

DE BOUWFYSICUS ALS REGISSEUR VAN DE GEZONDE LEEFOMGEVING

VERTALING VAN BIG DATA NAAR COMFORT EN PRODUCTIVITEIT

Met big data en the internet of things is een nieuw tijdperk ingeluid. Onnoemelijk veel data kan worden verzameld, aan elkaar gekoppeld en vervolgens gepresenteerd worden. Dat verzamelen klinkt goed, maar wat is de toegevoegde waarde van al die data als de nadere analyse en interpretatie ontbreekt? In een maatschappij die steeds meer datagestuurd is, verwacht de markt richting vanuit de experthoek. M+P is met QwikSense een samenwerking aangegaan om de kwaliteit van de leefomgeving opnieuw op de kaart te zetten.



ir. S.A. (Sara) Vellenga-Persoon, M+P, vestiging Aalsmeer



ir. Th. (Theodoor) Höngens, M+P, vestiging Aalsmeer



ir. T.E.L.M. (Tom) Bouwhuis, M+P, vestiging Aalsmeer

Sinds 2007 houdt M + P zich bezig met open kantoorconcepten. Een goed akoestisch comfort bleek een belangrijke voorwaarde voor het slagen van deze concepten. Een korte opname van het gebouw met bouwakoestische en ruimteakoestische metingen [1] [2] werd aangevuld met real-time geluidsmetingen op de vloer (equivalente geluidsniveaus) [3]. De kracht en kwaliteit van het gebouw bleek zich vooral te bewijzen in de goede combinatie van het gebouw met de gebruikers. Een drukke organisatie was bijvoorbeeld ontzettend gebaat bij het beperken van de geluidsverspreiding over de kantoorvloer, met behulp van bijvoorbeeld goede geluidsabsorberende panelen aan de wand en een groot aanbod van geluidsisolerende concentratiecellen. Het welbevinden van een rustige organisatie bleek minder afhankelijk van een volledig ingerichte akoestische omgeving.

QwikSense is opgericht in 2014 tijdens het rockstart Smart Energy accelerator programma. Na afloop was het bedrijf klaar voor verdere opschaling in de Nederlandse markt. QwikSense is een softwarebedrijf dat een data platform heeft ontwikkeld om gebouwdata, zoals klimaat- en bezettingsdata, te verzamelen en te analyseren. Door data te verzamelen uit bestaande bronnen of met sensoren kan er op een innovatieve wijze inzicht worden gegeven in de kwaliteit van het binnenklimaat in gebouwen op het gebied van gezondheid en comfort.

TOOLS VOOR KWALITEIT

In het brede concept van gezondheid gaat onze aandacht steeds meer uit naar het volledige binnenklimaat. Temperatuur, frisheid, schone lucht en akoestiek zijn belangrijke aspecten als het om gezond, comfortabel en productief werken gaat. Grootschalige onderzoeken van onderzoeksinstituten zoals het *Center for People and Buildings* [4] en *Leesman* [5] meten de gebruikerservaring in gebouwen. De onderdelen luchtkwaliteit, geluidsniveaus en temperatuurcontrole vertonen hoge percentages ontevreden werknemers. Maar hoe verhouden deze scores zich tot de werkelijke fysieke condities van het gebouw? De

gebruikerservaring laat zich niet altijd een-op-een vertalen naar een facilitair gebrek.

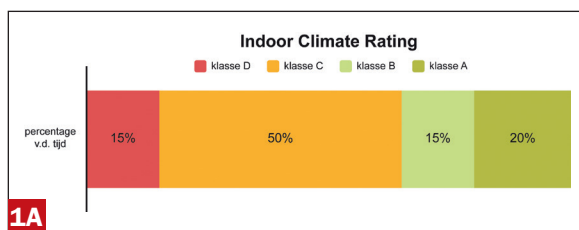
De bouwfysicus beschikt over een breed repertoire van normen en richtlijnen om een classificatie aan te brengen in de kwaliteit van het binnenmilieu. Het arsenaal van een bouwfysicus bestaat uit termen als graden Celsius, percentages RV, ppm CO₂ en geluidsniveaus in dB(A). Een facilitair manager kent de zoektocht naar meetbare prestaties. Een gebouw dat goed presteert laat zich bijvoorbeeld duiden in lage percentages van ziekteverzuim en een minimum aan klachten over het binnenmilieu.

