

Binnenmilieu in gebouwen draait weer om gezondheid

Binnenluchtkwaliteit heeft terecht veel aandacht bij ontwerp en bouw van gebouwen en installaties. De achtergronden van die aandacht is door de jaren onderhevig geweest aan verschillende gedaantes. Opmerkelijk genoeg is anno 2018 gezondheid steeds meer een leidend argument voor het creëren van een beter binnenmilieu. Opmerkelijk omdat gezondheid in historisch perspectief aan een revival bezig is. Was het vroeger om te voorkomen dat ziekten werden verspreid, tegenwoordig is gezonder binnenmilieu van belang voor een betere prestaties en verbetering van het welzijn. Hoe is die rondreis tot stand gekomen?

In dit artikel komen ontwikkelingen in het verleden en het heden aan de orde, die invloed hebben gehad op hoe men dacht en nu denkt over binnenmilieu. De nadruk ligt daarbij op binnenklimaat ofwel op binnenluchtkwaliteit en thermisch comfort.

Dr.ing. L. (Lada) Hensen Centnerová,
Faculteit Bouwkunde TU/e

■ VAN DE OUDHEID T/M DE 18^E EEUW

Door de geschiedenis heen heeft de mens erkend dat verontreinigde lucht schadelijk kan zijn voor de gezondheid. Grieken en Romeinen waren zich bewust van de negatieve effecten van vervuilde lucht in, bijvoorbeeld, drukke steden of mijnen (**Hippocrates**, 460- 377 v. Chr.). Rond 80 v. Chr. hadden de Romeinen al vloerverwarming om het binnenklimaat in hun paleizen en kuuroorden comfortabeler te maken (afb.1), maar het gebruik van open vuur voor verwarming werd in Europa pas wijdverspreid rond de 13e eeuw. In de 17e eeuw werd de schoorsteen uitgevonden en de eerste vrijstaande warme lucht kachels werden rond eind 17e eeuw gemaakt.[1]

Gedurende het middeleeuwse tijdperk werd weinig nieuwe kennis ontwikkeld op dit gebied. Het algemene idee tot rond 1800 was dat de ademhaling vooral een manier van koelen van het hart was. Het was algemeen bekend dat uitgeademde lucht niet goed was voor de ademhaling, totdat het werd vernieuwd. De rol van zuurstof in de ademhaling werd opgemerkt door Lavoisier. Het werk van **Antoine Lavoisier** (1743– 1794) is bijzonder belangrijk voor het begrijpen van de menselijke stofwisseling, waaronder de kwantitatieve relatie tussen zuurstofverbruik en kooldioxide (CO₂) uitstoot. Tot de tweede helft van de 19e eeuw werd aangenomen dat de concentratie van CO₂ een maat is voor de vraag of de lucht vers is of muf. [2]

■ 19E EEUW

In 1853 heeft **Max J. Pettenkofer** (1818-1901) als de eerste hoogleraar in hygiëne in München opgemerkt dat de onaangename sensaties van mufte lucht niet te wijten waren alleen aan warmte of vochtigheid of CO₂- of zuurstofdeficiëntie, maar ook aan de aanwezigheid van hoeveelheden sporen van organisch materiaal, uitgeademd van de huid en de longen. Hij verklaarde dat " slechte " binnenlucht per se mensen niet ziek maakt, maar dat een dergelijke lucht de menselijke weerstand verzwakt tegen stoffen die ziekten veroorzaken. Pettenkofer verklaarde dat lucht niet goed voor de ademhaling is wanneer de CO₂-concentratie (met de mens als bron) boven 1000 ppm is, en dat goede binnenlucht in ruimten waar mensen voor lange



Afbeelding 1. Het Hypocaustum - Romains systeem van vloerverwarming
(bron: www.ancient.eu/Roman_Baths/)

tijd blijven geen CO₂-concentratie bevat hoger dan 700 ppm om de personen comfortabel te houden. [2]

Het eerste gepubliceerde minimum voor ventilatie was in 1836 van mijnningieur Thomas Tredgold (uit Cornwall, UK). Tredgold heeft berekend dat er een minimum van 2 l/s verse lucht per persoon nodig is voor ademhaling en kaarsbranding. [3]

