

Auteur

Dr.ir. W.H. (Willem) van der Spoel, senior adviseur ABT bv, Universitair docent bouwfysica, TU Delft;
Ing. A. (Ad) van der Aa, senior adviseur ABT bv.

Een beschouwing vanuit de fysica

Een 1,5 meter-samenleving: kan dit naar 1 meter-samenleving of moet het juist meer zijn?

Inmiddels is de 1,5 meter-samenleving uitgeroepen tot het woord van het jaar 2020. Een begrip dat voor de uitbraak van de coronapandemie nog niet bestond en bij gebruik voor 2020 de wenkbrauwen van de lezer zouden doen fronsen, maar inmiddels geen uitleg meer behoeft. Het afstand houden in tijden van een virusepidemie blijkt te werken als maatregel tegen overdracht, maar lijkt ook afkomstig uit de adviesreeks van “grootmoeder weet raad”. En als we als maatschappij worden geconfronteerd met een tot dan toe onbekend virus is het verstandig om daar op terug te vallen. Inmiddels weten we echter het nodige meer en valt ook over de 1,5 m wat meer te zeggen. Zo stelt zich momenteel de vraag of deze 1,5 m niet kleiner kan zijn in bepaalde situaties. Anderzijds wordt ook de vraag gesteld of deze 1,5 m wel veilig is. In het Verenigd Koninkrijk wordt er voor gepleit de daar geldende afstandsregel van 2,0 m zelfs te vergroten tot 3,0 m om de uitbraak van de Britse coronavariant het hoofd te bieden. Tijd voor een beschouwing vanuit de fysica die hierbij een rol speelt.

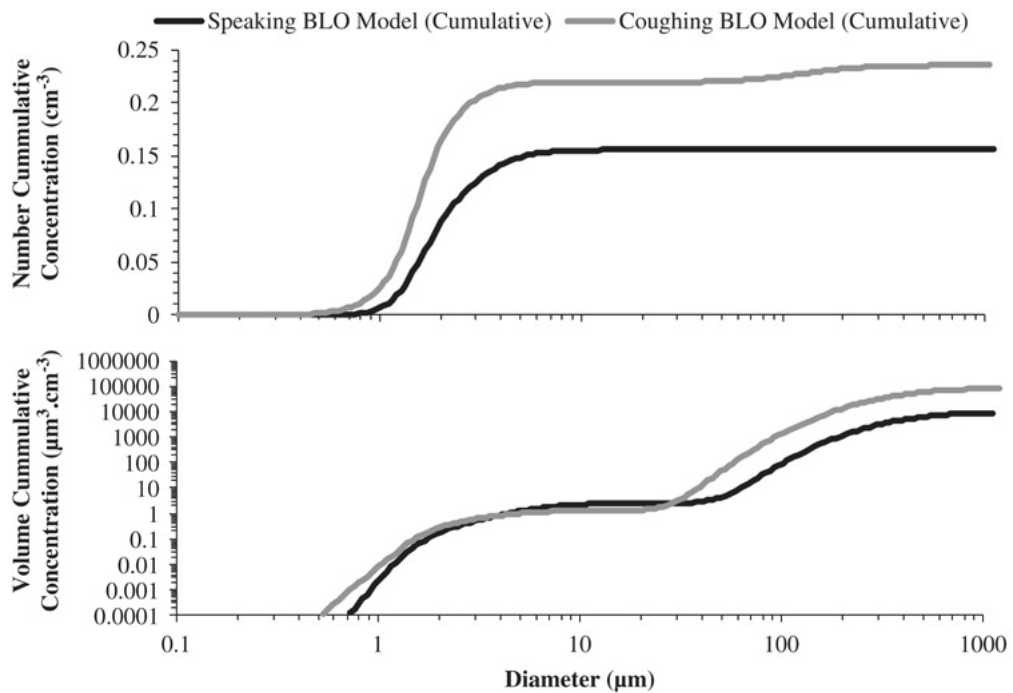
Wanneer mensen praten, ademen, hoesten of niezen worden kleine deeltjes speeksel en slijm uitgestoten. Om de overdracht van virusdeeltjes van mens op mens te beperken is afstand houden daarom het dringende advies. Over hoe ver deze onderlinge afstand dan moet zijn, zijn in de verschillende landen verschillende regels en opvattingen. De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) zegt dat 1 meter genoeg is, net als de gezondheidsraad van de Europese Unie, de ECDC. De Amerikaanse gezondheidsraad zegt op haar beurt dat 2 meter de norm zou moeten zijn. Dat heeft ertoe geleid dat momenteel per land verschillende richtlijnen van kracht zijn.