GEZONDHEID EN COMFORT

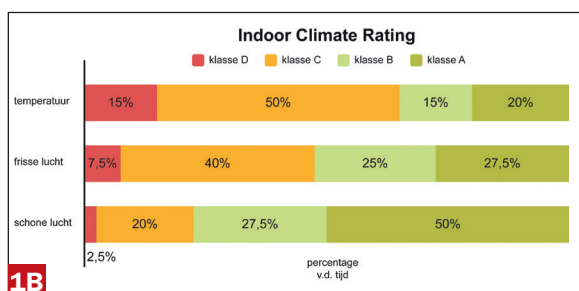
In de gezamenlijke zoektocht naar gezondheid en comfort op de werkvloer is een samenwerking tot stand gekomen tussen partijen met verschillende expertises. QwikSense maakt gebruik van een slim algoritme om de verzamelde klimaat- en bezettingsdata te interpreteren naar termen als comfort en productiviteit. Het algoritme is een uitkomst van de samenwerking tussen beide partijen. Door M + P is hiervoor uitgebreid wetenschappelijk onderzoek verricht. Het whitepaper 'gezonde en productieve gebouwen' laat hiervan een toegankelijke samenvatting zien [6]. Deze gezamenlijke aanpak past goed in de grotere context van het streven naar gebouwen met een hoge mate van comfort en die bijdragen aan de gezondheid van medewerkers. Door harde bouwfysische grootheden als temperatuur, relatieve vochtigheid en CO₂-concentratie te vertalen naar zachtere termen als comfort en productiviteit hopen wij een breder draagvlak te creëren voor het gesprek rondom de gezonde leefomgeving. De rol van de bouwfysicus is hierin niet zozeer toetsend en controlerend, maar eerder uitnodigend, inspirerend en uitdagend.

Indoor Climate Rating (ICR)

Een comfortabele temperatuur, frisse en schone lucht, en een goede akoestiek zijn belangrijke aspecten als het om comfortabel werken gaat. Deze aspecten zijn niet direct uit sensordata af te leiden. Een temperatuur van 26°C bijvoorbeeld wordt in de winter als te warm ervaren en



1A Weergave ICR totaal - aandeel van de tijd in gemeten comfort klasse



1B Weergave ICR per onderdeel - aandeel van de tijd in gemeten comfort klasseklasse

's zomers, als het buiten ook warmer is, als prettig. Zeker als bij deze temperatuur het raam kan worden geopend of mensen de gelegenheid hebben om hun kleding aan te passen. Om het comfortniveau te kunnen meten en beoordelen zijn daarom geavanceerde methoden nodig, waarin sensordata wordt gecombineerd met slimme algoritmes. Met monitoring is er op ieder moment inzicht in het comfort.

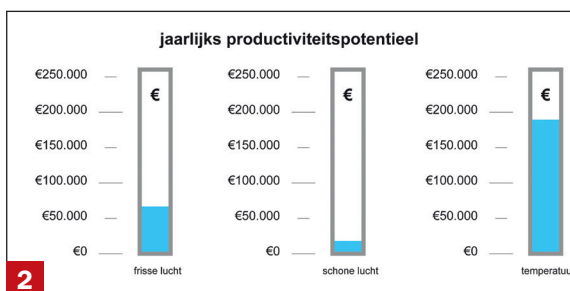
Belangrijke waarden om te monitoren zijn temperatuur, luchtvochtigheid en CO₂-concentratie. De gemeten waarden interpreteren wij naar een comfortklasse, de zogenaamde *Indoor Climate Rating (ICR)* (figuur 1A). Daarvoor gebruiken we relaties die op basis van internationaal onderzoek zijn beschreven. Bij een gekozen tijdsinterval - bijvoorbeeld een jaar, maand of week - leidt dit tot een totale kwaliteitsbeoordeling. Deze is gebaseerd op de prestatie in de tijd voor alle deelaspecten. De beoordeling kan per werkplek, per afdeling of gebouw worden samengevat.

De klasseindeling komt als volgt overeen met het percentage tevreden:

- klasse A: ≥ 90% tevreden (zeer goed)
- klasse B: 80-90% tevreden (goed)
- klasse C: 70-80% tevreden (redelijk)
- klasse D: < 70% tevreden (matig/slecht)

Voor analysedoeleinden kunnen de aspecten ook afzonderlijk worden bekeken (figuur 1B). Door de gemeten Indoor Climate Rating uit te zetten in de tijd, wordt een belangrijk inzicht gegeven in de tijdstippen of perioden waarop de kwaliteit van het binnenklimaat goed of minder goed is. Zo kan blijken dat de temperatuur als slecht wordt beoordeeld, juist als er zon op de gevel staat, of wordt duidelijk dat de lucht minder fris wordt als de bezetting toeneemt.