De American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) heeft in 1895 15 l/s per persoon als een minimum voor ventilatie aanbevolen. Dit ventilatiedebiet was gebaseerd op het werk van John Billings (1836-1913), medisch arts en destijds de Amerikaanse autoriteit op het gebied van ventilatie. [3]

Sindsdien waren er een lange tijd twee scholen van denken met betrekking tot ventilatie. Aan de ene kant waren architecten en ingenieurs bezig met het garanderen van comfort en

minimalisering van ongewenste geuren en de effecten van zuurstofgebrek en/of kooldioxide accumulatie. Aan de andere kant wilden artsen de verspreiding van ziekten minimaliseren en daarvoor vroegen ze grotere hoeveelheden van buitenlucht dan ingenieurs en architecten.

Misschien wel het meest complete overzicht van de relatie tussen binnenmilieu & gezondheid had **Florence Nightingale** (1820-1910). Volgens Wikipedia was ze 'een Brits verpleegkundige, sociaal hervormer, statistica en mystica'. Volgens Chris Iddon was ze 'verpleegkunde & bouwkundig ingenieur'. [4] Nightingale (afb.2) schreef het eerste moderne handboek voor de verpleging van zieken *Notes on Nursing, What It Is, and What It Is Not*. [5] In haar voorwoord schrijft ze dat haar boek bedoeld is als 'tips voor vrouwen die persoonlijk verantwoordelijk zijn voor de gezondheid van anderen'.

Het eerste hoofdstuk van haar boek richt zich niet op de patiëntzorg, maar op de ventilatie. Ze schrijft: 'De eerste taak van de verpleging: houdt de lucht die de patiënt ademt zo zuiver als de buitenlucht, zonder hem te koelen.' In het tweede hoofdstuk benoemt ze vijf essentiële punten om de gezondheid van huizen te garanderen:

- Zuivere lucht
- Zuiver water
- Efficiënt afvalwaterafvoer
- Hygiëne

- Licht

Andere aanbevelingen van haar, die tegenwoordig worden herontdekt, zijn:

- Breng lucht van buiten. Open uw ramen en sluit uw deuren.
- (Natuurlijke) luchttemperatuur schommelingen zijn nodig om gezond te blijven.
- Licht is essentieel voor zowel de gezondheid als het herstel.
- Zonder zonlicht degenereren lichaam en geest. Zij heeft de problematiek van het binnenmilieu in haar geheel gezien en benaderd. In het algemeen behoorde het vak binnenmilieu in de 19e eeuw niet meer tot de discipline filosofie, zoals dat in het begin was, maar het werd steeds meer



Afbeelding 2. Florence Nightingale

■ VERSCHILLENDE DEFINITIES

In dit artikel worden verschillende termen gebruikt die soms verschillend worden geïnterpreteerd. Daarom zijn voor de volledigheid de gehanteerde definities in dit kader samengevat.

Binnenmilieu

Het binnenmilieu omvat alle fysische, chemische en biologische factoren in een gebouw die van invloed zijn op de gezondheid en het welzijn van de gebruikers. De belangrijkste binnenmilieuaspecten zijn: thermisch binnenklimaat, binnenluchtkwaliteit, geluid en akoestiek, licht en uitzicht. Binnenmilieu omvat de binnenlucht en de thermische, akoestische, atmosferische en hygiënische omstandigheden waarin we ons bevinden als we binnen zijn.

Binnenklimaat

De combinatie van thermisch binnenklimaat en binnenluchtkwaliteit. Belangrijkste aspecten van het thermisch binnenklimaat zijn luchttemperatuur, gemiddelde stralingstemperatuur, luchtvochtigheid en luchtsnelheid. Belangrijkste aspecten van binnenluchtkwaliteit zijn stof en vezels, chemische agentia (CO₂, CO, NO₂, VOS, PAK's...) en biologische agentia (schimmels, bacteriën, huisstofmijtallergeen...).

Comfort

Bij comfort denken wij aan thermisch comfort. De meest gebruikte definitie daarvan is: de gemoedstoestand die tevredenheid met de ther-

mische omgeving uitdrukt. Thermisch comfort is de mate waarin men tevreden is over het thermisch binnenklimaat van een gebouw. Het gaat dan bijvoorbeeld om 'het warm of koud hebben' en om tocht en hinder van koude vloeren.

