

Vooronderzoek naar het verband hiertussen

Ventilatie-debietten in klaslokalen en prestaties van scholieren

In vele onderzoeken is vastgesteld dat onvoldoende ventilatie met buitenlucht één van de voornaamste gebouwgerelateerde problemen is, die verband houdt met een slechte binnenluchtkwaliteit (Indoor Air Quality – IAQ). In een recent literatuuroverzicht laten Seppänen et al. [7] zien dat er een kwantitatieve relatie bestaat tussen de prestatie en de ventilatie in kantooromgevingen. Over schoolomgevingen worden er in de literatuur veel minder onderzoeken beschreven. Van oudsher wordt onvoldoende ventilatie in dergelijke omgevingen alleen beschouwd als een ‘indicator’ van nadelige effecten die zijn gerelateerd aan de binnenmilieus op scholen, en niet de als oorzaak ervan [4]. ASHRAE Standaard 62, ‘Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality’, heeft in het verleden een minimum van 8 l/s buitenlucht per persoon aangenomen voor klaslokalen [1]. Helaas is er weinig regelgeving over het binnenmilieu in klaslokalen [5]. In de Verenigde Staten regelen bijvoorbeeld slechts een aantal staten de binnenmilieus in scholen, en nog minder staten hebben een norm voor de minimale ventilatie in scholen. Geconfronteerd met budgettaire tekortkomingen, en de daaruit volgende tekortkomingen in personeel betreffende het beheer en het onderhoud, hebben scholen weinig stimulans en weinig mogelijkheden om de kinderen te beschermen tegen een slechte IAQ. Suggestief bewijs relateert lage ventilatie-debietten aan een afgenomen aanwezigheid [9] en aan de schoolprestaties van leerlingen [11]. Toch is er op dit gebied meer onderzoek nodig. In het bijzonder onderzoek waarin op lange termijn wordt bekeken in welke mate een slechte binnenluchtkwaliteit invloed heeft op het vermogen om te studeren of om te presteren, is zover bekend nog niet uitgevoerd¹. Om die reden is er een vooronderzoek verricht waarin ventilatievouden in klaslokalen zijn onderzocht in een schooldistrict in de Verenigde Staten. Daarnaast is er een relatie gelegd tussen de onderzochte ventilatievouden en de verminderde schoolprestaties van leerlingen. Voorafgaande resultaten, inclusief beschrijvende statistieken van ventilatievouden, zijn gepresenteerd op de Indoor Air 2005 conferentie in Beijing [8]. Dit artikel beschrijft de resultaten van verdere statistische analyses en modellering.

- door R.J. Shaughnessy*, U. Haverinen-Shaughnessy, A. Nevalainen***
en D. Moschandreas******

* Indoor Air Program, The University of Tulsa, Tulsa, OK, USA

** Indoor Air Program, The University of Tulsa, Tulsa, OK, USA en Department of Environmental Health, National Public Health Institute, Kuopio, Finland

*** Department of Environmental Health, National Public Health Institute, Kuopio, Finland

**** Department of Chemical and Environmental Engineering, Illinois Institute of Technology, Chicago, IL, USA

Vertaling van “A preliminary study on the association between ventilation rates in classrooms and student performance”, door P.M. Briggen BSc, afstudeerster bij de unit Building Physics & Systems van de TU Eindhoven.

¹ In het TVVL Magazine van mei 2007 is gepubliceerd over onderzoek naar luchtkwaliteit in scholen en effecten daarvan op de scholieren. (redactie TM)

PRAKTISCHE RELEVANTIE

Toekomstige onderzoeken kunnen zich richten op (1) het verzamelen van meer bewijs van de mogelijke relatie tussen ventilatiedebieten in klaslokalen en de academische prestaties van scholieren; (2) de lineaire/niet-lineaire aard van dit verband; en (3) de eventuele mogelijkheid om het niveau van voldoende ventilatie vast te stellen voor scholen, waarbij geen nadelig effect op de academische prestaties wordt waargenomen. Al deze informatie kan worden gebruikt om aanbevelingen te verbeteren en om normen op te stellen om adequate ventilatie in scholen te verzekeren. De hoge gangbaarheid van lage ventilatiedebieten, gecombineerd met het groeiende bewijs van de positieve invloed die adequate ventilatie op de menselijke prestatie heeft, oppert een geschikte gelegenheid voor het verbeteren van het ontwerp en van het management van schoolfaciliteiten.

