

Auteurs dr. ir. E.E. (Noortje) Alders<sup>1</sup>; dr. ir. A.C. (Atze) Boerstra<sup>2</sup>; dr. ir. F. (Francesco) Franchimon<sup>3</sup>

1. ISSO n.alders@isso.nl
2. BBA Binnenmilieu ab-bba@binnenmilieu.nl
3. Franchimon ICM francesco@franchimon-icm.nl

## Corona en de toekomst van ventilatie-eisen in Nederland

*Aangezien mensen in de Westerse wereld 90% van de tijd binnen verblijven [1] moet de mogelijkheid van Corona besmetting door (onvoldoende) luchtverversing zeer serieus genomen worden. Op allerlei plaatsen (o.a. in scholen) is men inmiddels begonnen met ad hoc controle op ventilatie. Maar het is ook belangrijk om te kijken naar de verdere toekomst. Dit artikel gaat in op de vraag of de huidige eisen voor luchtverversing van binnenruimten echt voldoende zijn om een gezond binnenklimaat te garanderen, mede rekening houdend met de overdracht van infectieziekten.*

Hoewel het RIVM en de WHO nog steeds terughoudend zijn over de overdrachtsroute van het coronavirus via de lucht, naast de algemeen aangenomen route van grote druppels via contact en direct aanhoesten binnen 1,5 meter, zijn steeds meer wetenschappers en technici ervan overtuigd dat besmetting met het Coronavirus (SARS-CoV-2) ook via zeer kleine druppeltjes (aerosolen) in de lucht kan plaats vinden. Dit blijkt onder andere uit een brandbrief van 239 wetenschappers aan de WHO [2] waarin ze oproepen om de verspreiding via de binnenlucht serieus te nemen. Het RIVM heeft inmiddels overigens volgens eigen onderzoek [3] met behulp van modelleringen (theoretisch) vastgesteld dat in sommige gevallen verspreiding van het virus via aerosolen mogelijk is. Deze conclusie werd al eerder met gelijksoortige modelleringen getrokken door Buonanno en Stabile [4]. Desondanks is het RIVM van mening dat het nog te vroeg is het beleid hierop aan te passen [5]. Wel spoort het Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport aan om gebouwen te controleren of zij voldoen aan het Bouwbesluit [6]. Voor scholen is de handschoen opgepakt door Minister Slob door een landelijk team op te richten dat scholen moet helpen de ventilatie zo snel mogelijk op orde te krijgen, voorgezeten door Doekle Terpstra van Techniek Nederland [7]. Hierbij worden echter de Bouwbesluit-eisen gehanteerd als referentiekader. De vraag is of dit wel genoeg is om de besmettingskans binnen voldoende te verminderen voor het huidige coronavirus én andere (toekomstige) virussen maar ook voor preventie van chronische ziekten zoals hart- en vaatziekten, beroerte, longkanker en COPD [21].

### Gezondheid of comfort

Uit oogpunt van energiegebruik en besparing op investerings- en onderhoudskosten is het zo dat men soms in de verleiding komt om de luchtverversing in gebouwen fors te beperken. Om te voorkomen dat dit tot ongezonde binnenlucht leidt, worden er in de bouwregelgeving minimumeisen gesteld aan de hoeveelheid **verse luchttoevoer**.

De eerste Nederlandse ventilatievoorschriften uit 1952 in de Bouwverordening [8] zijn gebaseerd op de relatie tussen ventilatie, CO<sub>2</sub>-concentratie en lichaamsgeurtjes. Maar het onderwerp ventilatie staat al veel langer op de agenda. Tijdens de hygiënerevolutie (die startte rond 1850) werd ventilatie vooral als een infectiepreventiemiddel ingezet, gericht op het verbeteren van de volksgezondheid met betrekking tot overdraagbare ziekten en vroegtijdige sterfte [9]. Tuberculose, waterpokken, en cholera veroorzaakten veel sterftegevallen in de 19<sup>de</sup> eeuw. In relatie tot o.a. deze ziekten hanteerde men indertijd de miasmtheorie; het betrof de theorie dat stankoverlast, bijvoorbeeld rottende materialen en moerassen, de ziekteverwekkers waren. Pasteur (1864) ontdekte dat alleen levende organismen een ziekte konden veroorzaken en niet de stank zelf. Deze theorie wordt ook wel de (ziekte)kiementheorie (Germ Theory) genoemd. Eind 19<sup>e</sup> / begin 20<sup>e</sup> eeuw werden ventilatievoorschriften vooral opgesteld om juist de overdracht van infectieziekten te beperken. De American Society of Heating and Ventilation Engineers (ASHVE, later ASHRAE) heeft in 1895 een minimumeis van 50 m<sup>3</sup>/h per persoon overgenomen van Billings en stelde een modelwet voor in 1914 waar ook dit getal in werd opgenomen [10].

