

Betere ventilatie helpt om leerprestaties te bevorderen

Sinds de coronacrisis staat het ventileren van scholen sterk in de belangstelling, vooral om de verspreiding van de ziekte tegen te gaan. Maar in hoeverre heeft slechte ventilatie ook invloed op de leerprestaties van leerlingen? Een omvangrijk veldexperiment onder Limburgse basisscholen werpt licht op de relatie tussen ventilatie en toetscores van leerlingen.

IN HET KORT

- Slechte ventilatie vermindert leerprestaties en het effect lijkt zelfs groter dan dat van de coronasluitingen.
- De kans op een havo/vwo-advies is dertien procent lager als de CO₂-blootstelling in het semester vóór de eindtoets verdubbelt.
- Door de extra coronagelden voor onderwijs deels te investeren in betere ventilatie, wordt het probleem grotendeels opgelost.

NICOLAS DURAN

Docent aan University College London

PIET EICHHOLTZ

Hoogleraar aan de Universiteit Maastricht (UM)

NILS KOK

Hoogleraar aan de UM

JUAN PALACIOS

Postdoc aan het Massachusetts Institute of Technology

Overheden investeren jaarlijks miljarden in het bouwen en renoveren van scholen, en sinds het begin van de coronacrisis zijn die investeringen verder toegenomen. In 2020 heeft de Nederlandse overheid bijna 400 miljoen euro subsidie verstrekt aan basis- en middelbare scholen, uitsluitend om de ventilatie in klaslokalen te verbeteren (RuimteOK, 2021). Die subsidie is noodzakelijk, maar toch verre van toereikend. Want in ruim dertig procent van de scholen in Nederland moet het ventilatiesysteem worden gemoderniseerd of vervangen. Een coalitie van de PO-Raad, Bouwend Nederland, VNG en andere partijen stelt in een recent manifest zelfs dat vijftig procent van de Nederlandse scholen toe is aan renovatie of nieuwbouw (PO-Raad, 2022). Dit is een belangrijk punt van zorg voor publieke voorzieningen waarin kinderen gemiddeld acht uur per dag doorbrengen.

Tegelijkertijd is er weinig bekend over het effect van gebrekkige ventilatiesystemen op onderwijsresultaten. Slecht werkende ventilatiesystemen zorgen voor een tekort aan frisse lucht in gebouwen, en vormen daarmee een gezondheidsrisico voor de gebruikers ervan. Uit kleinschalige experimenten blijkt dat leerlingen in slecht geventileerde klaslokalen moeite hebben met opletten, en minder goed presteren bij geheugen- en concentratietests (Bakó-Biró et al., 2012). Maar langdurige veldstudies, die het effect van chronische blootstelling aan een slecht binnenklimaat op onderwijsresultaten causaal kunnen vaststellen, bestaan nog niet. De studies die er zijn, kijken meestal

naar de kwaliteit van de buitenlucht op testdagen, en meten vervolgens het effect op de toetsresultaten van middelbare scholieren (Park et al., 2020).

In deze studie onderzoeken we het verband tussen de variatie in de kwaliteit van het binnenklimaat en de schoolprestaties van een grote groep basisschoolleerlingen. Het gaat om een veldonderzoek waarvoor er al in 2017 binnenklimaatensensoren werden geïnstalleerd in 270 klaslokalen verspreid over 27 basisscholen. Wij bepalen het effect van het binnenklimaat op de leerprestaties door de toetsresultaten van een leerling te vergelijken met eerdere resultaten van diezelfde leerling, na een semester met blootstelling aan een slechter of beter binnenklimaat, gemeten op basis van CO₂-niveaus.

De variatie in de CO₂-niveaus wordt vrijwel volledig veroorzaakt door menselijke ademhaling. Mensen ademen CO₂ uit, dat in de ruimte blijft tot een mechanische of natuurlijke ventilatie het verwijdert en/of met buitenlucht uitwisselt.

Data

Onze steekproef van 27 scholen is willekeurig gekozen uit 47 scholen die worden beheerd door het grootste schoolbestuur van de provincie Limburg. Zie Palacios Temprano et al. (2020) voor het studieprotocol, inclusief een gedetailleerde beschrijving van de steekproef en de schooltypologie, het pre-analyseplan, en een uitgebreide bespreking van de plaatsing van de sensoren.