De ICR kan goed naast enquêteresultaten worden gelegd. Daarmee wordt extra inzicht verkregen dat specifiek is



2 Weergave PPI per onderdeel productiviteit (temperatuur geeft voor een fictieve casus bijvoorbeeld bij 90,5%, oftewel PPI = 9,5% een financieel potentieel aan van € 190.000 op 2 miljoen omzet uren aan zakelijke dienstverlening)

voor het gebouw of activiteiten. Op basis van deze combinatie kunnen gericht interventies worden gepleegd om het comfort te verbeteren. Met monitoring voor en na de interventie(s) kunnen de verbeteringen inzichtelijk worden gemaakt en kan er worden bijgestuurd.

Potential Productivity Index (PPI)

De productiviteit is deels gekoppeld aan het ervaren comfort. Immers als we comfortabel kunnen werken, hoeven we ons minder aan te passen aan de omgeving. We kunnen onze energie dus optimaal richten op onze werkactiviteiten.

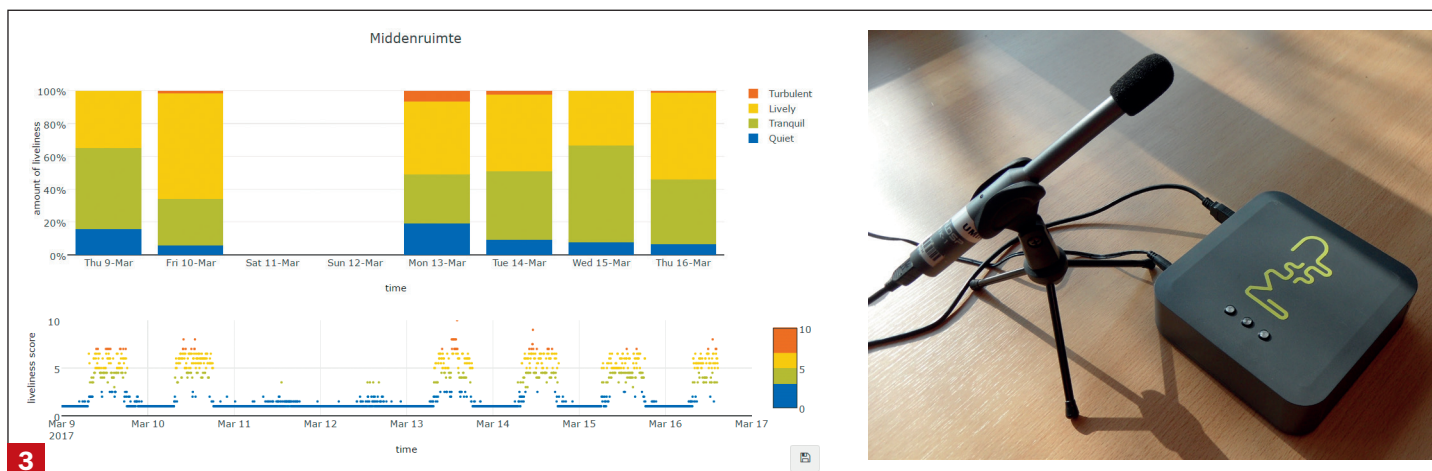
Voor het bepalen van de productiviteit is er veel internationaal onderzoek uitgevoerd (onder andere door REHVA [7]), veelal onder geconditioneerde omstandigheden. Op basis van de daar gevonden relaties en de metingen aan de waarden voor temperatuur, luchtvochtigheid en CO₂-concentratie wordt het productiviteitspercentage bepaald. Dit percentage geeft aan hoe goed een werknemer kan presteren ten opzichte van werken bij optimale omstandigheden. Een productiviteit van 100% geeft dus aan dat de omstandigheden van het binnenklimaat optimaal zijn voor het uitvoeren van de werkzaamheden. Bij elk lager percentage is in theorie winst te behalen.

Een *Potential Productivity Index (PPI)* van 90% geeft ruimte voor een verbetering van 10%. Door deze PPI te combineren met uuropbrengst van medewerkers of met de personeelskosten, kan inzicht worden verkregen in het financiële potentieel dat met een beter binnenklimaat kan worden gerealiseerd.

