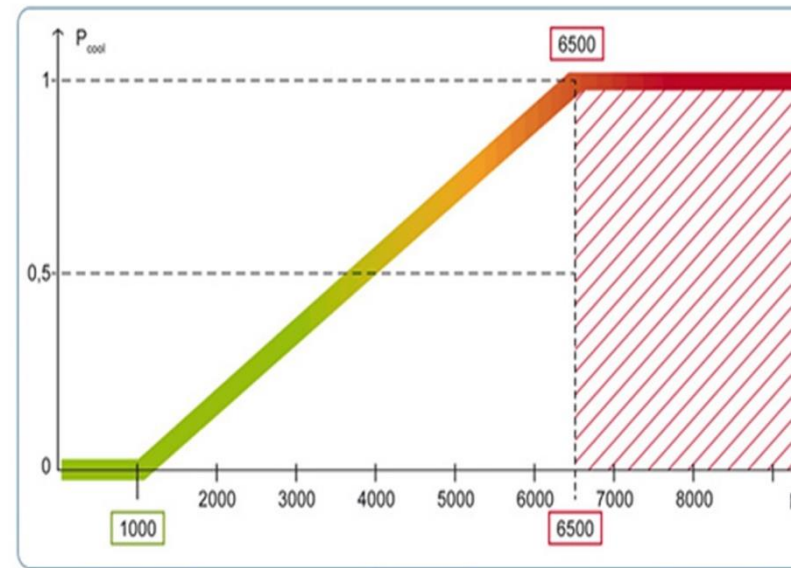
EPB-voorschriften

Voor de woningsector is de oververhittingsindicator een bepalend criterium. Het moet worden gedefinieerd door de energiesector. Het wordt vastgesteld op basis van de overtollige genormaliseerde warmtewinsten. De meeteenheid is het Kelvin-uur (Ku).

De indicator is functie

- **thermische inertie van het gebouw**
- **de verhouding tussen winsten (zonne-energie en interne) en verliezen (door transmissie en ventilatie).** Zonnewinsten worden in aanmerking genomen op basis van de oppervlakken en oriëntatie van de glazen wanden; interne winsten worden forfaitair beoordeeld, afhankelijk van het volume van elke energiesector.

De referentietemperatuur die in aanmerking komt voor oververhitting is 23 ° C.



Het wordt sterk aanbevolen om onder de drempel van 1000 Kh te blijven, vanaf welke het gebouw een risico op oververhitting vormt.



Het oververhittingscriterium wordt gerespecteerd

Het wordt sterk aanbevolen om onder de drempel van 1000 Kh te blijven, vanaf welke het gebouw een risico op oververhitting vormt. Als de oververhittingsindicator tussen 1.000 en 6.500 Kh ligt, wordt een fictief verbruik (in elektriciteit) geregistreerd in de energiebalans van de EPB-unit, hoewel er geen airconditioning installatie is aangetoond.



Het oververhittingscriterium wordt gerespecteerd, maar er wordt geen boete opgelegd.

Als de oververhittingsindi 6.500 kg overschrijdt, vol de EPB-unit niet aan het oververhittingscriterium. Het project moet worden aangepast.



Het oververhittingscriterium niet gerespecteerd en kan worden beboet op het niveau van de definitieve EPB-aangifte

EPB vereiste

Oververhittingsindicator van elke EPB-eenheid onder de bovengrens: 6500 Kh

Waarschijnlijkheid behoefte aan actieve koeling berekenen

De kans dat actieve koeling zal worden geplaatst wordt berekend. Binnen EPB is de drempelwaarde (1000 Ku). Indien de kans op actieve koeling groter is dan nul, wordt ook een netto energiebehoefte voor koeling ingerekend, die een invloed heeft op het E-peil.

Een oververhittingsindicator waarde die onder de 6500 Ku ligt, biedt geen garantie dat er nadien geen oververhittingsproblemen zullen optreden.

Oververhittingsindicator

Voor nieuwbouw is oververhitting een criterium van de EPB.

Resultaten										
EPB-eenheid										
Naam	U	K	S	E	Et	NE	V	O	HE	
woning	✓	-	51	45	-	-	✓	16.101	✓	
Scheidingsconstructies										
Berekening										
U-waarde (W/m²K)										1,49
Ug-waarde (W/m²K)										1,00
Ug max (W/m²K)										1,10

Wanneer het risico op oververhitting niet nul is, wordt de indicator **oranje** of **rood**.

Dit impliceert dat een **fictief** verbruik door de software voor koeling wordt verantwoord.

Dit fictieve verbruik beschouwt elektriciteit als een energievector. Dit zal dus een nog grotere impact hebben op het **E- peil** en het **S- peil** (kwalitatieve gebouwschil) van de onderzochte woningen. In dit voorbeeld wordt niet aan het E- peil (E-35) voldaan.

Problemen met EPB oververhittingsindicator

- ❑ De oververhittingsindex is verantwoordelijk voor een fictief verbruik.
- ❑ Zelfs als u geen koelsysteem installeert, als u een kans van 18% heeft om er een te installeren, zullen we aan uw primaire energieverbruik een redelijk koelverbruik toevoegen.
- ❑ Dit is een zeer zeldzame benadering omdat het echt tegen bioklimatische architectuur is, waar je de schil correct isoleert, de openingen beschermt door zonwering en het gebouw correct oriënteert.
- ❑ De berekende oververhittingsindex geeft geen informatie over thermisch comfort en gebruiker oververhitting risico. De woorden 'zomercomfort' of 'schouderperiode' komen niet voor in de EPB-regelgeving.
- ❑ EPB-certificering moedigt ontwerpers niet op de juiste manier om te gaan met thermisch comfort. Als gevolg hiervan installeert meer dan 12% van de nieuw gebouwde huishoudens AC-units in Wallonie tijdens de eerste 3 jaar van bewoning.
- ❑ De EPB-berekeningsmethode profiteert niet van adaptieve geveltechnologieën (dynamische zonwering, ventilatiegevels etc.).

Geschiedenis van de ontwikkeling van de indicator

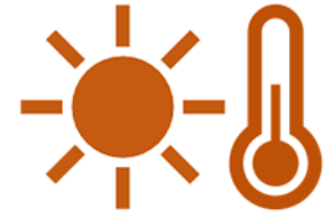
Duitsland	Nederland	Belgie
1996 Kolmetz	1995 van den Ham	
2000 Deutscher P., M. Elsberger, Sommerlicher Wärmeschutz		2008 WTCB EPB VL/2010 EPB W
2007 EnEV DIN V 18599		2009 EPICOOOL: revision EPB calculation method cooling and overheating
EN 13790 (2008)	EN 13790 (2008)	EN 13790 (2008)
2013 DIN 4108-2 Grenswaarde 25-27°C	2014 ISSO 74 Thermische behaaglijkheid (adaptief)	
EnEV (2016)	2018 NTA 8800	

Nieuwe Overhitting rekencriteria



1. Klimaat- en weergegevens

a) Heeft een specifieke benadering van comfortberekening voor hittegolven?



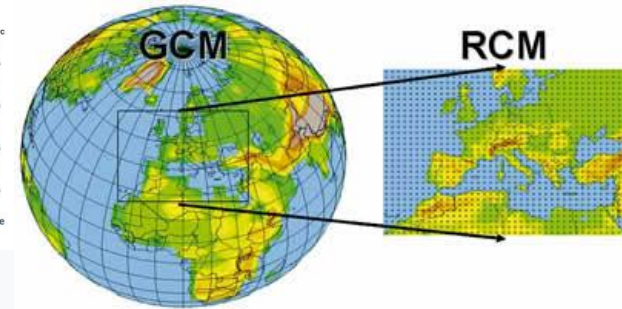
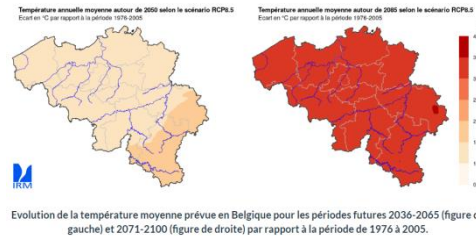
b) Rekening houden met het stedelijk hitte-eilandeffect?



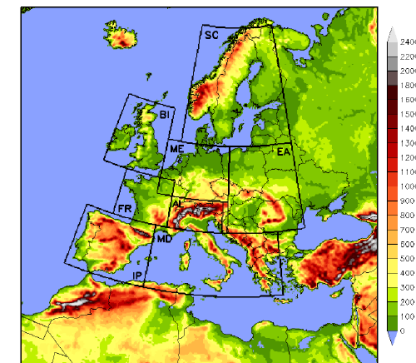
c) Rekening houden met toekomstige weersbestanden van klimaatverandering met extreme scenario's?



Gevolgen van de klimaatverandering in België



1. De IPCC-rapporten van 2006 en 2014 waren gebaseerd op een factor 1-ijsmeltfactor, waarbij werd verwacht dat het toekomstige klimaat een toename van bewolking en afname van straling zal veroorzaken.
2. In het nieuwe IPCC-rapportontwerp (dat in 2021 wordt gepubliceerd) hebben wetenschappers een toename van de smeltfactor van 1 naar 2 geregistreerd, wat zal leiden tot een toename van zonnestraling en meer anticyclonische omstandigheden, wat het tegenovergestelde is, van punt 1.