Gezondheid

Gezondheid is een toestand van volledig lichamelijk, geestelijk en sociaal welzijn en niet alleen de afwezigheid van ziekte of handicap. Lichamelijke welzijn kan worden omschreven als de afwezigheid van ziekte, evenals optimaal functioneren van ons lichaam. Geestelijke welzijn gaat over veel meer dan alleen de afwezigheid van mentale ziekte: het omvat ook positieve zaken zoals gemoedrust, tevredenheid, vertrouwen en sociale samenhang. Sociaal welzijn wordt bepaald door de sterkte van relaties van het individu en de wijze waarop wij functioneren binnen onze gemeenschap.

Welzijn

Welzijn betekent voor de meeste mensen iets meer dan gezondheid ook als het volgens de definitie van WHO maar een onderdeel van gezondheid is. Welzijn mag niet worden verward met welvaart (levensstandaard) die primair een financieel-economische inslag heeft. Tot de standaardindicatoren van welzijn behoren niet alleen materieel bezit en werkgelegenheid, maar ook de woonomgeving, lichamelijke en geestelijke gezondheid, onderwijs, recreatie en sociale contacten.



Afbeelding 3. Een voorbeeld van airconditioning industrie

verdeeld in twee aparte disciplines: geneeskunde en technologie. In de 20e eeuw werd deze verdeling steeds meer losgekoppeld.

20E EEUW

Onderzoekers werden er steeds meer van overtuigd dat ventilatie vooral een kwestie van comfort en niet van gezondheid is. Er ontstond een groeiende weerstand tegen het verwarmen van de grote hoeveelheden buitenlucht voorgeschreven voor ventilatie. Het begin van de 20e eeuw is ook het begin van de airconditioning, een uitvinding die grote invloed op het vak binnenmilieu heeft gehad. Waarschijnlijk het bekendste en ook de eerste gebouw met koeling (zonder ijs te gebruiken) is het gebouw van 'the Stock Exchange' in New York, USA. Alfred Wolff (1859-1909) heeft daarvoor de koelinstallatie met drie ammoniak absorptie koelmachines ontworpen, met een koelvermogen van 1.582 kW. [6] Toch is hij niet de bekendste airconditioning ingenieur geworden.

Willis H. Carrier (1876-1950) is bekend als de uitvinder (of vader) van de moderne airconditioning. Carrier heeft in 1902 zijn eerste systeem ontworpen om temperatuur en luchtvochtigheid in een drukkerij in Brooklyn (New York, USA) te controleren. Helaas werkte dit systeem niet goed en de ontworpen condities werden niet gehandhaafd. Toch wordt dit ontwerp algemeen als het begin van de airconditioning

gemarkeerd. Sinds die tijd wordt airconditioning gedefinieerd als een systeem dat 4 basisfuncties moet hebben:

- Temperatuurregeling
- Vochtregeling
- Luchtcirculatie en/of -ventilatie
- Luchtzuivering (filtratie)

Carrier ontwierp in 1904 een zeer geavanceerde luchtwater, waarmee hij de absolute vochtigheid van de lucht kon beheersen, en uiteindelijk, de relatieve vochtigheid van de geconditioneerde ruimte. In januari 1906 verkreeg hij daarvoor het patent genaamd 'Apparatus for Treating Air'. [7]

In 1911 presenteerde Carrier zijn 'Rationale Psychrometric Formulae' bij een meeting van ASHRAE. Het werd de basis voor de fundamentele berekeningen in de airconditionings-industrie. Zijn werk helpt bij het bepalen van de precieze relatie tussen temperatuur en vochtigheid om het binnenklimaat het hele jaar door te kunnen regelen.

Carrier heeft met zijn wetenschappelijke werk, zijn visie van een nieuwe industrie – airconditioning – en met zijn ondernemersactiviteiten zeer sterke invloed op het binnenmilieu vakgebied gehad (afb. 3). Ook al was hij nooit echt bij comfortgerelateerde zaken betrokken.