Uiteindelijk zijn het de studies van Yaglou [11] geweest uit de jaren '30 waardoor de ventilatie-

Functie	Nieuwbouw	Bestaande bouw
	m <sup>3</sup> /h pp	m <sup>3</sup> /h pp
Bijeenkomstfunctie		
a. voor kinderopvang	23,4	12,4
b. andere	14,4	7,6
Kantoorfunctie	23,4	12,4
Gezondheidszorgfunctie		
a. bedgebied	43,2	12,4
b. ander verblijfsgebied	23,4	12,4
Onderwijsfunctie	30,6	12,4
Sportfunctie	23,4	12,4
Winkelfunctie	14,4	7,6
Logiesfunctie	43,2	23
Celfunctie		
a. cel	43,2	23
b. ander verblijfsgebied	23,4	12,4

Tabel 1: Eisen voor ventilatiecapaciteit voor een aantal gebruiksfuncties anders dan woonfuncties volgens het Bouwbesluit 2012.

eisen naar beneden werden bijgesteld tot 25 m<sup>3</sup>/h per persoon. Het nieuwe uitgangspunt werd hierbij (impliciet) dat vooral geuroverlast moest worden voorkomen; e.e.a. was dus meer gebaseerd op (olfactisch) comfort dan op het voorkomen van overdracht van infectieziekten.

### Wettelijk minimum

Een rapport van de Gezondheidsraad van begin jaren 80 [12] neemt deze waarde van minimaal 25 m<sup>3</sup>/h per persoon over ondanks het net iets eerder verschenen ISSO Researchrapport 1 [13]. In dat rapport wordt afgeraden minder dan 35 m<sup>3</sup>/h per persoon te ventileren bij normale kantooractiviteit om te voorkomen dat het percentage ontevreden door geuroverlast boven de 5% uitkomt. Het ISSO-rapport was deels gebaseerd op onderzoek van TNO waarbij in verschillende kantoorvertrekken onder verschillende omstandigheden (bezetting, ventilatiehoeveelheid, roken en niet roken) enquêtes afgenomen werden over de geurbeleving. In verschillende andere onderzoeken uit die tijd worden vergelijkbare waarden voorgeschreven [14].

Het Bouwbesluit 2012 schrijft voor nieuwbouw een hoeveelheid verse luchttoevoer voor van circa 15 m<sup>3</sup>/h tot 45 m<sup>3</sup>/h per persoon afhankelijk van de gebruiksfunctie (Tabel 1). Voor bijvoorbeeld kantoren gaat het om 23 m<sup>3</sup>/h per persoon, wat 35 % lager is dan wordt aanbevolen in ISSO Researchrapport 1 [13]. Opvallend is dat er weinig onderscheid gemaakt wordt naar activiteitsniveau of metabolisme. Zo gelden bijvoorbeeld voor een ruimte met een sportfunctie dezelfde eisen als voor een kantoorruimte.

### Kwaliteit

Naast de wettelijke minimumeisen, geformuleerd in het Bouwbesluit 2012, [15] worden in de praktijk aanvullende richtlijnen geformuleerd om handvatten te bieden aan opdrachtgevers om een hoogwaardig binnenmilieu te creëren (nieuwbouw en renovatie), beter dan een basisbinnenmilieu met het Bouwbesluit als uitgangspunt. Men kan daarmee een afweging maken tussen kosten, comfort en energiegebruik.

De praktijkrichtlijn NPR-CR 1752 uit 1999 [16] (een CEN Technisch Report ter voorbereiding van de later verschenen EN 15152:2007) definieert 3 kwaliteitsklassen voor binnenlucht en ventilatie (Tabel 2). Hierin is de voorgeschreven ventilatiecapaciteit bij klasse C 30 m<sup>3</sup>/h pp (dit is de laagste kwaliteitsklasse); dit is iets beter dan het Bouwbesluit niveau (nieuwbouw) voor kantoren (23 m<sup>3</sup>/h pp). Klasse B is goed (40 m<sup>3</sup>/h pp) en Klasse A is zeer goed (60 m<sup>3</sup>/h pp). In ISSO Praktijkboek gezonde gebouwen T1 [17] wordt deze classificering overgenomen en in het PVE Gezonde kantoren [18] worden ook deze 3 ambitieniveaus gedefinieerd. Voor scholen zijn er aanvullende eisen te vinden in het PVE Frisse scholen [19], ook weer met een 3-traps classificering (Tabel 2).

De norm NEN-EN 15152:2007 is inmiddels aangepast en vervangen door de nieuwe norm NEN-EN 16798-1:2019. Hierin worden 4 klassen gehanteerd waarbij de laagste, klasse IV alleen (volgens de norm) voor een beperkte tijd per jaar geaccepteerd dient te worden (Tabel 2).

### Gezonde binnenlucht

Dat voldoende luchtverversing belangrijk is voor de volksgezondheid daar is iedereen het over eens. Naast de rol van ventilatie bij het beperken van infectieziekten wordt men ook blootgesteld aan vele andere biologische en chemische agentia die tot een slechte luchtkwaliteit kunnen leiden en daarmee tot chronische ziekten als hart- en vaatziekten, beroerte, longkanker en COPD [21].

Tabel 2: Aanvullende eisen kantoren en scholen.