Op 54 basisscholen in de Verenigde Staten zijn in klaslokalen van groep 8 CO₂-concentraties gemeten. De metingen zijn verricht met behulp van op infrarood gebaseerde dataloggers om de hoeveelheid buitenlucht, die wordt toegevoerd aan de klaslokalen, bij benadering te kunnen bepalen. De klaslokalen zijn gedurende 4 tot 5 uur gemonitord op een dag waarop er mensen in de ruimte aanwezig waren. Het ventilatiesysteem is op deze schooldag in werking gesteld en de ramen naar buiten zijn gesloten. De CO₂-concentraties zijn vertaald naar ventilatiedebieten. Daarbij is er een bronterm voor de CO₂-productie aangenomen en wordt ervan uitgegaan dat de CO₂-concentratie in de ruimte een evenwicht (CO_{2,ss}) heeft bereikt [1; 2]:

$$\text{ventilation rate} = \frac{\text{source generation of CO}_2 \text{ per person}}{\text{CO}_{2,ss} - \text{CO}_{2,indoor}} \quad (1)$$

De ventilatiedebieten zijn aangepast aan de kenmerkende bezetting van de ruimte door het schooljaar heen. Van de 54 observaties waren er twee metingen niet bruikbaar omdat de condities in de ruimtes onstabiel waren gedurende de metingen. Deze twee metingen zijn niet meegenomen in de verdere analyse.

Naast het monitoren van de ventilatie in de ruimtes waren de onderzoekers

in de gelegenheid om met het district samen te werken om gestandaardiseerde testresultaten te verkrijgen. Ook zijn achtergrondgegevens bestudeerd van de leerlingen van het specifieke klaslokaal dat in iedere school onderzocht is. De tests zijn gebaseerd op reken- en leesvaardigheid, en uitgevoerd door de hele staat heen. Alle scholieren van groep 8 werden verplicht om deze tests te maken. De scores zijn daarna gerangschikt om een vergelijking te kunnen maken met de prestaties van andere scholieren. Andere relevante informatie die gerelateerd is aan de leerlingen (in het specifieke klaslokaal dat van iedere school onderzocht is), bestaat uit de verhouding tussen mannen en vrouwen in de klas, de mate van aanwezigheid, het percentage deelnemers aan het gratis lunch programma (voor een indicatie van het familie inkomen), het percentage begaafde scholieren (voor een indicatie van de mate waarin iedere klas begaafde scholieren geselecteerd heeft), het percentage mobiliteit (voor een indicatie van de mate waarin het aantal scholieren dat de les bijwoont gelijk blijft gedurende het schooljaar) en het percentage beperkt Engels (voor een indicatie van culturele of taalkundige invloeden).

Ventilatie en data van de klaslokalen zijn gecodeerd en geanalyseerd met behulp van het statistische pakket SPSS, versie 12.0 [10]. Verkennende procedures lieten twee uitschieters zien onder de gemonitorde ventilatiedebieten en zijn weggelaten uit verdere analyses. Het totale aantal observaties met complete data omvatte daarmee 50 klaslokalen.