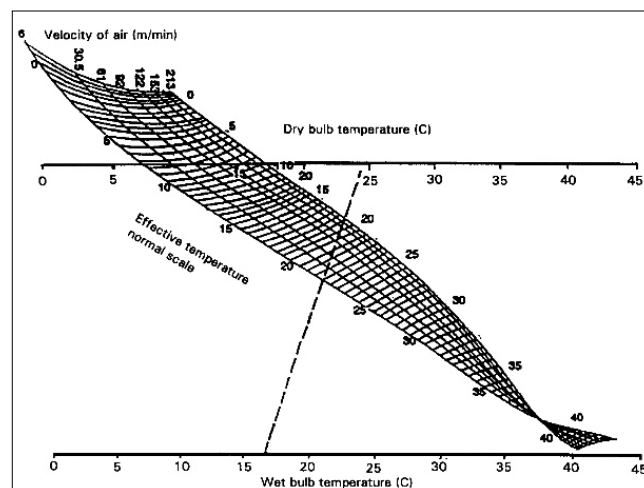
THERMISCH COMFORT EN LUCHTKWALITEIT

Leonard Hill (1866-1952) wijdde zijn leven en werk aan het onderzoeken en verbeteren van het lichamelijk welzijn van mensen zowel thuis als op het werk. Hij vond geen bewijs dat hoge concentraties van CO₂ discomfort kunnen veroorzaken en daarom concludeerde hij dat warmte en geur (veroorzaakt door lichamelijke uitstoot) de belangrijkste bronnen van onbehaaglijkheid zijn in ruimtes met slechte ventilatie. [8] Met behulp van een instrument bekend als de 'kata-thermometer', bepaalde hij het koelver-

mogen van luchtbeweging op het menselijk lichaam. Dit werd gebruikt om de arbeidsomstandigheden in het Verenigd Koninkrijk te controleren. Zo ook bij het Lagerhuis, waar Hill bezorgd was dat "cold feet and stuffy heads result - just the wrong conditions for legislators." [9] In 1923 werd in het tijdschrift van ASHRAE het artikel 'Bepaling van de comfort zone' (Houghten & Yaglou 1923) gepubliceerd, waarin de lijnen voor comfort op een psychrometrische diagram werden voorgesteld. Ze hanteerden de index 'Effective Temperature' (ET), die ook de volgende 50 jaar veel werd gebruikt. [11] ET is gedefinieerd als de drogeboltemperatuur (DBT) van een uniforme omgeving met een relatieve luchtvochtigheid van 50%, die netto dezelfde warmte-uitwisseling, door straling, convectie en verdamping, zou kennen als de omgeving in kwestie (afb.4).

Constantin Yaglou (1897-1960) bestudeerde ook de relatie tussen lichaamsgeur en ventilatie-debiet. Hij concludeerde dat deze geuren niet aantoonbaar schadelijk zijn voor gebouwgebruikers en dat CO₂ concentratie geen goede indicator kan zijn voor de luchtkwaliteit in gebouwen. Yaglou merkte op dat geur en geurhinder waarschijnlijk een relatie hebben met de temperatuur en de luchtvochtigheid. [12] [12] Ventilatiebehoefte werd toen gemeten met behulp van de menselijke neus als sensor. In 1936 heeft ASHRAE 7,5 l/s per persoon aanbevolen op de basis van het werk van Yaglou.

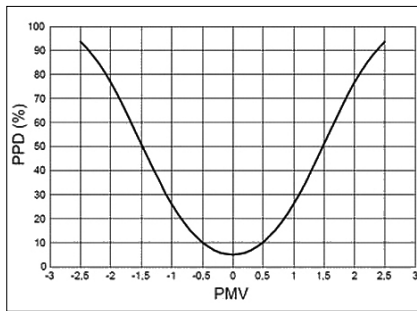
Adolf P. Gagge (1908-1993) introduceerde in 1936 zijn "Two node model", een formule van de warmtebalans van het menselijk lichaam. Zijn model (soms ook Pierce model genoemd omdat Gagge het model samen met zijn collega's van J.B. Pierce Laboratories op Yale Universiteit heeft gemaakt) bepaalt dat de som van de warmteuitwisseling tussen mens en zijn omgeving door metabolisme, activiteit, verdamping, straling