GCM General Circulation Models
CORDEX COordinated Regional Climate Downscaling EXperiment and beyond

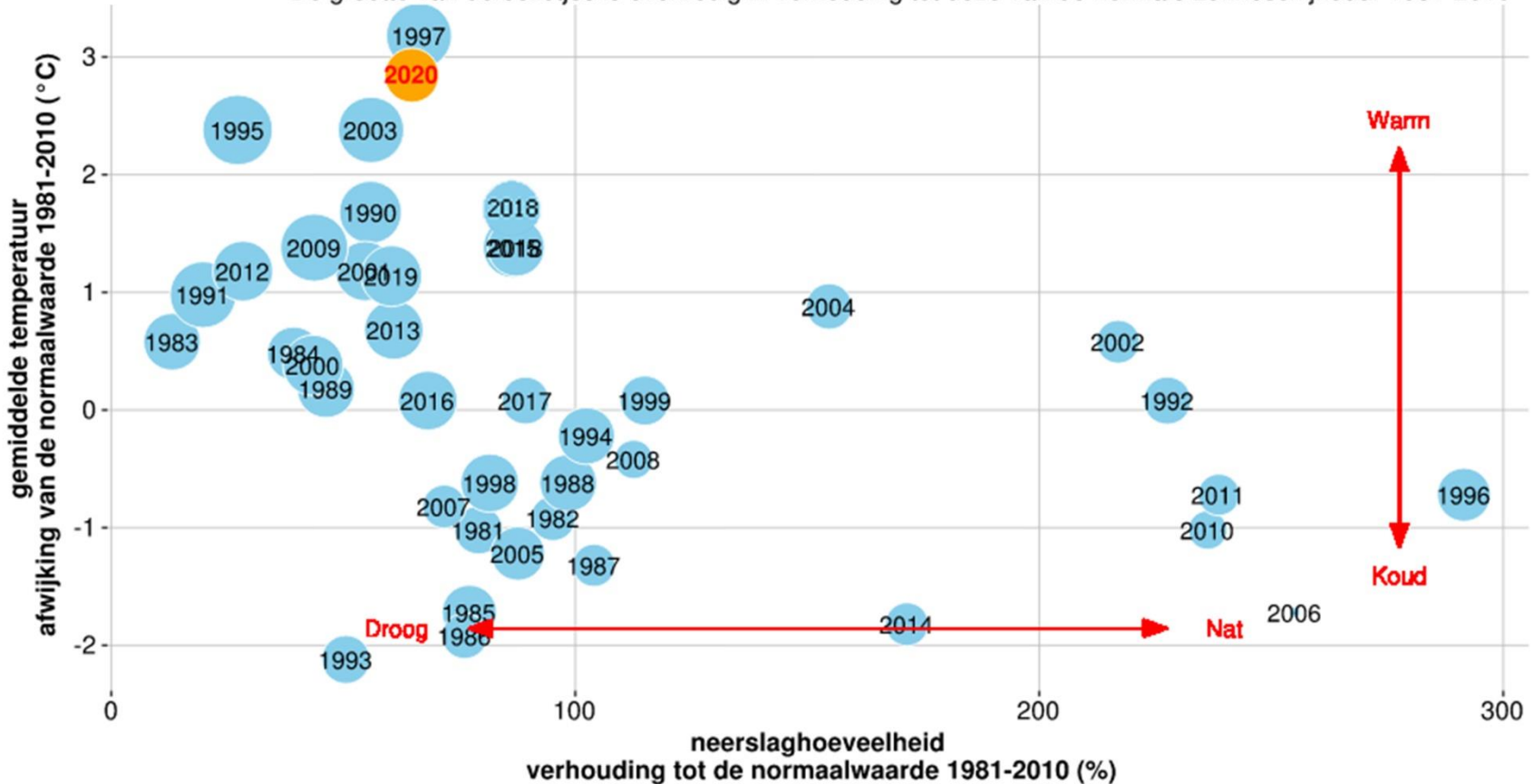
Neerslag, temperatuur en zonneshijnduur



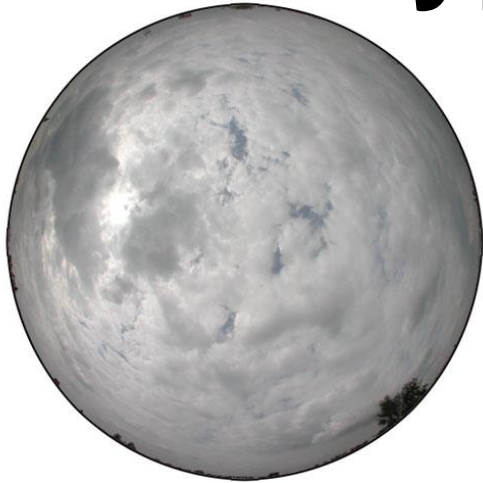
Neerslag, temperatuur en zonneshijnduur te Ukkel, augustus

gegevens van 1981 tot 2020

De grootte van de bolletjes is evenredig in verhouding tot deze van de normale zonneshijnduur 1981-2010



Gestandaardiseerde Hemel- types door CIE



overcast sky



intermediate sky



clear sky



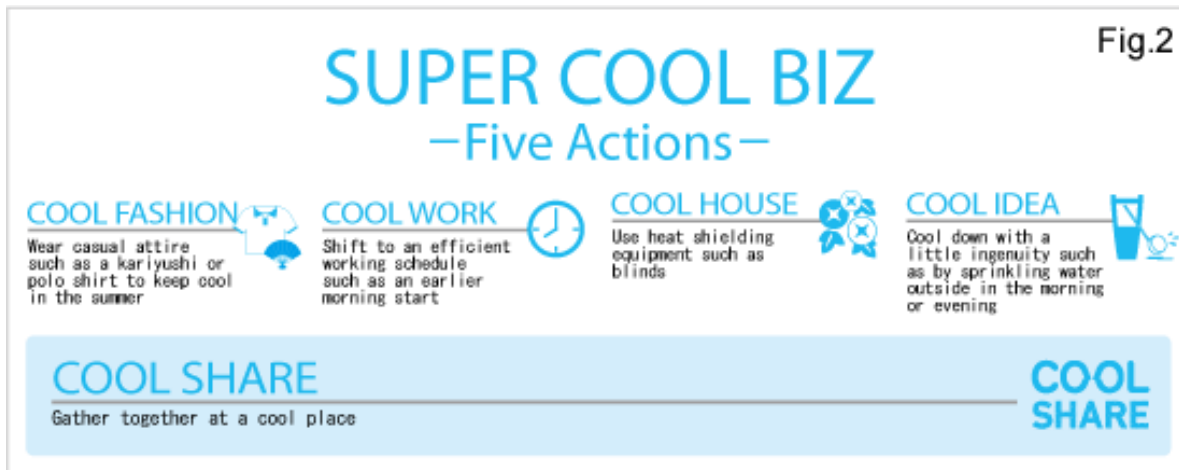
clear turbid / turbulent

2. Gebruiker type en vertegenwoordiging

- a) Wat is uw comfortstandaard?
- b) Omarmt uw methode de vier gebruikersscategorieën (I, II, III, IV)?
- c) Hoe representeer je aanwezigheid in het simulatiemodel?

Laten we de Japanners in de zomer als voorbeeld nemen...

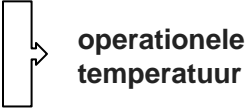
Deze campagne, die in 2005 werd gelanceerd, bestaat uit het beperken van het gebruik van airco en dus van de CO₂-uitstoot door mensen aan te moedigen **hun das en jas thuis te laten**.

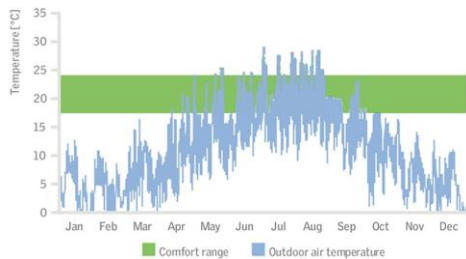


3. Comfort model

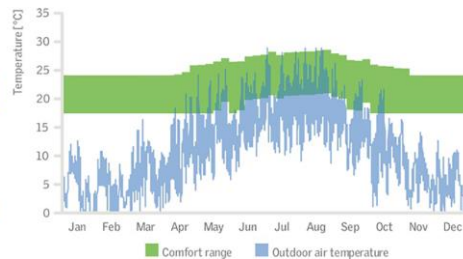
- a) Wat is de comfortstandaard?
- b) Comfortmodel gebaseerd op een adaptieve of statische methode?
- c) Is er een onderscheid tussen natuurlijk geventileerde gebouwen, gebouwen met *airconditioning* en gebouwen met gemengde mode ? *mixed-mode*
- d) Houdt het model rekening met lokale gepersonaliseerde verwarmings- / koelings- en ventilatiesystemen (plafondventilatoren, stoelen met airconditioning, elektrische verwarmingsmatrassen...)?

Parameters die het thermisch comfort beïnvloeden

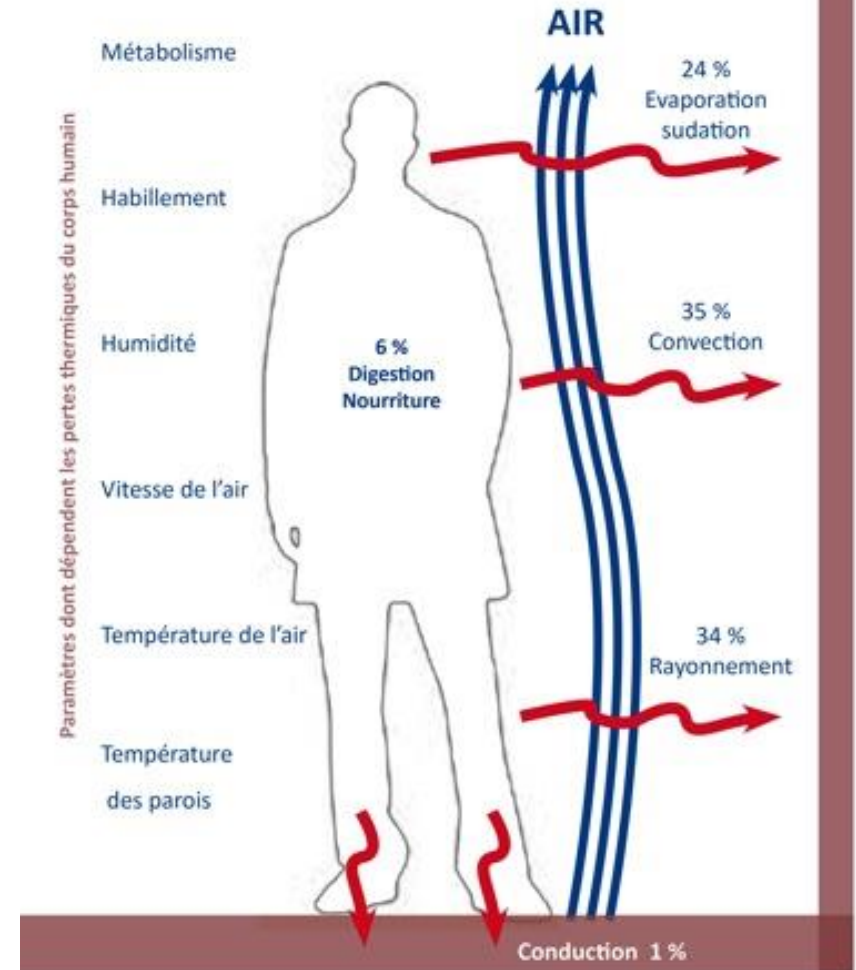
- metabolisme: warmteproductie in het menselijk lichaam
- kleding: thermische weerstand tussen de huid en de omgeving
- **omgevingstemperatuur**
- **temperatuur van de wanden** 
- relatieve luchtvochtigheid
- lichtsnelheid



