

Scholen, Ventilatie, Energie en Besmettingskans; En de zin en onzin van spuien

De Covid pandemie heeft het belang van goede ventilatie duidelijk op de kaart gezet. Het resultaat is geweest dat in veel scholen in de afgelopen twee jaar dat de ramen vaak open hebben gestaan, zelfs in de winter. Dat was noodzakelijk doordat de ventilatie vaak nog niet op orde was. Vanuit het oogpunt van besmettingskans is dat positief, vanuit comfort en energetisch oogpunt is dat minder optimaal. Er is extra energie nodig om de extra warmteverliezen via de open ramen te compenseren. Naast dat dit vanuit het oogpunt van duurzaamheid niet wenselijk is, zijn door de snel stijgende energiekosten, de extra kosten daarvan voor scholen ook minder goed te dragen.

Er is dus sprake van een optimalisatievraagstuk van gezondheid versus energie. Op het niveau van de samenleving lijkt een keuze voor gezondheid vanzelfsprekend. Hiervoor hoeven we enkel te kijken naar wat de Covid-pandemie de Nederlandse samenleving heeft gekost. Op het niveau van de school komen die kosten voor de gezondheidszorg niet terug, maar wel die van de energierekening.

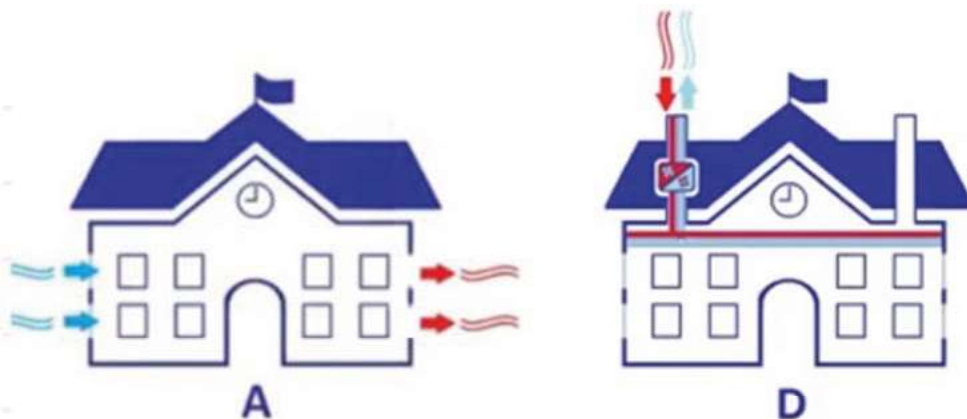
Uitgangspunt zal uiteindelijk toch moeten zijn dat de gezondheid op de eerste plaats komt. Maar het is mooi wanneer we dat op een verantwoorde manier kunnen doen. In dit geval met een beperkt gebruik van energie.

Daarom hebben we in dit onderzoek gekeken naar de energiekosten versus de opbrengsten in termen van een verminderde kans op besmettingen in geval van een klaslokaal. Het doel was te onderzoeken hoe de verhouding is tussen extra energiekosten in de winter door meer te ventileren, eventueel in combinatie met spuien, versus een reductie in de kans op besmettingen. Deze verhouding wordt vooral afhankelijk geacht van het type ventilatiesysteem en het isolatieniveau.

We hebben dit onderzocht voor twee typen ventilatiesystemen (zie Figuur 1): Type A (natuurlijk geventileerd) en Type D (mechanische balansventilatie met warmteterugwinning). De gedachte hierachter is dat Type A een zeer gangbaar type ventilatieoplossing is voor klaslokalen bij bestaande schoolgebouwen, terwijl Type D meer zal worden toegepast bij nieuwbouw. Voor de volledigheid, Type C (mechanische afzuiging) laat zich energetisch vergelijken met Type A en qua besmettingskans met Type D. Voor het isolatieniveau is gekeken naar oudbouw, nieuwbouw en passiefbouw.

Methode

Om de analyse te kunnen maken, zijn twee modellen nodig. Een model om te berekenen wat de energievraag is, gegeven een isolatieniveau en een bepaalde ventilatieoplossing en ventilatie-



Figuur 1: Ventilatiesysteem Type A (natuurlijk) en D (balansventilatie met warmteterugwinning).[1]

regime, en een model om te berekenen wat de besmettingskans is, gegeven de ventilatiesituatie en de aanwezigheid van een geïnfecteerd persoon in de ruimte.