Verbanden tussen ventilatiedebieten en testcores zijn eerst gemodelleerd door gebruik te maken van lineaire regressie, aangepast voor waargenomen 'confounding factors' (factoren die de resultaten kunnen vertekenen, meer dan 10 % verschil in de regressiecoëfficiënt van het ventilatiedebiet). Eerdere resultaten hebben aangegeven dat de verbanden niet-lineair kunnen zijn. Om mogelijke niet-lineaire effecten in beschouwing te nemen zijn verdere analyses gemaakt, waarbij gebruik werd gemaakt van 'penalized thin plate regression splines' in Generalized Additive Models (GAM). Voor modellering is gebruik gemaakt van R software versie 2.2.1 en de mgcv 1.3-7 procedure. Als de geschatte vrijheids-

graad voor de penalty parameter (vaak smoothing parameter genoemd) lager was dan 1,5 werd de term als lineair beschouwd.

RESULTATEN EN DISCUSSIE

De ventilatiesystemen in de klaslokalen bestonden uit single-zone room units (d.w.z. residential style upflow furnace-type systems, unit ventilators, roof top units die slechts één ruimte bedienen, en fan-coil units), die ideaal waren voor de methode waarbij ventilatiedebieten werden benaderd aan de hand van gemeten CO₂-concentraties. Het gemiddelde van de berekende ventilatiedebieten in de klaslokalen bedroeg 3,88 l/s per persoon (met een spreiding van 0,90 tot 11,74), dit is bij benadering de helft van het, in de ASHRAE Standaard 62, aanbevolen minimum. Deze data duiden aan dat de hoeveelheid buitenlucht die mechanisch wordt toegevoerd aan de ruimte, in de grote meerderheid van de gevallen minder was dan de minimum norm.

Het is de moeite waard om op te merken dat, ondanks het feit dat alle klaslokalen in de 4 tot 5 uur durende testperiode bezet waren, er in veel gevallen enige mate van tijdelijke bezetting was (d.w.z. lunchpauzes, speelkwartieren, etc.). Door deze incidenten (naast de gevallen waarin de ventilatievoud erg laag was, d.w.z. lager dan 0,5h⁻¹), is er in veel van de onderzochte klaslokalen geen volledig evenwicht in de concentratie CO₂ gerealiseerd. Onder deze omstandigheden leverden de CO₂-concentraties die in de testperiode zijn gemonitord, en aangenomen zijn als evenwichtssituatie, een overschatting van de werkelijke ventilatievouden op. Als erkend wordt dat de evenwichtssituatie in veel van de klaslokalen niet bereikt is, is het begrijpelijk dat het samengestelde gemiddelde ventilatiedebiet, gemeten in de scholen, in de werkelijke situatie nog lager zal zijn. Als er chemische en microbiële verontreinigingen in een bezette ruimte aanwezig zijn, kan een gebrek aan ventilatie leiden tot hogere concentraties van deze verontreinigingen. Daardoor kunnen klachten over de IAQ vaker gaan voorkomen. Er kan worden verondersteld dat onder deze omstandigheden de prestatie van scholieren negatief kan worden beïnvloed. Om de invloed van gereduceerde ven-

Ventilation rate (l/s-person)	Reading	Math
Ventilation rate $\leq 2,25$ ($n = 15$)	47,73 (18,44)	56,32 (16,69)
$2,25 <$ Ventilation rate $\leq 3,50$ ($n = 15$)	48,71 (21,50)	61,76 (16,73)
$3,50 <$ Ventilation rate $\leq 4,50$ ($n = 8$)	50,57 (15,98)	64,41 (10,66)
Ventilation rate $\geq 4,50$ ($n = 12$)	54,27 (21,53)	64,46 (17,94)
Total ($n = 50$)	50,05 (19,40)	61,20 (16,12)

Values are given as mean (s.d.).

