

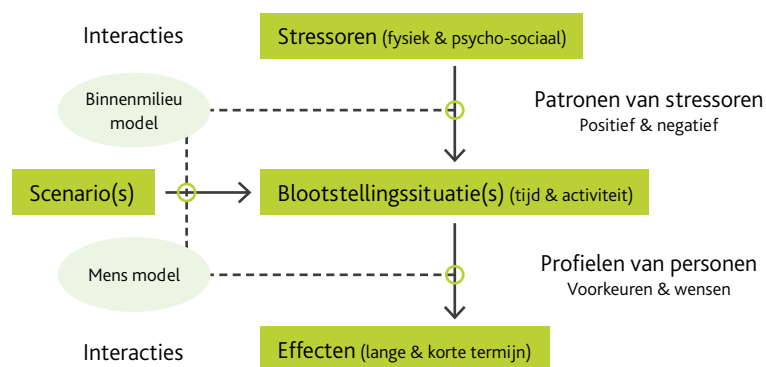
Nieuw onderzoeksmodel voor het begrijpen van binnenmilieu basisscholen en effecten op kinderen

Uit onderzoek blijkt, dat zelfs wanneer aan de richtlijnen wordt voldaan en binnenmilieucondities 'comfortabel' genoeg lijken, het verblijf in (school)gebouwen niet goed is voor ons welzijn [1]. Dit kan liggen aan dat deze richtlijnen gebaseerd zijn op enkelvoudige dosis-respons relaties voor het voorkomen van negatieve effecten, en dat de criteria bepaald zijn voor een gemiddeld (standaard) volwassen persoon. Er wordt voorbij gegaan aan het feit dat we met individuen te maken hebben in verschillende scenario's (e.g. woning, kantoor, school) en situaties (e.g. achter een bureau zitten schrijven, luisteren naar de leraar, koken, slapen). Andere stressoren (fysisch, fysiologisch, persoonlijk, psychologisch en sociaal) en hun geïntegreerde effect in de tijd, evenals mogelijke interacties tussen stressoren op binnenmilieuniveau, en interacties tussen lichamelijke reacties op mensniveau, worden niet meegenomen.

In de afgelopen jaren is duidelijk geworden dat er behoefte is aan een ander onderzoeksmodel. Een model dat wel in staat is symptomen en klachten in specifieke situaties te verklaren, en die wellicht zelfs naar een positief effect kan keren. Recent is een dergelijk onderzoeksmodel geïntroduceerd (Figuur 1) [2]. Dit model neemt andere stressoren, geïntegreerde effecten, zowel positief als negatief, en interacties op binnenmilieu- en mensniveau mee, en houdt rekening met de behoeften en wensen van het individu.

Voor de uitwerking en validatie van dit model is onder andere een onderzoek uitgevoerd naar het binnenmilieu van lagere scholen en hun effecten op kinderen middels een:

- Labstudie met 335 kinderen van 7 van de 21 eerder bezochte lagere scholen naar 'Interacties op mens niveau', 'Voorkeuren en wensen', en 'Stressoren en effecten'. In de Labstudie werden de effecten van verschillende binnenmilieucondities in een klaslokaal op individueel en groepsniveau bestudeerd. Bovendien deden de kinderen mee aan een workshop over (binnenmilieu) problemen en ontwerp oplossingen voor hun eigen klaslokaal.
- In de veldstudie, uitgevoerd in het voorjaar van 2017 stond een holistische analyse van klaslokalen middels gebouwgerelateerde eigenschappen (patronen), en gezondheid en comfort van het schoolkind, middels individuele indicatoren (profielen), centraal. De kinderen kregen een vragenlijst, waarop zij konden invullen hoe zij zelf hun klaslokaal ervaren en wat zij nodig denken te hebben om zich goed te voelen en goed te presteren. De leraren werd gevraagd hoe vaak ze een bepaalde activiteit uitvoerde om de thermische, visuele, lucht en akoestische kwaliteit te verbeteren en/of door de kinderen gevraagd werden om deze actie uit te voeren. Daarnaast werd met behulp van een checklist het gebouw, de installaties en de klaslokalen in kaart gebracht. Samengevat gaf deze veldstudie de volgende resultaten:
- In het algemeen hadden jongens meer symptomen dan meisjes, terwijl meisjes meer klachten hadden dan jongens.
 - De voornaamste klachten waren gerelateerd aan lawaai (87%) en geur (63%) (veroorzaakt door de kinderen zelf).
 - Verschillende situaties resulteerden in verschillende gezondheid- en comfort effecten: kinderen op traditionele scholen hadden meer klachten en symptomen dan kinderen van niet-traditionele scholen.
 - Patronen van stressoren (ventilatie type, zonwering stoort het openen van de ramen, verwarming type, kleur van raamkozijnen, vloerbedekking en stofzuigfrequentie) werden geassocieerd met gezondheid en/of comfort.
 - Kinderen verschilden in behoeften en wensen en konden worden geclusterd in zes clusters met verschillende profielen.
 - Leraren konden met de mogelijkheden die zij tot hun beschikking hadden voor het aanpassen van de binnenmilieucondities, niet aan de behoeften van elk kind voldoen.
- Veldstudie op 21 lagere scholen (54 klaslokalen) met 1145 kinderen [3]. Hierin werden gegevens verzameld over 'Stressoren en effecten', 'Voorkeuren en wensen' en 'Interacties op binnenmilieuniveau', in verschillende klaslokalen, en in verschillende situaties (scholen met traditioneel vs. scholen met niet-traditioneel onderwijs zoals Jena, Montessori of Dalton).



Figuur 1: Model voor de geïntegreerde analyse benadering (Bluyssen, 2019).

plafond naar vloer: toevoer in het plenum via 4 plafondroosters, en afzuig in de geperforeerde plint aan de korte zijden van de Experience room.

Op 10 dagen in het voorjaar van 2018, bezochten in totaal 335 kinderen van

zeven verschillende lagere scholen het SenseLab. Per dag werden er twee of drie groepen van maximaal 16 kinderen per groep gevormd: groep 1 begon in de Experience room, groep 2 in de testkamers (maximum vier kinderen per testkamer) en groep 3 in de rest van het Science Centre Delft. Na 35 minuten werd er gewisseld: groep 1 naar de testkamers, groep 2 naar het Science Centre en groep 3 naar de Experience room. En tot slot, 35 minuten later de laatste wissel.

In de Experience room werden twee studies uitgevoerd: 1) een *blootstellingsstudie*, voor het testen van de tevredenheid met licht, geluid, geur, temperatuur en tocht bij verschillende configuraties [5]; en 2) een *workshop*, waarin de kinderen hun problemen in het klaslokaal aangaven (deel 1) en vervolgens daarvoor (ontwerp) oplossingen bedachten (deel 2) [6]. In elk van de testkamers, werd een test uitgevoerd, gerelateerd aan respectievelijk de thermische [7], lucht (geur) [8], licht [9] en akoestische kwaliteit van een klaslokaal [10, 11].

Een samenvatting van het veldonderzoek is te vinden in [3]. Dit artikel presenteert de resultaten van de labstudie, uitgevoerd in het SenseLab [4]. Het SenseLab is een onderdeel van het Science Centre Delft (www.tudelft.nl/sciencecentre).

SenseLab en procedure

Het SenseLab bestaat uit vier testkamers (één voor elke binnenmilieufactor: lucht, licht, geluid en thermische aspecten) en de Experience room (een ruimte voor integrale perceptie) [4]. In de Experience room is het mogelijk effecten, positief en negatief, van verschillende combinaties van binnenmilieucondities in verschillend scenario's te bestuderen, door het architectonisch ontwerp en keuze van materialen en systemen te veranderen. Voorbeelden van scenario's zijn kantoormedewerkers in een kantooromgeving en kinderen in een klaslokaal. De Experience room bestaat uit een stalen frame, wanden van 2x8 mm gelamineerd glas (inert materiaal), te openen ramen, intern verwisselbare akoestische wandpanelen, een computervloer, een verlaagd plafond met drie soorten verlichting (direct, indirect en diffuus licht) en een geluidsinstallatie (om geluid te produceren). Er kan op twee manieren mechanisch worden geventileerd, met: 1) verdringsventilatie van vloer naar plafond middels toevoer via een geperforeerde plint (net boven de vloer aan de lange zijden van de Experience room) en afzuig in het plafond aan de zijkanalen; en 2) mengventilatie van



Figuur 2: Opstelling in Experience room met 'alle akoestische panelen' en met 'soft' verlichting aan.