De productiviteit wordt individueel beoordeeld voor de aspecten temperatuur, frisheid en schone lucht. Het totale effect wordt vanwege de onderlinge beïnvloeding enkel berekend op basis van het maatgevende (slechtst scorende) aspect (figuur 2). Door inzicht te geven in de individuele aspecten wordt duidelijk wat een verbetering van het binnenklimaat kan opbrengen. Op basis daarvan kan een plan worden gemaakt voor het verbeteren van de productiviteit, wat dat kost en wat het opbrengt.

LEVENDIGHEID GELUID

Een wetenschappelijke relatie tussen geluid en het ervaren comfort en de productiviteit is op basis van literatuur lastiger vast te leggen. Dat geluid een belangrijke factor voor discomfort is weten we uit breed uitgezette enquêtes



3 Interpretatie van geluid naar Levendigheid met de Mach Index (MI)

[4][5]. Bij hoge geluidsniveaus ervaren mensen doorgaans minder comfort. Uit onderzoek blijkt dat de productiviteit met name wordt beïnvloed door de mate van afleiding door geluid. Of geluid wel of niet afleidt, hangt af van het soort geluid en het soort activiteit dat iemand uitvoert. Verder blijkt dat onze persoonlijkheid en emotionele toestand belangrijke factoren zijn. Kortom, de waardering van geluid is erg afhankelijk van de persoonlijke voorkeur en de te verrichten activiteiten. Het is daardoor erg lastig, zo niet onmogelijk, om de invloed van geluidsniveaus op comfort en productiviteit in de praktijk vast te stellen.

In de moderne kantooromgevingen met Activiteit Gerelateerd Huisvesten zien wij de interpretatie van geluid als maatwerk. In een stille zone is stilte een voorwaarde voor comfort. Voor een interactieve zone gaat meer geluid juist samen met meer kansen op ontmoeting, informatieoverdracht en inspiratie. Op basis van geluidsniveaus en de dynamiek van het geluid heeft M + P een geheel eigen interpretatie gegeven aan de geluidsomgeving in kantoren door de grootheid *levendigheid* te introduceren. De onderliggende formules stellen wij voortdurend bij op basis van ons doorlopende onderzoek, waarbij de mate van levendigheid wordt gekwalificeerd in praktijksituaties en bij het afluisteren van geluidsfragmenten.



Mach Index (MI)

Het MACH systeem bestaat uit een geluidssensor (microfoon) en een interpretatie naar de mate van levendigheid volgens de categorieën *Stil - Rustig - Levendig - Turbulent* (figuur 3). Dit maakt het mogelijk gedurende een langere tijd het geluidsniveau en de dynamiek in het geluid te registreren én te interpreteren. Per sensorpunt kan de verdeling van geluidservaring worden weergegeven in de gewenste tijdsperiode. Door de posities van de geluidssensoren slim te kiezen kan de geluidsomgeving in kaart worden gebracht en de afstemming tussen activiteiten en de daarvoor beoogde ruimten worden verbeterd. Ook kan het effect van een bouwkundige ingreep op deze manier goed worden vastgesteld.

TOEPASSING ICR IN KANTOORGEBOUWEN

Binnen een kantoorgebouw is een veelheid aan 'comfortomgevingen' aanwezig. Het verzamelen van meetgegevens is een eerste stap, maar het interpreteren en overzichtelijk weergeven per gebouwniveau is daarbij een belangrijke en onmisbare tweede stap. Hierdoor krijgt de gebruiker snel zicht op de kwaliteit van de temperatuur, frisse lucht of schone lucht in verschillende ruimten. Ter illustratie zullen we uit de opdrachtportefeuille van QwikSense twee kantoorgebouwen behandelen, waarbij de ICR is gebruikt om het gemiddelde comfortniveau als gevolg van het binnenmilieu in kaart te brengen.

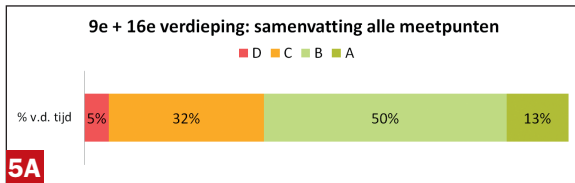
Stadskantoor Utrecht

In de nieuwbouw van het Stadskantoor Utrecht (figuur 4) wordt gedurende de eerste jaren na ingebruikname het comfort gevolgd aan de hand van ICR-metingen. De metingen worden verricht op twee representatieve verdiepingen, de 9^e verdieping voor de laagbouw en de 16^e verdieping voor de hoogbouw. Er zijn in totaal 61 sensoren geplaatst, waarvan 43 sensoren op de 9^e verdieping en 18 sensoren op de 16^e verdieping. In dit artikel worden de eerste resultaten behandeld, zoals gemeten over de periode van juli tot en met december 2016.