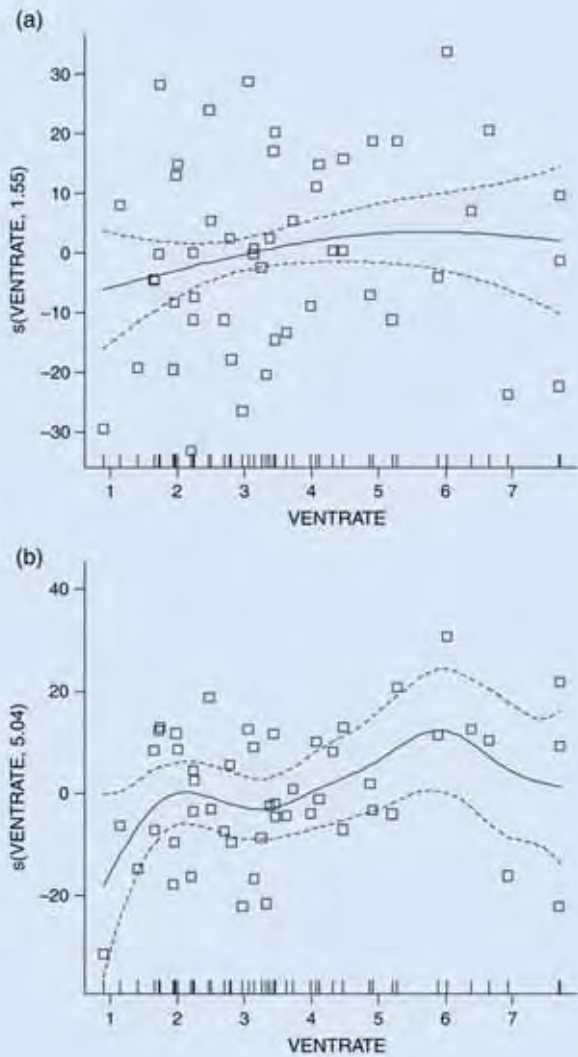
Gemiddelde scores op reken- en leestests voor vier categorieën van ventilatiedebieten.

- TABEL 1 -

tilatie op de schoolprestatie van leerlingen te onderzoeken, zijn de waargenomen ventilatiedebieten (l/s per persoon) eerst ingedeeld in vier groepen, door gebruik te maken van snedes bij 2,25, 3,50 en 4,50 (25^{ste}, 50^{ste} en 75^{ste} percentiel). Tabel 1 geeft de berekende

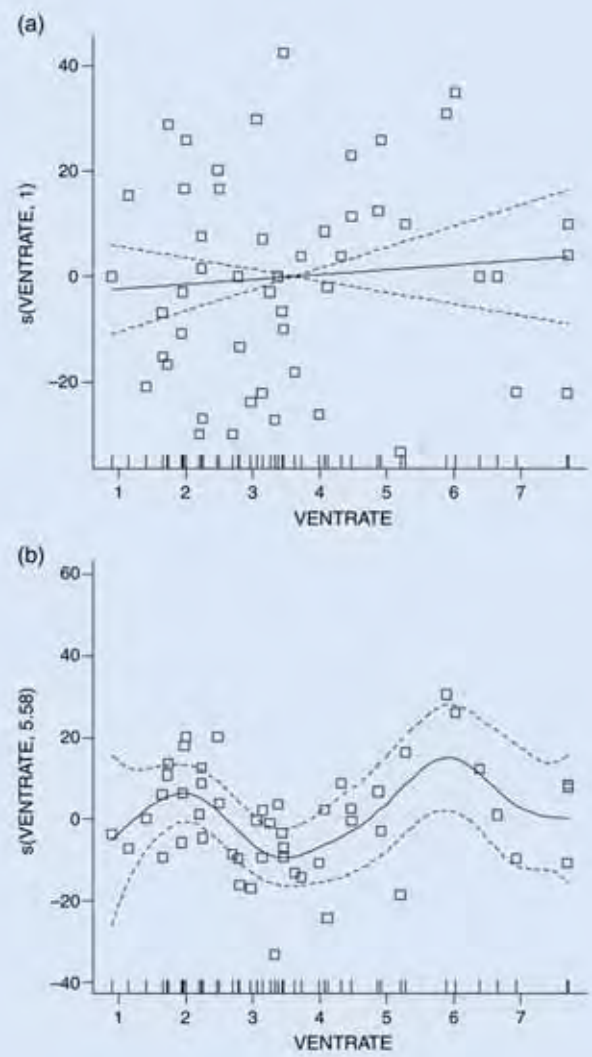
gemiddelde scores op de reken- en leestests weer. De resultaten laten een stijgende tendens zien met een toenemend ventilatiedebiet. Resultaten van statistische toetsing gerelateerd aan deze resultaten zijn beschreven door Shaughnessy et al. [8].

