

Is GBS data voldoende voor lange-termijn monitoring van het binnenklimaat?

Diverse studies hebben het belang van het monitoren van gebouwen in gebruik aangetoond [1–4]. De verzamelde data geeft inzicht in het energieverbruik en de binnenklimaatkwaliteit van gebouwen en kan worden ingezet om de prestatie van gebouwen te controleren en optimaliseren [1–3,5]. Echter in de huidige normen, als ISO 7730 [6], NEN-EN 1525 [7], ANSI/ASHRAE standard 55 [8] en Nederlandse ISSO-richtlijnen wordt weinig informatie verstrekt over het constant meten van het binnenklimaat in open-kantoorvloeren [9–12]. Deze situatie kan leiden tot incorrecte conclusies, waarbij gemeten data onvoldoende de werkelijke comfortomstandigheden weerspiegelen. Dit kan weer gevolgen hebben voor de gezondheid en productiviteit van de werknemers [7,12–14] en het energieverbruik van het gebouw [7,9,15]. Om in de toekomst de binnenklimaatkwaliteit van open-kantoorvloeren nauwkeuriger te bepalen met behulp van sensoren, zijn in dit onderzoek het aantal en de positie van de sensoren ter discussie gesteld.

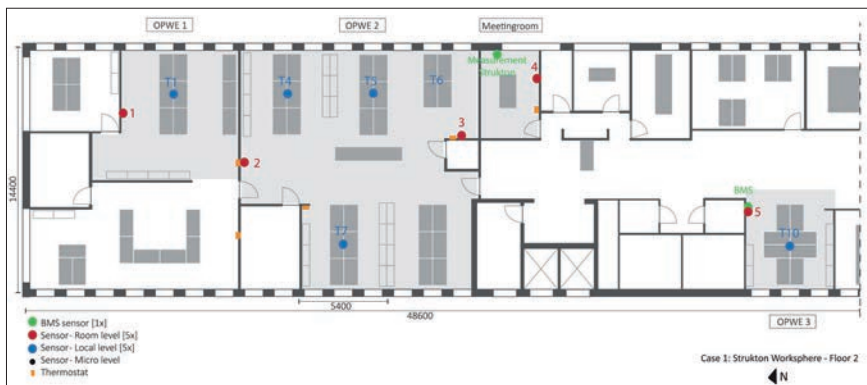
L. Kooi, A.K. Mishra, M.G.L.C. Loomans, J.L.M. Hensen (allen Department of the Built Environment, Unit Building Physics and Services, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, the Netherlands); L. Pennings, Strukton Worksphere

Met de ontwikkeling van goedkopere en betere sensoren gaat het monitoren van gebouwen een steeds belangrijkere rol spelen. Op het moment wordt een groot deel van de binnenklimaatdata verzameld met behulp van sensoren van het Gebouwbeheersysteem (GBS). Door middel van het GBS kunnen de installaties centraal aangestuurd worden en efficiënt beheerd worden. Gezien het GBS vooral gefocust is op het functioneren van de

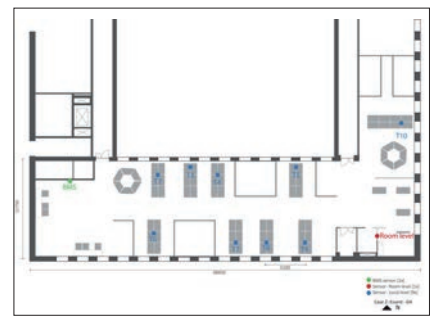
elektrische en werktuigbouwkundige installaties, zijn er diverse dataplatforms ontwikkeld om de grote hoeveelheid data automatisch te analyseren en visualiseren op het gebied van binnenklimaat. De betrouwbaarheid en toepasbaarheid van deze analyse is sterk afhankelijk van de kwaliteit en interpretatie van de data [9].