statisch comfortmodel



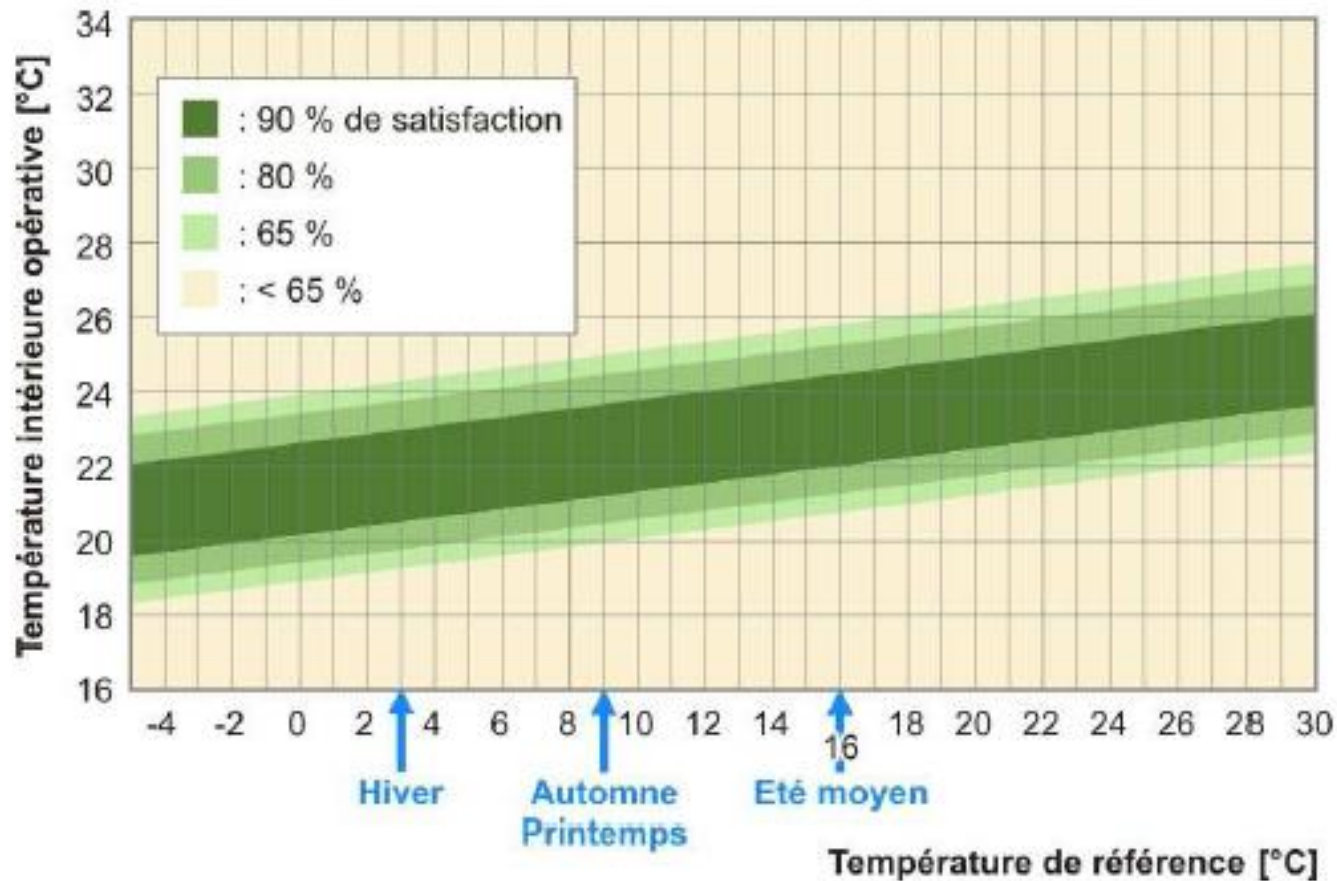
adaptief comfortmodel



Source : Guide de l'architecture bioclimatique – Haute qualité et développement durable – Observ'ER – Éditeur délégué : Systèmes Solaires. Cours Fondamental – Tome 3

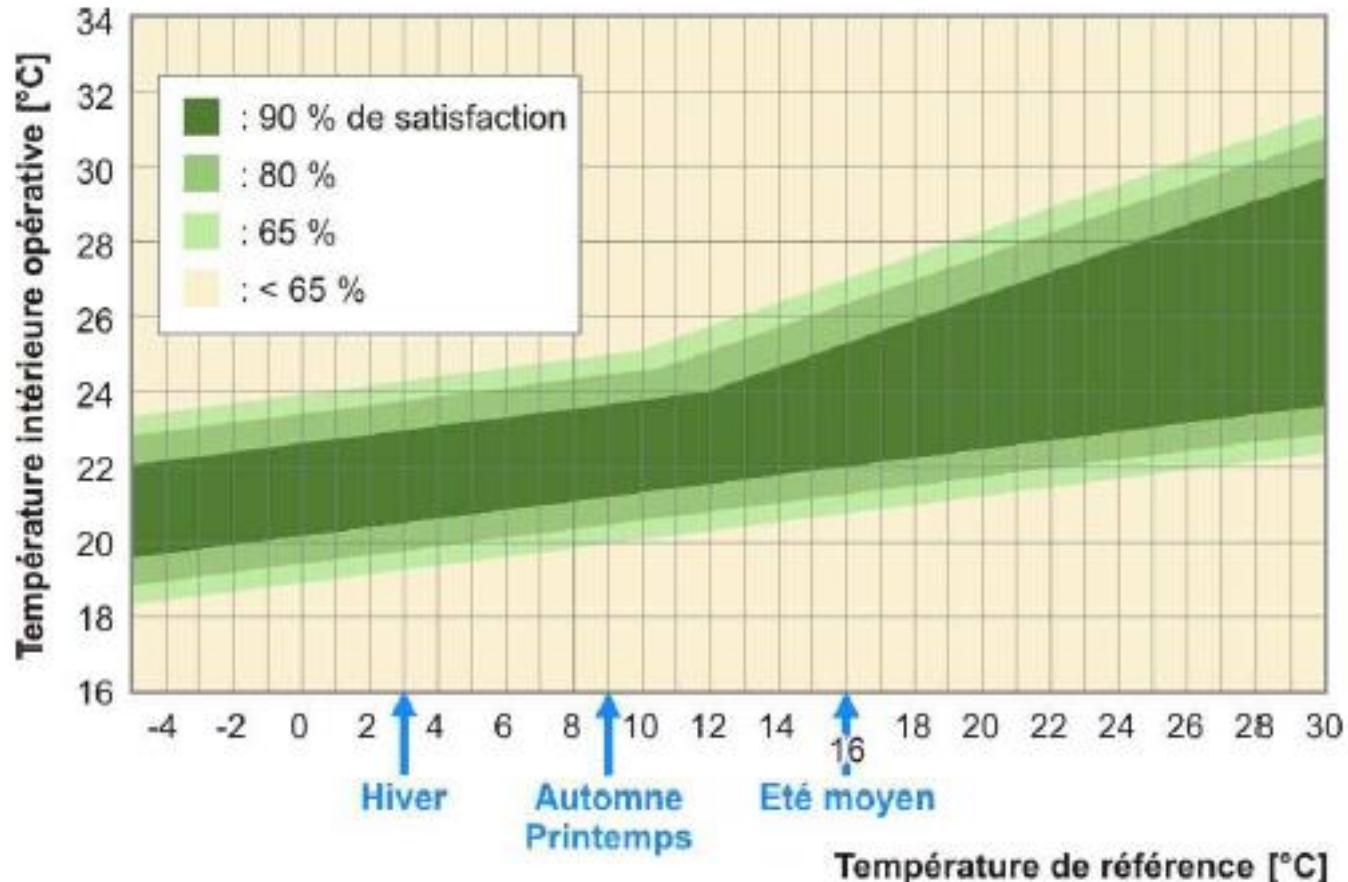
Adaptief thermisch comfortmodel: NBN EN 15251 + EN 16798

Als er geen interactie mogelijk is.