Klasse	NPR-CR 1752 (15)	PVE Frisse scholen (17) (omgerekend van dm <sup>3</sup> /s pp)	PVE gezonde Kantoren (16)	NEN-EN 16798-1 (18) (omgerekend van dm <sup>3</sup> /s pp)
A	70 m <sup>3</sup> /h pp	43,2 m <sup>3</sup> /h pp	60 m <sup>3</sup> /h pp	(Klasse I): 72 m <sup>3</sup> /h pp
B	50 m <sup>3</sup> /h pp	30,6 m <sup>3</sup> /h pp	40 m <sup>3</sup> /h pp	(Klasse II): 50,4 m <sup>3</sup> /h pp
C	30 m <sup>3</sup> /h pp	21,6 m <sup>3</sup> /h pp	25 m <sup>3</sup> /h pp	(Klasse III): 28,8 m <sup>3</sup> /h pp
				(Klasse IV): 19,8 m <sup>3</sup> /h pp

In Europa zijn 595.000 sterfgevallen per jaar toe te schrijven aan slechte kwaliteit van de binnenlucht in woningen waarbij een deel van de vervuiling van buiten komt. Fijnstof, ozon, stikstofdioxide en sulfaatdioxide worden hier als de belangrijkste veroorzakers genoemd. De lijst aan biologische en chemische agentia die vaak worden aangetroffen in het binnenmilieu is nog veel groter en dit zorgt voor een additionele ziektelast. Een slechte binnenluchtkwaliteit brengt veel verborgen kosten met zich mee, bijvoorbeeld door verhoging van het ziekteverzuim, verlaging van de prestaties en vermindering van vastgoedwaarde [22].

Door de huidige pandemie ligt de komende tijd de focus waarschijnlijk meer op infectiepreventie (beperking blootstelling aan virussen). Deze virussen kunnen in microscopisch kleine vochtdruppels (aerosolen) lange tijd in de lucht aanwezig zijn. Met behulp van ventilatie wordt de virusconcentratie verlaagd door toevoer van verse, schone buitenlucht én het verwijderen van die vervuiling via de luchtafvoer. In dit artikel wordt eventuele **luchtrecirculatie** (zonder geavanceerde luchtfiltering of -reiniging) verder **niet als toevoer van verse buitenlucht beschouwd**.

**Bron, dosis en effect**

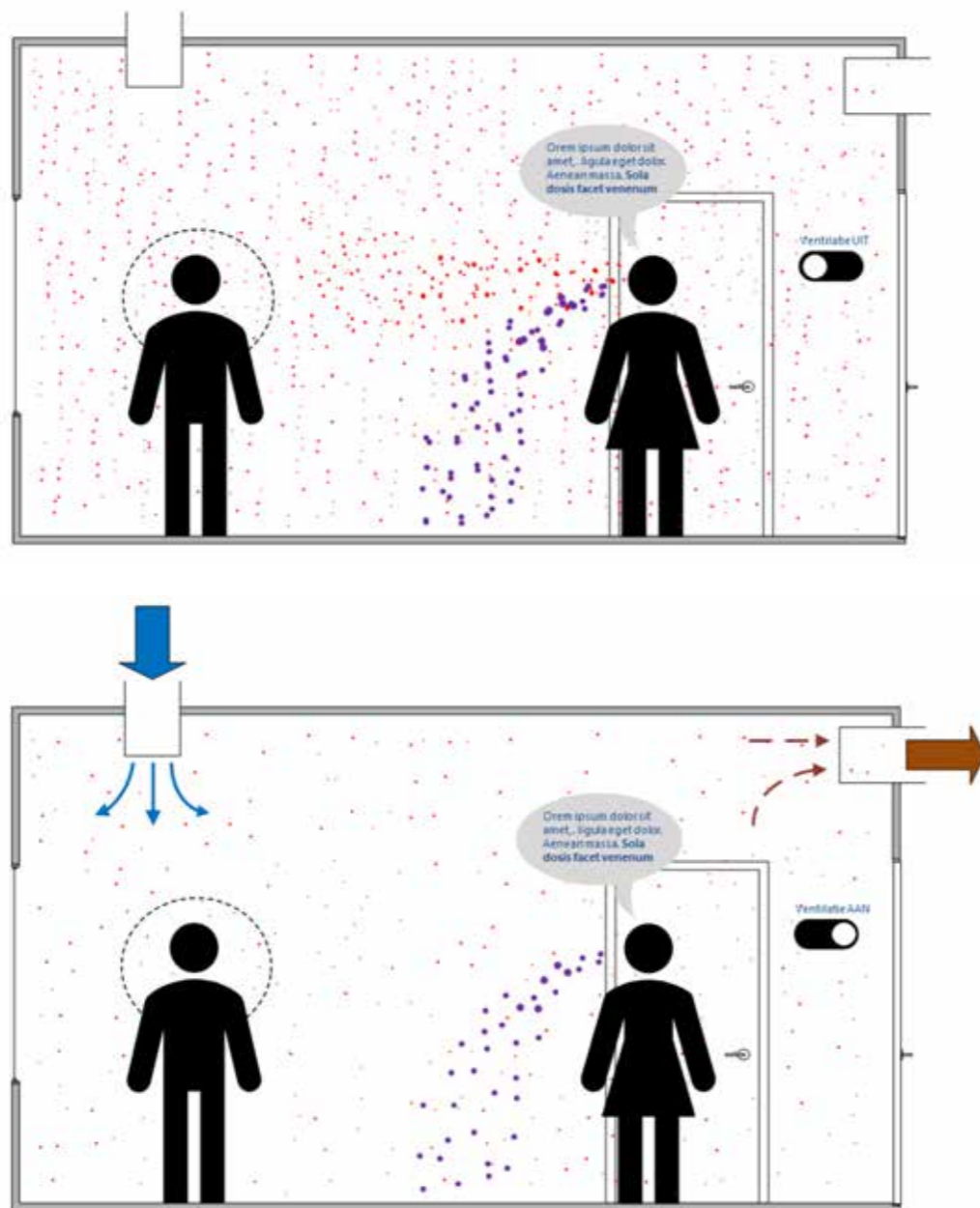
In het algemeen hangt bij blootstelling aan een ziekteverwekker het effect af van de dosis, het aantal virusdeeltjes dat nodig is om iemand te infecteren. Het causale verband tussen meer luchtverversing en een bewezen kleiner aantal infecties is lastig te bepalen [23] [24]. Als er zich in een ruimte een besmettelijk persoon (de