Voor een monitoringsproces is het essentieel dat de gemeten data representatief is voor de

werkelijke comfortsituatie. De representativiteit van data hangt samen met de locatie van de GBS sensoren en het aantal sensoren, ervan uitgaande dat de sensoren naar behoren werken. Echter, het monitoren van de binnenklimaatkwaliteit in open-kantoorvloeren is complex. Door de grote oppervlakte, variatie in bezetting en diversiteit in functiegebruik van de ruimte, in combinatie met het gebrek aan informatie over het minimaal vereiste



Figuur 1: Plattegrond van Kantoor A. De open-kantoorvloer is opgesplitst in meerdere kleinere ruimtes (OPWE 1, 2 & 3) aangegeven in het grijs (OPWE = Open Plan Work Environment).



Figuur 2: Plattegrond van Kantoor B. De GBS sensor bevindt zich in de linker hoek van het kantoor, waarbij een extra sensor is geplaatst aan de rechter kant van de plattegrond. De sensoren op lokaal niveau zijn weergegeven in het blauw.

aantal en positionering van sensoren, is er veel discussieruimte voor de manier van monitoren. Dit heeft tot gevolg dat de binnenklimaatkwaliteit op open-kantoorvloeren vaak op verschillende manieren gemeten wordt. Door het scherper formuleren van richtlijnen over de sensorpositionering en door meer informatie te verschaffen over het monitoren van de binnenklimaatkwaliteit kunnen in de toekomst incorrecte conclusies voorkomen worden. Het doel van deze studie is om daar een bijdrage aan te leveren.

METHODE

Om de binnenklimaatkwaliteit op langere termijn beter te kunnen beoordelen met behulp van sensoren, is het binnenklimaat van twee bestaande open-kantoorvloeren geanalyseerd gedurende twee meetperiodes in 2017: februari en mei voor kantoor A en de maanden april en juni voor kantoor B. Alhoewel de oppervlakte van beide open-kantoorvloeren afwijkend was (kantoor A = 140 m² & kantoor B = 620 m²), hadden beide kantoren veel overeenkomsten. Het klimaat werd gereguleerd met een inductiesysteem

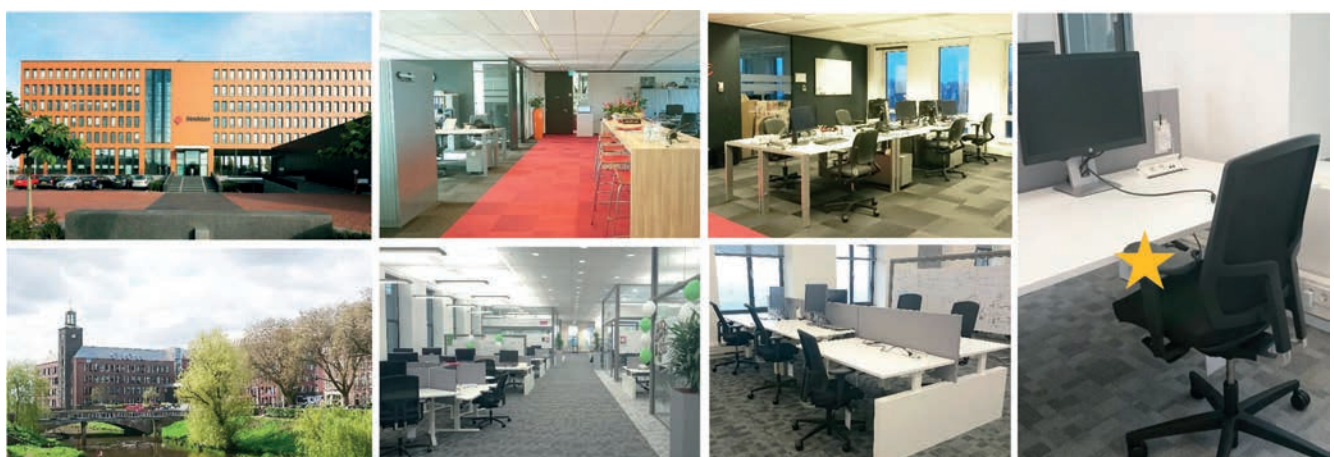
en gecontroleerd door één GBS sensor aan de wand (1.5 m boven de vloer). De GBS sensor registreerde elke vijf minuten de binnentemperatuur en relatieve luchtvochtigheid (RV), waarbij de data werd verzameld en geanalyseerd in een dataplatform [16]. Gedurende de werkweek was er een grote variatie in bezetting, afwisselend van 30 tot 70 werknemers, waarbij men wisselde van werkplek. De werknemers konden beperkt invloed uitoefenen op het binnenklimaat door lokale thermostaten te veranderen of door het inzetten van rolgordijnen aan de binnenzijde van de gevel. In beide case studies ontbrak een uitwendig zonneweringssysteem.