Alle scholen bevinden zich in hetzelfde grootstedelijke gebied, en staan bloot aan vergelijkbare niveaus van buitentemperatuur en buitenluchtkwaliteit. De regio waarin de scholen zich bevinden, wordt over het algemeen beschouwd als een deel van Nederland met een lagere sociaal-economische status, met een mediaan netto-huishoudensinkomen dat varieert van 21.900 tot 25.600 euro, vergeleken met het nationale mediane huishoudinkomen van 25.800 euro.

De schoolgebouwen in onze steekproef zijn gemiddeld 25 jaar oud. De meeste scholen (85 procent) hebben een mechanisch ventilatiesysteem, en in de andere scholen is de ventilatie 'natuurlijk' (dat wil zeggen via het openen en sluiten van ramen). In elk van de vijf semesters in de steekproefperiode (van augustus 2017 tot januari 2021) hebben de scholen samen meer dan 5.500 leerlingen.

Luchtkwaliteit in de klas

Wij beoordelen de kwaliteit van de lucht in elk klaslokaal op basis van de CO₂-concentratie, als een maatstaf voor de ventilatie van het lokaal. CO₂ is een door beheerders van gebouwen en beleidsmakers veel gebruikte indicator om de

luchtverversing van gebouwen te controleren en te reguleren (ASHRAE, 2022).

Voor iedere school in de steekproef wordt de luchtkwaliteit in elk individueel klaslokaal vanaf groep 3 voortdurend gemeten met behulp van geavanceerde sensoren. Wij gebruiken vaste muursensoren die de CO₂-niveaus in deeltjes per miljoen, grove en fijne deeltjes (PM10), temperatuur, relatieve vochtigheid, lichtintensiteit en geluid meten. De data worden vervolgens geaggregeerd op minuutniveau.

Typische normen voor de CO₂-concentratie in gebouwen variëren van 700 tot 1.000 deeltjes per miljoen (ppm). De CO₂-niveaus in de buitenlucht zijn bijna altijd aanzienlijk lager dan die in gebruikte binnenruimtes – het mondiale gemiddelde voor CO₂ in de atmosfeer bedroeg in 2020 412,5 ppm.

Tabel 1 geeft een indruk van de CO₂-concentraties in de studie: het dagelijkse gemiddelde CO₂-niveau gedurende de tijd dat de klaslokalen worden gebruikt is 988 ppm. De tabel laat ook zien dat de gemiddelde dagelijkse piek op 1.495 ppm ligt. Dat is flink boven de norm van 1.200 ppm, die als maximum wordt gesteld om een ‘voldoende’ te halen in het Programma van Eisen Frisse Scholen (voor ‘uitmuntend’ is de maximale grens 800 ppm, maar dat wordt slechts in enkele lokalen gehaald).

Gegevens over leerprestaties

De prestaties van leerlingen op basisscholen worden gevolgd via halfjaarlijkse, gestandaardiseerde toetsen, die halverwege (januari/februari) en aan het einde van het schooljaar (mei/juni) plaatsvinden. De toetsen bestrijken een groot aantal onderwijsgebieden, waaronder rekenen, lezen en woordenschat.

Voor elke leerling verzamelen wij de scores voor alle toetsen vanaf groep 3 tot en met groep 8. De bron van deze gegevens is de OnderwijsMonitor Limburg, een samenwerkingsverband tussen de Universiteit Maastricht en de basisscholen, schoolbesturen en gemeenten in de provincie Limburg (voor meer informatie, zie Borghans et al. (2015)).

De toetsen voor verschillende onderwerpen hebben uiteenlopende schalen. Om de resultaten van die verschillende onderwerpen vergelijkbaar te maken, construeren we steeds een vergelijkbare schaal voor elk onderwerp, tussen nul en honderd. De belangrijkste uitkomstvariabele is dus de gestandaardiseerde score voor elke leerling, in elke toetsperiode en op elk onderwerp (we nemen alleen leerlingen mee die ten minste twee keer een toets voor een gegeven onderwerp afleggen in verschillende toetsperioden).