bron) bevindt verspreidt deze virussen, eventueel door hoesten of niezen, maar zeker óók door alleen te ademen, praten, zingen of schreeuwen. Naast de grotere druppels die binnen 1,5 meter neerslaan worden dan aerosolen uitgestoten die langere tijd in de lucht blijven hangen. Bij weinig ventilatie ontstaat op den duur een hoge steady-state concentratie aan virussen in de lucht. Hoe meer ventilatie, hoe lager deze steady-state concentratie zal zijn. De totale dosis die een niet besmette persoon binnenkrijgt is weer afhankelijk van die virusconcentratie en de duur dat iemand eraan blootgesteld wordt (zie Figuur 1 en Figuur 2). Bij verkorting van de duur van het verblijf of verhoging van de hoeveelheid luchtverversing wordt de totale dosis dus lager en wordt de kans dat iemand besmet raakt, ondanks enige blootstelling, kleiner. Bij een gemiddeld (gezond) persoon is het afweersysteem namelijk in staat om enige blootstelling aan te kunnen, maar op het moment dat men langere tijd aan verhoogde concentraties blootgesteld wordt dan zal in veel gevallen wel besmetting optreden.

Over de hoeveelheid luchtverversing die tijdens de huidige pandemie vereist zou zijn om een voldoende veilige situatie te creëren is weinig bekend. Wat het extra complex maakt is dat e.e.a. ook sterk van de situatie afhangt. Wordt er gesport of gezongen dan heb je te maken met een veel sterkere 'bron' dan normaal (een besmettelijk persoon die sport of zingt verspreid minimaal 10 keer zoveel virussen als iemand die stil zit). Een relatief kleine ruimte geeft daarbij een andere situatie qua risico dan een grote ruimte.

**Het Wells-Riley-model**

Wereldwijd worden veel onderzoeken gedaan naar de verspreiding van het coronavirus via de lucht door aerosolen



**Figuur 1:** Virusconcentratie bij een ruimte zonder ventilatie (Bron: BBA Binnenmilieu).

**Figuur 2:** Virusconcentratie bij een ruimte met ventilatie (Bron: BBA Binnenmilieu).

	kantoorfunctie		bijeenkomstfunctie/ onderwijsfunctie		zangkoor		
stemgebruik	q [quanta/h]	f <sub>p</sub>	q <sub>p</sub> [quanta/h]	f <sub>p</sub>	q <sub>p</sub> [quanta/h]	f <sub>p</sub>	q <sub>p</sub> [quanta/h]
niet praten	5	0,95	4,75	0,75	3,75	0,5	2,5
praten	70	0,05	3,5	0,25	17,5	-	-
zingen	450	-	-	-	-	0,5	225
<b>totaal</b>			<b>8,25 (10)</b>		<b>21,5 (25)</b>		<b>227,5 (225)</b>

q [quanta/h] virusuitstoot per uur door een infectueus persoon, overgenomen van de 95<sup>e</sup> percentiel van de bepaalde quanta uit Tabel 2 van Buonanno et al (X), allen bij lichte activiteit en bij respectievelijk niet praten en wel praten (door het infectueuze persoon)  
 f<sub>p</sub> fractie van de tijd dat er gemiddeld niet gepraat of wel gepraat wordt (door het infectueuze persoon)  
 q<sub>p</sub> [quanta/h] aandeel in virusuitstoot per uur door een infectueus persoon voor het aandeel waarin niet gepraat of wel gepraat wordt (door het infectueuze persoon)

**Tabel 3:** Bepaling van de gemiddelde bronsterkte q [quanta/h] per situatie, gecorrigeerd voor het gemiddelde aandeel van stemgebruik per uur voor de inschatting van de besmettingskans door het SARS-CoV-2 virus met het Wells-Riley model.

	Afmetingen ruimte <sup>1</sup>				Bezetting <sup>2</sup>		Virus belasting <sup>3</sup>			
	lengte [m]	breedte [m]	hoogte [m]	volume [m <sup>3</sup> ]	aantal personen	oppervlakte pp [m <sup>2</sup> /pp]	volume pp [m <sup>3</sup> /pp]	aantal infectueuze personen aanwezig	uitstoot [quanta/h] <sup>4</sup>	ademvolume [m <sup>3</sup> /h]
<b>kantoorfunctie</b>										
kantoor (4p)	5,4	3,6	3	58	3	6,5	19	1	10	0,5
kantoortuin (20p)	14,4	10,8	3	467	20	8	23	1	10	0,5
<b>bijeenkomstfunctie</b>										
vergaderruimte (8p)	5,4	3,6	3	72	8	2,5	7	1	25	0,5
repetitie zangkoor (25p) <sup>5</sup>	7	7	3	147	25	2	6	1	225	1,0
<b>onderwijsfunctie</b>										
klaslokaal (25p) <sup>6</sup>	7	7	3	147	25	2	6	1	25	0,5

1. Veel voorkomende afmetingen in de Nederlandse praktijk  
 2. Dit is een standaard bezetting in normale situatie, dus geen rekening houdend met 1,5 meter afstand  
 3. Waarden voor quanta, activiteitsniveau en ademvolume zijn afgeleid uit het paper 'Estimation of airborne viral emission: quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment' (4)  
 4. In Tabel 3 worden de aangenomen waarden voor de virusuitstoot q [quanta/h] bepaald  
 5. Er wordt hier uitgegaan van een lokaal, ter grootte van een klaslokaal, waarin een koorrepetitie plaatsvindt van 2 uur met 25 mensen  
 6. Hierbij wordt uitgegaan van een klas van de bovenbouw van de VO, waarbij het metabolisme en bijbehorend ademvolume en virusuitstoot van de leerlingen dezelfde is als voor volwassenen.