Afbeelding 4. Effective Temperatuur nomogram volgens Yaglou



Afbeelding5. P.O.Fanger



Afbeelding 6. De overeenstemming tussen PMV en PPD indexen volgens Fanger

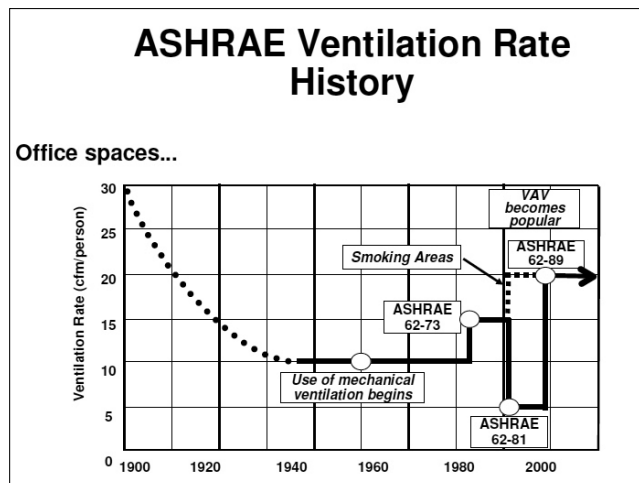
en geleiding nul is. [13] Met zijn model heeft Gagge de eerste hoofdwet van de thermodynamica (behoud van energie) op de mens en zijn omgeving toegepast [14]. Zijn model werd later (na WO II.) verder ontwikkeld.

De studies van Gagge hielpen het studiegebied van de energie-uitwisseling tussen het menselijk lichaam en het milieu definiëren. De toepassingen daarvan hadden hun weerslag op het gebied van gezondheid en veiligheid op de werkplek, in het leger, in de verkenning van de ruimte en in het ontwerp van gebouwen. [14]

Vanaf de jaren 60 waren er veel onderzoekers op het gebied van thermisch comfort bezig. De meest bekende en invloedrijke was **Povl Ole Fanger** (1934-2006). Fanger (afb.5) richtte zich op de relatie tussen de fysische parameters van een omgeving en de fysiologische parameters van de mensen, en de perceptie van comfort uitgedrukt door de mensen zelf. In 1970 publiceerde hij zijn proefschrift 'Thermal Comfort' [15], dat de inhoud van een nieuwe discipline definieert: het onderzoek naar de perceptie van comfort en welzijn in het binnenklimaat. [14] De conceptuele sprong geïntroduceerd door Fanger, in vergelijking met eerdere studies, wordt gemaakt met de invoering van de waarde- en omvangsschaal van de mensen zelf. Met de behaaglijkheidstheorie van Fanger kan voorspeld worden in hoeverre een bepaald binnenklimaat door gebouwgebruikers als 'koud', 'neutraal' of 'warm' zal worden ervaren.

PMV-waarde	Betekenis
+3	Heet
+2	Warm
+1	Enigszins warm
0	Neutraal
-1	Enigszins koel
-2	Koel
-3	Koud

Tabel 1. De PMV schaal (bron: NEN-EN-ISO 7730)



Afbeelding 7. Het overzicht van de aanbevolen hoeveelheid luchttoevoer in ASHARE standarden (Bron: Olesen, 2011: PowerPoint-How much ventilation and how to ventilate in the future)

De voorspelling van de gemiddelde thermische sensatie, die hoort bij een combinatie van zes omgevings- en persoonsgebonden parameters (luchttemperatuur, gemiddelde stralingstemperatuur, relatieve luchtvochtigheid, luchtsnelheid, activiteitsniveau en warmteweerstand van de kleding), wordt gegeven als 'Predicted Mean Vote' (PMV-index). PMV-index geeft aan wat de verwachte mening is van mensen over de thermische sensatie, maar geeft geen beoordeling over de aanvaardbaarheid van de condities (Tab.1). Als vervolg op de PMV-index heeft Fanger de PPD-index geïntroduceerd ('Predicted Percentage of Dissatisfied') die daar een uitspraak over doet (afb.6). Het model van Fanger is ontwikkeld voor de toepassing van 'kunstmatige klimaten' in geklimatiseerde ruimten, maar werd vanaf de jaren 80 wereldwijd ook voor andere toepassingen gebruikt (niet geklimatiseerde ruimten). Met andere woorden, de interpretatie van het werk van Fanger in de praktijk is niet helemaal correct. [16]