Method

In onze identificatiestrategie maken we gebruik van het feit dat we leerlingen observeren die meerdere keren worden getest tijdens de steekproefperiode, met blootstelling aan verschillende niveaus van luchtkwaliteit tijdens de schoolperiode voorafgaand aan de test (de ‘leerperiode’). De gegevens stellen ons in staat om te testen of leerlingen lager scoren na een leerperiode waarin hun klaslokaal slecht geventileerd was, in vergelijking met hun eigen score na een schoolperiode in een klaslokaal met goede luchtkwaliteit (of omgekeerd).

Wij schatten het effect van CO₂ op testresultaten met behulp van een lineaire-regressiemodel met fixed effects

CO₂-niveaus in de klas

TABEL 1

	Gemiddeld	Standaarddeviatie	Min	Max
Gemiddelde dagelijkse piek CO ₂ (ppm)	1.495	624	737	4.665
Dagelijks gemiddelde CO ₂ (ppm)	988	336	485	2.783
% van meetdagen met CO ₂ > 1.000 ppm	77	29	0	100
% van meetdagen met CO ₂ > 2.000 ppm	15	26	0	100

ESB

voor leerlingen, lokalen, toetsen en scholen. De vaste leerlingeneffecten controleren voor veranderingen in de vaardigheden van leerlingen in de verschillende onderwijsdomeinen (rekenen, lezen enzovoort), en voor factoren zoals sociaal-economische achtergrond.

We doen dus nadrukkelijk geen crosssectionele regressie waarin we leerlingen met elkaar vergelijken, maar we volgen de ontwikkeling van iedere leerling in de tijd, en kijken hoe blootstelling aan een slecht geventileerd lokaal die ontwikkeling beïnvloedt.

De fixed effects voor lokalen controleren voor kenmerken van het klaslokaal, zoals uitzicht, hoek ten opzichte van de zon en meubilair. De vaste toetseffecten controleren voor factoren die leerlingen gelijkmatig beïnvloeden tijdens de toets, zoals de zwaarte van de toets. Ten slotte controleren de fixed effects voor scholen voor schoolkenmerken, zoals de locatie van de school en eventuele verschillen in beleid tussen scholen.

Door de fixed effects voor de school te laten variëren per periode, kunnen we ook flexibel controleren voor veranderingen in de school – zoals investeringen in apparatuur (denk bijvoorbeeld aan ‘smartboards’).

Naast de fixed effects controleren we voor andere kenmerken van het binnenmilieu (temperatuur en luchtvochtigheid), de grootte van de klas, leeftijd van de kinderen en het gemiddelde geluidsniveau. Ook controleren we voor het aantal weken dat leerlingen les hebben gehad over een bepaald onderwerp. Hierdoor zal een verschil in testresultaten dat bijvoorbeeld ontstaat doordat leerlingen een toets herhalen de resultaten niet kunnen beïnvloeden.

We definiëren CO₂-blootstelling als de gemiddelde dagelijkse piek-CO₂ die wordt ervaren tijdens de leerperiode in het klaslokaal voorafgaand aan iedere toets. Resultaten op basis van een gemiddeld CO₂-niveau tijdens de schooldag zijn vergelijkbaar.

We standaardiseren de variabele zodanig dat de coëfficiënt voor CO₂ kan worden geïnterpreteerd als het aantal standaardafwijkingen in toetsscore dat wordt veroorzaakt door een standaardafwijking van de gemiddelde dagelijkse CO₂-piek in het klaslokaal waar de leerlingen tijdens het semester de lessen volgden.

We clusteren standaardfouten op het niveau van het klaslokaal per periode, om te controleren voor correlatie tussen de resultaten van leerlingen die op hetzelfde moment in dezelfde klas les hebben.

Resultaten

We analyseren eerst hoe veranderingen in de gemiddelde blootstelling aan CO₂-concentraties tijdens de leerperiode