OBJECTIEVE METINGEN

Per kantoor zijn er gedurende de twee meetperiodes extra sensoren geplaatst op verschillende locaties verspreid over de ruimte (figuur 1 & 2). Bij het plaatsen van de sensoren is er onderscheid gemaakt tussen drie niveaus: kamerniveau, lokaalniveau en microniveau (figuur 3). De sensoren op kamerniveau (Transmitter GD47, Eltek) moesten inzicht geven in de comfortcondities van de gehele

kantoorvloer en waren hierdoor geplaatst volgens dezelfde Nederlandse richtlijnen als de aanwezige GBS sensor [17,18]. Elke twee minuten registreerden de kamersensoren CO₂-concentratie, RV en luchttemperatuur. Uit eerdere binnenklimaatmetingen is gebleken dat de geregistreerde luchttemperatuur kan worden beïnvloed door stralingsbronnen [19]. Om de invloed van deze straling op de luchttemperatuurmeting mee te nemen, definiëren we de geregistreerde luchttemperatuur in de rest van het artikel als integrale temperatuur (Temp_{int}). Met de definitie Temp_{int} willen we dus aanduiden dat de gemeten luchttemperatuur beïnvloedt kan zijn door stralingsbronnen.

De sensoren op lokaalniveau maten de thermische condities rond een werkplek op dezelfde manier als de kamersensoren. Echter nu zijn de lokale sensoren niet tegen de wand, maar nabij de verschillende werkplekken geplaatst op een hoogte van 1.1 m gerekend vanaf de vloer. De sensoren op microniveau waren gericht op de thermische condities rondom



Figuur 3: Afbeeldingen van Kantoor A (d-f) en Kantoor B (a-c), waarbij iedere afbeelding het meetniveau weergeeft: b) & e) kamerniveau, c) & f) lokaalniveau en g) microniveau. De iButton is geplaatst op de plek waar nu de ster in g) staat weergegeven.

één persoon. Op elke meet-dag werden er vier tot zes werknemers willekeurig geselecteerd. Bij iedere geselecteerde werknemer werd aan de zijkant van de bureaustoel een iButton (DS1921, Maxim) bevestigd, waarbij de iButton elke minuut de $Temp_{int}$ rondom de werknemer registreerde. In het onderzoek is parallel onder andere ook de perceptie van de gebruikers onderzocht met behulp van een korte 'right-now' vragenlijst. Deze resultaten zullen hier echter niet verder worden besproken.

DATA-ANALYSE

De data van de verschillende sensoren werden automatisch opgeslagen door een Data Logger (Grant SQ 1000 series) en verzameld in Matlab (R2016b). Voor alle statistische analyses is IBM SPSS Statistics 23 gebruikt. Voor de data-analyse zijn alleen de werkuren van 8:00 tot 18:00 in beschouwing genomen. Data van de twee kantoorvloeren is apart geanalyseerd, maar data van de twee verschillende periodes gemeten binnen één kantoor zijn samengevoegd. In de resultaten kon er geen verband aangetoond worden tussen de temperaturen binnen en buiten, waardoor het niet nodig was om onderscheid te maken tussen de verschillende meetperiodes van één kantoor. Statistisch significante verschillen werden onderzocht met de Mann-Whitney U-test, waarbij er gesproken wordt van een significant verschil tussen variabelen bij een p-waarde kleiner dan 0.05. Correlaties werden bepaald met behulp van de Pearson productmoment-correlatie.