Door gebruik te maken van de scores op de rekestests als afhankelijke variabele, en van progressieve ventilatiedebieten als onafhankelijke variabelen, resulteert univariate lineaire regressie in een grove regressiecoëfficiënt van 1,30 ($P = 0,32$) voor het ventilatiedebiet. De regressiecoëfficiënt was 2,27 ($P = 0,06$), aangepast voor confounding factors (percentage gratis lunch programma, percentage beperkt Engels en percentage mobiliteit). Bij het gebruik van GAM-functies, zijn smoothing parameters gebruikt voor het ventilatiedebiet (benaderde significantie van de smoothing parameter, $P = 0,10$) en het percentage deelnemers aan het gratis lunch programma, terwijl lineaire termen zijn gebruikt voor het percentage mobiliteit en het percentage beperkt Engels. Figuur 1



Het resultaat van het fitten van de curve voor het verband tussen de score op de rekestest en het ventilatiedebiet [l/s per persoon] (VENTRATE): (a) grof model en (b) model aangepast voor confounding factors.

- FIGUUR 1 -



Het resultaat van het fitten van de curve voor het verband tussen de score op de leestest en het ventilatiedebiet [l/s per persoon] (VENTRATE): (a) grof model en (b) model aangepast voor confounding factors.

- FIGUUR 2 -

illustreert de resultaten van het fitten van de curve voor (1) het grove en (2) het aangepaste verband tussen de score op de rekentest en het ventilatiedebiet.

Bij het modelleren van het verband tussen de score op de leestest en het ventilatiedebiet, heeft univariate lineaire regressie analyse geleid tot een regressiecoëfficiënt van 0,92 ($P = 0,56$) voor het ventilatiedebiet. De regressiecoëfficiënt was 1,62 ($P = 0,30$), aangepast voor confounding factors (percentage gratis lunch programma, percentage mobiliteit, percentage begaafde scholieren en percentage beperkt Engels). Bij het gebruik van GAM-functies, zijn smoothing parameters gebruikt voor het ventilatiedebiet (benaderde significantie van de smoothing parameter, $P = 0,05$), het percentage deelnemers aan het gratis lunch programma, het percentage mobiliteit en het percentage begaafde scholieren; terwijl lineaire termen zijn gebruikt voor het percentage beperkt Engels. Figuur 2 illustreert de resultaten van het fitten van de curve voor (1) het grove en (2) het aangepaste verband tussen de score op de leestest en het ventilatiedebiet.

Gebaseerd op deze resultaten is er een bescheiden verband ($P < 0,10$) waargenomen tussen de ventilatiedebieten en de schoolprestaties van leerlingen op gestandaardiseerde rekentests. Een vergelijkbare trend is gevonden voor de scores op leestests (bemerkt de correlatie van 0,74 gevonden door Pearson, $P < 0,01$ tussen de scores op rekentests en op leestests), dit verband is echter meer vertekend door andere factoren. Het verband dat verkregen is met behulp van lineaire regressie heeft geen statistische significantie bereikt. Bovendien waren de resultaten van het fitten van de curven betreffende de scores op de leestest enigszins verward, vooral bij ventilatiedebieten onder de 3,5 en boven de 6,0 l/s per persoon. Bij het bestuderen van de curve blijkt dat de in hoofdzaak volgende aard niet logisch vertoont wat er plaatsvindt, zelfs ondanks de hogere graad van significantie. Dit kan allemaal gedeeltelijk een gevolg zijn van de steekproefgrootte en de verdeling (scores op leestests zijn meer verspreid in het lage uiteinde en hebben minder datapunten in het hoge uiteinde). Daarmee wordt de onzekerheid van de resultaten vergroot. Door gebruik te