Regressieresultaten: Effect op leerprestaties

TABEL 2

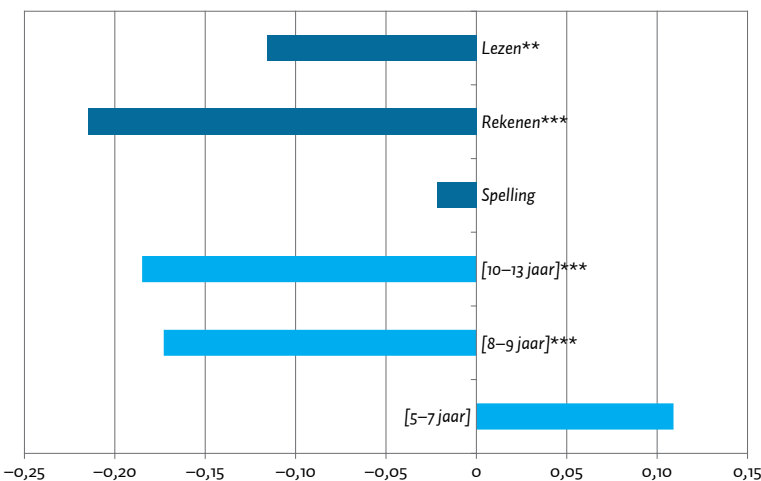
	Afhankelijke variabele: Gestandaardiseerde testscore
CO ₂	-0,110***
PM10	0,047
Temperatuur	-0,016
Luchtvochtigheid	-0,029
Geluid	-0,055
Adj. R ²	0,754

Noot: Bij de schattingen wordt er gecontroleerd voor leeftijd, klassengroote en fixed effects voor de leerling per onderwerp, periode, klaslokaal, niveau en school per periode
 *** Significant op eenprocentniveau

ESB

Effect van gemiddelde dagelijkse piek-CO₂ tijdens de leerperiode op leerprestaties (subgroepen)

FIGUUR 1



Noot: Bij de schattingen wordt er gecontroleerd voor klassengroote en fixed effects voor de leerling per periode, klaslokaal, niveau en school per periode.
 /*** significant op respectievelijk vijf- en eenprocentniveau.

ESB

Belang van eindtoets voor schooladvies

KADER 1

Alle toetsresultaten vanaf groep 3 geven de docent de basisingrediënten voor het definitieve schooladvies. In het laatste jaar van het basisonderwijs maken de leerlingen een laatste reeks tests, die uitsluitend worden afgenomen om het advies van de leerkracht te valideren. Leraren berekenen een totaalscore waarin al deze testresulta-

ten worden gecombineerd, en vergelijken deze met hun eigen advies. Indien het advies van de toetsen wijst op een hoger niveau dan door de leraar is geadviseerd, zijn de leraren verplicht hun besluit te herzien. Als het omgekeerde gebeurt, zijn er geen gevolgen en blijft het oorspronkelijke advies gehandhaafd.

de latere test scores van individuele leerlingen beïnvloeden. Daarna splitsen we de resultaten uit per vak, en bekijken we specifiek het effect van CO₂-concentraties op het schooladvies in het laatste schooljaar.

Effect op leerprestaties

Uit onze resultaten blijkt dat hoge concentraties CO₂ in de klas, tijdens het semester voorafgaand aan een toets, de prestaties van de leerlingen in die toets duidelijk verlagen (tabel 2). Voor deze tabel hebben we de afhankelijke variabele gestandaardiseerd – een toename van de standaarddeviatie in de piek-CO₂-blootstelling (gelijk aan 600 ppm) leidt tot

een afname in toetsresultaten van 0,11 standaarddeviatie.

De interpretatie van deze coëfficiënt is als volgt: een toename van de piek-CO₂-blootstelling met 600 ppm leidt tot een vermindering van toetsscores van zes procent voor de gemiddelde leerling (0,11 standaarddeviaties is 0,03, oftewel zes procent van de gemiddelde toetsscore van 0,5). Een halvering van de piek-CO₂-blootstelling van 1.400 naar 700 ppm leidt dus tot een verbetering van toetsscores van twintig procent.

Tabel 2 laat verder zien dat de andere aspecten van het binnenklimaat die worden gemeten tijdens de leerperiode, geen significant effect hebben op de leerprestaties.

Effecten per onderwerp en leeftijd

Wij gaan vervolgens na of er subpopulaties of mentale taken zijn die in het bijzonder gevoelig zijn voor slechte luchtkwaliteit. Dit kan tevens helpen bij het achterhalen van mechanismen voor de waargenomen relatie tussen luchtkwaliteit en leerprestaties.

De afname in gemiddelde test scores door een hogere CO₂-blootstelling lijkt voornamelijk sterk te zijn bij toetsen op het gebied van rekenen en begrijpend lezen (figuur 1). Het effect van slechte luchtkwaliteit is bijna dubbel zo groot voor rekenen, in vergelijking met het gemiddelde effect gerapporteerd in tabel 2: een toename in piek-CO₂ van 600 ppm (één standaarddeviatie) verlaagt de toetsresultaten voor rekenen met twaalf procent. De spellingvaardigheid lijkt niet significant te worden beïnvloed door de slechte ventilatiekwaliteit in de klas.