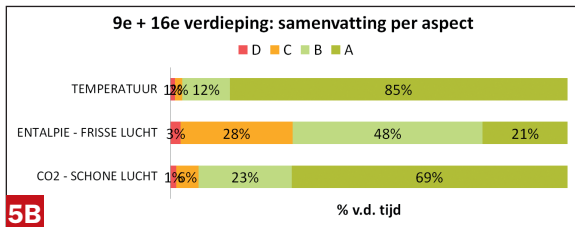
De weergave van de ICR-totaal van alle sensoren samen geeft een eerste indicatie van de kwaliteit van het comfort. Vervolgens kan worden doorgeschakeld naar het comfort per gebouwvloer of per ruimte. In figuur 5 is de samenvatting gegeven van alle meetpunten in de ICR-totaal balk en per onderdeel. De uitwerking liet zien dat



4 Nieuwbouw stadskantoor Utrecht (bron: Kraaijvanger Architects)



Weergave ICR totaal - 9^e en 16^e verdieping stadskantoor Utrecht



Weergave ICR per onderdeel - 9^e en 16^e verdieping stadskantoor Utrecht

de resultaten van beide verdiepingen zeer vergelijkbaar zijn. Voor de verdere analyse zal alleen op de 9^e verdieping worden ingegaan. Uit figuur 5B komt als eerste aandachtspunt het onderdeel frisse lucht naar voren en vervolgens het onderdeel schone lucht. De binnenlucht-temperatuur geeft de minste aanleiding voor verbetering.

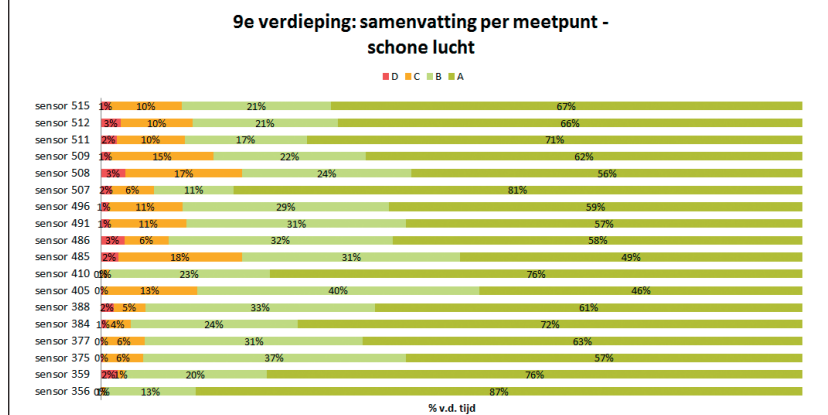
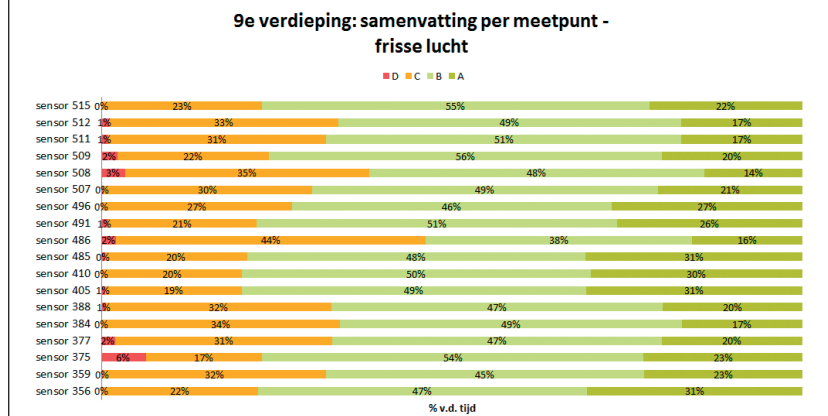
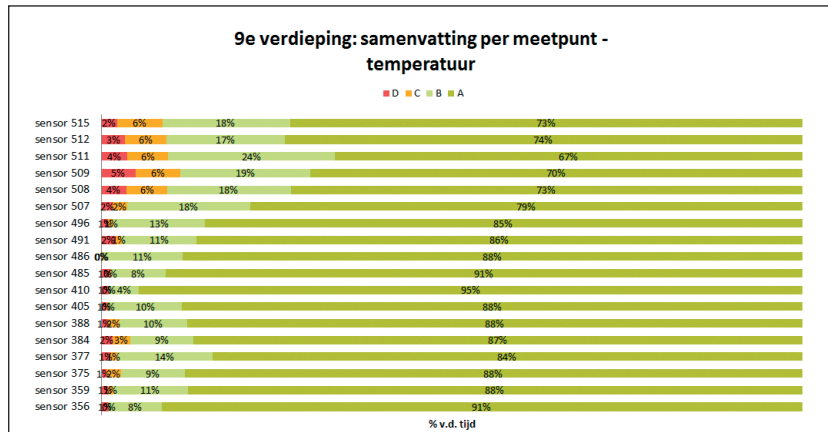
Voor de 9^e verdieping zijn in figuur 6 de resultaten per onderdeel zichtbaar gemaakt op sensorniveau voor een aantal meetpunten. Zoals gezegd komt het onderdeel frisse lucht als eerste aandachtspunt naar voren. Aangezien de frisheid/bedomptheid van de lucht wordt beoordeeld op basis van de combinatie van temperatuur en RV is het interessant om te kijken of de percentages voor klasse C en D terug te vinden zijn in de percentages van de temperatuur balkjes. Aangezien dit niet het geval is, is een hoge RV bepalend (ten gevolge van vochtige buitenluchtcondities). Verbeterpotentieel is eventueel te vinden in het verfijnen van de temperatuurafstemming en de doorspoeling van de ruimten met verse lucht (bijvoorbeeld in de omgeving van het meetpunt 508).