**Tabel 4:** Uitgangspunten voor de berekeningen van de besmettingskans door het SARS-CoV-2 virus via aerosolen met het Wells-Riley model.

**Opmerking**

De besmettingskans via de aerosolroute (bepaald met behulp van het Wells-Riley-model), zoals in dit artikel gepresenteerd, is gebaseerd op de gegevens zoals op het moment van schrijven van dit artikel beschikbaar zijn in de wetenschappelijke literatuur. De waarden voor de virusuitstoot van een besmette persoon (q [quanta/h]) gaan door voortschrijdend inzicht mogelijk in de toekomst nog enigszins aangepast worden. Het gaat in dit artikel echter vooral om een vergelijking, in orde van grootte, van besmettingsrisico's wanneer de verschillende ventilatie-eisen gehanteerd worden. Een specifiekere en nauwkeurigere bepalingsmethode voor de besmettingskans via de lucht is in ontwikkeling (zie hiervoor ook het artikel van Loomans et al. in dit nummer).

Situatie	Bouwbesluit 2012 (nieuwbouw)						Klasse A PVE gezonde kantoren / PVE Frisse scholen					
	ventilatie		steady-state CO <sub>2</sub> concentratie [ppm]	Besmettingskans <sup>1</sup>			ventilatie		steady-state CO <sub>2</sub> concentratie [ppm]	Besmettingskans <sup>1</sup>		
	AER [1/h]	Q <sub>v</sub> [m <sup>3</sup> /h]		2 h	4 h	6 h	AER [1/h]	Q <sub>v</sub> [m <sup>3</sup> /h]		2 h	4 h	6 h
<b>kantoorfunctie</b>												
kantoor (4p)	1,2	70	ca 1200	13%	25%	35%	3,1	180	ca 700	5%	11%	15%
kantoorruimte (20p)	1,0	470	ca 1200	2%	4%	6%	2,6	1200	ca 700	1%	2%	2%
<b>bijeenkomstfunctie</b>												
vergadering (8p)	2,0	115	ca 1600	20%	35%	48%	8,2	480	ca 700	5%	10%	14%
repetitie zangkoor (25p) <sup>2</sup>	1,0	360	ca 1600	71%	-	-	3,75	1500	ca 700	26%	-	-
<b>onderwijsfunctie</b>												
klaslokaal (25p) <sup>3</sup>	2,2	765	ca 1000	3%	6%	9%	2,7	1080	ca 800	2%	5%	7%

1. De kans om besmet te raken via aerosolen bij aanwezigheid van één met SARS-CoV2 geïnfecteerd persoon; de daadwerkelijke kans om besmet te raken in een aangegeven situatie moet nog vermenigvuldigd worden met de kans dat er een geïnfecteerd persoon aanwezig is.  
 2. Er wordt hier uitgegaan van een lokaal, ter grootte van een klaslokaal, waarin een koorrepetitie plaatsvindt van 2 uur met 25 mensen  
 3. Hierbij wordt uitgegaan van een klas van de bovenbouw van de VO, waarbij het metabolisme en bijbehorend ademvolume en virusuitstoot van de leerlingen dezelfde is als voor volwassenen.

Tabel 5: Vergelijking besmettingskans bij ventilatie volgens het Bouwbesluit 2012 (nieuwbouw) met klasse A PVE gezonde kantoren / PVE frisse scholen (uitgangspunten zie Tabel 3).

en de relatie met ventilatie. Een belangrijk en bruikbaar onderzoek is gedaan door Buonanno, Stabile en Morawska [25]. In dit artikel wordt een onderbouwde inschatting gedaan van de hoeveelheid virale druppels (quanta) die door een besmette persoon uitgestoten wordt in de lucht; e.e.a. afgeleid van de virusconcentratie in de luchtwegen van een besmettelijk persoon die via de druppels in de lucht komen, het type ademhaling (ademhalen, spreken, zingen), exhalatie- en inhalatiesnelheid (dm<sup>3</sup>/s) en activiteitsniveau (zitten, staan, (lichte) inspanning). Op basis van gegevens over uitbraken (super spreading

events) in het verleden waarbij (waarschijnlijk) met name aerosolen een rol speelden, wordt er teruggerekend wat de 'bronsterkte' q [quanta/h] geweest moet zijn om tot het aantal besmettingen te komen dat daar heeft plaatsgevonden. Het artikel van Loomans et al. in dit nummer gaat hier dieper op in. De op deze manier bepaalde bronsterkten q [quanta/h] kunnen worden gebruikt voor het maken van een infectierisicomodel (het Wells-Riley-model) om een inschatting te maken van de kans op besmetting voor een bepaalde ruimte, uitgaande van een aanname ten aanzien van het aantal besmette (vaak wordt totaal 1 aangenomen), de totale ventilatiehoeveelheid in de ruimte, het activiteitsniveau en het bijbehorende ademvolume.