MILIEUBEWEGING

Milieuaspecten waren tot de jaren 60 grotendeels gericht op de binnenlucht kwaliteit. In 1962 heeft **Rachel L. Carson** (1907-1964) haar boek 'Silent Spring' geschreven (Nederlandse vertaling: Dode Lente). Haar boek vergrootte sterk de zorgen over milieuvervuiling, had grote invloed op het ontstaan van de grote milieubewegingen en veroorzaakte nadien een groot aantal milieumaatregelen van overheden. Milieu was opeens synoniem voor buitenlucht en industriële omgeving. Milieubescherming kreeg wereldwijd aandacht maar IAQ (indoor air quality) in niet-industriële omgevingen binnenshuis, ofwel binnenmilieu, stond niet op de lijst van milieuproblemen. In 1973 heeft ASHRAE zijn eerste Standard 62 gepubliceerd met de aanbevolen hoeveelheid luchttoevoer van 7,5 l/s per persoon. In 1981 heeft ASHRAE de aanbevolen hoeveel-

heid luchttoevoer verdeeld in twee categorieën. Voor rookvrije ruimtes werd 2 l/s per persoon aanbevolen, voor ruimtes waar gerookt mocht worden 10 l/s per persoon.

Veel verschillende studies hebben aangetoond dat de binnenlucht kwaliteit wordt beïnvloed door de hoeveelheid en kwaliteit van de toegevoerde verse lucht, verontreiniging door mensen en uitstoot van de gebruikte materialen in het gebouw. Er werden steeds meer specifieke studies gedaan met betrekking tot radon, tabaksrook, VOC (vluchtige organische stoffen), formaldehyde, (fijn)stof, asbest, huisstofmijt en andere agentia die de kwaliteit van de binnenlucht beïnvloeden.

SICK BUILDING SYNDROME

Met de minimalisering van de hoeveelheid van verse luchttoevoer tot 2 l/s per persoon, wat veel te maken had met de energiecrisis in de jaren 70, kwamen er steeds meer problemen met het binnenklimaat in vooral kantoorgebouwen (afb.7). Er werden veel verschillende termen gebruikt om het fenomeen van gerapporteerde hoge indicaties van ziekte en de vele gezondheidsklachten te benoemen. Vanaf 1982 gebruikte de World Health Organisatie (WHO) de term SBS ofwel Sick Building Syndrome en dit werd de meeste gebruikte term. SBS heeft betrekking op een aantal symptomen die door meerdere gebouwbewoners worden ervaren als ze in een gebouw aanwezig zijn, en die verminderen of helemaal weg gaan wanneer ze het gebouw verlaten. Sinds 1989 worden Healthy Buildings congressen georganiseerd. Het eerste congres werd gesponsord door WHO, met de slogan "Geen onderzoek naar de oorzaken van SBS maar naar het voorkomen van SBS!" [17] Onderzoek en praktijk waren gericht op afzonderlijke componenten. Pas tijdens de laatste decennia van de twintigste eeuw zien we de eerste pogingen tot meer holistische benaderin-

gen van de binnenmilieuproblematiek. [18] Met de holistische benadering van het binnenmilieu worden ook 'zachte' factoren in ogenschouw genomen. Na de decennia dat artsen en ingenieurs de problematiek apart hadden onderzocht, gingen deze disciplines weer van elkaar leren. In het onderzoek naar 'sick building syndrome' werden onder andere ook veel psychologische studies uitgevoerd over de waarneming van mensen, die wordt beïnvloed door de evolutionaire geschiedenis van de mens.