Voor het onderzoek is uitgegaan van een standaard klaslokaal van $7 \times 7 \text{ m}^2$ en een hoogte van 2,8m, met een bezetting van 30 leerlingen en 1 docent. Het gebruik van het klaslokaal is afgestemd op een les van 50 min. Voor het wisselen van klassen wordt uitgegaan van 10 min, en dat is een moment voor spuien door de ramen open te zetten.

Het spuien gebeurt altijd via natuurlijke ventilatie. De basisventilatie in het klaslokaal gaat uit van een van de twee genoemde types (A of D). In de onderzochte scenario's wordt onder andere gekeken naar het effect van spuien (continu gedurende de dag, op de momenten van een klaswissel en tijdens de pauzes, of niet). Daarnaast is het effect van de hoeveelheid ventilatie (debiet) en de hoeveelheid waarmee gespuid kan worden onderzocht. Voor de waardes daarvoor is teruggevallen op de drie klassen zoals gedefinieerd in het programma van eisen Frisse Scholen [2] (Tabel 1). Omdat koeling niet vaak aanwezig is in scholen, hebben we gekeken naar een wintersituatie en gaan we ervan uit dat we de temperatuur in het klaslokaal op het gewenste niveau willen houden vanuit het oogpunt van thermisch comfort.

De energieberekeningen zijn uitgevoerd met DesignBuilder [3]. Om het effect van de constructie van het klaslokaal (de school) op de energievraag mee te nemen, zijn zoals eerder aangegeven ook een drietal constructietypen gedefinieerd (Tabel 2). Voor

ventilatietype A is gerekend met het constructietype 'Oud' en 'Nieuw', omdat we hier uitgaan van veelal langer bestaande schoolgebouwen of gerenoveerde versies daarvan. Voor ventilatietype D is het constructietype 'Nieuw' en 'Passief' bij alle scenario's meegenomen in de berekeningen.

Uit bovenstaande informatie is een aantal scenario's afgeleid waarvoor de energievraag is berekend. De onderzochte scenario's zijn weergegeven in Tabel 3. Als er een spuidebiet is gedefinieerd, dan wordt bij aanwezigheid van een spuisceario (S1) uitgegaan van 10 minuten spuien bij het wisselen van een les en in de pauzes wordt de hele tijd gespuid. In het andere geval wordt er continu gespuid, dus aanvullend op de basisventilatie (S0). Indien er niet wordt gespuid, dan is er vanzelfsprekend ook geen spuisceario (POS0). Gaat het om een natuurlijk geventileerd klaslokaal (Type A), dan wordt van het spuidebiet uitgegaan als maximum ventilatiedebiet, als een spuidebiet aanwezig wordt verondersteld. Bij een mechanisch geventileerd klaslokaal (Type D) wordt deze spuiventilatie als extra verondersteld.

Voor de bepaling van de besmettingskans is uitgegaan van het Wells-Riley model [4]. Hierbij is de quanta dosis bepaald op basis van een integratie van het ingeademde aantal quanta over de tijd. Deze waarde wordt steeds in de Wells-Riley vergelijking meegenomen om de besmettingskans op dat moment te berekenen.

Ten aanzien van de aanwezigheid van een geïnfecteerd persoon; deze wordt continu aanwezig verondersteld tijdens een les. Bij de 10 minuten overgang tussen twee lessen en tijdens de pauzes

	Klasse C – voldoende	Klasse B – goed	Klasse A – excellent
CO₂ concentratie	< 1200 ppm	< 950 ppm	< 800 ppm
Ventilatiedebiet	> 21.6 m ³ /uur/persoon (670 m ³ /uur)	> 30.6 m ³ / uur/persoon (949 m ³ / uur)	> 43.2 m ³ / uur/persoon (1,339 m ³ / uur)
Spuidebiet	> 6 dm ³ /s per m ² vloeroppervlak (1058 m ³ / uur)	> 6 dm ³ /s per m ² vloeroppervlak (1058 m ³ / uur)	> 9 dm ³ /s per m ² vloeroppervlak (1588 m ³ / uur)

Tabel 1: Eisen volgens PvE Frisse Scholen.[2]

	Rc gevel [m ² K/w]	Rc vloer [m ² K/w]	Rc dak [m ² K/w]	U -waarde ramen [W/m ² K]	Infiltratie [ac/h]
Oud	0.36	0.15	0.39	5.1	3
Nieuw	4.5	3.5	6	2.5	1.5
Passief	6	6	10	0.9	0.6

Tabel 2: Bouwfysische parameters varianten klaslokaal.