kantoorfunctie	Benodigde toevoer van verse lucht voor een besmettingskans < 20%						Benodigde toevoer van verse lucht voor een besmettingskans < 5%					
	2 h		4 h		6 h		2 h		4 h		6 h	
	AER [1/h]	V [m <sup>3</sup> /h]	AER [1/h]	V [m <sup>3</sup> /h]	AER [1/h]	V [m <sup>3</sup> /h]	AER [1/h]	V [m <sup>3</sup> /h]	AER [1/h]	V [m <sup>3</sup> /h]	AER [1/h]	V [m <sup>3</sup> /h]
<b>kantoorfunctie</b>												
kantoor (4p)	0,8	45	1,6	90	2,3	135	3,4	200	6,8	395	10	595
kantoorruimte (20p)	0,1	45	0,2	90	0,3	135	0,4	200	0,9	395	1,3	595
<b>bijeenkomstfunctie</b>												
vergadering (8p)	1,9	115	3,9	225	5,8	340	8,5	495	17	990	26	1500
repetitie zangkoor (25p) <sup>2</sup>	5,0	2020	-	-	-	-	22	8800	-	-	-	-
<b>onderwijsfunctie</b>												
klaslokaal (25p) <sup>3</sup>	0,3	115	0,6	225	0,8	340	1,2	495	2,5	990	3,7	1500

Tabel 6: Inschatting van de benodigde toevoer van verse lucht om de besmettingskans via aerosolen onder de 20% en 5% te houden bij aanwezigheid van 1 met SARS-CoV2 geïnfecteerd persoon.

1. De kans om besmet te raken via aerosolen bij aanwezigheid van één met SARS-CoV2 geïnfecteerd persoon; de daadwerkelijke kans om besmet te raken in een aangegeven situatie moet nog vermenigvuldigd worden met de kans dat er een geïnfecteerd persoon aanwezig is.  
 2. Er wordt hier uitgegaan van een lokaal, ter grootte van een klaslokaal, waarin een koorrepetitie plaatsvindt van 2 uur met 25 mensen  
 3. Hierbij wordt uitgegaan van een klas van de bovenbouw van de VO, waarbij het metabolisme en bijbehorend ademvolume en virusuitstoot van de leerlingen dezelfde is als voor volwassenen.

Dit artikel gaat uit van de 95e percentiel waarde (worst case scenario) van de bepaalde bronsterkten q [quanta/h] van Tabel 2 uit Buonanno et al. [25] voor verschillende vormen van stemgebruik bij lichte activiteit en zijn er aannames gedaan over de gemiddelde duur van ademhalen, praten en zingen (Tabel 3).

Besmettingskans bij ademen, praten en zingen

Met het Wells-Riley-model zijn voor kantoor- en schoolgebouwen inschattingen gemaakt van de individuele kans op besmetting bij aanwezigheid van 1 besmettelijk persoon in het geval er geventileerd wordt volgens het Bouwbesluit 2012 (nieuwbouw), volgens de Klasse A eis uit het PVE Gezonde kantoren [18] en volgens de klasse A eis uit het PVE Frisse scholen [19] (Tabel 2). Per ruimte is gekeken naar hoe standaard gebruik eruit ziet, en is een inschatting gemaakt van wel percentage van de tijd men normaliter praat (Tabel 3). Als voorbeeld; een werkplek in een kantoorruimte waar beperkt wordt gesproken of een vergaderzaal waarin veel wordt gesproken betekent iets voor de benodigde hoeveelheid luchtverversing per persoon als men hetzelfde veiligheidsniveau wil bereiken qua beperking van besmettingskansen. De sessieduur (duur van het verblijf in de ruimte van zowel de infectueuze persoon als de risico lopende personen) is ook per scenario gevarieerd. Uitgangspunten zijn verder weergegeven in Tabel 4.

Uit de in Tabel 5 gepresenteerde berekeningsuitkomsten is op te maken dat in het geval er alleen wordt geventileerd volgens het Bouwbesluit 2012 (nieuwbouw) de kans op besmetting met het SARS-CoV-2 virus in sommige situaties behoorlijk hoog op kan lopen, met name bij langdurig verblijf in een kantoorruimte met 4 personen of een vergadering. Als er gezongen wordt in een klaslokaal wordt de kans ook weer groter en de kansen worden nog groter als er geventileerd zou worden volgens de Bouwbesluit eisen voor bestaande bouw. Indien er geventileerd wordt volgens klasse A van het PVE gezonde kantoren [18] of het PVE Frisse scholen [19] geldt dat de besmettingskansen (met name bij langduriger verblijf) ook nog aanzienlijk zijn maar wellicht nog acceptabel voor niet kwetsbare groepen. De kansen op besmetting (nogmaals: het gaat om de kans op besmetting, indien toevallig een besmette persoon aanwezig is) lopen op met de duur van het verblijf. Ook wordt duidelijk dat de kans sterk afhankelijk is van de activiteit en het stemgebruik (ademen, praten of zingen).

