

# BINNENKLIMAAT EN ADAPTIEF THERMISCH COMFORT

## SAMENVATTING

Gebouwen hebben als primaire functie het bieden van bescherming tegen weer en klimaat. Dat geldt voor zowel woningen, scholen, kantoren, zorgcentra en andere gebouwen waarin mensen gedurende langere tijd verblijven. Het gebouw is een *filter* tegen hoge en lage temperaturen, wind, regen, lawaai, stank en luchtvervuiling. Zo ontstaat een binnenklimaat dat mensen een comfortabele en gezonde omgeving moet geven om te kunnen wonen, werken, studeren, ontspannen, slapen, etcetera. Door rekening te houden met de fysische eigenschappen van bouwmaterialen, de grootte en oriëntatie van ramen en de karakteristieken en grilligheden van weer en klimaat kan een comfortabel binnenklimaat worden gecreëerd. Door toepassing van installaties voor verwarming, ventilatie en koeling kan het binnenklimaat zonnig nog nauwkeuriger worden geregeld. Cruciaal bij dit alles is welke temperaturen mensen aangenaam of comfortabel vinden. Het temperatuurniveau in gebouwen heeft een enorme impact op het energiegebruik van de gebouwinstallaties. Decennialang is het binnenklimaat ontworpen op basis van een onjuist idee over thermisch comfort, gebaseerd op onderzoek in klimaatkamers met studenten als proefpersoon, dat resulteerde in een kleine bandbreedte van toelaatbare temperaturen. Dit heeft geleid tot een bouwtype dat door veel gebruikers overal ter wereld juist als niet comfortabel wordt ervaren en meestal ook een hoog energiegebruik heeft. De afgelopen 25 jaar heeft een nieuwe generatie wetenschappers door onderzoek in honderden gebouwen aangetoond dat een binnenklimaat dat is gebaseerd op de theorie van *adaptief thermisch comfort* aangenamer voor de gebruikers *en* energie-efficiënter is dan een ontwerp gebaseerd op onderzoek in klimaatkamers.

Mensen willen het niet te warm of te koud hebben en proberen zo veel mogelijk zich *thermisch comfortabel* te voelen. In omstandigheden waar dat lukt voelen mensen zich prettig, maar in gebouwen waar het niet lukt worden mensen ontevreden, presteren ze minder en gaan ze uiteindelijk klagen over het binnenklimaat. Er bestaan veel misverstanden over thermisch comfort en wij constateren een aanzienlijke kloof tussen de beschikbare wetenschappelijke kennis en wat er op dit moment van deze kennis in de praktijk wordt toegepast bij het ontwerpen en beoordelen van gebouwen. Dit boek wil dit hiaat invullen waarbij de geschiedenis van onderzoek naar thermisch comfort en het principe van *thermische adaptatie* worden besproken.

Welke temperatuur vinden mensen aangenaam of comfortabel? Ergens tussen ongeveer 14°C en 32°C. Deze marge in acceptabele temperaturen is afhankelijk van de vele factoren. Het leidde door de eeuwen heen tot een ontwerppraktijk waarbij het binnenklimaat beheerst werd door het bouwkundig en bouwfysisch ontwerp en de aanpassingsmogelijkheden door de gebruikers. In verschillende delen van de wereld ontstonden verschillende soorten gebouwen, afgestemd op het plaatselijke klimaat en de plaatselijke cultuur en gebruiken. Deze ontwerppraktijk werd aan het begin van de vorige eeuw verdrongen door de ontwikkeling van airconditioning, die het mogelijk maakte de temperatuur en andere fysische grootheden binnen nauwe grenzen te regelen. Airconditioning werd aangeprezen als een comfortabeler, en zelfs gezonder alternatief voor natuurlijke klimaatbeheersing. Deze ontwikkeling werd gesteund door overvloedige, goedkope fossiele brandstoffen en door onderzoek in klimaatkamers, waarbij alle fysische factoren nauwkeuring konden worden beïnvloed. Diverse thermische beoordelingsindexen wekten door de fysische onderbouwing de indruk dat het warmtegevoel van mensen nauwkeurig kon worden berekend en vormden de basis voor normen voor alle soorten gebouwen in alle delen van de wereld. Het meest geaccepteerde voorbeeld hiervan is het PMV-model van Fanger. In de loop van decennia werden de beperkingen echter steeds duidelijker. Eerst anekdotisch door onderzoekers die verschillen waarnamen tussen thermische waarderingen van mensen in gebouwen en de thermische indexen, zoals de PMV-voorspellingen, en later door nauwkeurige heranalyse van bestaande veldonderzoeken en het uitvoeren van nieuwe veldonderzoeken.