Figuur 3: Virtueel klaslokaal met blauwe vloer en witte wanden.



Blootstellingsstudie

In de Experience room werd elke groep blootgesteld aan 2 van de 36 configuraties, met de volgende variabelen [5]:

- *'Alle' versus 'minder' akoestische panelen:* creëert een ander interieur, een verschillend uitzicht naar buiten en een andere akoestische kwaliteit (nagalmtijd van 0,22 versus 0,7).
- *Twee ventilatieprincipes:* meng- en verdringingsventilatie. De ventilatiehoeveelheid was 600 m³/uur (30-40 m³/uur per persoon), en de temperatuur was ingesteld op 21 graden Celsius.
- *Drie soorten (en patronen) van ledverlichting:* direct, indirect en soft verlichting (setting 100%). Soft verlichting (setting 40% van het maximaal mogelijk) werd tijdens de introductie en de workshop als de basis setting gebruikt.
- *Drie soorten achtergrondgeluid:* geen geluid, verkeerslawaai en pratende kinderen, beiden met 60 dB(A) ('lawaai' achtergrondniveau: 45 dB(A) wordt als normaal beschouwd).

In figuur 2 wordt de combinatie 'Alle akoestische wandpanelen en 'soft verlichting aan' weergegeven.

Tijdens de blootstelling werden de kinderen gevraagd een vragenlijst in te vullen waarop zij

hun beoordeling konden geven over de temperatuur, het geluid, licht en geur in de Experience room. De resultaten van de vragenlijsten laten zien dat de condities met 'alle' akoestische panelen een positief effect had op de beoordeling van geluid. Ook werd een duidelijk negatief effect van 'minder' akoestische panelen op de beoordeling van geur, tocht en licht gezien. Achtergrondgeluid, met name 'pratende kinderen' had invloed op de beoordeling van zowel geluid als geur. Geur werd in het algemeen het slechts beoordeeld bij 'pratende kinderen', 'mengventilatie' en 'direct licht', terwijl in de Experience room geen geur was toegevoegd.

Workshop

Een uit twee delen bestaande workshop werd gehouden 1) voor het identificeren van huidige problemen die kinderen met het binnenmilieu in een klaslokaal hebben en 2) om (ontwerp)oplossingen voor die problemen te bedenken [6]. In deel 1, werd aan de kinderen gevraagd om aan hun eigen klaslokaal op school te denken en een binnenmilieuprobleem te kiezen waar zij in dat lokaal last van hebben. In deel 2 van de workshop werd aan de kinderen gevraagd zich voor te stellen dat zij in 2040, als uitvinder of wetenschapper, wordt gevraagd een oplossing te bedenken voor dat probleem. De inhoudsanalyse van de door de kinderen gemaakte tekeningen en geschreven teksten resulteerde in vijf thema's (licht, geluid, temperatuur, lucht en anders dan binnenmilieu-gerelateerd) en 16 sub-thema's (11 voor de problemen en 5 voor de oplossingen). Geluid gerelateerde problemen werden het meest gerapporteerd (58%), gevolgd door temperatuur (53%), lucht (22%), en licht (16%). Behalve voor temperatuur, was dit voor allen lager dan in de veldstudie (87% geluid; 63% geur; 42% zonlicht; 35% temperatuur). Meisjes identificeerden meer problemen dan jongens. 47% van de kinderen stelde oplossingen voor die aan meer dan één binnenmilieuprobleem relateerden. Oplossingen varieerden van bestaande oplossingen, zoals bijvoorbeeld een koptelefoon tegen het lawaai, tot verzochte oplossingen zoals het wegschieten van lawaai makende kinderen met een raket.



Figuur 4: Foto's van de opstelling in de lucht testkamer.