Veiligheidsniveaus

Op landelijk niveau zullen er afspraken gemaakt moeten worden over wat goede grenswaarden zijn, bijvoorbeeld 1%, 5% of 20%, al dan niet verschillende klassen voor verschillende gebouwtypen rekening houdend met verschillen in kwetsbaarheid van de eindgebruikers (denk bijvoorbeeld aan een verpleeghuis). In Tabel 6 is ter illustratie weergegeven wat de hoeveelheid luchtverversing zou moeten zijn in een ruimte voor een besmettingskans via de aerosolroute lager dan respectievelijk 20% en 5%.

Voor kantooromgevingen zijn de ventilatiehoeveelheden voor een besmettingskans onder de 20% nog te overzien. Bij langdurige vergaderingen en in een kantoorruimte dat de hele werkdag bezet is zullen de geadviseerde ventilatievouden echter al kunnen oplopen naar meer dan 5. Bij een repetitie van een zangkoor zou er, indien er uitgegaan wordt van een besmettingskans van minder dan 5%, al een ventilatievoud van meer dan 20 moeten worden gerealiseerd. Dit gaat dan om toevoer van **verse lucht** en niet van ongefilterde of ongereinigde recirculatielucht.

Maatschappelijk belang van meer ventilatie

De besmettingsroute van SARS-CoV-2 via aerosolen wordt op dit moment door sommige partijen onderschat, maar meer ventileren is niet alleen relevant in relatie tot de Covid 19-pandemie. We zouden ook moeten anticiperen op toekomstige epidemieën en pandemieën. Los daarvan zijn er nog diverse andere redenen om aandacht te besteden aan de binnenlucht kwaliteit, zoals de eerder beschreven gezondheidseffecten bij chronische ziekten die kunnen ontstaan bij onvoldoende verse luchttoevoer.

Het aantal chronisch zieken neemt in onze vergrijzende samenleving toe en daardoor de gezondheidskosten. De verwachting is een verdubbeling van deze kosten van 5.500 Euro per persoon per jaar naar circa 9.600 Euro per persoon in 2040 [26]. Nu al is de zorg verantwoordelijk voor 27% van de Rijksbegroting [27]. Naast deze macro-economische gevolgen is productiviteit een ander relevant thema om een competitieve economie te houden. Een vitaal arbeidskapitaal, voor de meeste ondernemers het belangrijkste kapitaal dat zij bezitten, bepaalt in grote mate de winstgevendheid van de onderneming. Een goed binnenmilieu is daar, naast andere aspecten zoals voeding, bewegen en geestelijke gezondheid, een vertrekpunt om een hogere productiviteit te creëren en daarmee een extra reden om niet te bezuinigen op binnenlucht kwaliteit en ventilatiesystemen.

Van comfortinstallaties naar gezondheidsinstallaties

Om recht te doen aan het belang van ventilatie voor de volksgezondheid zou het goed zijn om de standaard ventilatie-eisen zoals vermeld in normen en richtlijnen te heroverwegen.

Wijzigingen kunnen bijvoorbeeld gaan over:

- Meer rekening houden met het verschillend gebruik van de ruimten die het risico bepalen wanneer mensen de directe besmettingsbron zijn, zoals bij virussen. Dit impliceert dat de vereiste ventilatiehoeveelheden zouden kunnen variëren bij verschillende functies en verschillende groepen mensen op basis van;
  - De uitstoot van aerosolen, waaronder virussen en andere biologische agentia, bepaald door het activiteitsniveau en het stemgebruik.
  - De kwetsbaarheid van de doelgroep.
- Aanvullende bepaling met betrekking tot de kwaliteit van de toegevoerde lucht; voorwaarden opstellen voor toepassing van recirculatie.
- Aanvullende bepaling over mogelijkheden om extra te ventileren in bepaalde omstandigheden, gebaseerd op duur van verblijf, grootte van de ruimte en de doelgroep (kwetsbaarheid).
- Ruimte bieden aan gelijkwaardige alternatieven zoals filtratie en luchtreinigingstechnieken, als meer ventileren niet uitvoerbaar is.
- Eisen bijstellen op basis van epidemiologische inzichten om de ziektelast van chronische ziekten te reduceren.
- Herzien van met name de eisen voor bestaande bouw (zoals vermeld in het Bouwbesluit) op basis van deze inzichten

Het beter afstemmen van ventilatie op het gebruik kan bijdragen aan het beperken van besmettingen en daarmee de kans dat er wederom drastische beperkingen nodig zijn, met alle gevolgen van dien.

Overigens is dit niet iets waarbij we over 1 nacht ijs moeten gaan. Aanpassen van de huidige ventilatie-eisen en richtwaarden kan nogal wat consequenties hebben, denk onder andere aan oplopende kosten als in verband met aanpassing van bestaande bouw eisen gebouwinstallaties ingrijpend aangepast dienen te worden.

#### Pleidooi voor meer onderzoek en aanpassing regelgeving

Hoewel er nog veel onbekend is over de COVID-19 aerosolroute, wordt er door de huidige pandemie eens te meer duidelijk hoe belangrijk luchtverversing is voor de gezondheid en het welbevinden van mensen in binnenruimten. De eisen uit het Bouwbesluit 2012 [15] zijn van oorsprong met name geformuleerd uit het oogpunt van (olfactisch) comfort en niet uit oogpunt van volksgezondheid en in het bijzonder het beperken van risico's op de overdracht van infectieziekten. Met de inzichten van de Corona-crisis in het achterhoofd kan men stellen dat o.a. de ventilatievoorschriften uit het Bouwbesluit 2012 [15] heroverwogen zouden moeten worden. Nader overleg met betrokken partijen is nodig, ook zal er op onderdelen sprake moeten zijn van aanvullend onderzoek.