maken van penalized GAM-functies voor het fitten van de curve wordt de onzekerheid, die verband houdt met de smoothing parameters, onder bepaalde omstandigheden verwaarloosd. Dit neigt te leiden tot te lage schattingen van de P-waarde. Dit betekent dat termen die niet significant lijken, het eigenlijk wel zijn, terwijl termen die wel significant lijken in werkelijkheid juist niet significant zijn. Dit komt vooral voor als de P-waarde dicht bij het gekozen niveau van significantie ligt [6].

Door het aantal confounding factors waarmee rekening dient te worden gehouden in de analyse, en ook door de mogelijke niet-lineaire aard van het verband, wordt er geadviseerd om het vastgestelde verband tussen de academische prestatie van scholieren en het ventilatiedebiet in verdere studies te onderzoeken met een grotere steekproef. Bovendien dienen uitgebreidere onderzoeksprotocollen te worden ontworpen om andere indicatoren van een slechte IAQ te dekken (bijvoorbeeld mengsels van vluchtige stoffen, door de lucht verspreide stofdeeltjes, accumulatie van stoffen en waterdamp- of waterschade) in de uiteindelijke analyse van factoren die de schoolprestaties van leerlingen negatief kunnen beïnvloeden.

DANKBETUIGING

Dit werk is gedeeltelijk gefinancierd door de Academie van Finland. De auteurs zijn Mr. Randy Smith erg dankbaar voor zijn technische expertise op het gebied van het verzamelen van data in de praktijk. De auteurs willen daarnaast bedanken voor de fondsgelden die in het verleden en in het heden zijn verkregen van de US Environmental Protection Agency Region 6 voor het toepassen van het Tools for Schools Program in districten in de hele regio.

REFERENTIES

1. ASHRAE (2004) *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. ASHRAE Standard 62.1-2004. Atlanta, GA, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
2. ASTM (1998) *Standard Guide for Using Indoor Carbon Dioxide Concentrations to Evaluate IAQ and*

Ventilation. ASTM D 6245, West Conshohocken, PA, ASTM.

3. Bearg, D. (1993) *Indoor Air Quality and HVAC Systems*, Boca Raton, FL, Lewis Publishers.
4. Daisey, J. and Angell, W. (1998) *A Survey and Critical review of the Literature on IAQ, Ventilation and Health Symptoms in Schools*. Technical Report LBNL-41517, Berkeley, CA, Lawrence Berkeley National Laboratory.
5. Mendell, M. and Heath, H. (2005) *Do indoor pollutants and thermal conditions in schools affect student performance? A critical review of the literature*, *Indoor Air*, 15, 27–52.
6. R Foundation (2005) *The R Foundation for Statistical Computing*, Version 2.2.1, Vienna, Austria.
7. Seppänen, O., Fisk, W.J. and Lei, Q.H. (2006) *Ventilation and performance in office work*, *Indoor Air*, 16, 28–36.
8. Shaughnessy, R., Haverinen-Shaughnessy, U., Nevalainen, A. and Moschandreas, D. (2005) *Carbon dioxide concentrations in classrooms and association with student performance: a preliminary study*. In: *Proceedings of the 10th International Conference on IAQ and Climate*, Beijing, China.
9. Shendell, D.G., Prill, R., Fisk, W.J., Apte, M.G., Blake, D. and Faulkner, D. (2004) *Associations between classroom CO₂ concentrations and student attendance in Washington and Idaho*, *Indoor Air*, 14, 333–341.
10. SPSS Inc. (2003) *SPSS Version 12.0 for Windows*, Chicago, IL, SPSS.
11. Wargocki, P., Wyon, D.P., Matysiak, B. and Irgens, S. (2005) *The effects of classroom air temperature and outdoor air supply rate on the performance of school work by children*. In: *Proceedings of the 10th International Conference on IAQ and Climate*, Beijing, China.

