

Eisen binnenklimaat

Kennisbank Bouwfysica

Auteurs: dr.ir. Peter van den Engel (recente aanpassingen), ing. Bob Schalkoort (basistekst)

1 **Klimaat**

Onder "klimaat" of "thermisch klimaat" wordt verstaan: de combinatie van omgevingsfactoren die de warmte en vochtuitwisseling tussen de mens en zijn omgeving bepaalt. Deze factoren zijn luchttemperatuur, gemiddelde stralingstemperatuur, luchtbeweging en luchtvochtigheid. Vaak wordt tot het "binnenklimaat" ook de luchtreinheid gerekend.

2 **Kwaliteit**

Als veel van het binnenklimaat afhangt, zoals bij de productie van micro-elektronische componenten, teelt van temperatuurgevoelige gewassen, bewaren en tentoonstellen van onvervangbare kunstvoorwerpen, kan een nauwkeurige klimaatregeling - die ook onder extreme weers- en gebruiksomstandigheden binnen de vereiste grenzen blijft - noodzakelijk zijn. Klimaatinstallaties voor verblijfsruimten, zoals in woningen, kantoren en scholen, worden zelden op extremen gebaseerd. In dergelijke ruimten worden overschrijdingen van comfortgrenzen gedurende aangegeven perioden toegestaan. De mate waarin overschrijdingen mogen optreden bepaalt enerzijds de kwaliteit van het binnenklimaat en anderzijds de mate waarin installaties moeten worden aangewend om die kwaliteit te realiseren. "Kwaliteit" moet daarom worden beschouwd als de mate waarin aan gestelde eisen wordt voldaan.

3 **Thermisch comfort**

Het klimaat is voor mensen thermisch comfortabel als ze geen behoefte hebben aan een hogere of lagere temperatuur (1). De mate waarin het klimaat als (on)comfortabel wordt ervaren, hangt samen met de warmte-isolatie van de kleding en de ontwikkelde interne lichaamswarmte, die afhankelijk is van de lichamelijke activiteit. Over thermisch comfort is veel bekend. Eisen zijn nauwkeurig te geven. Uit de praktijk blijkt dat het thermisch comfort vooral wordt bedreigd door tocht en temperatuurverschillen. Bij tocht gaat het om de combinatie van lichtsnelheid, luchttemperatuur en karakter van de luchtstroming (mate van turbulentie). Bij temperatuurverschillen zijn het de verschillen in de tijd (fluctuaties en verloop) en de ruimtelijke verschillen (gradiënten) die het comfort beïnvloeden (2, 3, 4, 5).

4 **Olfactief comfort (luchtreinheid)**

Het comfort dat samenhangt met de luchtreinheid wordt wel "olfactief" comfort genoemd (olfactief = reukzin betreffend). Hiervan is minder bekend dan van thermisch comfort. Vele stoffen kunnen de lucht olfactief verontreinigen en tot onaangename geursensaties leiden. Bovendien kunnen ze hinder, zoals slijmvliesirritatie, veroorzaken (6). Slechts van een beperkt aantal stoffen is bekend welk verband bestaat tussen de concentratie van die stoffen in de lucht en de mate van geurhinder. Complicerend is dat geurwaarneming door thermische factoren en adaptatie wordt beïnvloed.

Voor het beoordelen van de luchtreinheid worden vaak indicatorstoffen gebruikt, zoals kooldioxide. Verblijfsruimten met een concentratie van meer dan 0,1 volume % CO₂ worden

doorgaans bedompt of onfris gevonden, terwijl 0,08 volume % wordt genoemd als grenswaarde ter voorkoming van klachten (7). Omdat de CO₂-productie van mensen bekend is en afhankelijk is van de activiteit is met dit gegeven de verse luchthoeveelheid per persoon vast te stellen.

Bij CO₂ als indicator worden alleen mensen als verontreinigingsbron in aanmerking genomen. Andere bronnen, zoals bouw- en inrichtingsmaterialen en vervuilde installaties, leveren vaak grotere bijdragen aan de binnenluchtverontreiniging. Om deze reden wordt ook wel de concentratie van een aantal stoffen te zamen, zoals de groep vluchtige organische verbindingen (VOC's), als indicator gebruikt (8).

Een geheel andere benadering is het beoordelen van de luchtreinheid met proefpersonen ("geurpanels") en het gebruik van de eenheden "decipol" voor geursterkte en "olf" voor bronsterkte (9). De geursterkte is afhankelijk van de bronsterkte en van de hoeveelheid verse lucht die door de ruimte stroomt (10). Omdat de relatie tussen de geursterkte en het percentage ontevreden bekend is, kan worden bepaald hoeveel verse lucht moet worden toegevoerd om een gewenst percentage mensen tevreden te stellen.