De in Nederland geldende richtlijn om 1,5 meter onderlinge afstand aan te houden [1] heeft grote sociale en economische consequenties voor het dagelijkse leven en in het bijzonder voor ruimten waarbij mensen normaliter dicht bij elkaar verblijven. Hierdoor zijn er momenteel tal van situaties waar dit tot grote problemen leidt. Bijvoorbeeld in kerken, sportarena's, filmzalen en theaters, maar ook in liftcabines waar mensen voor korte tijd dicht op elkaar moeten staan speelt dit probleem. En daarbij de onderliggende vraag: waar komt de 1,5 meter vandaan en valt daar meer over te zeggen? Is een veilige onderlinge afstand vast te stellen die kleiner is dan 1,5 meter en welke maatregelen zijn eventueel te treffen om deze afstand te verkleinen? Of moet er in sommige gevallen juist een grotere afstand gehanteerd worden?

Er zijn nog veel onzekerheden, maar een aantal zaken weten we inmiddels wel:

- Een goede verversing van de ventilatielucht is noodzakelijk om de gemiddelde virusconcentratie op ruimteniveau zo laag mogelijk te houden. Berekeningen op basis van Wells-Riley voor volledig mengende ventilatie zijn een goed uitgangspunt om de benodigde ventilatiehoeveelheid te bepalen. De ventilatie dient te waarborgen dat de (zeer) fijne deeltjes, die lang in de lucht blijven zweven, worden afgevoerd.
- In de nabije omgeving van een besmettingsbron is de kans op overdracht van het virus via de directe weg aanzienlijk groter [2]. Er zijn rekenmodellen die de verspreiding in stilstaande lucht beschrijven, waarover later meer.
- De verspreiding van deeltjes van mens op mens in horizontale richting dient zoveel mogelijk te worden voorkomen. Ook grotere deeltjes kunnen zich, onder invloed van een horizontale luchtstroming, over grote afstand verplaatsen en daarmee leiden tot virusoverdracht.

Figuur 1: Cumulatieve verdeling van de concentratie het deeltjes-aantal (boven) en het deeltjes-volume (onder) van de respiratoire deeltjes voor praten (zwart) en hoesten (grijs) [3].



Over dit laatste aspect valt nog wel het nodige te ontwikkelen en ontdekken. In dit artikel wordt daartoe een aanzet gedaan. Ook loopt de (politieke) discussie over de mogelijkheid van overdracht van virusdeeltjes door aerosolen. Daarover is ondertussen een semantische discussie ontstaan wat precies een aerosol is. Is het een klein deeltje tot een bepaalde grootte (traditioneel kleiner dan 5 μm), of moeten grotere deeltjes daar ook toe gerekend worden? En wat is de virusinhoud van een aerosoldeeltje en kan dit nog bijdragen aan de virusverspreiding?

Terwijl al wel duidelijk is dat overdracht van virusdeeltjes via de route van de lucht kan plaatsvinden en dat dit, mede afhankelijk van de luchtstroming, over kortere of langere afstand kan verplaatsen. Reden genoeg om het overdrachtsfenomeen vanuit de fysica nader te onderzoeken en in beeld te brengen. Uiteraard spelen hierbij ook aspecten vanuit bijvoorbeeld de gezondheidswetenschappen en gedragswetenschappen een rol. De specifieke aspecten die van daaruit een rol spelen laten we even rusten, hoewel de grens tussen de fysica en de virologie niet altijd duidelijk te trekken valt.

Uitstoot en verspreiding van respiratoire deeltjes

Uitstoot

Een belangrijk aspect bij de verspreiding van virussen is de grootte van de respiratoire deeltjes die men uitstoot bij ademen en praten. In [3] wordt een tri-modale lognormale verdeling gebruikt (BLO-model) om de gemeten verdeling te beschrijven, weergegeven in Figuur 1. Voor spreken

(zwarte lijn bovenste grafiek) zien we dat vrijwel 100% van het *aantal* uitgestoten deeltjes kleiner is dan 10 μm . Kijken we echter naar het *volume* (zwarte lijn onderste grafiek), dan zien we dat meer dan 99,9% van het volume wordt vertegenwoordigd door de deeltjes die groter zijn dan 10 μm . Dat lijkt een tegenstelling, maar komt doordat het volume van een bolletje schaal met de derde macht van de diameter. Het volume van een deeltje met een diameter d van 100 μm is daardoor een miljoen keer groter dan van een deeltje van 1 μm .