De essentie van adaptief thermisch comfort is het principe dat mensen altijd proberen thermisch comfortabel te zijn. Dit doen ze door gedragsaanpassingen, bijvoorbeeld kleding uit of aan te doen of door de omgeving aan te passen, bijvoorbeeld ramen openen of sluiten. Alles dat dit adaptieve proces in de weg staat, zoals een gebouw waar de ramen niet open kunnen, een binnenklimaat dat ontkoppeld is van het buitenklimaat, een kantoortuin of een dresscode, leidt tot discomfort en klachten over het binnenklimaat. De gemiddelde binnentemperatuur in een gebouw en de temperatuur die mensen als comfortabel ervaren zijn sterk met elkaar verbonden door het principe van thermische adaptatie: als de binnentemperatuur in een bepaald klimaat en seizoen binnen de sociaal geaccepteerde bandbreedte valt, dan passen de bewoners of gebruikers van een gebouw zich op verschillende manieren aan die omstandigheden aan. Als de adaptatie volledig is voltooid, dan is de comforttemperatuur gelijk aan de temperatuur die gemiddeld in een gebouw of ruimte voorkomt over een bepaalde periode. Dit betekent dat thermisch comfort niet alleen afhankelijk is van fysische en fysiologische principes van warmte-uitwisseling tussen lichaam en omgeving, maar voor een groot deel wordt bepaald door sociale omstandigheden en psychologische processen.

Door de jarenlange bouw van een database met veldonderzoeken, verspreid over verschillende delen van de wereld, met verschillende klimaatzones in diverse culturele omstandigheden ontstond een nieuwe visie op thermisch comfort en bleek dat mensen een breed temperatuurgebied comfortabel vinden. Dit is met name het geval in natuurlijk geventileerde en mixed-mode/hybride gebouwen omdat de binnentemperatuur in deze gebouwen het buitenklimaat beter volgt dan in airconditioned gebouwen. Daarom is de buitentemperatuur een betere maat voor comfortabele binnentemperaturen in natuurlijk geventileerde en mixed-mode/hybride gebouwen. Airconditioned gebouwen zijn niet of minder klimaatresponsief ontworpen en zijn in feite een nabootsing van de klimaatkamer waar het PMV-model ontwikkeld is. Weliswaar adapteren mensen ook in airconditioned gebouwen in zekere mate aan het binnenklimaat, maar in beperktere mate, omdat de *drijfveer* ontbreekt; het temperatuurgebied is smaller en minder logisch verbonden met het buitenklimaat en veelal ontbreken aanpassingsmogelijkheden. Het klimaat hier wordt voor het grootste deel beheerst door klimaatinstallaties.

Er zijn verschillende vormen van thermische adaptatie te onderscheiden:

#### *Gedragsmatige adaptatie*

Wanneer mensen zich niet comfortabel voelen, zullen zij acties ondernemen om het comfort te herstellen. De belangrijkste hiervan zijn het verhogen of verlagen van de luchtsnelheid, door bijvoorbeeld ramen te openen of in een andere stand te zetten en het aanpassen van de kledingisolatie door kledingstukken aan of uit te trekken.

#### *Fysiologische adaptatie*

Voor het functioneren van het menselijk lichaam moet de kerntemperatuur op 37°C gehouden worden. Wanneer de kerntemperatuur hiervan dreigt af te wijken volgen er autonome fysiologische reacties. De belangrijkste zijn bloedvatvernauwing en rillen bij een te lage temperatuur en bloedvatverwijding en zweten bij een te hoge temperatuur. Mensen die langdurig verblijven in een airconditioned omgeving, verliezen een deel van het fysiologisch adaptatievermogen van het lichaam om adequaat op temperatuurwisselingen, met name hogere temperaturen, te reageren.