Kantoor Heembouw

Heembouw Kantoren, onderdeel van Heembouw Groep, profileert zich als specialist op het gebied van integrale kantoorrenovaties. Een klantgerichte aanpak met een duidelijk resultaat, waarbinnen aandacht is voor alle wensen op het gebied van verduurzaming, comfortverbetering, werkplekinrichting (Het Nieuwe Werken) en het verzorgen van een nieuwe uitstraling.

Het snel inzichtelijk maken van comfort past daarom goed in hun aanpak. Als test werden in het hoofdkantoor van Heembouw in Roelofarendsveen (figuur 7) 27 sensoren ondergebracht in zowel de open als de besloten kantoorruimten om de werking te testen en daarmee klanten te kunnen adviseren. Daarnaast wordt de output gebruikt voor het treffen van eventuele verbeteringen bij de komende renovatie van dit pand.

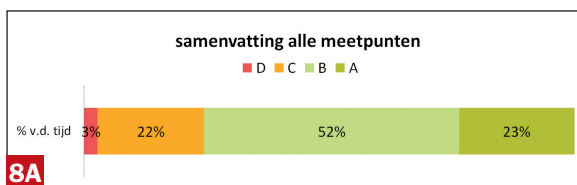
In figuur 8 is de samenvatting gegeven van alle meetpunten in de ICR-totaal balk en per onderdeel. Ook in dit pand duiden de resultaten op een goed tot zeer goed comfortniveau. Voor dit pand zijn de meetresultaten vooral ingezet om de mogelijkheden te ontdekken met de toe-



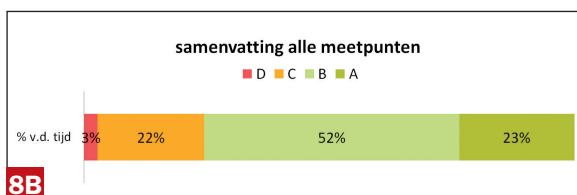
Weergave ICR per onderdeel en per meetpunt - 9^e verdieping stadskantoor Utrecht



7 Kantoor Heembouw Roelofarendsveen



Weergave ICR totaal - kantoor Heembouw Roelofarendsveen



Weergave ICR per onderdeel - kantoor Heembouw Roelofarendsveen

passing van de ICR-methode. Diverse ruimten en toepassingen zijn met elkaar vergeleken, waarbij gevarieerd werd met installatiezones (oudbouw en nieuwbouw), verdiepingen, open en gesloten ruimten. Daarnaast is een mogelijke koppeling met het Gebouw Beheer Systeem onderzocht.