	Ventilatie-debiet V [m ³ /h]	Spuidebiet P [m ³ /h]	Spuiscenario S [-]
VCP0S0	670 (VC)	0 (P0)	Nvt (S0)
VCPBS1	670 (VC)	1058 (PB)	Ja (S1)
VBPO50	949 (VB)	0 (P0)	Nvt (S0)
VCPBS0	670 (VC)	1058 (PB)	Nee (S0)
VCPAS1	670 (VC)	1588 (PA)	Ja (S1)
VAP0S0	1339 (VA)	0 (P0)	Nvt (S0)
VCPAS0	670 (VC)	1588 (PA)	Nee (S0)

Tabel 3: Onderzochte scenario's. Variabelen zijn ventilatie-debiet (V), spuidebiet (P), spuiscenario (S). Tussen haakjes de codering zoals die is gebruikt bij de scenario-afkortingen.

wordt verondersteld dat gedurende 5 minuten in die periode een geïnfecteerd persoon nog in de klas aanwezig is. Dit is een keuze die is gemaakt in dit onderzoek.

In alle gevallen wordt ervan uitgegaan dat een geïnfecteerd persoon 30 quanta/uur produceert. Deze waarde is relatief laag en refereert aan de besmettelijkheid van de oorspronkelijke ('wild') variant. We weten dat opvolgende varianten duidelijk meer besmettelijk zijn. Daarom is wel gekozen voor een activiteit die iets meer quanta produceert, maar in principe zijn we vooral geïnteresseerd in de verschillen en niet zo zeer in de absolute waarden. Alle gegevens zullen dan ook relatief worden weergegeven. Voor de ademhaling is 0,5 m³/uur aangehouden. In de analyse is gekeken naar de besmettingskans zoals die oploopt over de dag wanneer een niet-geïnfecteerd persoon (bijvoorbeeld de docent) de hele tijd in een klaslokaal blijft, waarbij wel of niet extra wordt gespuid, continu of enkel tijdens de leswisselingen en in de pauzes. Ook is gekeken naar het effect van spuien op de quanta-concentratie bij de start van het 2^e uur.

	Type A (Oud) [kWh _{th}]	Type A (Nieuw) [kWh _{th}]	Type D (Nieuw) [kWh _{th}]	Type D (Passief) [kWh _{th}]
VCP0S0	68,4	48,3	12,8	7,1
VCPBS1	73,9	53,9	29,0	23,5
VBPO50	83,7	63,5	12,9	7,1
VCPBS0	91,0	70,6	69,5	61,9
VCPAS1	95,1	74,9	37,5	31,7
VAP0S0	105,2	84,7	13,0	7,2
VCPAS0	120,7	99,9	100,0	91,1

De Euler methode is gebruikt als eenvoudige benadering voor de bepaling van de tijdsafhankelijke variatie van de quanta concentratie. Vanwege de hoge debieten is uiteindelijk een tijdstap van 30 seconden gekozen. Een vergelijk met een 1 minuut tijdstap liet maximaal 1% afwijking zien voor de besmettingskans aan het eind van de dag en bij aanvang van het 2^e uur. Enkel de berekende momentane concentratie bij binnenkomst van leerlingen bij de start van het 2^e uur liet nog wel relatief grotere verschillen zien, met name voor het hoogste debiet (orde 25%; overige scenario's orde 10% en kleiner).

Resultaten en discussie

In Tabel 4 wordt een samenvatting gegeven van de berekende waarden voor de thermische energievraag voor het klaslokaal als functie van het onderzochte scenario, het type ventilatiesysteem en constructie.

Met behulp van kengetallen is een inschatting gemaakt van het gemiddelde thermische energiegebruik voor verwarming van een klaslokaal voor een dag [5, 6]. Dit wordt ingeschat op 29,7 kWh. De vergelijking met de verkregen resultaten in Tabel 4 laat zien dat de berekende waarden in orde grootte in overeenstemming zijn met deze waarde. De berekening wordt dan ook als voldoende valide beschouwd.