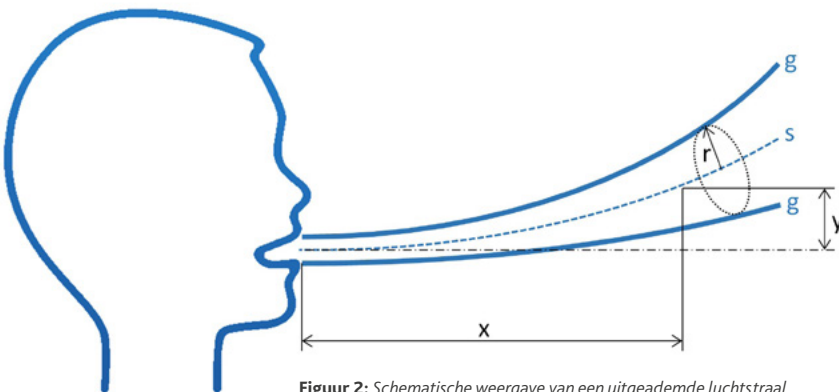
Indien de virus-concentratie in de deeltjes (het SARS-CoV-2 virus heeft een grootte van circa 0,12 μm) onafhankelijk is van de grootte van de deeltjes, zullen de grotere deeltjes veel meer virussen bevatten dan de kleinere (schaalt ook met d^3). Hoe de concentratie van (levensvatbaar) virus afhangt van de deeltjesgrootte is overigens nog niet geheel duidelijk [4]. Het wordt in ieder geval belangrijk gevonden te voorkomen dat de grotere deeltjes op iemands slijmvliezen (mond/neus/ogen) terecht komen of worden ingeademd. De 1,5 meter maatregel is vooral hierop gebaseerd. Dit neemt niet weg dat ook de kleinere deeltjes, die grotendeels in de lucht blijven zweven, virussen kunnen bevatten en anderen bij inademing kunnen besmetten [5].

Verdamping

De grootte van een deeltjes neemt, zodra uitgestoten, af als gevolg van verdamping van het water. De verdampingsnelheid is evenredig met d^2 , waardoor een kleiner deeltje sneller verdampt [6]. Bijvoorbeeld een druppel van 10 μm verdampt volledig binnen 0,2 s bij een relatieve luchtvochtigheid van 60%, terwijl dat 20 s duurt voor een druppel van 100 μm . Een respiratoir deeltje bevat overigens niet alleen water maar ook stoffen die niet verdampen. Na volledige verdamping van het aanwezige water bedraagt de diameter ongeveer 30% à 50% van de initiële waarde [7]. Door deze stoffen verloopt de verdamping ongeveer een factor 2 à 4 langzamer.

Invloed zwaartekracht

Een kwalitatieve maat om te beoordelen of een deeltje in de lucht blijft zweven of naar de grond valt, is de terminale valsnelheid in stilstaande lucht. Deze schaal ongeveer met d^2 . De valsnelheid van een 10 μm deeltje bedraagt 3 mm/s en dat van een 100 μm deeltje 300 mm/s. Dit laat al zien dat deeltjes $< 10 \mu\text{m}$ zeker geneigd zijn om met eventuele luchtbewegingen in een ruimte mee te bewegen, terwijl deeltjes $> 100 \mu\text{m}$ gestaag naar de vloer zullen vallen. Traditioneel wordt de grens voor zo'n meebewegend deeltje (aerosol) bij 5 μm gelegd. Er kan echter geen harde grens getrokken worden. Deeltjes tot circa 100 μm kunnen worden beïnvloed door de omringende luchtbeweging in een ruimte. Anderzijds hebben deeltjes tussen 5 μm en 100 μm wel de neiging om - uiteindelijk - door de zwaartekracht uit te zakken naar de vloer of een ander horizontaal oppervlak (depositie).



Figuur 2: Schematische weergave van een uitgedemde luchtstraal.

