

Auteurs

H.W. (Henk) Brink MSc.^a, L.R. (Lisa) Veenstra^a, Dr. M.P. (Mark) Mobach^b, Dr. ir. M.G.L.C. (Marcel) Loomans^c, Prof. dr. H.S.M. (Helianthe) Kort^c

^a Instituut Facility Management, Hanzehogeschool Groningen

^b Lectoraat Facility Management, Hanzehogeschool Groningen

^c Faculteit Bouwkunde, Technische Universiteit Eindhoven

Leeromgeving van de toekomst heeft aandacht voor het binnenmilieu

Het is algemeen bekend dat het binnenmilieu in gebouwen zoals in woningen, scholen en kantoren de gezondheid en het welzijn van de gebruikers beïnvloedt. Een slecht binnenmilieu leidt tot discomfort, verminderde alertheid, vermindering van de prestaties van gebruikers en veroorzaakt zelfs absenties als gevolg van gezondheidsklachten en ziektes. Helaas komen klachten met betrekking tot het binnenmilieu vaak voor. De vraag is hoe het binnenmilieu in klaslokalen kan worden verbeterd. Dit is belangrijk omdat in een ideaal binnenmilieu zowel de student als de docent optimaal kan functioneren en presteren.

Bij het opstellen van een programma van eisen voor het binnenmilieu bij nieuw- of verbouw van kantoren en scholen zijn verschillende partijen betrokken. Directie, architecten, adviseurs, facility managers, gebruikersgroepen etc. leveren vaak input voor dit programma. Helaas leidt deze betrokkenheid lang niet altijd tot een comfortabel binnenmilieu in kantoren [1] en schoolgebouwen [2]. Verschillende (internationale) normen geven richtlijnen voor een gezond en comfortabel binnenmilieu (o.a. NEN-EN-ISO 7730 [3], NEN-EN-ISO 3382-2 [4], NEN-EN 12464-1 [5], NEN-EN 12665 [6]). Toepassing van deze normen, en toepassing van duurzame installatietechniek lossen de problemen met betrekking tot het binnenmilieu niet op. Zelfs in splinternieuwe energiezuinige gebouwen zijn gebruikers immers lang niet altijd tevreden over de temperatuur, de luchtkwaliteit, de akoestiek en het licht [7]. Dit blijkt mede ook uit recent uitgevoerd onderzoek door het lectoraat Facility Management van de Hanzehogeschool Groningen.

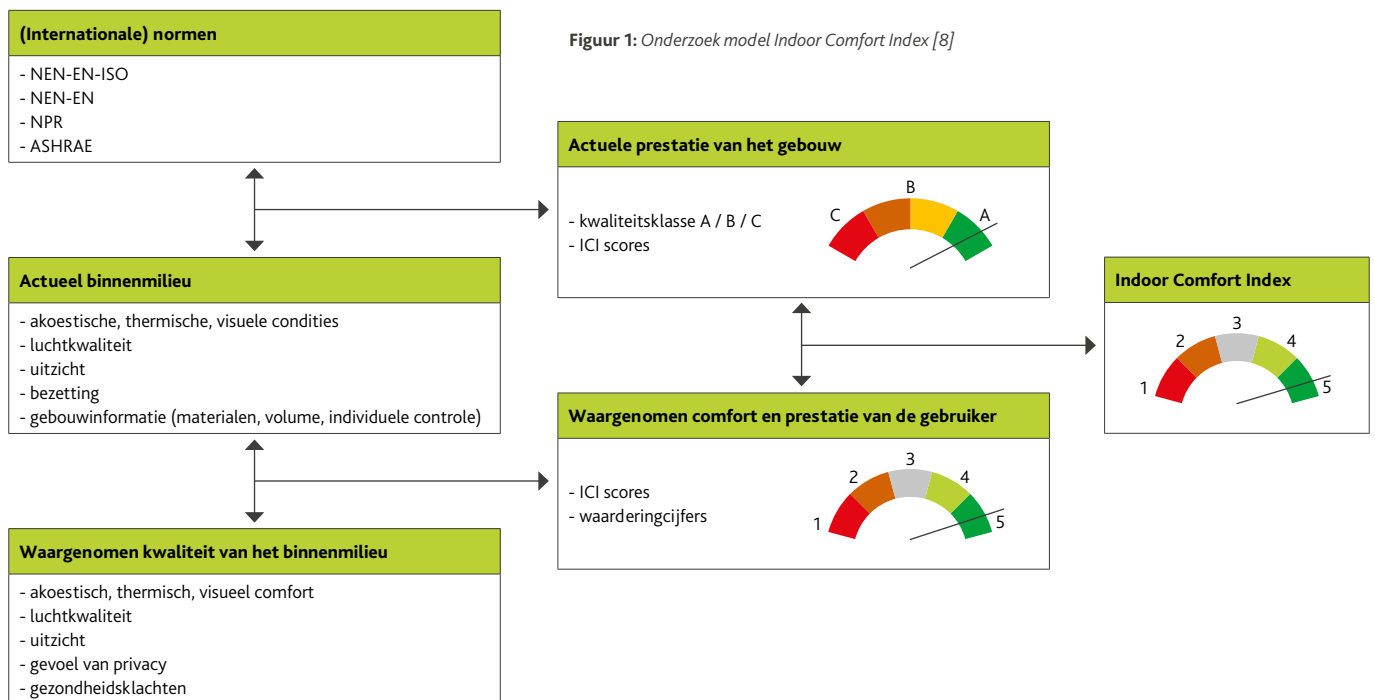
Vanaf 2014 is het binnenmilieu in verschillende (nieuwe) kantoor- en schoolgebouwen onderzocht. Uit dit onderzoek is gebleken dat gebruikers in kantoren discomfort er-