Thermische testkamer

In de thermische testkamer werd het effect van verschillende kleuren van de wanden en de vloer in een klaslokaal op het thermisch comfort en tochtgevoel getest voor een wintersituatie (zonlicht schijnt naar binnen en creëert warmte) en een zomersituatie (openen van raam veroorzaakt tocht) [7]. De verschillende situaties in het klaslokaal werden met behulp van Virtual Reality (VR) gecreëerd (kleuren van de wanden: rood, blauw of wit; en de vloer: groen, grijs of blauw), in combinatie met een bouwlamp (simulatie van de warmte die de zonnestralen creëren) en een ventilator (simulatie van tocht als gevolg van lucht die binnenstroomt bij het openen van het raam). De combinatie witte wanden en blauwe vloer zoals het in het VR-programma te zien was, is weergegeven in figuur 3. Elke combinatie werd door gemiddeld 14 kinderen getest. De resultaten lieten zien dat de beoordeling van tocht gerelateerd was aan de beoordeling van de temperatuur (voor de wintersituatie zelfs statistisch relevant). Daarnaast werd een significant verschil in de beoordeling van temperatuur voor verschillende kleuren van de vloer bij rode wanden in de wintersituatie gevonden. Verder werden er geen relevante effecten (of interactie-effecten) gevonden.

Lucht testkamer

63% van de 1145 kinderen in de veldstudie gaf aan last te hebben van geurtjes [3]. De meest voorkomende geurtjes in het klaslokaal werden beschreven als 'menselijk' (56%)

en 'stoffig' (27%). Terwijl bij de term 'menselijk' vaak scheetjes werden genoemd, kon voor de term 'stoffig' niet een specifieke bron of reden worden aangegeven. In de lucht testkamer werden de kinderen daarom blootgesteld aan verschillende geurbronnen om met name de term 'stoffig' beter te kunnen begrijpen.

Vier glazen potten (afgedekt met aluminiumfolie, zodat de kinderen niet konden zien wat erin zat) werden gevuld met: Pot.1 parfum, Pot.2: mint blaadjes; Pot.3: tapijt, MDF, of vinyl; en Pot.4: krijt (zie figuur 4). De kinderen werd gevraagd de waargenomen luchtkwaliteit te beoordelen en de bronnen van deze geuren te raden met behulp van hun neus [8]. Daarnaast werd het mogelijk effect van planten op de waargenomen luchtkwaliteit getest met verschillende bronnen in de CLIMPAQ (nummer 5 in figuur 4).

De uitkomsten lieten een mogelijke relatie zien tussen hoe acceptabel de kinderen de geuren van de verschillende bronnen vonden en in hoeverre zij de geuren herkenden. In het geval dat kinderen een geur herkenden vonden ze een geur meer acceptabel, zelfs wanneer deze geur ongezond zou kunnen zijn. De meeste kinderen vonden de geur van bouw- en afwerkingsmaterialen niet lekker en zij konden in de meeste gevallen de bron van de geur niet aangeven. Parfum vonden ze het lekkerst en krijtjes het minst lekker. Tot slot, bleek het toevoegen van planten geen effect te hebben op de perceptie van geuren.

Licht testkamer

In de veldstudie [3] werd gezien dat tafelbladen van de leerlingen, evenals de verlichting nagenoeg in alle klaslokalen hetzelfde zijn: wit/ licht houten tafelbladen en standaard fluorescent verlichting. Omdat uit

eerder onderzoek bekend is dat verschillende kleuren een effect kunnen hebben op stemming, prestatie en gedrag, werd in de licht testkamer de kinderen gevraagd het blad van de tafel waaraan ze zaten te beoordelen onder drie verschillende lichtcondities (figuur 5a): activerend (650 lux; 12000 K), kalmerend (300 lux; 2900 K) en concentratie verhogend (1000 lux; 6500 K) [9]. Deze lichtcondities werden elk een minuut lang gecreëerd door een vooraf geprogrammeerde ledverlichting. Om terug te gaan naar de beginsituatie werd tussen de verschillende condities in standaard licht (300 lux, 3500 K) gecreëerd. In totaal werden zes tafelbladen getest (bruin, geel en grijs hout, en normaal, mat en reflectief wit) (figuur 5b).