De gebruikelijke wijze van bouwen sluit in veel gevallen niet aan bij evolutionair oude 'software' in ons functioneren, ofwel de basale wetten die ons gedrag beheersen.[19]

De desbetreffende wetten zijn:

- Mens en dier hebben behoefte aan verandering. Dat geldt in het bijzonder voor het thermisch binnenklimaat. Een homogene omgeving leidt er toe dat de mens zich minder prettig voelt.
- De mens wil voortdurend in zijn omgeving ingrijpen. Ook deze wet geldt voornamelijk voor het binnenklimaat maar ook ergonomie (meubilair).
- Aan prikkels moet een betekenis kunnen worden gegeven. Zo leidt een geur die overal aanwezig is en die niet herkend kan worden, tot een toestand van chronische alarmering.
- De mens streeft er altijd naar, een eigen territorium te hebben. Hieraan wordt bijvoorbeeld in kantoorruimten niet tegemoet gekomen.
- De mens leeft pas enkele eeuwen lang in artefacten die zijn contact met zijn natuurlijke omgeving hebben verbroken. Hierbij is de factor uitzicht van belang. [19]

Michael A. Humphreys is een Engelse natuurkundige die sinds de jaren 80 veel onderzoek

LITERATUURVERWIJZINGEN

- [1] B. Nagengast, "An Early History Of Comfort Heating," ACHRNEWS.com, 2001.
- [2] J. Sundell, "On the history of indoor air quality and health," *Indoor Air*, vol. 14, no. 7, pp. 51–58, 2004.
- [3] J. E. Janssen, "The History of ventilation and Temperature Control," *ASHRAE J.*, vol. October, pp. 48–70, 1999.
- [4] C. Iddon, "Florence Nightingale: nurse and building engineer," 2015. [Online]. Available: <http://www.cibsejournal.com/general/florence-nightingale-nurse-and-building-engineer/>.
- [5] F. Nightingale, *Notes on Nursing, What It Is, and What It Is Not*, 1859.
- [6] B. Roberts, "ALFRED WOLFF AIR CONDITIONING PIONEER," 2014. [Online]. Available: http://www.hevac-heritage.org/built_environment/pioneers_revisited/wolff.pdf.
- [7] B. Nagengast, "Early Twentieth Century Air-Conditioning Engineering," *ASHRAE J.*, no. March, pp. 55–62, 1999.
- [8] L. Hill, M. W. Flack, J. McIntosh, R. A. Rowlands, and H. B. Walker, "The Influence of the atmosphere on our health and comfort in confined and crowded places," *Smithson. Misc. Collect.*, vol.

naar thermische adaptatie van de mens doet. In 1998 schreef hij samen met J. Fergus Nicol een artikel *Understanding the Adaptive Approach to Thermal Comfort* [20] waarin ze 'harde' en 'zachte' feiten over het binnenklimaat in het geheel benaderen. Het beginpunt van hun discussie was: als er een verandering in het binnenklimaat optreedt die discomfort veroorzaakt, reageren mensen daarop om hun comfort te herstellen. [20] Humphreys pleit voor nog meer veldstudies om het gedrag van mensen en hun bewuste en onbewuste aanpassingen te kunnen onderzoeken.

Gail S. Brager en Richard J. de Dear deden in 1997 een literatuuronderzoek naar thermische adaptatie in de gebouwde omgeving [21] en ontwikkelden een adaptief model van thermisch comfort [22] (afb. 8). Dit onderzoek werd verricht om de ASHRAE Standard 55 aan te kunnen passen. Door de veldonderzoeken werd duidelijk dat de PMV-index van Fanger misschien te streng is voor niet geklimatiseerde gebouwen waarbij gebruikers zelf veel invloed over het binnenklimaat kunnen hebben (bijvoorbeeld ramen kunnen openen).

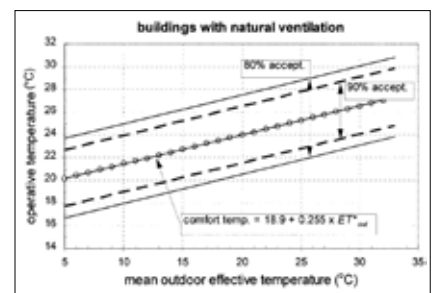
VOOR HET NIEUWE MILLENNIUM

Uit de ontwikkelingen in de afgelopen drie eeuwen met de betrekking tot het binnenmilieu kunnen wij concluderen dat in het begin de prioriteit lag bij gezondheid. Men wilde in de gebouwen een gezond klimaat hebben om verspreiding van ziektes te kunnen voorkomen. Later werd de binnenmilieu problematiek door comfort issues gedomineerd. [23] (afb. 9) Men wilde in de gebouwen het hele jaar door comfortabele condities kunnen realiseren. Na de oliecrisis in de jaren 70 wilde men de