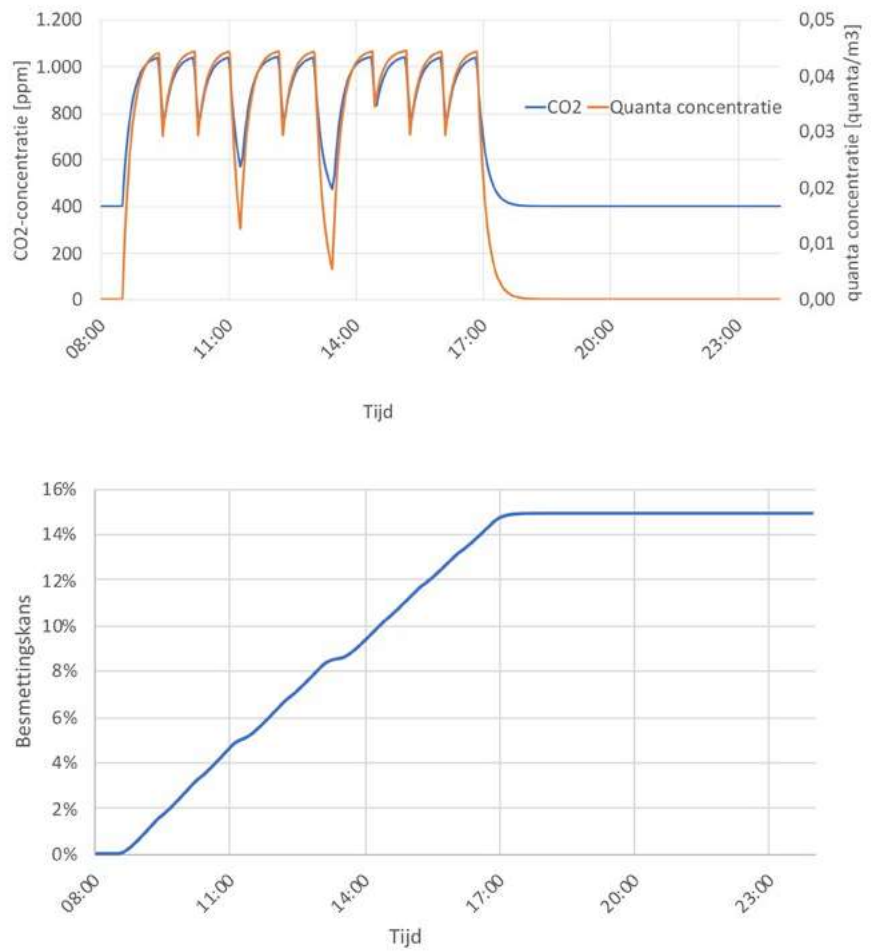
Figuur 2 laat een illustratief voorbeeld zien van het verloop van de CO₂-concentratie, de quanta-concentratie en de besmettingskans over de dag in het klaslokaal (CO₂ productie: 0,0039 l/s/persoon). De weergave van de CO₂-concentratie is illustratief en ook gebruikt om te controleren of het model correct is opgezet. Dit is ook gedaan door te vergelijken met een stationaire situatie voor wat betreft de besmettingskans (na 3 uur) bij de verschillende

Tabel 4: Resultaten energievraag voor de verschillende scenario's, ventilatietype en constructietype (tussen haakjes).

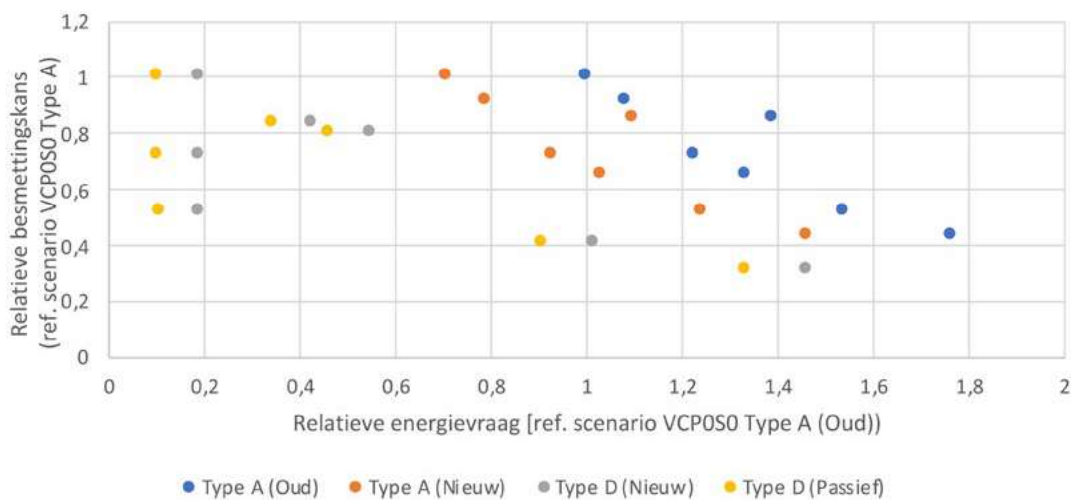
ventilatie-debiet klassen [4]. Het gevonden verschil was minder dan 1%. In de eerste figuur van Figuur 2 zijn de momenten van het wisselen van de klas en de pauzes duidelijk zichtbaar. De figuur eronder laat zien hoe de besmettingskans zich gedurende dag opbouwt. Deze kans neemt consequent toe voor een persoon die voortdurend in het klaslokaal aanwezig is, ervan uitgaande dat, indien leerlingen in de klas zijn, steeds één leerling aanwezig is die geïnfecteerd is.