varen [8] en dat bijvoorbeeld de luchtkwaliteit in klaslokalen voor het hoger onderwijs niet voldoet aan relevante richtlijnen. Hoe de gebruikers wel tevreden kunnen worden over het binnenmilieu, blijft een grote uitdaging. Ondanks verschillende innovaties [9] zijn standaardoplossingen helaas nog niet voor handen. De geschetste problematiek en de nieuwsgierigheid naar hoe het binnenmilieu binnen het hoger onderwijs moet worden vormgegeven, heeft geleid tot een onderzoeksproject van de Hanzehogeschool en de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e). Het doel van dit onderzoeksproject is om richtlijnen te ontwikkelen voor het binnenmilieu in klaslokalen voor het hoger onderwijs.

Indoor Comfort Index

In 2014 heeft Henk Brink als docentonderzoeker van het lectoraat Facility Management van de Hanzehogeschool Groningen, de Indoor Comfort Index (ICI) ontwikkeld [8], zie ook figuur 1. Inmiddels zijn verschillende kantoor- en schoolgebouwen onderzocht aan de hand van deze ICI.

Studentonderzoekers van de opleiding Facility Management van de Hanzehogeschool Groningen hebben ruim 2000 werkplekken en 50 leslokalen onderzocht met behulp van de Indoor Comfort Index. Verschillende aspecten met betrekking tot het binnenmilieu (o.a. temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, concentratie koolstofdioxide (CO₂), verlichtingssterkte, geluidsdruk) zijn gemeten. Tegelijkertijd zijn de gebruikers van de werkplekken of het leslokaal gevraagd het binnenmilieu te waarderen door middel van een uitgebreide digitale vragenlijst die door de studentonderzoeker middels een tablet beschikbaar is gesteld. Onder andere het akoestisch, thermisch en visueel comfort, de beleefde luchtkwaliteit en gezondheidsklachten komen in deze vragenlijst aan de orde. De vragenlijst is gebaseerd op vragenlijsten die in gepubliceerde onderzoeken in relatie tot het binnenmilieu zijn gebruikt. Daarnaast zijn de vragen getoetst op coherentie door middel van een Cronbach's alfa analyse. Hieruit is gebleken dat er een hoge samen-



Figuur 1: Onderzoek model Indoor Comfort Index [8]

hang bestaat tussen de vragen en de onderwerpen die aan bod komen ($\alpha > 0,7$). Door gelijktijdig de verschillende aspecten met betrekking tot het binnenmilieu en de gebruikerswaardering te meten is het mogelijk deze onderling met elkaar te vergelijken.

De resultaten van dit onderzoek bevestigen bijvoorbeeld dat er grote verschillen bestaan tussen de temperatuur beleving van mannen en die van vrouwen [8] in kantoorgebouwen. Geconcludeerd kan worden dat veel mannen een iets lagere omgevingstemperatuur als comfortabel ervaren. Ook de aanwezige geluiden op de werkvloer in kantoren, zoals telefonerende en pratende collega's, worden als storend ervaren. Maar dit geldt dus niet voor iedereen.

In verschillende normen wordt aan de individuele beïnvloeding van het binnenklimaat wel aandacht besteed. Bijvoorbeeld in NEN-EN 12464-1 [5] wordt aangegeven dat de verlichting in klaslokalen geregeld kan worden maar in de praktijk is dit niet altijd het geval. Vanuit het oogpunt van energiebesparing, zoals door centrale aansturing van licht en temperatuur staat de individuele beïnvloeding van het binnenmilieu onder druk [10] [11]. Dit ondanks de vigerende voorschriften en beschikbare innovaties [9].