De belangrijkste conclusie was dat er sprake was van een goed tot zeer goed comfort op alle onderdelen. Aan de hand van de meetresultaten zijn op detailniveau wel enkele verbeterpunten geformuleerd:

- Een normale kantoorruimte wordt één keer per week als projectkamer gebruikt (zichtbaar in bovengemiddelde CO₂ gehalten).
Verbeterpunt: Aanpassing ruimtegebruik.
- Vergaderruimten worden 's ochtends extra verwarmd op basis van individuele voorkeur en worden na gebruik niet automatisch naar beneden bijgesteld.
Verbeterpunt: Aanpassing installatieschakeling.

Deze verbeterpunten worden meegenomen in de uitwerking van de renovatie die dit jaar van start gaat.

TOEPASSING ICR IN SCHOOLGEBOUWEN

Scholen kampen vaak met het dilemma van beperkte middelen en een minder gezond binnenmilieu. Zo ook de Montessorischool in Beverwijk (figuur 9). Samen met QwikSense en M + P gingen zij op zoek naar wegen waar wél stappen te maken waren.



Montessorischool Beverwijk

Montessorischool Beverwijk

De school is gebouwd in de jaren '70 en maakt gebruik van natuurlijke ventilatie. In de school werden in 2015 gedurende het gehele jaar 11 sensoren geplaatst in de lokalen en de peuterspeelzaal.

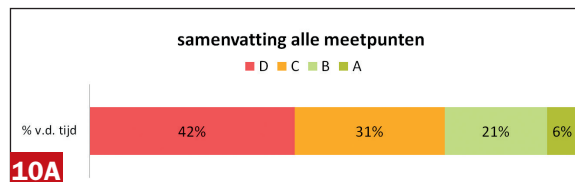
In figuur 10 is de samenvatting gegeven van de gemiddelde ICR van alle meetpunten per onderdeel, evenals de totaalscore voor de gehele school. Zoals verwacht was schone lucht het eerste grote aandachtspunt. Daarop volgde de temperatuur als een belangrijk tweede aandachtspunt op basis van het percentage voor klasse D.

In de school werd duidelijk het effect van gedrag zichtbaar. In enkele lokalen werd actief gereageerd op de feedback van de meetgegevens. In deze lokalen werden tijdens de lessen of de pauze de ramen in de buitengevel geopend of werden de gangdeuren even opengezet. Dit bracht een duidelijk voordeel. Vanwege een verhoogde doorstroming van het gebouw ontstond een duidelijke daling van de CO₂-concentratie. In figuur 11 is als voorbeeld de data weergegeven van een koude winterweek voor een lokaal waarin het gedrag een duidelijk positieve bijdrage had op de gemeten CO₂ waarden (mp55). Ter vergelijking zijn ook meetpunten weergegeven in een lokaal (mp47) en in de peuterspeelzaal (mp45), waarin geen sprake was van gewijzigd gedrag.

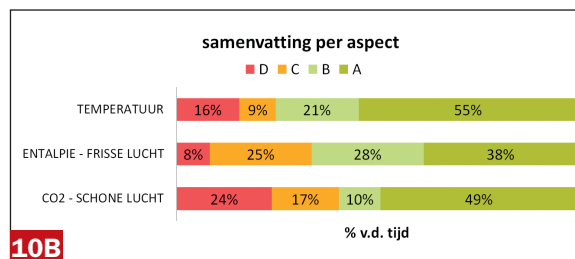
In de lokalen met ongewijzigd gedrag zijn op maandag CO₂-concentraties gemeten tot een maximum van ongeveer 2.800 ppm. In het lokaal met gewijzigd gedrag zijn veel lagere waarden gemeten tot een maximum van ongeveer 1.200 ppm. De grafieken laten ook een bijeffect zien, namelijk dat het openen van ramen zorgt voor een lagere binnenluchttemperatuur.

In gesprek met de school zijn de volgende verbeterpunten geformuleerd:

- Het aanbrengen van ventilatieroosters in alle lokalen, naast de bestaande aanwezige klepramen. In enkele lokalen zijn al roosters aanwezig met een duidelijk positief resultaat op de ICR.
- Het aanbrengen van ventilatieroosters naar gangen. Hiermee wordt doorstroming van het gebouw bevorderd met behoud van afsluitbare lokalen.