In het vervolg zullen de resultaten relatief worden gepresenteerd omdat voor de besmettingskans er een relatief grote onzekerheid in de quanta-productie is. Als referentie is het scenario VCPOS0 Type A (Oud) gebruikt, zowel voor het energiegebruik als voor de besmettingskans.

Figuur 3 geeft het overzicht weer van hoe de energievraag zich verhoudt tot de besmettingskans. Dit is uitgesplitst naar het constructie- en ventilatietype. De punten in de grafiek voor een bepaald constructie- en ventilatietype verwijzen naar de verschillende scenario's die zijn onderzocht. Duidelijk

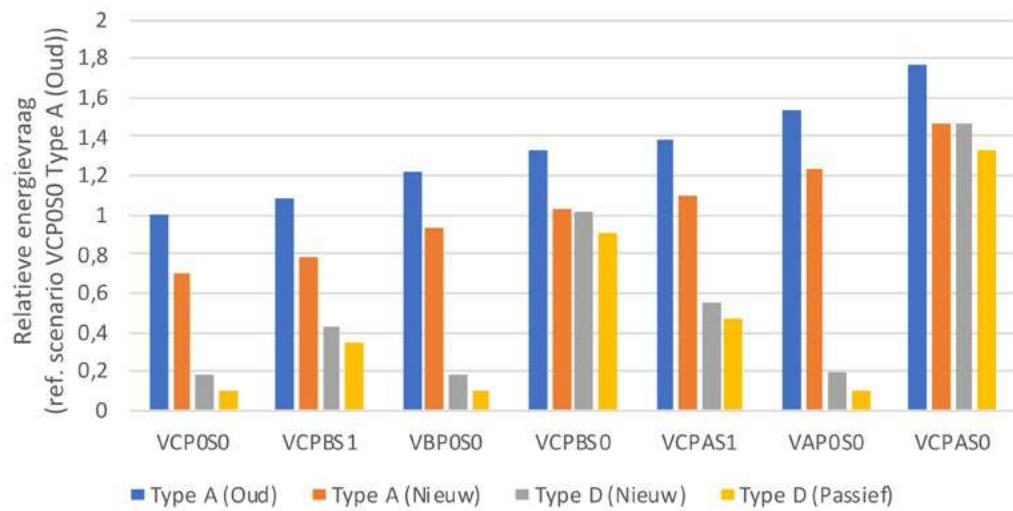


Figuur 2: Voorbeeld verloop CO₂- en quanta concentratie over de dag (boven) en de toename van de besmettingskans over de dag (onder) voor scenario VCPOS0.



Figuur 3: De relatieve energievraag versus de relatieve besmettingskans, uitgesplitst naar de constructie en het ventilatietype. De referentie heeft ventilatietype A, met een oude constructie en scenario VCPOS0, [ventilatieklasse C, geen spuidebiet en daarmee dus ook geen spuiscenario].

Figuur 4: Relatieve energievraag voor de energievraag voor de verschillende onderzochte scenario's, uitgesplitst naar type constructie en ventilatie.