RESULTATEN & DISCUSSIE

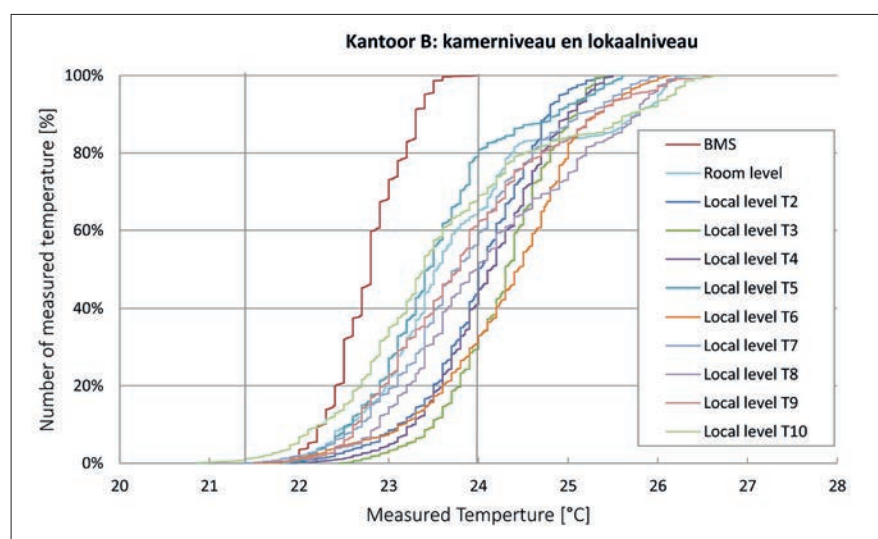
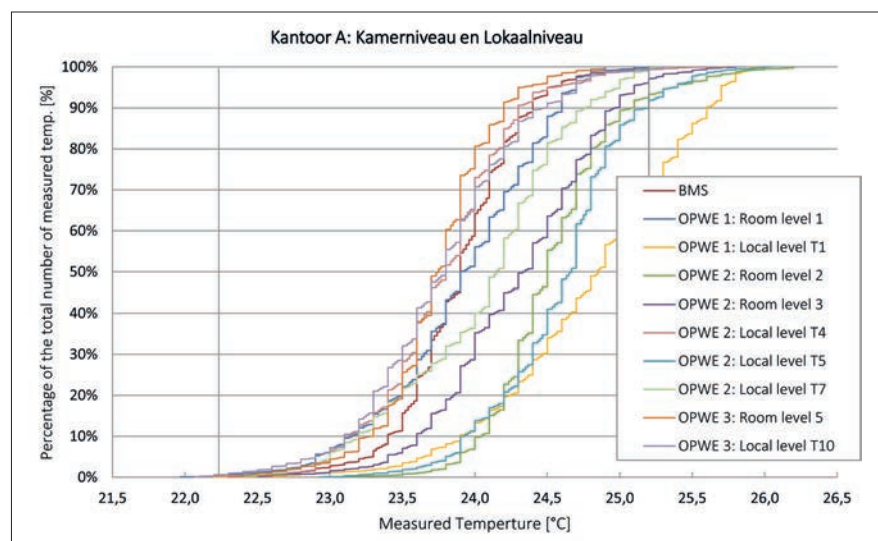
GBS data in vergelijking tot data van kamerniveau, lokaalniveau en microniveau

Bij een nauwkeurige binnenklimaatmeting zou de GBS-data representatief moeten zijn voor de comfortcondities op de gehele werkvloer. Om deze reden zijn de verschillen geanalyseerd tussen de GBS data en de data van de drie verschillende niveaus voor CO_2 -concentratie, RV en $Temp_{int}$. In zowel kantoor A als kantoor B was er voor de parameters CO_2 -concentratie en RV geen significant verschil tussen data van het GBS en de extra geplaatste sensoren. Met andere woorden: de CO_2 -concentratie en RV tussen de verschillende locaties weken nauwelijks van elkaar af. Hierdoor kunnen we concluderen dat de GBS sensoren in beide kantoren voldoende informatie gaven over de CO_2 -concentratie en RV van het totale vloeroppervlak. Het plaatsen van extra sensoren voor CO_2 of RV is hierdoor niet nodig. Echter, de CO_2 -concentratie en RV in een ruimte is afhankelijk

van het functioneren van het ventilatiesysteem [15]. Een uniforme CO_2 -concentratie en RV kan alleen bereikt worden indien de ventilatie meer dan voldoende is. In kantoor A en kantoor B was dit het geval, maar dit hoeft niet per definitie op te gaan voor andere cases.