Uitgesplitst naar leeftijd, blijkt dat het effect van CO₂ het sterkst is voor de oudere leerlingen op de basisschool. Dit onderscheid naar leeftijd is belangrijk, aangezien de keuze voor een bepaald schoolniveau wordt gemaakt wanneer de leerlingen in het laatste jaar van de basisschool zitten (kader 1).

Effect op schooladvies

Om het effect van ventilatie op schooladvies vast te stellen, relateren wij de CO₂-blootstelling in het lokaal in het semester voorafgaand aan de Cito-eindtoets aan de Cito-score, en aan de kans dat de resultaten wijzen op een havo-of vwo-advies.

De resultaten laten zien dat een stijging van de dagelijkse gemiddelde piekwaarden van CO₂ met één standaarddeviatie, gedurende de leerperiode voorafgaand aan de Cito-toets, de uiteindelijke testresultaten met twee procent verlagen (tabel 3). Dit geldt voor het taal- en het rekenonderdeel van de toetsen, waarbij het effect op de score voor taal iets groter is.

De stijging van de CO₂-concentratie met één standaarddeviatie gaat gepaard met een dertien procent lagere kans op een testadvies voor de twee hoogste schoolniveaus. Daarmee nemen ook de vooruitzichten op een vervolgoopleiding aan de hogeschool of de universiteit af.

Conclusie en discussie

Systematische blootstelling aan slechte luchtkwaliteit tijdens het leerproces vertraagt de cognitieve ontwikkeling van kinderen. Om onze bevindingen in perspectief te plaatsen, vergelijken we ze met de effecten die voor andere soor-

ten schoolinterventies zijn gevonden.

Zo is het effect op leerprestaties van het welbekende *Head Start*-programma in de Verenigde Staten vergelijkbaar met het effect dat wij vinden voor ventilatie.

Fredriksson et al. (2013) onderzoeken het effect van klassengrootte op leerresultaten in basisscholen. Hun gemiddelde klassengrootte is twintig leerlingen, net als in onze steekproef – en zij vinden dat een vermindering met zeven leerlingen de leerresultaten aan het einde van het basisonderwijs zou verbeteren. Ook hier geldt een – positieve – effectgrootte die in omvang vergelijkbaar is met onze resultaten voor ventilatie.

Het meest recente artikel dat we in dit verband aanhalen is Engzell et al. (2021), dat de leereffecten bestudeert van aan corona gerelateerde sluitingen van basisscholen in Nederland, aan de hand van dezelfde nationale tests als in deze studie. De auteurs vinden reducties in toetsscores die veel kleiner zijn dan de effecten die wij constateren voor slechte ventilatie.

Deze eenvoudige vergelijkingen suggereren dat de economische en sociale betekenis van goede schoolventilatie aanzienlijk is. Deze conclusie wordt verder benadrukt door ons resultaat van een dertien procent lagere kans op een havo/vwo-advies voor leerlingen in lokalen die slecht geventileerd zijn – en daarmee een veel lagere kans op aansluitende deelname aan het hoger onderwijs. Gezien de economische waarde van een hbo- of wo-opleiding in het werkzame leven is dit een opmerkelijk en maatschappelijk belangrijk resultaat.

Beleidslessen

Een verbetering van het binnenmilieu in scholen is dus niet alleen relevant voor de vermindering van de coronaverspreiding, maar ook voor het verbeteren van leerprestaties. Betere ventilatie bevordert de cognitieve ontwikkeling van kinderen, juist op een kritieke leeftijd voor de opbouw van menselijk kapitaal en de vorming van vaardigheden.

Toch is er slechts beperkte aandacht voor luchtkwaliteit vanuit de onderwijsinspectie. Deze doet wel de controles van luchtkwaliteit, maar dat is vaak slechts een momentopname en niet representatief. Intuïtief weet men dat de luchtkwaliteit in basisscholen te wensen overlaat – die is vaak muf en bedompt.