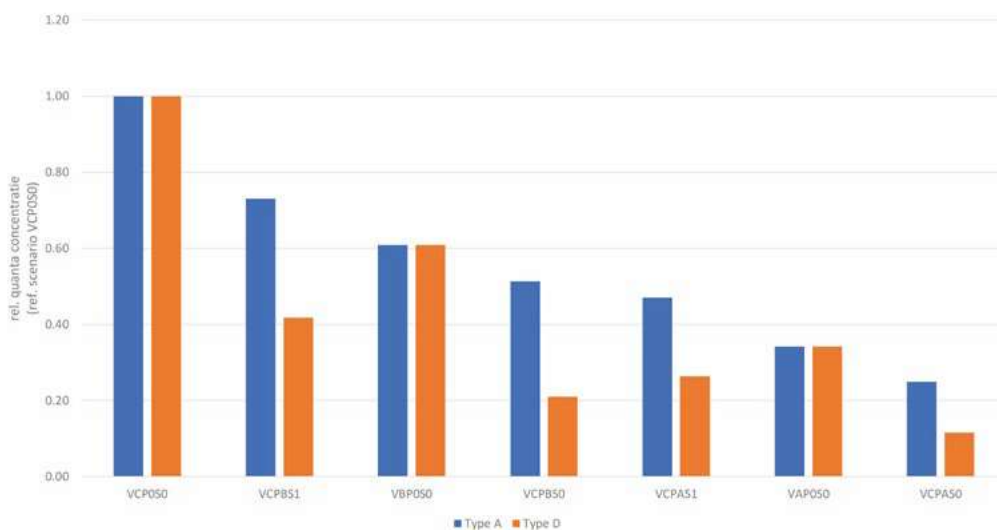
is dat het constructietype, bij eenzelfde type ventilatiesysteem, enkel effect heeft op het energiegebruik. Voor het type ventilatiesysteem is er naast een duidelijk verschil in energiegebruik, ook een klein verschil in de besmettingskans voor enkele scenario's. Dit is het geval als er gerekend wordt met spuiventilatie. Bij Type D wordt deze opgeteld

bij het aanwezige mechanische debiet, terwijl bij Type A de natuurlijke ventilatie hierop wordt gemaximaliseerd. Uit de figuur wordt duidelijk dat bij toepassing van een Type D ventilatiesysteem een vergelijkbare besmettingskans kan worden bereikt als voor Type A, maar dan bij een energievraag die in orde grootte 75% lager ligt.

Figuur 4 zoomt nog wat verder in op het relatieve energiegebruik voor de verschillende scenario's. Hierin wordt duidelijk dat bij de scenario's waar niet wordt gespuid de energievraag bij toepassing van Type D ventilatie beduidend lager is in vergelijking tot Type A. Het effect van het constructietype is daarbij minder groot. Zodra er gespuid gaat worden (PB of PA) wordt het verschil kleiner. Bij spuiventilatie vindt immers geen warmteterugwinning meer plaats. Voor scenario's VCPBS0 en VCPAS0, waarbij continu wordt gespuid met het klasse B of A spuidebiet zien we dat de voordelen van Type D nagenoeg verdwijnen.

Ventilatie m ³ /h]	Spuidebiet [m ³ /h]		
	0	1058	1588
670	VCP0S0	VCPBS1 VCPBS0	VCPAS1 VCPAS0
949	VBPOS0		
1339	VAPOS0		
Schuin: spuien tijdens leswissel en pauzes			

Tabel 5: Ondersteunende leeswijzer voor de onderzochte scenario's.



Figuur 5: Relatieve besmettingskans aan het eind van de schooldag, voor de verschillende onderzochte scenario's, uitgesplitst naar het type ventilatie.