Resultaten praktijkonderzoek

In de periode februari-april 2019 zijn 59 klaslokalen in verschillende schoolgebouwen binnen het hoger onderwijs onderzocht middels de beschreven ICI-methode. Tijdens de metingen, hebben de studenten middels een vragenlijst het aanwezige binnenmilieu gewaardeerd. De mening van de studenten over alle vier factoren zijn verzameld (akoestisch, thermisch, visueel comfort en luchtkwaliteit). Om deze beleving te meten reageerden studenten door middel van een vragenlijst op stellingen als: "Het is hier nu te koud", "Het tocht hier" en "De lucht is hier droog". Daarnaast werd aan de studenten gevraagd of ze één of meerdere van de volgende klachten ervaren: oog-, neus- en keelirritatie, vermoeidheid, hoofdpijn, een verstopte neus, mentale vermoeidheid (concentratieproblemen), loomheid en/of huidirritatie. Aanwezigheid van deze klachten kan duiden op het Sick Building Syndroom [12]. In totaal zijn 366 studenten ondervraagd over hoe zij het binnenmilieu ervaren terwijl op hetzelfde moment studentonderzoekers verschillende metingen verrichtten in de klaslokalen waar de studenten een les volgden.

De resultaten van dit onderzoek laten zien dat de aanwezige CO₂-concentraties de minimale Nederlandse richtlijnen in 36% van de onderzochte klaslokalen overschreed (≥ 1200 ppm). Bovendien steeg dit percentage na een les van 40 minuten tot 45% van de onderzochte klaslokalen (zie tabel 2).

Een significante correlatie ($p < 0,01$) werd gevonden tussen CO₂-concentraties aan het einde van de les en de beleefde luchtkwaliteit door studenten (zie figuur 2, Pearson -,196). Opvallend in

	Kwaliteitsklasse "Frisse scholen"			
	A	B	C	-
Concentratie CO ₂ in ppm	(<800)	(800-949)	(950-1199)	(≥1200)
Begin van de les (in %)	27	19	19	36
Einde van de les (in %)	20	12	24	45

Tabel 1: Concentratie koolstofdioxide (CO₂) aan het begin en einde van de les.

dit onderzoek zijn de significante correlaties ($p < 0,05$) tussen de beleving van de luchtkwaliteit en een droge huid (Pearson $-0,237$), concentratieproblemen (Pearson $-0,219$) en vermoeidheid (Pearson $-0,270$). Wanneer de waardering van de luchtkwaliteit daalde, daalde ook het concentratievermogen, nam de vermoeidheid toe en klaagden meer studenten over een droge huid.

Onderzoeksproject 'Richtlijnen voor het binnenmilieu in het hoger onderwijs'

Sinds 1 september 2018 onderzoekt de Hanzehogeschool Groningen samen met de TU/e het effect van ruimtelijke condities – het binnenmilieu – op de kennisoverdracht in het hoger onderwijs. Er is voor het hoger onderwijs gekozen omdat hier geen specifieke richtlijnen voor het binnenmilieu zijn opgesteld.

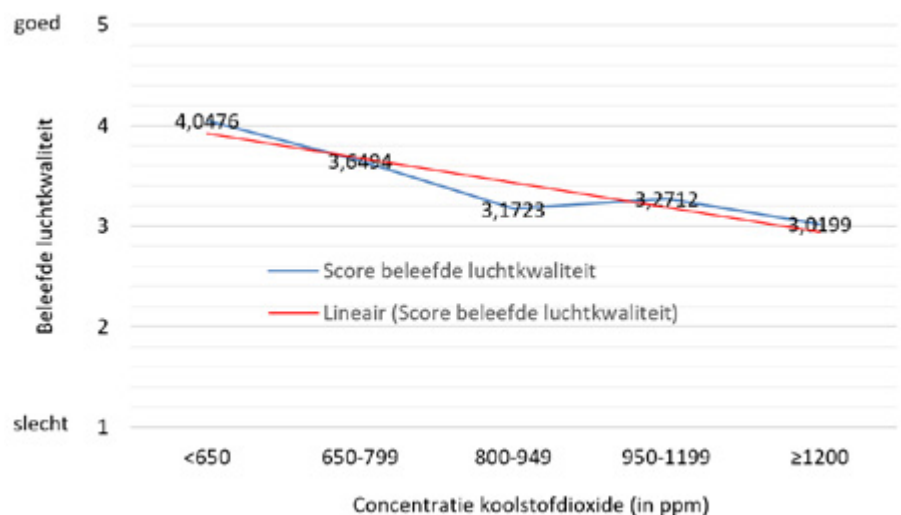
Wanneer scholen voor het primair en voortgezet onderwijs worden gebouwd of gerenoveerd, wordt het programma "Frisse scholen" [13] toegepast. Dit programma bevat verschillende richtlijnen voor het binnenmilieu. Het hoger onderwijs maakt, bij gebrek aan beter, gebruik van deze richtlijnen en kiest voor klasse A of B. Daarnaast blijkt uit informatie die is aangeleverd door verschillende hogescholen dat externe adviseurs ook wijzigingen hierop voorschrijven. Bij toepassing van dit programma moeten betrokkenen zich wel realiseren dat deze richtlijnen voor kinderen zijn opgesteld en dat het niet duidelijk is of deze richtlijnen ook geschikt zijn voor jongvolwassenen in het hoger onderwijs. Deze laatste groep maakt ook niet gedurende de dag gebruik van hetzelfde klaslokaal.