Een interessante uitkomst van deze studie was dat voor alle tafelbladen, het kalmerende licht als het slechtst door de kinderen werd ervaren en het activerende licht als het beste (behalve voor het bruine houten tafelblad); voor de houtachtige bladen waren deze verschillen statistisch significant. De kinderen hadden bij concentratie verhogend licht de voorkeur voor het bruine houten

tafelblad, terwijl ze datzelfde blad bij kalmerend licht het slechts beoordeelden. Bij activerend licht, scoorde grijs hout het beste, terwijl bij concentratie verhogend licht, bruin hout het beste scoorde.

Akoestische testkamer

Omdat in de veldstudie 87% van de kinderen aangaven last van lawaai te hebben, werden in de akoestische testkamer het effect van de nagalmtijd (NT) op de cognitieve prestatie (fonologische verwerking), de beoordeling van geluid en de emotionele houding van kinderen bestudeerd [10-11]. Twee series van luistertesten en beoordelingen werden uitgevoerd in respectievelijk ruimte A (onbehandeld: NT=0,33 seconden) en ruimte B (akoestisch behandeld: NT=0,07 seconden) (zie figuur 6), met 1 van de 7 achtergrondgeluiden (45dB of 60dB verkeerslawaai, 45dB of 60dB pratende kinderen, 45dB of 60dB muziek, of geen geluid).

Het statistisch significante verschil van de geluidspercepties tussen de akoestisch behandelde ruimte en de onbehandelde ruimte, demonstreert het positieve effect van een korte nagalmtijd in het algemeen. Toch betekende dit niet dat hoe meer akoestische behandeling, hoe beter. Teveel akoestische behandeling leek een ongunstig effect op de prestatie van de kinderen te hebben, vooral tijdens het achtergrondgeluid 'pratende kinderen'. Echter, bij afwezigheid van achtergrondgeluid, ging voor de meeste kinderen de voorkeur uit naar de akoestische behandelde ruimte.

Bevindingen

De blootstellingstudie en de workshop die in de Experience room plaatsvonden, resulteerden in de volgende bevindingen:

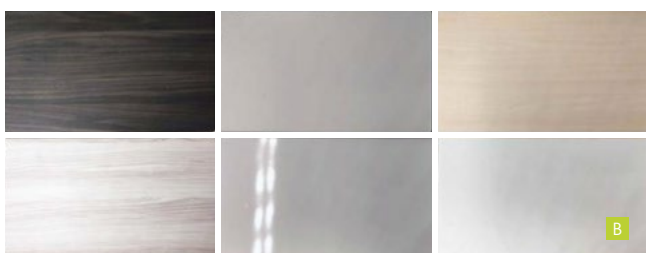
- Interactie-effecten van verschillende binnenmilieu-stressoren op mensniveau leken plaats te vinden.
- Achtergrondgeluid, met name 'pratende kinderen', had invloed op de beoordeling van zowel geluid als geur, hetgeen kan betekenen dat er misschien eerder conditionering heeft plaatsgevonden bij het horen van pratende kinderen.
- Kinderen konden heel goed problemen met het binnenmilieu in klaslokalen aangeven en daarvoor op verschillende niveaus (gebouw, klaslokaal, tafel, kind, etc.) oplossingen aandragen.
- Meisjes rapporteerden meer problemen dan jongens. Dit is mogelijk gerelateerd aan een betere herinnering van negatieve gevoelens ten aanzien van deze problemen.

Voor elk binnenmilieu aspect zijn voorkeuren en behoeften in relatie tot verschillende omgevingscondities getest. De in de



Figuur 5a: Opstelling van licht experiment.

Figuur 5b: De geteste tafelfafwerkingen (van linksboven naar rechtsonder: bruin hout, wit mat, geel hout, normaal wit, reflectief wit, grijs hout).



verschillende testkamers uitgevoerde testen (thermisch, lucht, licht en geluid) lieten zien dat:

- Bij roodgekleurde wanden in de wintersituatie (zonnestralen door het raam) de beoordeling van temperatuur voor de verschillende vloerkleuren significant verschillend was.
- Een geur over het algemeen beter werd beoordeeld, wanneer de kinderen deze geur herkenden.
- Verschillende tafelloppervlakken waarschijnlijk andere soorten verlichting nodig hebben, en vice versa.
- Bij de aanwezigheid van achtergrondgeluid de kinderen de voorkeur hadden voor de akoestische (over)behandelde ruimte.