Weergave ICR totaal - Montessorischool Beverwijk

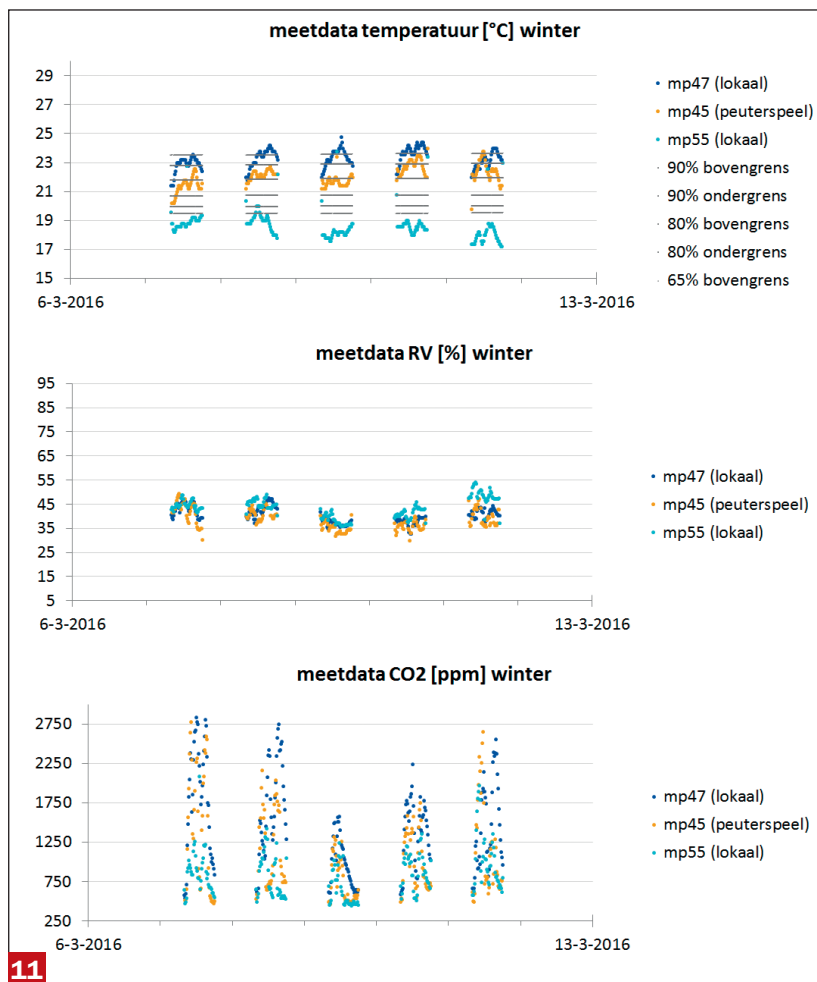


Weergave ICR per onderdeel - Montessorischool Beverwijk

Met deze punten is een optimum gezocht in de verbetering van de gezonde leefomgeving met beperkte kosten. ■

BRONNEN

- ▶ [1] Akoestisch comfort bij open kantoor concepten, M+P, Bouwfysica 2011-4
- ▶ [2] Akoestisch comfort bij (open) flexibele kantoorconcepten: lessen uit de praktijk, M+P, Bouwfysica 2013-4
- ▶ [3] Defining the Acoustic Environment of (semi-)open Plan Offices, M+P, Acoustics in Practice International e-Journal of the European Acoustics Association (EAA) Vol. 2 No. 2 December 2014
- ▶ [4] 15 jaar CFPB-onderzoek in vogelvlucht, presentatie 15 jarig bestaan Center for People and Buildings, november 2016
- ▶ [5] www.leesmanindex.com/leesman-review/: laatste uitgave Leesman review issue 21, oktober 2016
- ▶ [6] Whitepaper M+P Gezonde en productieve gebouwen, mei 2016 te downloaden op www.mp.nl/actueel/whitepaper-gezonde-en-productieve-gebouwen
- ▶ [7] REHVA Guidebook 6, Indoor Climate and Productivity in Offices: How to Integrate Productivity in Life-Cycle Cost Analysis of Building Services, Andersson, Boerstra, Clements-Croome, Fitzner, Hanssen, bewerkt door Pawel Wargocki en Olli Seppänen, 2006



11

Weergave meetdata per onderdeel en per meetpunt - Montessorischool Beverwijk

■ WIL JE BIJDAGEN AAN DE
ONTWIKKELING VAN BOUWFYSICA?
WIJ ZOEKEN ENTHOUSIASTE
REDACTIE- EN COMMISSIELEDEN

redactie@nvbv.org