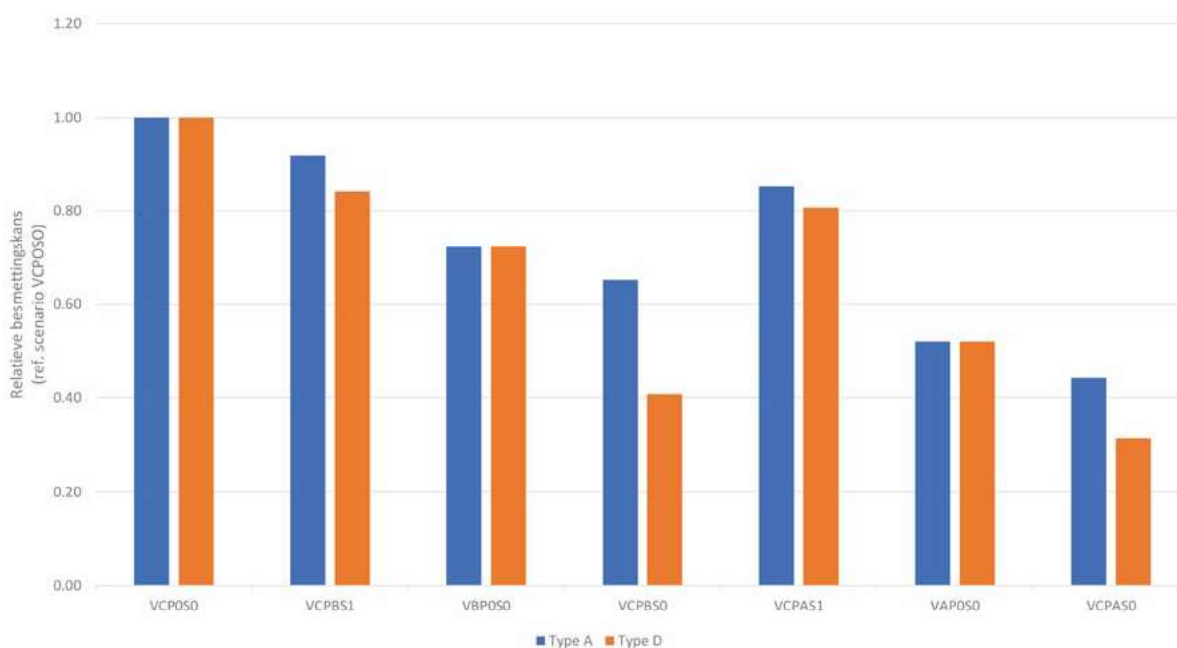
Hoe de besmettingskans wordt beïnvloed door de wijze van ventilatie is voor de verschillende scenario's samengevat in Figuur 5. De verschillen in Type A en Type D die in de figuur zichtbaar zijn, zijn het gevolg van de aanname dat bij Type D meer kan worden geventileerd (bij de combinatie met spuien) doordat het mechanische ventilatiesysteem kan blijven bijdragen. Bij Type A wordt verondersteld dat het spuidebiet het maximum debiet is dat mogelijk is. Zonder deze aanname zou de relatieve besmettingskans voor de verschillende scenario's niet hebben verschild.

Het effect van het gebruik van een spuisceario waarbij enkel tijdens de leswissel en in de pauzes wordt gespuid (PB of PA en S1), of een continu scenario (PB of PA en S0) laat zien dat de meerwaarde van een scenario waarbij niet continu wordt gespuid beperkt is. Het risico wordt in orde grootte 10 tot 20% kleiner daardoor. Hierbij is uitgegaan van klasse C (VC) voor het continue ventilatiedebiet. Beter is het om continu met een hoog debiet te ventileren, bijvoorbeeld scenario VAPOS0, waarbij klasse A wordt aangehouden voor het continue ventilatiedebiet. Zonder extra te spuien kan dan de besmettingskans nagenoeg worden gehalveerd zonder terug te moeten vallen op spui-ventilatie. Wordt gebruik gemaakt van Type D ventilatie, dan is het energiegebruik ten opzichte van de referentie ongeveer 80% lager.

Uit Figuur 5 volgt dat de bijdrage van spuien op de reductie van de besmettingskans, gerekend over een dag, duidelijk lager is dan het gebruik van een hoger continu ventilatiedebiet. Echter, realistisch gezien, is de aanname dat nagenoeg continu een besmet persoon in de klas zit, en blootstelling over de hele dag, wellicht wat te conservatief. Daarom is in Figuur 6 ook gekeken naar de quanta concentratie (relatief ten opzichte van scenario VCPOS0) zoals die aanwezig is bij aanvang van het 2^e lesuur, wanneer de leerlingen de klas in komen. Wanneer scenario VCPOS0 (klasse C ventilatie, geen spui-ventilatie) wordt vergeleken met VCPBS1 (klasse C ventilatie, klasse B spuidebiet in de pauzes), dan blijkt dat de concentratie aan quanta duidelijk verminderd kan worden door te spuien. Met een groter debiet spuien levert vanzelfsprekend een verdere verlaging van de concentratie op. De startsituatie is daarmee voor het 2^e uur duidelijk beter. Echter, doordat de concentratie weer snel opbouwt gedurende de les, is het effect over de dag gerekend (zie Figuur 5) minder groot. Dit is ook terug te zien in het voorbeeld van de opbouw over de dag in Figuur 2. Voor alle scenario's tezamen wordt een nagenoeg lineaire relatie gevon-

Ventilatie m ³ /h]	Spuidebiet [m ³ /h]		
	0	1058	1588
670	VCPOS0	VCPBS1 VCPBS0	VCPAS1 VCPAS0
949	VBPOS0		
1339	VAPOS0		
<i>Schuin: spuien tijdens leswissel en pauzes</i>			