In tegenstelling tot de CO_2 -concentratie en RV in kantoor A en kantoor B werden wel diverse significante verschillen gevonden voor de $Temp_{int}$ tussen de GBS sensor en de extra geplaatste sensoren. Om de verschillen in temperatuur over de ruimte op een overzichtelijke manier weer te geven is de data geplot in een cumulatieve frequentie distributie grafiek (figuur 4). De verschillen tussen de sensoren zijn klein indien de lijnen volgens hetzelfde patroon lopen en zich binnen hetzelfde temperatuurbereik bevinden. Het temperatuurbereik van de GBS sensoren zijn hierbij met stipellijnen aangegeven. In

de beste situatie zijn de verschillen tussen de sensoren en GBS sensor minimaal. De GBS data zijn dan representatief voor de thermische situatie van de betreffende locatie. In figuur 4 is echter te zien dat het temperatuurbereik en patronen voor diverse locaties afwijken van de GBS data. Voor beide kantoren viel de gemeten temperatuur gemiddeld meer dan 1°C hoger uit dan de GBS waarde, met uitzondering van de kamersensor 5 en de lokale sensor T10 in kantoor A (Figuur 1). Zeer waarschijnlijk worden deze verschillen in $Temp_{int}$ voornamelijk veroorzaakt door de aanwezigheid van lokale warmtebronnen als mensen, computers en zonnestraling. In zowel kantoor A als B was de GBS-sensor op meer dan 3 m afstand geplaatst van de werktafels. Door de afstand was het niet mogelijk voor de GBS-sensoren om de variatie in lokale warmtebronnen te registreren, met als gevolg dat de GBS-sensoren in vergelijking tot de



Figuur 4: CFD grafiek van kantoor A en kantoor B, waarbij de temperatuurdomein van de GBS data is aangegeven met de grijze verticale lijnen.

extra sensoren een kleiner temperatuurbereik hebben en de hogere temperaturen niet registreren. De onnauwkeurigheid van de GBS-sensor heeft invloed op de conclusies van het dataplatform en daarmee de binnenklimaatprestatie. De afstand tussen de GBS-sensor en de werktafels is dus een belangrijke indicator voor de betrouwbaarheid van de temperatuurmeting.

het niet mogelijk om betrouwbare conclusies uit de microdata op te maken. Een gedetailleerdere meting, zoals op microniveau, resulteert dus niet altijd in relevantere informatie. Hiervoor zullen de micrometingen moeten worden uitgebreid, waardoor we ook informatie krijgen van bijvoorbeeld de activiteit van de geselecteerde werknemer, de positie van de stoel en de invloed van warmtebronnen.

In kantoor A is er ongeacht de afstand tussen sensoren altijd een zwakke relatie ($r < 0.401$, $p < 0.05$) te vinden tussen de data van de GBS sensor en data van de sensor geplaatst in de andere ruimte. Het maakt hierbij geen verschil of het gaat om een sensor geplaatst op kamerniveau of op lokaal niveau. Om representatieve thermische gegevens in kantoor A te verzamelen is voor elke aparte open ruimte een eigen GBS sensor vereist. In kantoor B resulteert een grotere afstand tussen sensoren in een zwakkere correlatie. Een sterkere correlatie zou kunnen worden bereikt door het plaatsen van één extra GBS sensor in de ruimte, waarbij ze zich met een afstand van 20 m tot elkaar bevinden (Figuur 5). Data van de twee GBS sensoren samen zullen voldoende informatie geven over de temperatuurverschillen. Hierbij heeft de dichtstbijzijnde ruimtesensor de sterkste correlatie met data van de lokale sensor.