De nadruk bij het opstellen van richtlijnen voor het binnenmilieu, zowel in het programma "Frisse Scholen"

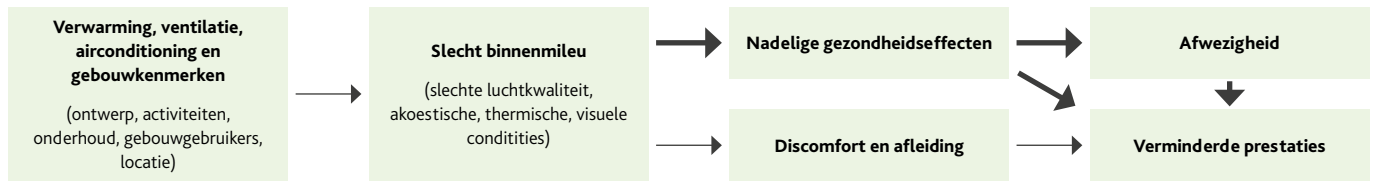
[13] als in verschillende richtlijnen die van toepassing zijn op kantoorgebouwen, ligt op het creëren van een gezond binnenmilieu. Door toepassing van deze nomen moeten met name lichamelijke klachten en ziektes worden voorkomen. Wanneer de focus ligt op het optimaal (laten) presteren van de gebruikers dan blijkt uit recent onderzoek dat deze richtlijnen mogelijk niet voldoende zijn [14].

De Harvard University onderzocht in 2016 [15] de invloed van onder andere CO₂ op de cognitieve prestatie van mensen. De onderzoekers concludeerden dat de CO₂-concentratie in de binnenlucht niet alleen een indicator is voor de andere verontreinigende stoffen in de lucht. Ze stelden ook vast dat wanneer de CO₂-concentraties werden verhoogd tot niveaus die gebruikelijk zijn in kantoren en scholen (ongeveer 950 ppm, klasse B "Frisse Scholen" [13]) er statistisch significante dalingen waren in scores van cognitieve functies van (jong) volwassenen. Wanneer de CO₂-concentratie werd verhoogd tot 1400 ppm traden nog grotere verschillen op. Dit toont volgens hen aan dat de cognitieve functie van zowel kantoormedewerkers als van studenten even zwaar getroffen wordt door een verhoogde CO₂-concentratie. Maar belangrijker nog, dat ook lage CO₂-concentraties significant bijdragen aan het leveren van een optimale cognitieve prestatie. Anderzijds laat een andere studie [16] weer geen directe effecten van de (pure) CO₂-concentratie zien en wordt de verklaring gevonden in de bio-effluenten die met de metabolische CO₂-productie vrijkomen.

Figuur 2: Relatie tussen de concentratie koolstofdioxide en de beleefde luchtkwaliteit.



Figuur 3: Relatie tussen het binnenmilieu en verminderde prestaties van studenten [17].



Vervolgonderzoek

Binnen het promotieonderzoek van Henk Brink aan de TU/e zal worden onderzocht hoe effectief toepassing van het programma "Frisse Scholen" is binnen het hoger onderwijs. Studenten volgen lessen onder condities vergelijkbaar met kwaliteitsklassen A, B en C. Het effect van deze verschillende condities op studenten en docenten zal worden onderzocht. Ook wordt een optimale leeromgeving gerealiseerd op de campus van de Hanzehogeschool en ook het effect deze omgeving op docenten en studenten wordt onderzocht. Doel van dit onderzoek is om richtlijnen te ontwikkelen voor het binnenmilieu in klaslokalen voor het hoger onderwijs.