#### *Psychologische adaptatie*

Mensen in gebouwen hebben op basis van ervaringen in het verleden verwachtingen over hogere en lagere temperaturen die zich voordoen in bepaalde situaties. Wanneer gebruikers op grond van eerdere ervaring een grotere spreiding in temperaturen verwachten, zullen zij ook een grotere spreiding van temperaturen acceptabel vinden. In natuurlijk geventileerde gebouwen worden gebruikers aan een grotere variatie aan binnentemperaturen blootgesteld dan in airconditioned gebouwen. Verder wordt de acceptatie van hogere temperaturen bevorderd, wanneer de binnentemperatuur op een begrijpelijke wijze samenhangt met de buitentemperatuur. Psychologische adaptatie wordt ook bevorderd wanneer gebruikers zich door de gedragsmatige adaptatiemogelijkheden die zij hebben, medeverantwoordelijk voelen voor hun thermisch comfort.

In dit boek wordt *robuust klimaatontwerp* gedefinieerd als de mate waarin het gerealiseerde binnenklimaat van een gebouw bij gebruik in de praktijk voldoet aan de in het ontwerp beoogde doelen betreffende comfort, gezondheid en energiegebruik. Gebouwtypes verschillen in hun robuustheid: sommige voldoen beter aan hun ontwerpdoelstellingen dan andere. De robuustheid is hoger indien het binnenmilieu zoveel mogelijk wordt beheerst door passieve en klimaatresponsieve oplossingen, het gebouw in het gebruik niet gevoelig is voor afwijkingen van de ontwerpaannames en de onderhoudseisen in de praktijk kunnen worden nagekomen. Verder is het binnenklimaat in een gebouw robuuster wanneer verwarming en koeling zoveel mogelijk gescheiden zijn van de ventilatie en de bediening van het gebouw transparant is voor de gebruikers. Ontevredenheid over het binnenmilieu komt vaker voor naarmate het aantal werkplekken per werkruimte toeneemt. De kantoortuin heeft daarom een negatieve invloed op gezondheid, comfort en prestatie, terwijl een mix van kleinere werkruimtes meer comfort en hogere productiviteit geeft.

De in dit boek besproken normen en richtlijnen voor thermisch comfort bevatten een klassenindeling die erop neer komt dat de werkomgeving comfortabeler zou zijn, naarmate de temperatuur binnen nauwere grenzen wordt geregeld. Dit wordt echter niet door onderzoek ondersteund, terwijl er overtuigende aanwijzingen zijn dat klimaatresponsieve gebouwen door gebruikers hoger worden gewaardeerd en juist een gezonde belasting voor het organisme vormen. Toepassing van de klassenindeling in de huidige vorm kan leiden tot ongewenste ontwerpbeslissingen die het comfort juist verminderen en het energiegebruik verhogen.

Wat betreft de invloed van thermisch comfort op de *werkprestatie* blijkt dat de werkprestatie het hoogst is wanneer de gebruikers hun omgeving als comfortabel en acceptabel ervaren en dat de prestatie afneemt naarmate zij de omgeving als hinderlijk ervaren.

Omdat gedragsmatige thermoregulatie een *natuurlijke biologische lichaamsreactie* is om het lichaam en de omgeving zo goed mogelijk op elkaar aan te passen moeten ontwerpers, ontwikkelaars en beheerders van gebouwen in de ontwerp- en gebruiksfase de gebruikers zoveel mogelijk adaptieve mogelijkheden bieden. Hiertoe worden tenslotte basale ontwerpprincipes beschreven en voorbeelden getoond om een comfortabel binnenklimaat voor zoveel mogelijk mensen te bereiken, waarbij de kans op discomfort en klachten zo veel mogelijk wordt beperkt en waarbij mensen die omgeving ook als aangenaam, stimulerend en productief ervaren, dit alles op een zo energie-efficiënt mogelijke wijze. Deze maatregelen zijn zowel kwalitatief als kwantitatief:

- Prestatie-eisen voor comfortabele binnentemperaturen voor verschillende gebouwtypen;
- Binnentemperaturen beheersen door bouwfysische ontwerp oplossingen gericht op vorm, ramen, daglicht, beschaduwing, thermische massa, ventilatie;
- Klimaatinstallatietypes gericht op comfort en gezondheid, bij voorkeur klimaatresponsief;
- Bevorderen van verschillende vormen van adaptatie.