Conclusie

Zowel de veldstudie (beschreven in [3]) als de SenseLab studies met de lagere schoolkinderen, waren een poging om het nieuw geïntroduceerde onderzoeksmodel [2] te vullen en te valideren. De uitkomst van beiden studies bevestigen de noodzaak van dit model en de behoefte aan meer studies om wensen en voorkeuren (om negatieve effecten te voorkomen en positieve ervaringen te stimuleren) per scenario (e.g. scholen, woningen, kantoren) en voor verschillende situaties (bijvoorbeeld scholen met traditioneel en niet-traditioneel onderwijs) te bepalen. Interacties op binnenmilieu- en mensniveau zullen moeten worden onderzocht, evenals patronen van stressoren voor verschillende profielen van personen.

Dankbetuiging

Deze studie is gesponsord door de TU Delft beschikbare gestelde fellowship aan Philomena Bluysen onder de leerstoel Binnenmilieu. Dadi Zhang, Marco Ortiz, Stanley Kurvers, Annemarie Eijkelenboom, Arno Freeke, Arend-Jan Krooneman, en Tatiana Armijos Moya worden bedankt voor hun bijdrage aan de lab studies, de analyses en de publicaties die hieruit volgden.



Nagalmtijd:
0,07

Nagalmtijd:
0,33

Figuur 6: Akoestisch behandelde en onbehandelde testruimte.

Referenties

1. Bluysen, P.M. (2018) 'Customization' sleutel naar gezond binnenklimaat op scholen, TVVL-magazine no.1, pp.18-22.
2. Bluysen PM (2019) Towards an integrated analysis of the indoor environmental factors and its effects on occupants Intell. Build. Int. doi.org/10.1080/17508975.2019.1599318.
3. Bluysen, P.M. (2019) Groot onderzoek naar comfort en gezondheid onder lagere schoolkinderen, TVVL magazine, no 4, pp.18-23.
4. Bluysen, P.M. (2018) SenseLab: een echte speeltuin voor de zintuigen, TVVL magazine no. 3, pp. 42-45.
5. Bluysen PM, Zhang D, Kim DH, Eijkelenboom A, Ortiz M (2019) First SenseLab studies with primary school children: exposure to different environmental configurations in the Experience room, Intelligent Buildings International, DOI:10.1080/17508975.2019.1661220.
6. Bluysen PM, Kim DH, Eijkelenboom A., Ortiz M. (2019) Workshop with 335 primary school children in The Netherlands: What is needed to improve the IEQ in their classrooms? Building and Environment 168, DOI: 10.1016/j.buildenv.2019.106486.
7. Bluysen, P.M., Zhang, D, Krooneman, A.-J., Freeke, A. (2019) The effect of wall and floor colouring on temperature and draught feeling of primary school children, E3S Web Conf., 111 (2019) 02032, CLIMA2019, May 25-29 2019, Bucharest, Romania.
8. Armijos Moya T and Bluysen PM (2019) Appraisal and identification of different sources of smell by primary school children in the air quality test chamber of the SenseLab, Intelligent Buildings International, DOI: 10.1080/17508975.2019.1682493.
9. Ortiz, M., Zhang, D., Bluysen, P.M. (2019) Table top surface preference of school children under different lighting conditions tested in the SenseLab, E3S Web Conf., 111 (2019) 02040, CLIMA 2019, May 25-29 2019, Bucharest, Romania.
10. Zhang D., Tenpierik M.J., Bluysen P.M. (2019) The effect of acoustical treatment on primary school children's performance, sound perception, and influence assessment. E3S Web Conf., 111 (2019) 02046, CLIMA 2019, May 25-29 2019, Bucharest, Romania.
11. Zhang D, Tenpierik M, Bluysen PM (2019) Effect of noise on school children's phonological processing, Applied Acoustics 154: 161-169.