Adaptief thermisch comfortmodel: NBN EN 15251 + EN 16798 (NL:ISSO 74)

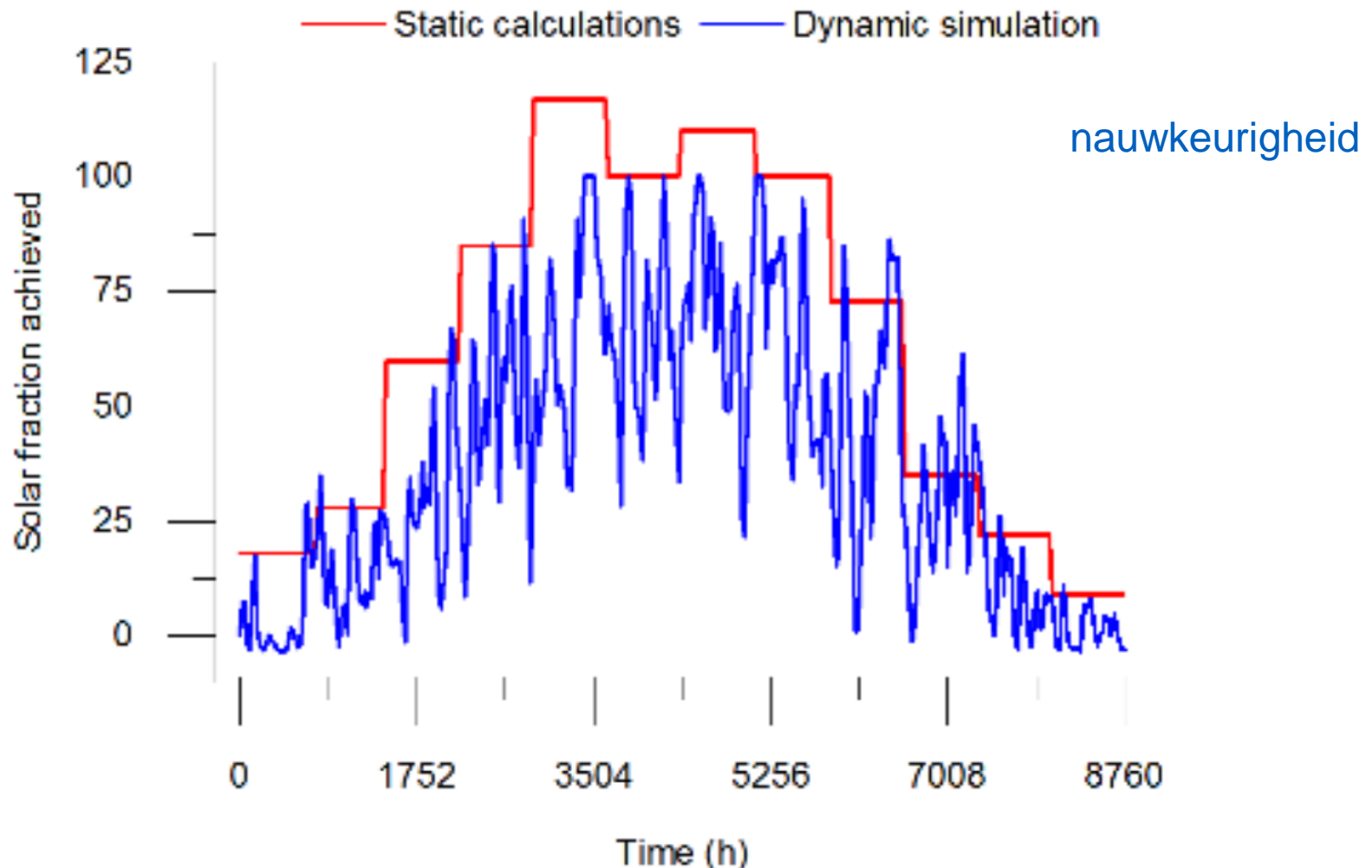
Als er echt een mogelijkheid voor interactie is.



4. Simulatie model

- a) Is uw berekening gebaseerd op een statisch / quasi-dynamisch / dynamisch model? Wat is de berekeningstijdstap?
- b) Is uw oververhittingsberekening gebaseerd op een model met één of meerdere zones?
- c) Maakt uw berekening onderscheid tussen slaapkamers en andere woonruimtes?

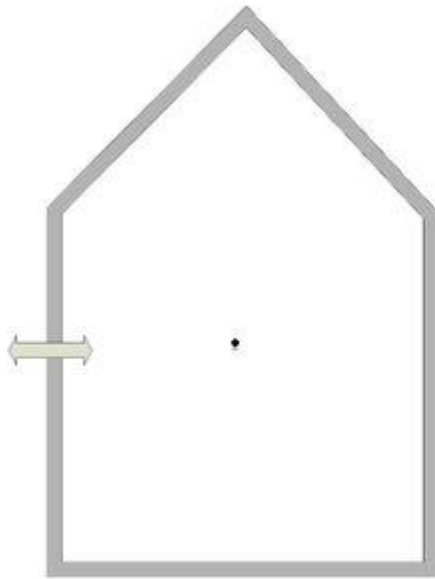
Statisch vs. dynamisch model



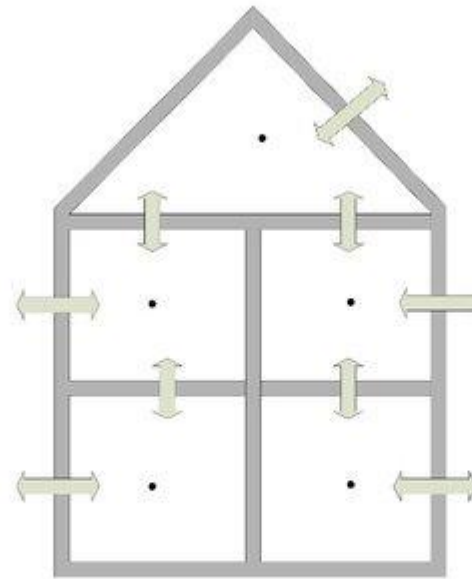
Source: Sornek, K. (2016). The comparison of solar water heating system operation parameters calculated using traditional method and dynamic simulations. In E3S Web of Conferences (Vol. 10, p. 00137). EDP Sciences.

Statisch vs. dynamisch model

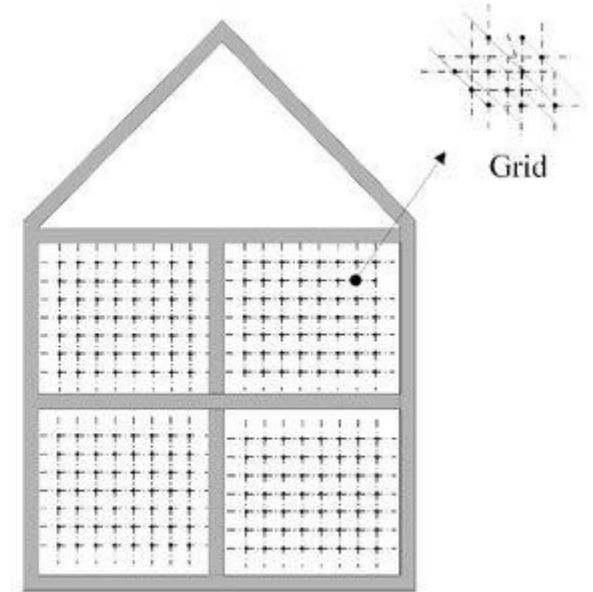
nauwkeurigheid



Single-zone
One node per building



Multi-zone
One node per room

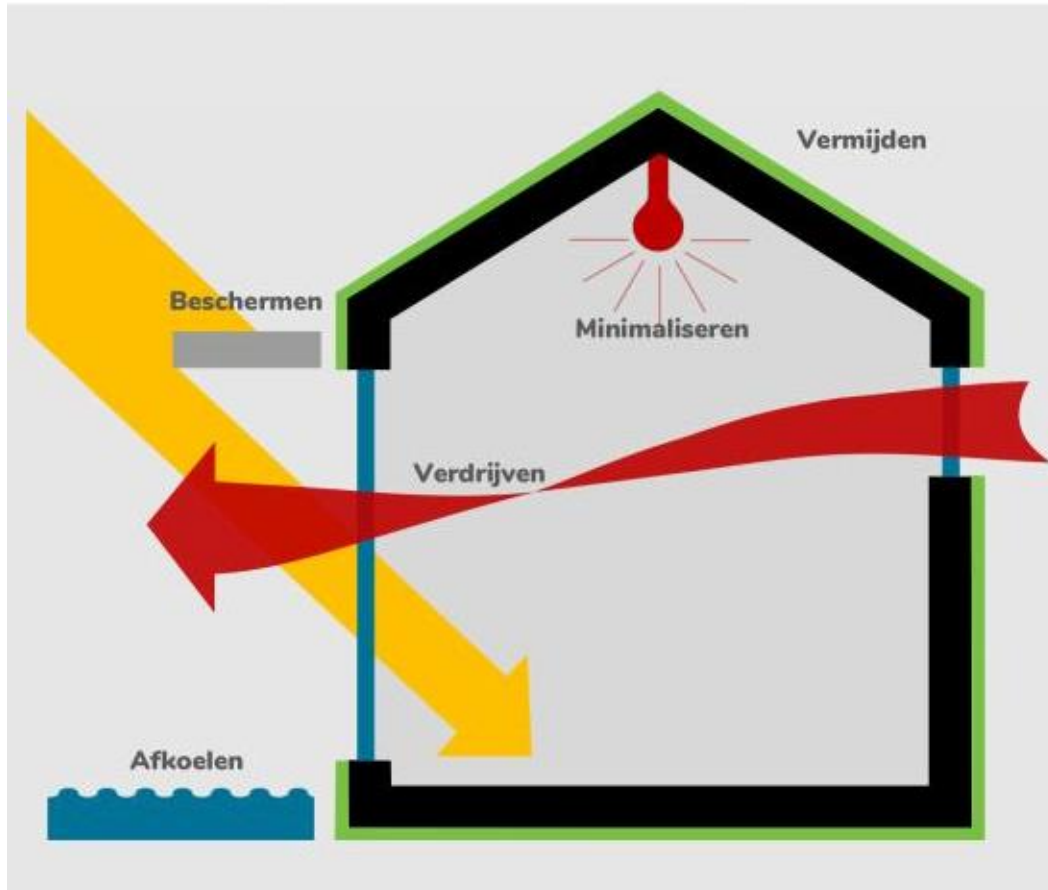


CFD
Multi nodes per room

5. Verplichte bioklimatische ontwerpvereisten

- a) Drempelwaarde voor de raam-wand verhouding?
- b) Verplichting van een g-waarde (zonnetoetredingsfactor) en zonwering gebruiks factor a_c en reductie factor F_c ?
- c) Verplichting van externe zonwering ?
- d) Inertie - Thermische massa van materialen ?
- e) Intensieve nachtventilatie ? *ventilative cooling*
- f) Beperking van interne winsten ?
- g) Natuurlijke koelapparatuur ? *evaporative cooling*