Om het effect van verschillende condities op de lesprestatie van docenten en de leerprestatie van studenten te meten, worden twee klaslokalen zodanig aangepast dat individuele conditionering op de binnenmilieu aspecten mogelijk is (via het aanbrengen van een decentrale installatie in beide lokalen). Vervolgens wordt onderzocht wat voor effect dit heeft op de les- en leerprestatie.

Om dit te beoordelen worden enkele typische - hoewel (nog) niet eenvoudig te bepalen – prestatie-indicatoren onderzocht, die horen bij een leslokaal waarin les wordt gegeven. Van deze indicatoren wordt verondersteld dat het binnenmilieu hier een effect op heeft. Het is de bedoeling om de gecombineerde effecten van de verschillende binnenmilieu-factoren te onderzoeken en de verwachting is dat hiermee een unieke bijdrage wordt geleverd aan de huidige wetenschappelijke stand van zaken. Het doel van het onderzoek is om aan te tonen in welke leeromgeving docenten en studenten goed presteren. Deze informatie moet betrokkenen helpen bij het opstellen van een programma van eisen voor het binnenmilieu.

De eerste bevindingen uit het literatuuronderzoek laten zien dat door de student zelf gerapporteerde gezondheidsklachten, effect hebben op de aanwezigheid en prestaties van studenten [17]. Een onaangenaam binnenmilieu kan gezondheidsproblemen veroorzaken waardoor studenten uitvallen (zie dikgedrukte pijlen in figuur 3). Deze pijlen geven de indirecte effecten van een slecht binnenmilieu weer. De relatie tussen 'discomfort en afleiding' en 'verminderde prestaties' is moeilijker om vast te stellen maar diverse onderzoeken duiden op een mogelijk verband [17] [18].

Referenties

1. Sarigiannis DA., Combined or multiple exposure to health stressors in indoor built environments, World Health Organization, 2013
2. Gaihre S, Semple S, Miller J, Fielding S, Turner S., Classroom Carbon Dioxide Concentration, School Attendance, and Educational Attainment, Journal of School Health, 84(9), Wiley Periodicals Inc., 2014
3. NEN-EN-ISO 7730, Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort, European Committee For Standardization, 2005
4. NEN-EN-ISO 3382-2, Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 2: Reverberation time in ordinary rooms, European Committee For Standardization, 2008
5. NEN-EN 12464-1, Light and lighting - lighting of work places - Part 1: Indoor work places, European Committee For Standardization, 2011
6. NEN-EN 12665, Light and lighting - Basic terms and criteria for specifying lighting requirements, European Committee For Standardization, 2018
7. Golshan M, Thoen H, Zeiler W., Dutch sustainable schools towards energy positive, Journal of Building Engineering, 19, Elsevier, 2018
8. Brink HW, Mobach MP., Quality and satisfaction of thermal comfort in Dutch offices. EFMC 2016, Polytechnisk Forlag, 2016
9. Persoonlijk comfort voor medewerkers van ING en SODEXO, <https://www.tno.nl/nl/over-tno/nieuws/2017/6/persoonlijk-comfort-voor-medewerkers-van-ing-en-sodexo>, 2017
10. de Bakker C., Occupancy-based lighting control: developing an energy saving strategy that ensures office workers' comfort, Technische Universiteit Eindhoven, 2019
11. Wyon D., Individual microclimate control: required range, probable benefits and current feasibility. 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, ISIAQ, 1996
12. Fundamentals of Indoor Air Quality in Buildings, <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/fundamentals-indoor-air-quality-buildings#bri>, 2019
13. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Programma van Eisen Frisse Scholen 2015, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2015
14. Usha S, Mendell MJ, Krishnamurthy S, Toshifumi H, Douglas S, Siegfried S, et al., Is CO2 an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO2 Concentrations on Human Decision-Making Performance. Environmental Health Perspectives, 120(12), 2012
15. Allen JG, MacNaughton P, Satish U, Santanam S, Vallarino J, Spengler JD., Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation, and Volatile Organic Compound Exposures in Office Workers: A Controlled Exposure Study of Green and Conventional Office Environments, Environmental health perspectives, 124(6), 2016
16. Zhang X, Wargocki P, Lian Z, Thyregod C., Effects of exposure to carbon dioxide and bioeffluents on perceived air quality, self-assessed acute health symptoms, and cognitive performance, Indoor Air, 27(1), 2017
17. Mendell MJ, Heath GA., Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature, Indoor air, 15(1), 2005
18. Wargocki P, Wyon DP., Ten questions concerning thermal and indoor air quality effects on the performance of office work and schoolwork, Building and Environment, 112, 2017