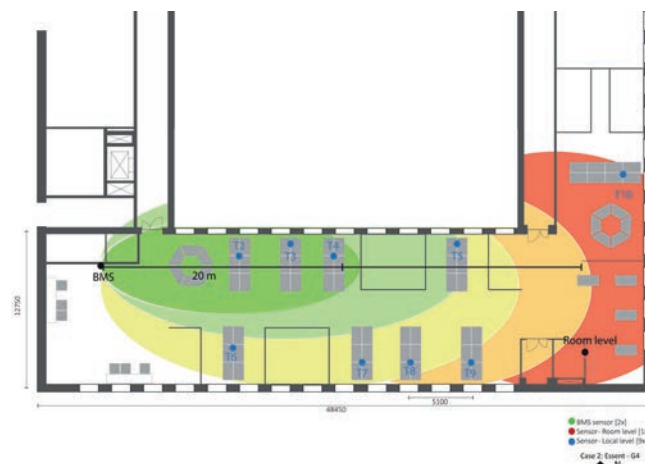
Kantoor A heeft dus ondanks het kleinere oppervlak meer ruimtesensoren nodig dan Kantoor B. Het verschil in aantal sensoren is voornamelijk te verklaren aan de hand van het ontwerp van de kantoorvloeren. Kantoor A bestaat uit meerdere open ruimtes gescheiden door wanden, terwijl kantoor B nauwelijks obstakels heeft. Het aantal sensoren en de afstand tussen sensoren hangt dus sterk af van het kantoorgebouw, waarbij vooral het ontwerp van het kantoor en de aanwezigheid van obstakels belangrijk zijn om mee te nemen in de overweging. Algemene richtlijnen sensorpositionering Door het plaatsen van sensoren op drie meetniveaus en het vergelijken van de data met de data van het GBS zijn we tot nieuwe inzichten gekomen. Alhoewel de meeste resultaten afhankelijk zijn van het kantoorgebouw kunnen we op basis van het onderzoek enkele algemene richtlijnen formuleren om het lange-termijn monitoren van het binnenklimaat

Table		GBS sensor		Room sensor		Local sensor	
Kantoor A	T1	BMS ~ Local T1	0.306	Room ~ Local T1	0.855		
		BMS ~ Micro T1	0.401	Room ~ Micro T1	0.357	Local T1 ~ Micro T1	0.352
	T5	BMS ~ Local T5	0.267	Room ~ Local T5	0.728		
		BMS ~ Micro T5	0.279	Room ~ Micro T5	0.479	Local T5 ~ Micro T5	0.492
	T10	BMS ~ Local T10	0.955	Room ~ Local T10	0.941		
	Table		GBS sensor		Room sensor		Local sensor
Kantoor B	T4	BMS ~ Local T4	0.847	Room ~ Local T4	0.717		
		BMS ~ Micro T4	0.434	Room ~ Micro T4	0.685	Local T4 ~ Micro T4	0.755
	T6	BMS ~ Local T6	0.687	Room ~ Local T6	0.678		
		BMS ~ Micro T6	0.512	Room ~ Micro T6	0.655	Local T6 ~ Micro T6	0.624
	T8	BMS ~ Local T8	0.657	Room ~ Local T8	0.881		
		BMS ~ Micro T8	0.634	Room ~ Micro T8	0.704	Local T8 ~ Micro T8	0.868
	T10	BMS ~ Local T10	0.095	Room ~ Local T10	0.891		

Tabel 1: Pearson product moment correlatie van GBS data en data van kamerniveau, lokaal niveau en microniveau. Waar $p < 0.001$. De waarde r is een indicatie voor de sterkte van de correlatie. Hoe dichter de waarde r bij de 1 bevindt, hoe sterker de correlatie is.

Onnauwkeurige metingen zouden voor een deel voorkomen kunnen worden door de afstand van de GBS sensor tot de werktafels te beperken. De resultaten laten zien dat de verschillen in Tempint minimaal zijn bij sensoren die zich bevinden in een straal van 3 m tot de werktafels. Bijvoorbeeld, in OPWE 3 van kantoor A (figuur 1) bevonden zich drie sensoren binnen een afstand van 3 m tot de werktafels. De verschillen tussen deze sensoren waren minimaal en er kon geen significant verschil worden aangetoond tussen de GBS data en de data gemeten op lokaal niveau. Aangezien de afstand tussen de microsensoren en de bijhorende lokale sensoren niet meer dan 3 m is zou men op basis van de vorige resultaten verwachten dat er tussen deze twee type sensoren ook nauwelijks sprake is van een temperatuurafwijking. Echter deze verwachting werd niet bevestigd door de meetresultaten. De gemeten microwaarden wijken onderling sterk af en komen niet overeen met de waarden op lokaal niveau. Per dag, per persoon en per tafel werden er andere temperaturen gemeten. De verschillen in microtemperatuur zijn op basis van de huidige data moeilijk te verklaren en veronderstellen individuele (persoonlijke) lokale effecten die de temperatuur beïnvloeden. Hierdoor was