Een herziening van het ISSO researchrapport 1 [13] en het rapport van de Gezondheidsraad [12] zou hierbij een goed begin kunnen zijn.

#### Referenties

1. N. E. Klepeis, W. C. Nelson, W. R. Ott, J. P. Robinson, A. M. Tsang en P. Switzer, „Berkely Lab; Indoor Environment; Energy Technologies Area,” Lawrence Berkeley National Laboratory, 2001. [Online]. Available: <https://indoor.lbl.gov/sites/all/files/lbnl-47713.pdf>.
2. L. Morawska en D. Milton, „It is Time to Address Airborne Transmission of COVID-19,” *Clinical Infectious Diseases*, 2020.
3. J. F. Schijven, L. C. Vermeulen, A. Swart, A. Meijer, E. Duizer en A. M. de Roda Husman, „Exposure assessment for airborne transmission of SARS-CoV-2 via breathing, speaking, coughing and sneezing,” *medRxiv*, 2020.
4. G. Buonanno, L. L. Stabile en L. Morawska, „Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment,” *Environment International*, nr. 141, 2020.
5. NOS, „NOS.nl,” 2020. [Online]. Available: <https://nos.nl/artikel/2339854-rivm-verspreiding-coronavirus-via-aerosolen-is-mogelijk.html>.
6. RIVM, Beantwoording vragen met betrekking tot ventilatie op verzoek van het ministerie van VWS, De Bilt, 2020.
7. Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap, „Inrichting landelijk coördinatieteam ventilatie op scholen,” Den Haag, 2020.
8. W. de Gids, „Ventilatie, achtergrond van de eisen; TNO rapport EOS-LT DP 2015 WP1.1,” TNO, 2011.
9. Y. Li, „Indoor air: A short history of holistic and reductionistic approaches,” 1999.
10. J. E. Janssen, „The history of ventilation and temperature control,” *ASHRAE Journal*, vol. 1999, 1999.
11. C. R. A. T. v. 4. 1. Yaglou, „Ventilation Requirements,” *ASHVE Transactions*, nr. vol 42, 1936.
12. Gezondheidsraad, „Advies inzake het binnenhuisklimaat, in het bijzonder een ventilatieminimum, in Nederlandse woningen,” 1984.
13. ISSO, „Researchrapport 1: Onderzoek naar minimum verse luchttoevoer,” 1981.
14. P. Fanger en B. Berg-Munch, „Ventilation requirements for the control of body odor,” in *BUILDING ENERGY MANAGEMENT, TRANSITIONS IN TECHNOLOGIES AND POLICIES, PROC. SECOND INT. CONGRESS ON BUILDING ENERGY MANAGEMENT*, 1983.
15. Bouwbesluit, 2012.
16. NEN, NPR-CR 1752:1999; Ventilatie van gebouwen - Ontwerpcriteria voor de binnenomstandigheden, NEN, 1999.
17. ISSO, Praktijkboek Gezonde Gebouwen; Cahier T1: Luchtkwaliteit woningbouw, 2002.
18. TVVL, PVE Gezonde kantoren, 2018.
19. RVO, PVE Frisse scholen, 2015.
20. NEN, NEN-EN 16798-1: Energieprestatie van gebouwen - Deel 1: Invoergegevens voor het binnenklimaat voor ontwerp en beoordeling van energieprestatie van gebouwen met betrekking tot binnenluchtkwaliteit, thermisch binnenklimaat, verlichting en akoestiek, NEN, 2019.
21. WHO, „Noncommunicable diseases and air pollution,” 2019.
22. D. Wyon, „The effects of indoor air quality on performance and productivity,” *Indoor Air*, vol. 2004, nr. Volume 14, supplement 7, pp. 92-101, 2004.
23. Y. Li, G. Leung, J. Tang, X. Yang, C. Chao, J. Lin, J. Lu, P. Nielsen, J. Niu, H. Qian, A. Sleigh, H.-J. Su, J. Sundell, T. Wong en P. Yuen, „Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment - A multidisciplinary systematic review,” 2007.
24. J. Luongo, K. Fennelly, J. Keen, Z. Zhai, B. Jones en S. Miller, „Role of mechanical ventilation in the airborne transmission of infectious agents in buildings,” 2016.
25. G. Buonanno, L. Morawska en L. Stabile, „Quantitative assessment of the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 infection: prospective and retrospective applications,” *MedRxiv*, p. 32, 2020.
26. RIVM, 2018. [Online]. Available: [www.vtv2018.nl/zorguitgaven](http://www.vtv2018.nl/zorguitgaven).
27. Rijksoverheid, „Prinsjesdag: Miljoenennota en Rijksbegroting,” 2019. [Online]. Available: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/prinsjesdag/inkomsten-en-uitgaven-van-het-rijk-2020>.
28. REHVA, Covid-19 Guidance document, 2020.
29. NOS, „NOS.nl,” NOS, 17 08 2020. [Online]. Available: <https://nos.nl/artikel/2344479-slob-richt-coördinatieteam-voor-ventilatie-op-scholen-op.html>. [Geopend 18 08 2020].
30. T. v. d. Zee, „Interview met Atze Boerstra, „Meer aandacht voor gezond bouwen, eindelijk!,”” vol. 2018, 2018.