Vaak worden luchtreinheidseisen aangegeven in de per persoon toe te voeren hoeveelheid verse lucht. Omdat het aantal personen niet altijd bekend is en ook andere bronnen de lucht kunnen verontreinigen, wordt luchtverversing ook wel als ventilatievoud aangegeven (m³/h verse lucht per m³ ruimte) afhankelijk van de functie van ruimte (11,12),

5 Auditief en visueel comfort

Installaties die hinderlijk geluid produceren - en om die reden vaak beperkt worden gebruikt - vormen een bedreiging voor het thermische en olfactieve comfort. Hier wordt niet ingegaan op auditief comfort en akoestische eisen. Wel wordt bij de keuze van klimaatregelsystemen steeds gestreefd naar het voorkomen van nadelige invloed op het akoestische en visuele klimaat.

6 Acceptatie van discomfort

Thermisch en olfactief discomfort hoeven niet per se tot onvrede of klachten te leiden. Hoe of waardoor bevindingen of classificaties in de reeks **discomfort** ---> **onvrede** ---> **acceptatie** ---> **klacht** in elkaar overgaan, is onduidelijk. Wel weten we dat tussen de bevindingen en classificaties drempels zitten waarvan de hoogte mede wordt beïnvloed door andere dan thermische of olfactieve aspecten (13). Mensen accepteren meer onbehagen en klagen minder snel naarmate ze meer invloed op hun omgeving kunnen uitoefenen (14). Dit pleit voor individuele regelbaarheid van temperatuur, ventilatie (onder andere te openen ramen), zonwering, verlichting, enzovoort. In de volgende hoofdstukken worden oplossingen beschreven waarvan bekend is dat ze een redelijke mate van acceptatie geven. Van een "redelijke mate" is sprake als ten minste 80% van de mensen het acceptabel vindt.

7 Woningen en woongebouwen

Klimaatseisen voor woningen zijn onder andere vastgelegd in het Bouwbesluit en in NEN-normen. In het Bouwbesluit worden minimale prestatie-eisen genoemd. Hoe deze eisen moeten worden getoetst en gerealiseerd wordt in NEN-normen, Praktijkrichtlijnen (NPR) en ISSO- of SBR-publicaties verder uitgewerkt. NEN-normen worden fasegewijs vervangen door Europese normen.

In het Bouwbesluit staat per gebouwfunctie omschreven wat de minimaal benodigde luchtverversing is. Daarnaast wordt in het kader van de GIW-garantie voor woningen klimaateisen gesteld. Het Bouwbesluit en de NEN-normen geven minimum-eisen. In verband de beoogde acceptatie wordt aanbevolen hogere waarden aan te houden, vooral bij risicogroepen zoals ouderen en Cara-patiënten.

Bij woningen moet volgens het Bouwbesluit minimaal 0,9 liter per seconde verse lucht per m² verblijfsgebied of verblijfsruimte worden toegevoerd. Lucht wordt toegevoerd via slaap- en woonkamer en normaliter afgevoerd via de keuken, badkamer, toilet en eventuele was- en droogruimte. De volgende luchthoeveelheden zijn minimaal benodigd:

Toevoer	
- verblijfsgebied of verblijfsruimte	: 0,9 l/sm ²
Afvoer	
- keuken ≤ 10 m ²	: 75 m ³ /h
- open keuken in woning	: minimaal 150 m ³ /h (mechanisch) of een hoeveelheid voorkomend uit het oppervlak aan verblijfsgebied
- bad-, was- en droogruimte	: 50 m ³ /h
- toilet	: 25 m ³ /h
Toe- en afvoer	
- gemeenschappelijk trappenhuis of gang	: 0,5 l/sm ²
- opslagruimte huisvuil	: 10 dm ³ /sm ²
- liftkooi	: 3,2 dm ³ /sm ² van het vloeroppervlak van de liftschacht

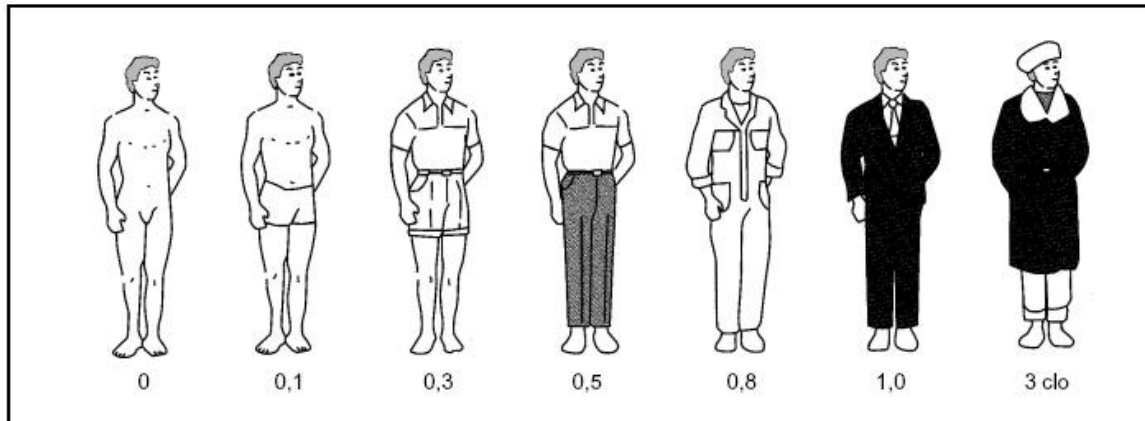
Voor gedetailleerder rekenregels wordt verwezen naar het Bouwbesluit, NEN-normen en NPR-bladen.