Naast de afstand van de sensor tot de werktafel, speelt ook het aantal sensoren een belangrijke rol in de kwaliteit van data. Voor een betrouwbare binnenklimaatkwaliteit meting is er een minimaal aantal GBS-sensoren nodig. Om een betere indicatie te krijgen van het aantal sensoren in een open-kantoorvloer is het verband tussen de GBS data en data van kamerniveau, lokaal niveau en microniveau bestudeerd. Tabel 1 laat enkele correlaties zien. In de resultaten van beide kantoren is een duidelijk verschil zichtbaar.



Figuur 5: Plattegrond van Kantoor B, waarbij de invloed van zonnestraling en afstand tussen sensoren op de correlatie tussen GBS data en data van lokaal niveau schematisch is weergegeven.

in de toekomst te verbeteren.

Door de veranderende bezetting en aanwezigheid van computers en zonnestraling in open-kantoorvloeren is er vaak sprake van een grote variatie in warmtebronnen over de ruimte. Gezien de grote invloed van warmtebronnen op $Temp_{int}$ is het voor de kwaliteit van data belangrijk dat de variatie in warmtebronnen geregistreerd kunnen worden door de GBS sensor. Hierdoor is het aan te bevelen om de GBS sensoren niet verder dan 3 meter van de werktafels te plaatsen. Binnen deze afstand kan de GBS sensor lichte variaties in warmtebronnen registreren.

Daarnaast is voor een betrouwbare meting ook een minimaal aantal GBS sensoren nodig. Het aantal sensoren is sterk afhankelijk van het ontwerp van de open-kantoorvloeren en is hierdoor lastig om te zetten in algemene richtlijnen. De methode beschreven in dit onderzoek, i.e. een tijdelijke plaatsing van extra sensoren en data-analyse, zou als hulpmiddel kunnen worden gebruikt om het minimale aantal sensoren voor andere open-kantoorvloeren vast te stellen of huidige monitorsystemen te corrigeren.

Daarnaast laat dit onderzoek zien dat een gedetailleerde meting op lokaal niveau en microniveau niet automatisch tot representatieve data leidt. In het geval van microniveau wordt het vaststellen van de binnenklimaatkwaliteit eerder complex en zijn er geen algemene conclusies aan de data te verbinden. In beide kantoorgebouwen gaf het meten op kamerniveau voldoende representatieve informatie, met de voorwaarde dat er voldoende GBS sensoren aanwezig zijn en ze zich op een korte afstand tot de werktafels bevinden.

CONCLUSIE

Dit onderzoek is een veldstudie naar het monitoren van de binnenklimaatkwaliteit op open-kantoorvloeren, waarbij de positie van de GBS-sensoren en het aantal sensoren ter discussie worden gesteld. Resultaten van het onderzoek tonen een minimaal verschil in CO_2 -concentratie en relatieve luchtvochtigheid tussen de GBS, kamer- en lokale sensoren. Grotere verschillen zijn aangetoond voor $Temp_{int}$.

In zowel kantoor A als kantoor B, gaf de aanwezige GBS-sensor geen representatieve indicatie van de thermische condities van de ruimte. Lokale warmtebronnen en de afstand tussen sensoren hebben significant invloed op de betrouwbaarheid van de gemeten temperaturen. Hierdoor zal aan het begin van het ontwerpproces het aantal sensoren en de afstand tussen de sensor en de werktafel

in overweging genomen moeten worden.

Belangrijk hiervoor is de plattegrond van de open-kantoorvloer, zoals de aanwezigheid van ontsloten ruimtes en obstakels en het bestaan en fluctuatie van lokale warmtebronnen. Hierdoor is het aan te raden om de GBS-sensoren binnen een afstand van 3 meter tot de werktafels te plaatsen. Het meetprotocol als beschreven in deze studie zou kunnen worden ingezet om het aantal sensoren nader te bepalen of bestaande monitoringssystemen bij foutieve metingen te corrigeren.