Zomer Strategieën



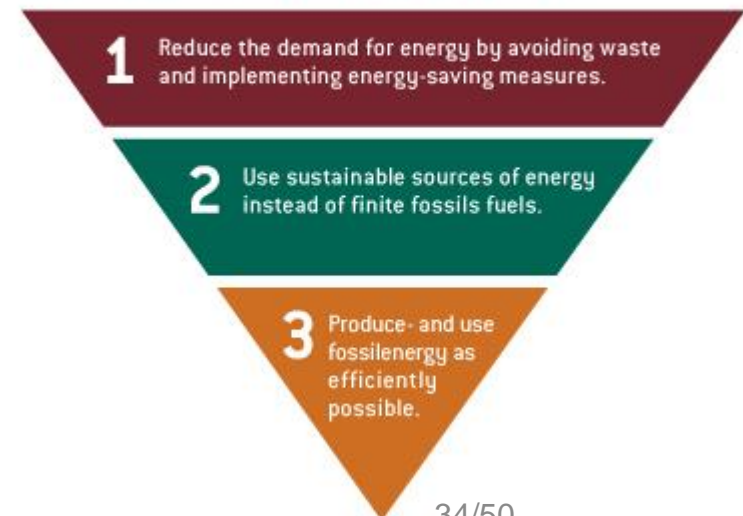
Zomer comfort

Het vereist de koude strategie:

1. Beschermen tegen zonnestraling en warmte,
2. minimaliseer interne bijdragen,
3. overtollige warmte afvoeren
4. natuurlijk koelen

The Trias Energetica concept:

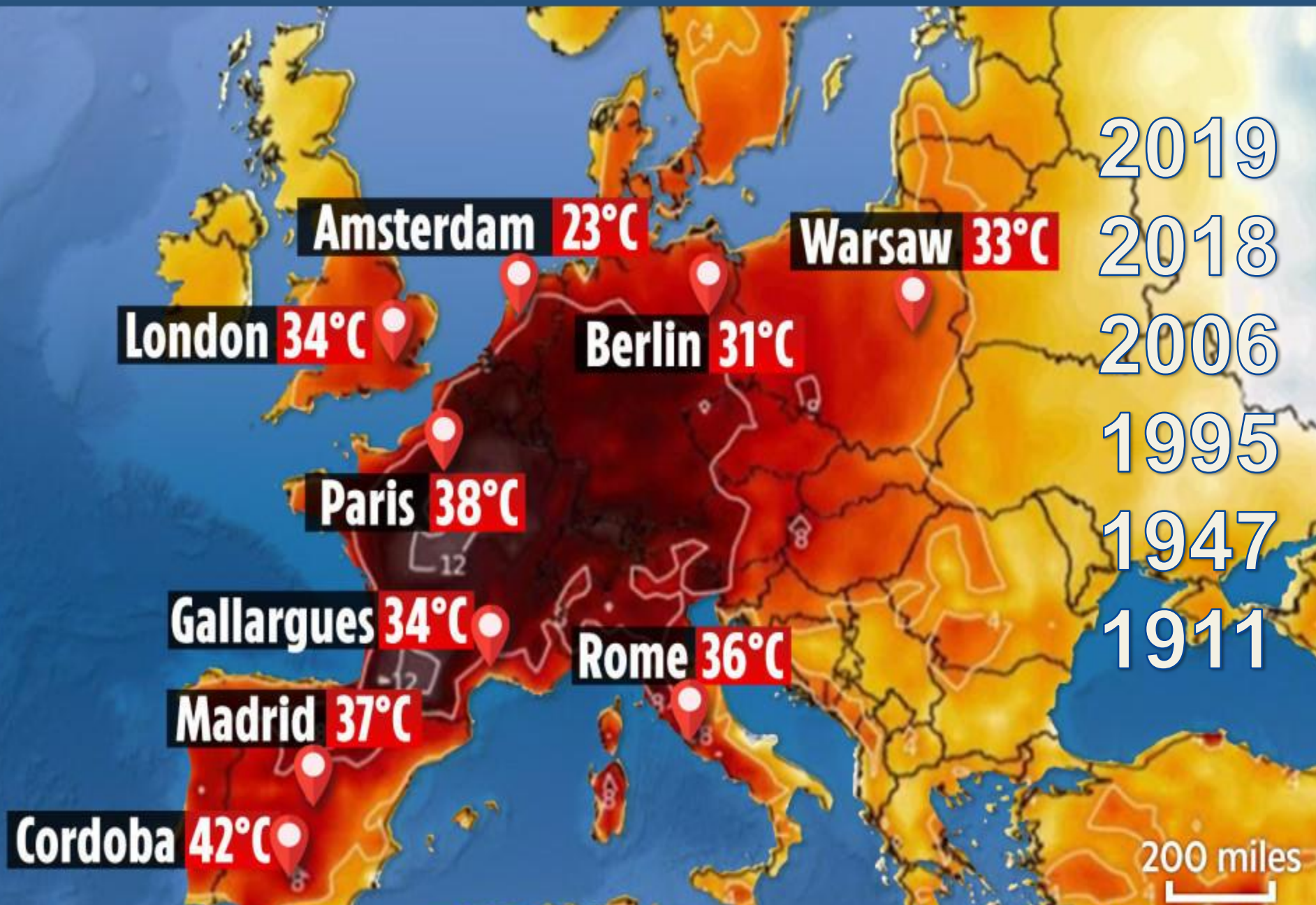
the most sustainable energy is saved energy.



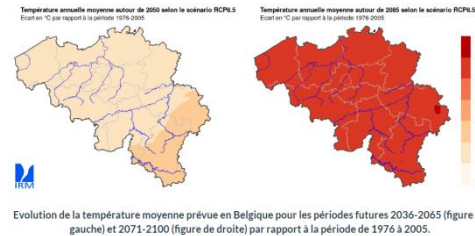
Koelbelasting en energieverbruik in gebouwen in België



EUROPEAN HEATWAVE



Gevolgen van de klimaatverandering in België

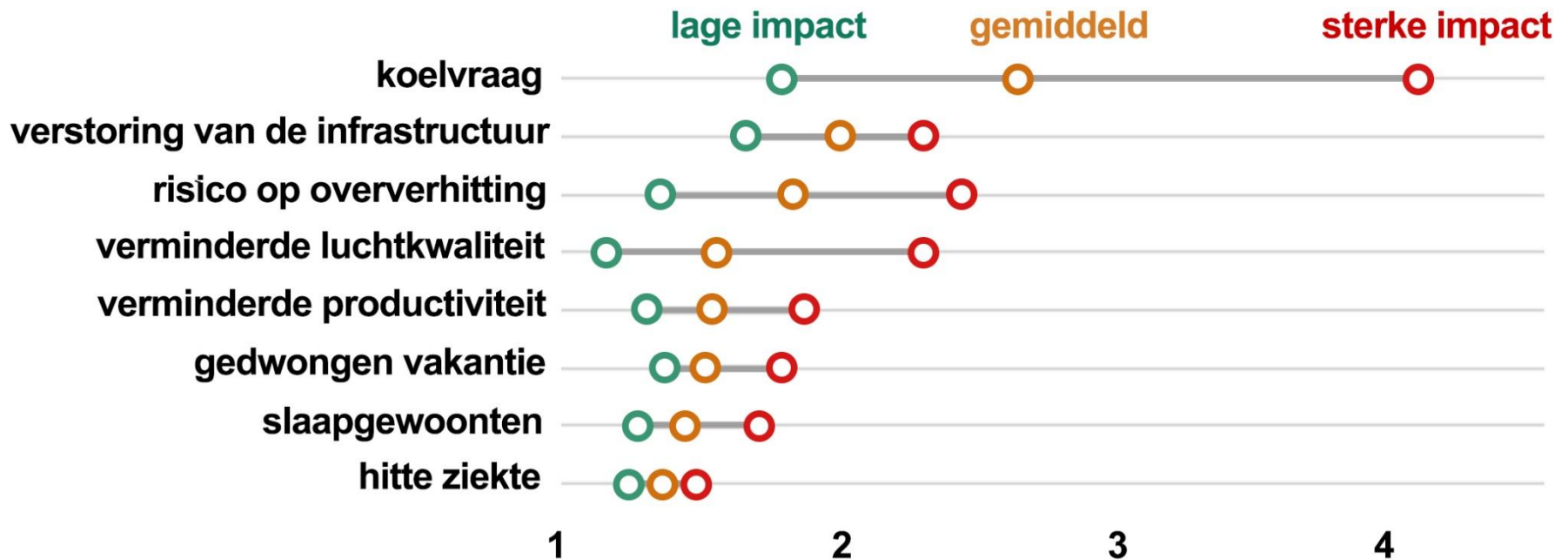


De belangrijkste te verwachten effecten van de klimaatverandering voor België

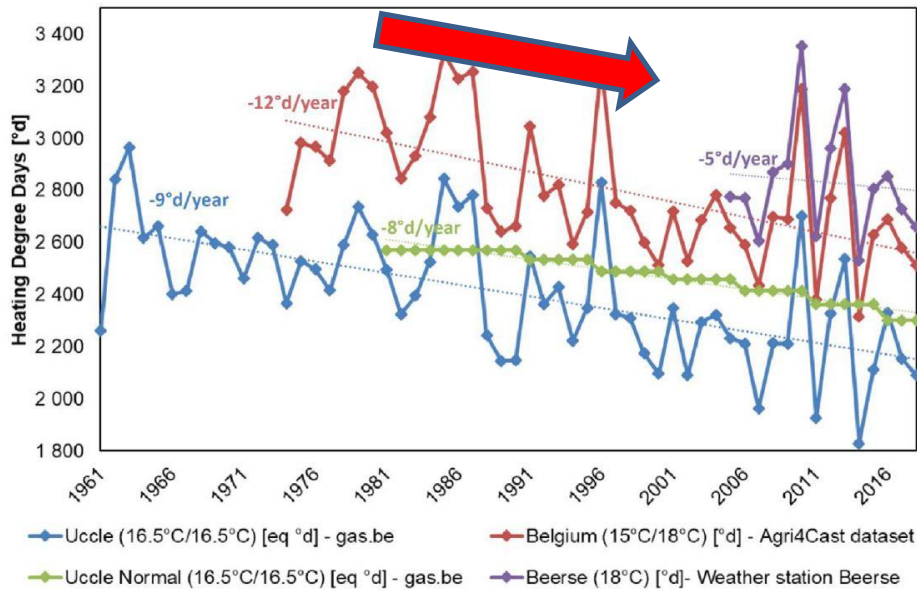
1. Hogere gemiddelde temperaturen, met als gevolg mildere winters en frequentere hittegolven
2. Verstoorde regenval, neiging tot nattere winters en drogere zomers en langer **zonnenschijnduur** (aantal zonuren)
3. Meer extreme weersomstandigheden (vergrotingseffect) (stormen, overstromingen, ...)