8 Kantoren

Met betrekking tot het thermische comfort voor kantoren wordt vaak verwezen naar richtlijnen van de Rijksgebouwendienst (Rgd) (15) die in aanvang werden gebaseerd op de volgende beginselen [16]:

- **ten minste 90% van de bewoners moet ten minste 90% van de tijd tevreden zijn, dat wil zeggen.:**
 - * maximaal 5% van de tijd (ca. 100 uur/jaar) mag het "te warm" zijn
 - * maximaal 5% van de tijd (ca. 100 uur/jaar) mag het "te koud" zijn
- **niet meer dan 25% van de bewoners mag ontevreden zijn**

In de praktijk wordt het percentage (on)tevredenen vaak afgeleid met de PMV/PPD-index. Deze index, gebaseerd op het comfortmodel van Fanger is beschreven in normblad NEN-EN-ISO 7730 [17]. PMV is de afkorting van "Predicted Mean Vote" en PPD van "Predicted Percentage Dissatisfied". De eis "ten minste 90% tevreden" komt overeen met PPD<10 en -0,5<PMV<0,5, zie figuur 1.



figuur 3 warmte-isolatie van kleding

De luchttemperaturen die hieruit volgen, zijn:

$-1,0 < PMV < 1,0$ -----> $18,0 < \text{lucht} < 28,0 \text{ }^\circ\text{C}$ (>75% tevredenen)
 $-0,5 < PMV < 0,5$ -----> $20,0 < \text{lucht} < 26,0 \text{ }^\circ\text{C}$ (>90% tevredenen)

Met een zogenaamde "temperatuuroverschrijdingsberekening" is na te gaan of het klimaat "90% van de tijd" binnen de aangegeven PMV-, PPD- of temperatuurgrenzen blijft. Hier volstaat om te wijzen op het voorstel om de temperatuuroverschrijding te beoordelen door één grens $PMV=0,5$ te nemen en de uren waarin deze grens wordt overschreden te wegen overeenkomstig de PMV/PPD-relatie (18, 19, 20).

Recent is voorgesteld om de beoordeling afhankelijk te maken van de mogelijkheden om het klimaat zelf te beïnvloeden (zoals met te openen ramen) en van het buitenklimaat in de periode voorafgaand aan de beoordeling (21, 22, 23). De gemiddelde dag- en nachttemperatuur is, met vertraging van een week, bijvoorbeeld bepalend voor de temperatuur die door mensen als comfortabel wordt ervaren (24).

Voor de luchtverversing van kantoren is in het Bouwbesluit het uitgangspunt dat per persoon tenminste $25 \text{ m}^3/\text{h}$ ($6,5 \text{ dm}^3/\text{s}$) verse lucht moet worden toegevoerd. Dit komt overeen met een maximum CO_2 -concentratie in de ruimte van circa 0,12 %. Uit § 4 blijkt dat deze concentratie als een maximum moet worden gezien, aangezien lagere waarden wenselijk zijn. Het verdient daarom aanbeveling per persoon uit te gaan van $50 \text{ m}^3/\text{h}$ of meer. Het Bouwbesluit bewaakt alleen de minimum kwaliteit. De minimum bezetting in kantoren is in het Bouwbesluit is 1 persoon per 20 m^2 .

Locaal comfort

De NEN-EN-ISO 7730 stelt naast algemene eisen m.b.t. het comfort ook eisen aan lokale omstandigheden die het comfort bepalen. Het gaat hier om:

- de turbulentie-intensiteit, deze heeft invloed op de beleving van luchtsnelheid (hoe meer luchtwerking, hoe sneller tocht)
- de verticale temperatuurgradiënt (hoe minder gelijkmatig de temperatuur, hoe onbehaaglijker)
- de stralingsasymmetrie (temperatuurverschillen tussen vlakken mogen niet te groot worden)
- de toelaatbare temperatuur van vlakken

9 Scholen

Voor scholen is de eis in het Bouwbesluit dat tenminste 30 m³/h (8,5 dm³/s) per leerling moet worden toegevoerd. Ook hier geldt dat meer ventilatie dan dit minimum een gezondere en productievere omgeving oplevert (25). Gezien de hoge bezettingsgraad bij scholen is het voorkomen van tocht door de luchttoevoer in combinatie met beperking van het energiegebruik een belangrijk aandachtspunt.