Figuur 6: Relatieve quanta concentratie voor de verschillende onderzochte scenario's, uitgesplitst naar het type ventilatie, bij binnenkomst van leerlingen voor het 2^e uur.





den tussen de dagwaarden en de besmettingskans bij de start van het 2^e lesuur. Dit pleit er uiteindelijk toch voor om uit te gaan van een voldoende grote basisventilatie in plaats van enkel te vertrouwen op spuien in de pauzes. Hierbij kunnen ook de verschillende praktische bezwaren bij spuien genoemd worden: afhankelijk van actie docent of leerlingen, niet altijd even gemakkelijk te gebruiken, niet constant, theoretische waarden zullen niet altijd gehaald worden.

Concluderend

Van de onderzochte scenario's lijkt het scenario VAPOS0 (Type D), met een hoog basisventilatie-debiet en zonder spuien, het beste te scoren als wordt gekeken naar zowel de energievraag als de besmettingskans. Echter, er zijn scenario's onderzocht waarbij de besmettingskans lager is. Hier komen we bij een lastige afweging, energiegebruik versus gezondheid. Die keuze willen we hier niet maken. Wel is duidelijk dat met een goed ventilatiesysteem met warmteretrouwingsysteem en een hoog ventilatie-debiet het energiegebruik beperkt kan blijven, terwijl ook de besmettingskans beter gecontroleerd kan worden. Naast dit lagere risico, zal een groter ventilatie-debiet ook bijdragen aan een betere luchtkwaliteit in het algemeen.

Omdat de concentratie aan quanta weer snel opbouwt gedurende een les, is het effect van spuien duidelijk minder groot als naar de besmettingskans wordt gekeken. Het spuien van een klaslokaal moet

dan ook niet het ontwerpuitgangspunt zijn van een ventilatiestrategie met het oog op het reduceren van de besmettingskans. Dit moet als een noodmaatregel worden gezien wanneer het ventilatie-debiet niet op orde is en voor incidentele situaties (emissies). Beter is het om een voldoende basisventilatie te hebben. Extra spuien is dan aanvullend.

Over de hoogte van de besmettingskans hebben we in deze studie geen uitspraak willen doen, vandaar dat we deze relatief hebben uitgedrukt. Ook dit is weer een afweging die door de eindgebruikers/-verantwoordelijken gemaakt moet worden. We hebben gerekend met een relatief lage waarde voor de quanta-productie. Bij een meer infectieus virus, zoals we die al bij de varianten van SARS-CoV-2 hebben gezien, zal deze de quanta-productie vergroten en daarmee de besmettingskans. Het is de vraag of in dat geval je dit met enkel ventilatie moet gaan oplossen. Uitgangspunt zal moeten blijven dat de basisventilatie goed verzorgd moet zijn. Echter, een verdere reductie van de besmettingskans kan daarna met bijvoorbeeld aanvullende luchtreiniging worden gerealiseerd.

Nawoord

Dit werk is gebaseerd op het Masterproject van M.M. Staassen [6]. Echter, naast de vertaling van dat werk, is in dit verhaal nog wat extra aandacht besteed aan de berekening van de besmettingskans en de analyse daarvan.

Referenties

1. TVVL. 2021. TVVL Webinar stap voor stap naar optimale ventilatie op scholen. TVVL Webinar stat voor stap naar optimale ventilatie op scholen. Published June 23, 2021. Accessed September 8, 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=N6b0s9nrpHA>
2. RVO. 2021. Programma van Eisen Frisse Scholen 2021. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2021/06/PvE-Frisse-Scholen-2021.pdf>
3. DesignBuilder. 2002. Software Ltd - Home. Accessed January 14, 2022. <https://designbuilder.co.uk/>
4. Loomans, M.G.L.C. et al. 2020. Rekenen aan het risico op infecties. TVVL Magazine, 2020/no.5, pp. 43-47.
5. ISSO. Energiecijfers en -tabellen. Accessed January 17, 2022. <https://ect.issso.nl/energiegebruik/gasgebruik-afgezet-tegen-bouwjaar-klasse-en-gebouwtype>
6. Staassen, M.M. 2022. Quantifying the trade-offs between reduced virus exposure risk and increased energy consumption for various classroom ventilation strategies. Master project report. TU Eindhoven. Eindhoven.