Gevolgen van klimaatverandering op tertiaire gebouwen in België

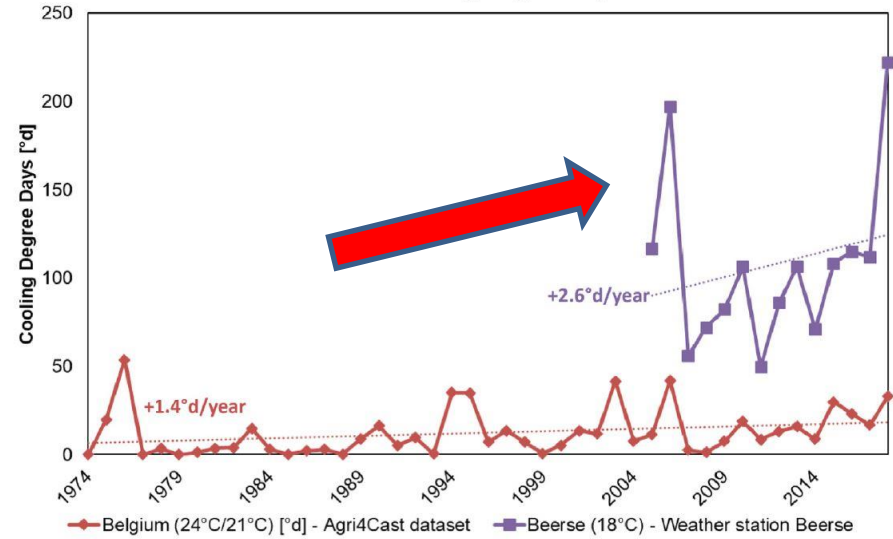
Schade geschat op een schaal van 1 tot 4



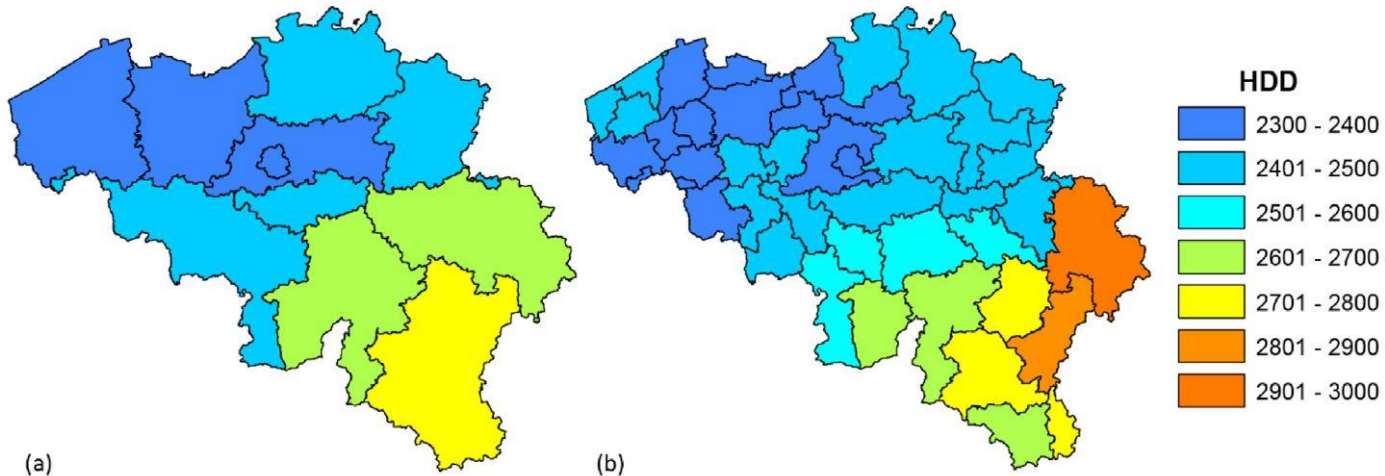
Evolution Heating Degree Days



Evolution Cooling Degree Days



Overview evolution of differently defined HDD/CDD according to various data sources



HDD mapped on (a) province (b) district scale based on Agri4Cast dataset in 2018

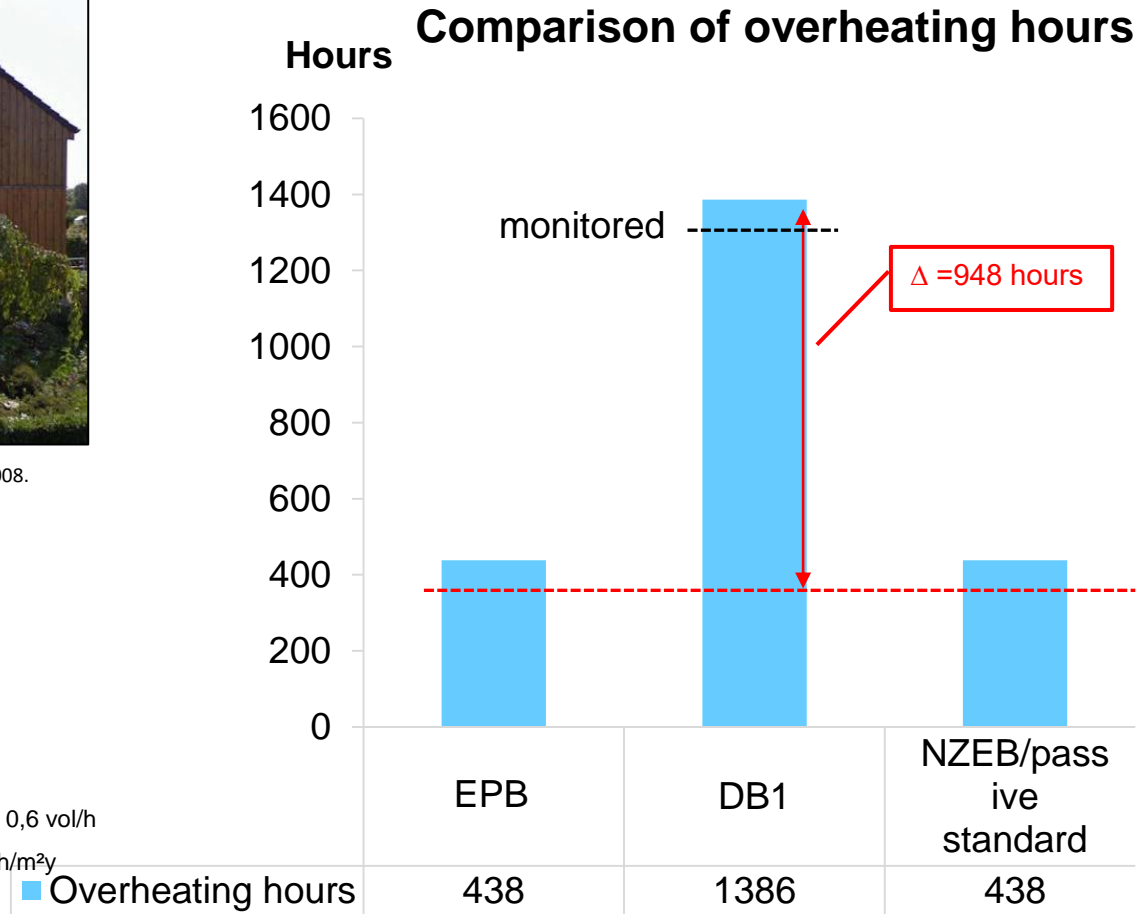
Source: Ramon, D., et al. (2020). Future heating and cooling degree days for Belgium under a high-end climate change scenario. Energy and Buildings, 109935.