10 Andere gebouwen

Bij andere functies en gebouwen worden de klimaateisen vaak per geval bepaald. Bij industriële ruimten, winkelbedrijven, sportaccommodaties wordt rekening gehouden met het tijdelijke verblijf van personen in de ruimte en met de aanwezige processen. Een deel van de eisen moet aan handboeken worden ontleend.

11 LITERATUUR

1. Fanger PO, "Thermal Comfort - Analyses and Applications in Environmental Engineering", Mc.Graw-Hill 1972.
2. Fanger PO en Christensen NK, "Perception of draught in ventilated spaces", Ergonomics 29 (1986), 215-235.
3. Sprague CH en McNall PE, "The effects of fluctuating temperature and relative humidity on thermal sensation (thermal comfort) of sedentary subjects", ASHRAE Trans. Vol. 76 (1970), Part 1, 76-81.
4. Berglund LG en Gonzalez RR, "Application of acceptable temperature drifts to built environments as a mode of energy conservation", ASHRAE Trans. 84 (1978), 110-121.
5. Olesen BW, Scholer M en Fanger PO, "Discomfort caused by vertical air temperature differences", in: Fanger PO en Valbjorn O (ed.) "Indoor Climate", Danish Building Institute, Copenhagen, 1979.
6. Schalkoort TAJ, "Ontwikkeling en behoud van gezonde kantoorgebouwen - Studie naar het 'Sick Building Syndrome' en de mogelijkheden van het terugdringen van bewonersklachten in kantoorgebouwen", Studierapport S124, Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 1991.
7. Berglund B en Lindvall T, "Sensory criteria for healthy buildings", Proc. INDOOR AIR '90, Toronto 1990, Vol.5, 65-79.
8. Molhave L, "Volatile organic compounds, indoor air quality and health", Proc. INDOOR AIR '90, Toronto 1990, Vol. 5, 15-33
9. Bluysen PM, "Air quality evaluated by a trained panel", dissertatie, Technical University of Denmark, 1990.
10. Fanger PO, "A comfort equation for indoor air quality and ventilation", Proc. HEALTHY BUILDINGS, Stockholm 1988, Vol. 1, 39-51.
11. Recknagel, "Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik", ed. Schramek ER, Oldenbourg R, Verlag München, 66.Auflage, 1992.
12. "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality", ASHRAE 62-1989, Atlanta USA 1989.
13. Schalkoort TAJ, "Normen voor een acceptabel binnenklimaat", TVVL-Magazine 23 (1994), 21-27.

14. Vroon PA, "Psychologische aspecten van ziekmakende gebouwen", Rijksuniversiteit Utrecht, ISOR, 1990.
15. Rijksgebouwendienst, "Binnenklimaatcondities in kantoorruimten van nieuwe gebouwen", Rapport E 115.1/B, afd. W&L, 1979.
16. Rijks Geneeskundige Dienst, "Aanbevelingen voor de arbeidsomstandigheden in kantoren en gelijksoortige ruimten voor de huisvesting van rijksoverheidspersoneel", 's-Gravenhage, augustus 1979.
17. NEN-EN-ISO 7730. "Klimaatomstandigheden – Analytische bepaling en interpretatie van thermische behaaglijkheid door berekening van de PMV- en PPD-waarden en lokale thermische behaaglijkheid." NNI, 2005.
18. Brouwer GFM en van der Linden AC, "Beoordeling van het thermisch binnenklimaat", Klimaatbeheersing 18 (1989), 257-264.
19. "Energie-efficiënte kantoorgebouwen - binnenklimaat en energiegebruik", Publicatie 300, Instituut voor Studie en Stimulering van Onderzoek op het gebied van gebouwinstallaties / Stichting Bouw Research (ISSO/SBR), Rotterdam 1994.
20. "Behaaglijkheid en energiegebruik - een scala aan goede oplossingen voor kantoren" (samenvattend overzicht van (22), uitgave van DGMR raadgevende ingenieurs, 1994.
21. Dear R de en Schiller-Brager G, "Developing an adaptive model of thermal comfort and preference", ASHRAE Transactions 1998.
22. Wit MS, "Uncertainty in predictions of thermal comfort in buildings", dissertatie, Technische Universiteit Delft, 2001.
23. ISSO-publikatie 74. Thermische behaaglijkheid. Eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen. 2004
24. Nicol F, Humphreys M, Roaf S. Adaptive Thermal Comfort. Principles and Practice. 2012.
25. ISSO-publikatie 89. Binnenklimaat scholen. 2008.