De resultaten van deze studie zijn slechts gebaseerd op twee kantoorgebouwen met één bepaald ventilatiesysteem en onder specifieke weersomstandigheden. Om in de toekomst meer en scherpere algemene richtlijnen voor het monitoren van de binnenklimaatkwaliteit te formuleren is het aan te bevelen om de toepassing van de methode verder te ontwikkelen voor meer gevarieerde kantooromgevingen en wisselende klimaatomstandigheden.

REFERENTIE

- [1] A. Heller, M. Uhd, P. Fischer-Nilesn, J.K. Frederiksen, H. Juhler-Verdoner, E. Hansen, B. Torntoft, T. Kiar, H. Kronborg, F. Petersen, J. Andreasen, N.J. Andersen, S. Kuehn, K.E. Eriksen, P. Sattrup, S. Konngbro, J. Norgaard, Smart Buildings; Combining energy efficiency, flexibility and comfort, 2015. <https://stateofgreen.com/en/profiles/state-of-green/news/new-smart-buildings-white-paper-published>.
- [2] T. Ruponen, Improving energy performance of buildings through exploitation of available data, Aalto University, 2016.
- [3] A. Mahdavi, M. Taheri, An ontology for building monitoring, Build. Perform. Simul. 0 (2016) 1–10.
- [4] D. Raimondo, S.P. Corgnati, B.W. Olesen, M. Filippi, Indoor and Energy quality assessment in buildings, University of Turin, 2012.
- [5] P. Huovila, A. Lupisek, P.H. Lefebvre, P. Steskens, Indoor Performance and Sustainability; Monitoring and evaluation, in: European commission, 2010: pp. 557–564.
- [6] ISO, 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 criteria, International Organization for Standardization, 2005.
- [7] CEN, NEN-EN 15251; Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, Brussels, 2007.
- [8] ASHRAE - ANSI/ASHRAE Standard 55-2013, Thermal environmental conditions for human occupancy, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2013.
- [9] D. Heinzerling, S. Schiavon, T. Webster, E. Arens, Indoor environmental quality assessment models: A literature review and a proposed weighting and classification scheme, Build. Environ. 70 (2013) 210–222.
- [10] P. De Wilde, The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation, Autom. Constr. 41 (2014) 40–49.
- [11] G. Augenbroe, C.-S. Park, Quantification methods of technical building performance, Build. Res. Inf. 33 (2005) 159–172.
- [12] J.H. Choi, V. Loftness, A. Aziz, Post-occupancy evaluation of 20 office buildings as basis for future IEQ standards and guidelines, Energy Build. 46 (2012) 167–175.
- [13] P.M. Bluysen, Towards new methods and ways to create healthy and comfortable buildings, Build. Environ. 45 (2010) 808–818.
- [14] A.K. Mishra, M.G.L.C. Loomans, J.L.M. Hensen, Thermal comfort of heterogeneous and dynamic indoor conditions — An overview, Build. Environ. 109 (2016) 82–100.
- [15] A.I. Dounis, C. Caraiscos, Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment-A review, Renew. Sustain. Energy Rev. 13 (2009) 1246–1261.
- [16] Strukton Worksperre, PULSE, (2015).
- [17] ISSO - publicatie 31, Meetpunten en meetmethoden voor klimaatinstallaties, Kennisinstituut voor installatietechniek, 1995.
- [18] B. Ankersmit, A.W. Brokerhof, W. Kragt, M.H.L. Stappers, N. Duggen, J. Jonge, de, J. Schonewille, H.H.E.W. Eijdem, M.H.J. Martens, H.L. Schellen, M. Otte, J.M. Tegelaers, Meten van het binnenklimaat; waarom, waar?, Instituut Collectie Nederland; Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap, 2010.
- [19] P. Van Kemenade, M.G.L.C. Loomans, S. Opschoor, J.L.M. Hensen, Building comfort performance assessment using a monitoring tool, in: Proc. 13th Int. Conf. Indoor Air Qual. Clim. (Indoor Air 2014), 2014: pp. 1–7.



dr. Asit Mishra



dr. ir. Marcel Loomans



ir. Linda Pennings