Stijgende vraag naar koeling in woon- en bedrijfsgebouwen

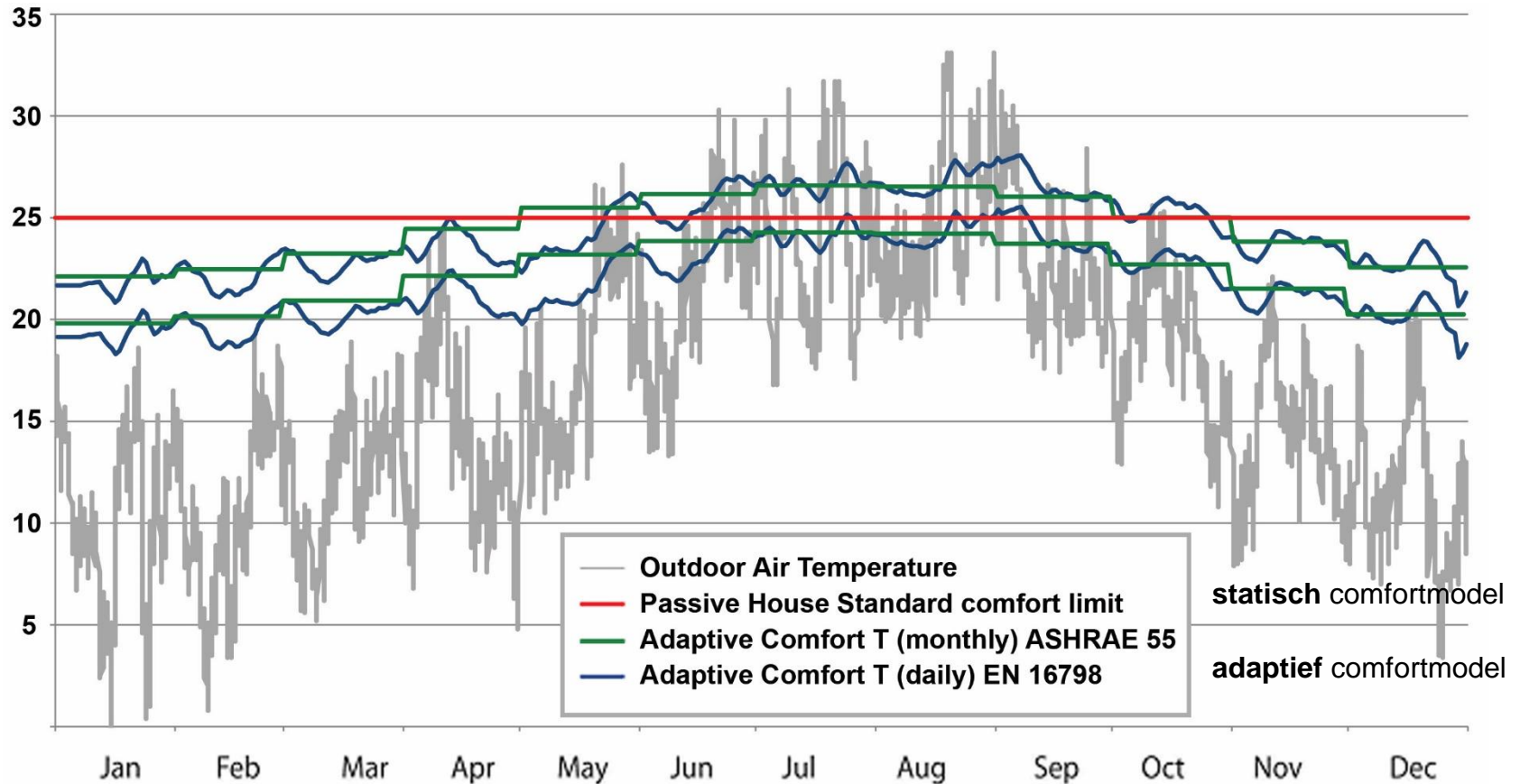


The Kettenis House. Source: De Meester, 2008.

- Description:
 - 4-Facades house
 - Architect: Leo Michaelis
 - Location: Eupen, Belgium
- Passive house with specific standards:
 - Heating demand < 15 kWh/m²y
 - Pressurization test results $n_{50} < 0,6$ vol/h
 - Total PE consumption < 45 kWh/m²y



Oververhitting in BENG, Luik



Stijgende vraag naar koeling in woon- en bedrijfsgebouwen

De belangrijkste te verwachten effecten van de klimaatverandering voor België:

1. In België, (2020) de geschatte marktpenetratie van koelsystemen in huishoudens is tussen 8-15%. dat betekent dat bijna 15% van de Belgen gebruik maken van airco.
2. De geschatte jaarlijkse toename van het energieverbruik voor koelen stijgt jaarlijks met 1%.
3. Business as usual-scenario's verwachten een stijging tot 25% in 2030 en 40% in 2050.

Scenario's voor verwarming en koeling in België

Different Scenarios for 2050

	Description	1	2	3	4
Heating, hot water and cooling	Energy demand is determined by the average internal temperature by households, the hot water and the cooling demand	Average internal temperature in households rises to 20°C by 2050; there is a 120% increase in hot water demand for sanitary purposes per household in 2050; the penetration of heat pumps increases - which can also be used as cooling device-; cooling reaches 60% of the households by 2050 compared to 4% today	Average internal temperature in households rises to 19°C by 2050; the hot water demand per household is kept at current level; 40% of Belgian households effectively uses air conditioning by 2050	Average internal temperature in households keeps constant at current level, namely 18°C ; there is a 20% decrease in hot water demand per household in 2050; 20% of Belgian households effectively uses air conditioning by 2050	The average internal temperature in households falls to 16°C by 2050; there is a -50% decrease in hot water demand for sanitary purposes per household in 2050; the total cooling demand of Belgium is kept around current level (~4% of households)
Electrification	Level of electrification of heating technologies based on heat pumps	By 2050, 20% of the installed heating installations in the residential stock are using heat pumps (running on electricity)	By 2050, 40% of the installed heating installations in the residential stock are using heat pumps (running on electricity)	By 2050, 60% of the installed heating installations in the residential stock are using heat pumps (running on electricity)	By 2050, 85% of the installed heating installations in the residential stock are using heat pumps (running on electricity)

Mensen gaan niet op ons wachten

De belangrijkste te verwachten effecten van de klimaatverandering voor België

1. Zonder een hervorming van de EPB-methode door te voeren, en de integratie van het 'Trias Energetica' concept in EPCs blijft de installatie van actieve koelsystemen een ad-hoc- en post-constructiegedrag.
2. We moeten niet optimistisch denken en verwachten dat mensen zullen kiezen voor een omkeerbare warmtepomp of een warmtepomp met een bypass gekoppeld aan PV-panelen.
3. Mensen zullen gewoon de goedkoopste optie kiezen, namelijk een split systeem, en de gevolgen van deze keuze zijn catastrofaal wat betreft de impact op de CO₂-uitstoot en de benodigde investeringen in energiecentrales.

Conclusie en aanbevelingen



Samengevat

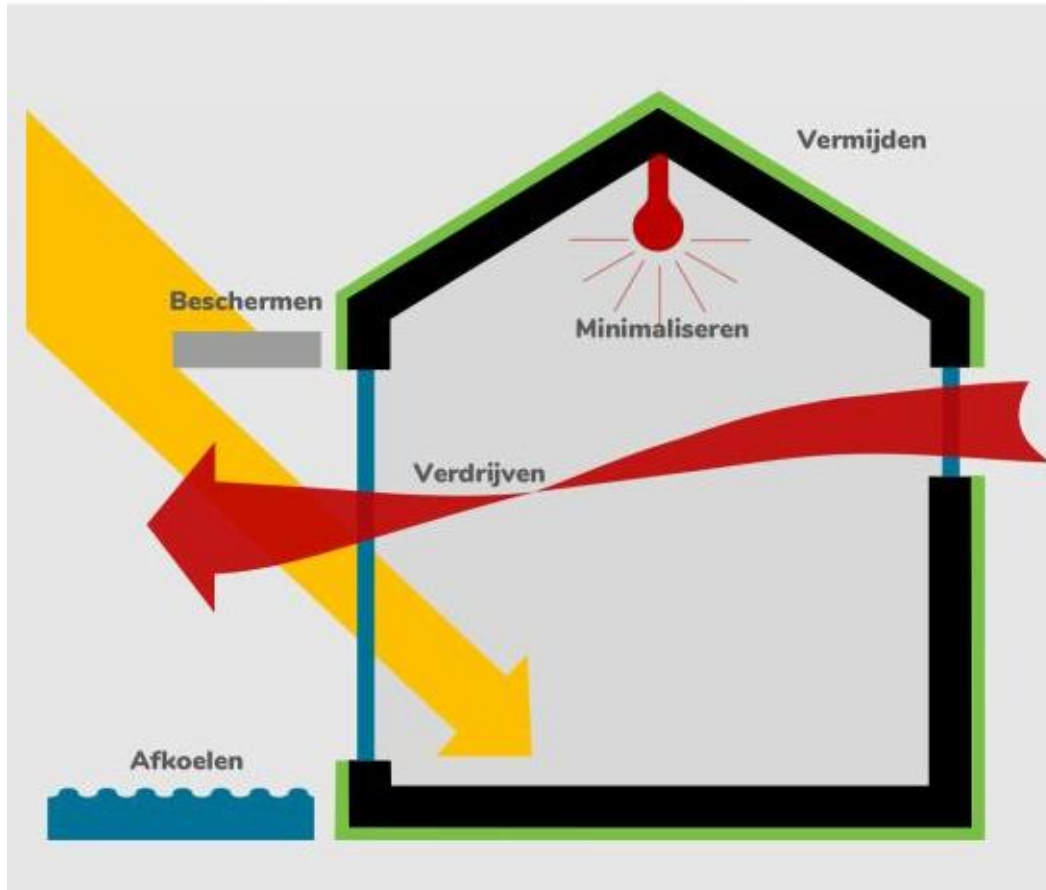
Verstandig rekening houden met behoeften aan koeling, betekent dat een voorkeursvolgorde aangehouden wordt:

- 1. Klimaat- en weergegevens**
- 2. Gebruiker type en vertegenwoordiging**
- 3. Comfort model**
- 4. Dynamisch simulatie model**
- 5. Verplichte passieve ontwerpvereisten**