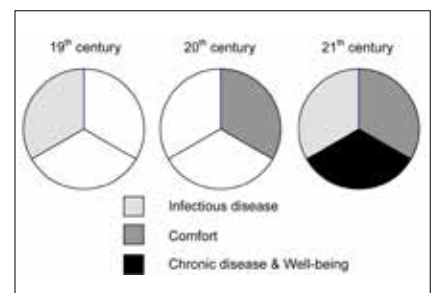
60(23), 1913.

- [9] J. Clayton, "Behind the picture: Leonard Hill and the divers," 2014. [Online]. Available: <http://www.insight.mrc.ac.uk/2014/08/13/behind-the-picture-leonard-hill-and-the-divers/>.
- [10] F. Houghton and C. Yaglou, "Determination of the comfort zone," *ASHVE Trans* 29, vol. 29, pp. 165–176, 1923.
- [11] A. Aluliciems and S. V Szokolay, "Thermal comfort," *PLEA Notes*, p. 66, 2007.
- [12] C. P. Yaglou, "Ventilation Requirements," *ASHVE Trans.*, vol. 42, 1936.
- [13] A. Gagge, "The linearity criterion as applied to partitioned calorimetry," *Am. Physiol. Soc.*, vol. 116, no. 3, pp. 656–668, 1936.
- [14] K. Fabbri, "A Brief History of Thermal Comfort: From Effective Temperature to Adaptive Thermal Comfort," in *Indoor Thermal Comfort Perception: A Questionnaire Approach Focusing on Children*, 2015, pp. 1–302.
- [15] P. Fanger, "Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering.," *Therm. Conf. Anal. Appl. ...*, 1970.
- [16] J. Van Hoof, "Forty years of Fanger's model of thermal comfort: Comfort for all?," *Indoor Air*, vol. 18, no. 3, pp. 182–201, 2008.

gebouwen echter ook zoveel als mogelijk energiezuinig kunnen gebruiken. Het einde van de 20e eeuw staat in het teken van duurzaamheid. Duurzaamheid werd (in Nederland) in eerste instantie vooral in de vorm van 'energie' gezien. Bijvoorbeeld Trias Energetica met vooral aandacht voor energiebesparing (isoleren) en duurzame opwekking (zonneboilers en later PV). Pas een paar jaar geleden (begin van de 21ste eeuw) werd men weer in de gezondheid in de gebouwen geïnteresseerd. Daarbij komen ook andere onderwerpen aan bod zoals de verhoging van de productiviteit of verbetering van het welzijn. Daarover meer in een volgende artikel.



Afbeelding 8. Adaptief thermisch comfortmodel voor gebouwen met natuurlijke ventilatie (bron: [22])



Afbeelding 9. De verschuiving in aandacht bij het ontwerp van gebouwinstallaties met betrekking tot het binnenmilieu (bron: [23])

- [17] T. A. J. Schalkoort, *Ontwikkeling en behoud van gezonde kantoorgebouwen*. Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid Arbeidsinspectie, 1991.
- [18] P. M. Bluysen, *The Indoor Environment Handbook*, vol. 165, no. 3. 2012.
- [19] P. A. Vroom, *Psychologische aspecten van ziekmakende gebouwen*. ISOR, 1990.
- [20] M. A. Humphreys and J. F. Nicol, "Understanding the adaptive approach to thermal comfort," in *ASHRAE Transactions*, 1998, vol. 104, no. Pt 1B, pp. 991–1004.
- [21] G. S. B. I and R. J. De Dear, "Thermal adaptation in the built environment : a literature review," *Energy Build.*, vol. 27, pp. 83–96, 1998.
- [22] R. De Dear, G. Brager, and C. Donna, "Developing an adaptive model of thermal comfort and preference," *ASHRAE Trans.*, vol. 104, no. Part 1, pp. 1–18, 1998.
- [23] F. Franchimon, "Healthy building services for the 21st century," *Technische Universiteit Eindhoven*, 2009.