Gezien de extra aandacht voor ventilatie dankzij corona, is dit hét moment om de regelgeving wat betreft luchtkwaliteit aan te scherpen, waarbij de gestelde maximaal acceptabele CO₂-niveaus (950 ppm voor scholen gebouwd na 2012, en 1.200 ppm voor scholen gebouwd voor die tijd) streng gehandhaafd moeten worden, op basis van daadwerkelijk en continu gemeten data, in ieder klaslokaal.

Uiteraard moet handhaving hand in hand gaan met het verbeteren van scholen, en dat kost geld. Een kleine investering in het kader van ‘meten is weten’ kan al veel scholen, docenten en leerlingen in staat om gedragsveranderingen door te voeren (vaker de ramen open, de deur naar de gang open, lastige vakken op de momenten waarop de luchtkwaliteit het beste is, et cetera).

Het systematisch verbeteren van luchtkwaliteit vereist echter een grootschaliger investeringsprogramma. Het

Effect van gemiddelde dagelijkse piek-CO₂ op testresultaten groep 8, en kans op havo/vwo-advies TABEL 3

	Cito-score (logs)	Taal	Rekenen	Advies voor havo/vwo
CO ₂	-0,019***	-0,022***	-0,015***	-0,127***

Noot: Bij de schattingen wordt er gecontroleerd voor klassengrootte en andere aspecten van binnenklimaat (temperatuur, luchtvochtigheid, PM10 en geluid)
 *** Significant op eenprocentniveau

ESB

recent gepresenteerde Manifest voor Goede Schoolgebouwen, een initiatief van de PO- en VO-raad en Bouwend Nederland, onderschrijft de noodzaak voor een dergelijk investeringsprogramma.

Een simpele berekening leert dat, met een investering van ruim 1,1 miljard euro, een groot deel van het probleem opgelost kan worden. Er zijn in Nederland zo'n 6.700 basisscholen, en een recente inventarisatie laat zien dat een derde geen mechanische ventilatie heeft. Het aanbrengen van mechanische ventilatie kost gemiddeld ruim 500.000 euro (RuimteOK, 2021).

Om die miljard euro in perspectief te zetten: de eenmalige subsidie voor verbetering van de ventilatie in scholen in 2020 was 400 miljoen euro, het budget van het primair onderwijs is 11 miljard per jaar, de totale middelen uit het Nationaal Programma Onderwijs om de corona-achterstand op scholen weg te werken bedragen 5,8 miljard.

Maar ook: voor een vermindering van de klassengrootte met één derde zoals in Fredriksson et al. (2013), zouden de Nederlandse schoolbudgetten heel veel groter moeten worden. En het *Head Start*-project heeft miljarden gekost.

Betere ventilatie is dus een veel goedkopere manier om hetzelfde resultaat te bereiken. Laten we ervoor zorgen dat straks ieder lokaal, in iedere school in Nederland, is voorzien van goed werkende én goed onderhouden mechanische ventilatie.

Literatuur

ASHRAE (2022) *ASHRAE position document on indoor carbon dioxide*. Onderzoeksrapport, 2 februari.

Bakó-Biró, Zs., D.J. Clements-Croome, N. Kochhar et al. (2012) Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Building and Environment*, 48, 215–223.

Borghans, L., B.H.H. Golsteyn en A. Stenberg (2015) Does expert advice improve educational choice? *PLoS ONE*, 10(12), e0145378.

Engzell, P., A. Frey en M.D. Verhagen (2021) Learning loss due to school closures during the COVID-19 pandemic. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(17), e2022376118.

Fredriksson, P., B. Öckert en H. Oosterbeek (2013) Long-term effects of class size. *The Quarterly Journal of Economics*, 128(1), 249–285.

Palacios Temprano, J., P. Eichholtz, M. Willeboordse en N. Kok (2020) Indoor environmental quality and learning outcomes: protocol on large-scale sensor deployment in schools. *BMJ open*, 10, e031233.

Park, R.J., J. Goodman, M. Hurwitz en J. Smith (2020) Heat and learning. *American Economic Journal: Economic Policy*, 12(2), 306–339.

PO-Raad, VO-raad, VNG et al. (2022) *Manifest: Voor goed onderwijs hebben wij goede schoolgebouwen nodig*.

RuimteOK (2021) *Verdiepend onderzoek gebouwtypen en ventilatiesystemen*. Onderzoeksrapport in opdracht van het Ministerie van Onderwijs, 19 augustus.