Vergelijking: berekening van oververhitting

Country	Belgium	France	Germany	Netherlands	UK (England)
Main Regulatory documents related to building energy codes based on EPBD?	EN 13790 (2008) PEB Wallonia (2019) EPB Flanders (2020) PEB Brussels (2019)	EN 13790 (2008) RE (2020)	EN 13790 (2008) EnEV (2016)	EN 13790. (2008) NTA 8800 (2020)	EN 13790 (2008) Approved Document L1A for new dwellings (2016) Approved Document L1B for existing dwellings (2018)
Is comfort dependent on national geographic climate zones? If yes, list them.	Brussels, Flanders, Wallonia	Yes: H1a, H1b, H1c, H2a, H2b, H2c, H2d, H3	Climates A, B, and C	No	No
Does your method embrace the occupant and building categories (e.g. I, II, III, IV EN15251)?	No	Yes	No	Yes (A, B, C, and D)	No
What is the comfort standard?	EN 15251	ISO 7730, EN 15251	DIN 4108-2	ISSO 74 (2014)	?
Is your comfort model based on an adaptive or static method?	Static	Static for sleeping rooms - adaptive for other zones	Static	Hybrid	?
What are your comfort thresholds?	18-23 °C	Adaptive EN 15251 thresholds & Static 26 °C	For dynamic method: Climate A: 25 °C Climate B: 26 °C Climate C: 27 °C	Hybrid ISSO 74 thresholds	?
What is your overheating indicator?	$I_{overh} = \sum_{m=1}^{12} Q_{excess, norm, m}$ where $Q_{excess, norm, m}$ is the excess of heat gains in relation to the indoor set-point temperature for the month m	DIES (durée d'inconfort d'été statistique) : statistical summer discomfort duration	Simplified method (static): $S_{overh} = \frac{\sum_j (A_{w,j} * g_{tot,j})}{A_G}$ Simulation-based method (dynamic): Degree hours	Static method: $TO_{full, or, z1} = \frac{(Q_{C,nd, full, or, z1} - Q_{C,HP, full, or, z1}) * 1000}{(H_{C,D, full, or, z1} + H_{GR, an, full, or, z1} + H_{C,ve, full, or, z1}) + t_{jull}}$ Dynamic method: GTO	$T_{threshold} = T_e^{summer} + \frac{G}{H} + \Delta T_{mass}$
What are your overheating thresholds? And according to which standard are those thresholds defined?	Recommended range: 1000 Kh < I_{overh} < 6500 Kh & EN 15251	<ul style="list-style-type: none"> All living spaces except sleeping rooms depend on an adaptive model Maximum 28°C operative temperature in sleeping rooms & EN 15251 	<ul style="list-style-type: none"> Criterion 1 (static): $S_{overh} \leq S_{jul}$ Criterion 2 (dynamic): $Dh < 1200$ Kh per year for most critical room & DIN 4108-2 (2013) 	<ul style="list-style-type: none"> Criterion 1 (static): $TO_{jull} < 1K$ Criterion 2 (dynamic): $GTO < 450h$ 	<ul style="list-style-type: none"> $T_{threshold} < 20.5^\circ C$: not significant likelihood of high internal temperatures $20.5^\circ C < T_{threshold} < 22^\circ C$: slight likelihood of high internal temperatures $22^\circ C < T_{threshold} < 23.5^\circ C$: medium likelihood of high internal temperatures $T_{threshold} \geq 23.5^\circ C$: high likelihood of high internal temperatures & Based on SAP (2012)
Is your calculation based on a static/quasi-dynamic/dynamic model? What is the calculation timestep?	Brussels: static (Passive House Standard) Flanders and Wallonia: quasi-dynamic with 12 simulation steps (ISO 13790)	Dynamic model & hourly calculations	Static and dynamic	Static and dynamic	Static
Overheating calculation based on a single or multizone model?	Single zone	Multizone model	Multizone	Multizone	Single zone

Samengevat: Zomer Strategieën



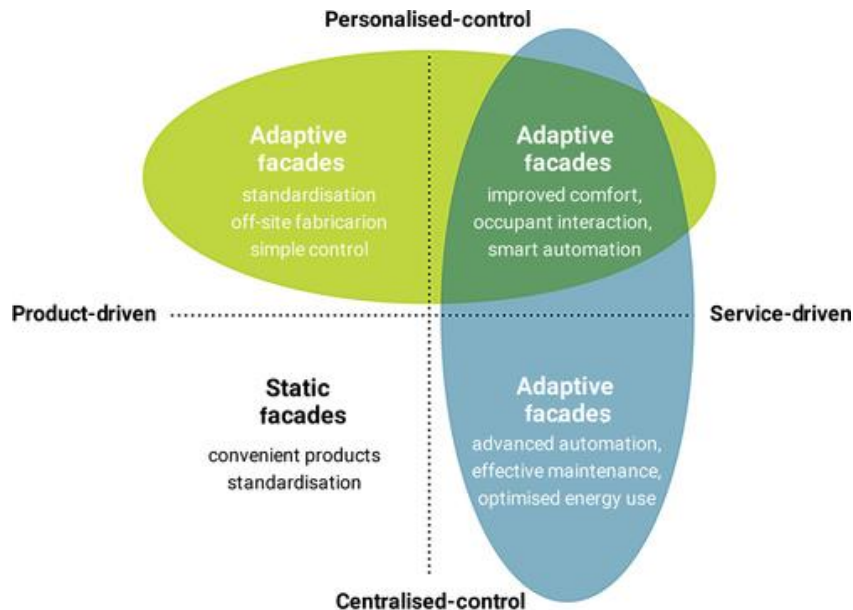
Zomer comfort

Het vereist de koude strategie:

1. Beschermen tegen zonnestraling en warmte,
2. minimaliseer interne bijdragen,
3. overtollige warmte afvoeren
4. natuurlijk koelen

- ▶ gemakkelijk te openen ramen
- ▶ de opening kan door de gebruikers worden aangepast
- ▶ geen werkende airco
- ▶ individuele controle van de ruimte d.m.v. energiezuinige methoden (ventilatoren, luiken, nachtelijke ventilatie, etc.)
- ▶ bewijs door **dynamische simulatie** of **monitoring**

Adaptieve geveloplossingen



geavanceerde automatisering



Dynamic shadings



Chromogenic facades



Solar active facades

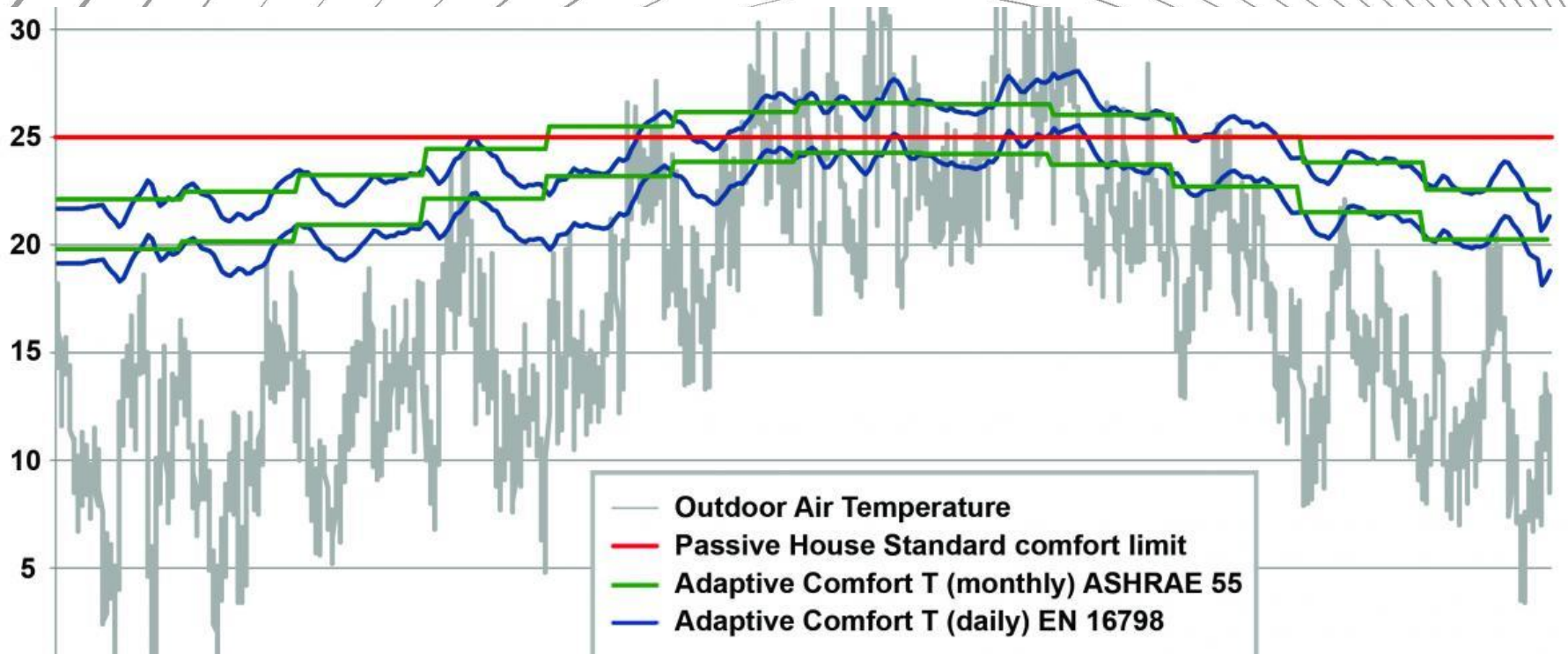


Active ventilative facades

Aanbevelingen aan EPB groepen

- ❑ De EPB-software verbeteren om rekening te houden met toekomstige veranderingen.
- ❑ Het huidige wetgevingskader van het Vlaams en Waals Gewest moeten verbeteren door de reeks indicatoren voor thermisch ongemak op lange termijn aan te nemen, die de classificatie van het gebouw met betrekking tot toekomstige projecties mogelijk maken, en de noodzaak om dynamische berekeningen aan te passen in plaats van statische schattingen.
- ❑ Als onderdeel van IEA Annex 80 over veerkrachtige koeling (*resilient cooling*) werken veel Belgische onderzoekers aan het harmoniseren van een state-of-the-art berekeningsaanpak voor oververhitting. Daar kunnen we gebruik van maken.

Goede praktijken voor zonwering en EPB-berekening



Prof. Dr. Shady Attia

Sustainable Building Design Lab, UEE,
Applied Sciences, University of Liège, Belgium
shady.attia@uliege.be