Verspreiding

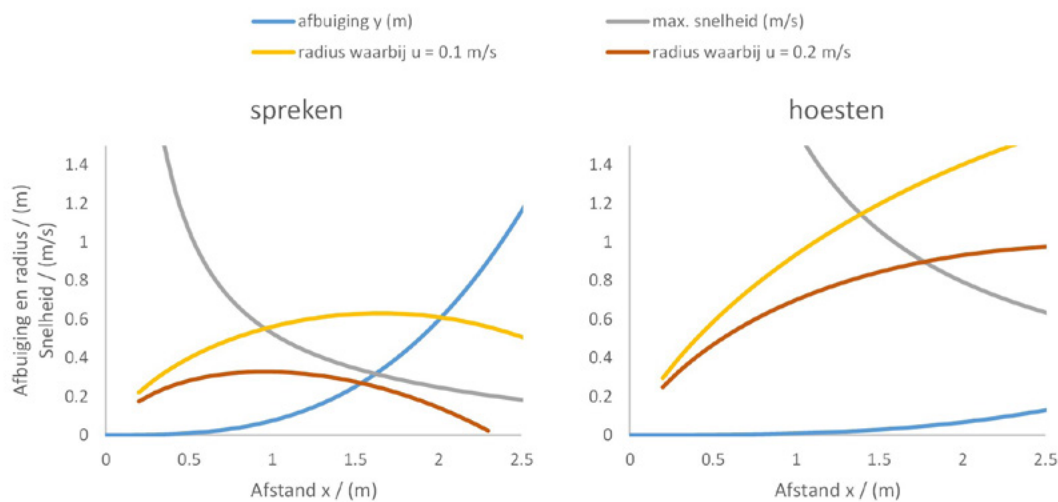
Bij het transport van respiratoire deeltjes kunnen globaal twee fasen worden onderscheiden: 1) verblijf en verspreiding binnen de uitgedemde luchtstraal en 2) verdere verspreiding in de ruimtelucht. Vooral in de 2^e fase speelt de luchtbeweging in de ruimte, bijvoorbeeld als gevolg van ventilatie, een rol.

De luchtstraal van horizontaal uitgedemde lucht is schematisch weergegeven in Figuur 2. Omdat de ademlucht doorgaans warmer is dan de omringende lucht, buigt de luchtstraal enigszins omhoog af als gevolg van de opwaartse kracht. De grootste luchtsnelheid doet zich voor op de centrale as 's' en is daar tevens evenwijdig aan. Verder van deze as af neemt de snelheid door inductie geleidelijk af, tot een grens 'g' waarna de snelheid beneden een zekere waarde komt. Het traject en de luchtsnelheidsverdeling in de luchtstraal is bekend uit de literatuur. Invloedrijke parameters zijn de grootte van de uitstroomopening en de uitstroomsnelheid.

In Figuur 3 links zijn enkele grootheden van de luchtstraal voor spreken weergegeven (diameter opening 2 cm, snelheid 3,9 m/s, debiet 1,3 dm³/s overeenkomend met luid spreken [5]). In Figuur 3 rechts zijn dezelfde grootheden weergegeven, maar nu voor hoesten (uitstroomsnelheid 12 m/s). Het enorme verschil met spreken is duidelijk te zien.

Op basis van een wiskundige beschrijving van het verloop en de eigenschappen van de luchtstraal, is door Wei en anderen [8] de verspreiding van respiratoire deeltjes bij hoesten in stilstaande lucht bepaald door per deeltje het driedimensionale pad te berekenen dat het na uitstoot aflegt. Dit model houdt rekening met verdamping (tot 1/3 van de oorspronkelijke diameter), de axiale en radiale snelheidsverdeling in de luchtstraal, massa-traagheid van de deeltjes, luchtweerstand, zwaartekracht en invloed van turbulentie. Aangenomen wordt dat deeltjes die de vloer bereiken daar neerslaan. Vanwege de turbulentie bevat de berekening een willekeurig element, met als gevolg dat elk deeltje een ander pad aflegt. Er zijn dan ook veel deeltjes nodig in de simulatie om een gemiddeld beeld te krijgen van de verspreiding. De studie laat zien dat 99% van de deeltjes met een grootte van 100 μm horizontaal niet verder komt dan 2 meter vanaf de bron. Verreweg de meeste vallen rond 1

meter afstand op de grond. Anderzijds kunnen deeltjes van 50 μm al duidelijk verder komen dan 4 m en deeltjes van 30 μm worden vrijwel geheel met de luchtstraal meegevoerd tot grotere afstanden. Het model toont duidelijk aan dat een afstand van 1,5 meter (recht voor) een hoestend persoon de dosis relatief groot is.



Figuur 3: Verticale afbuiging y van de centrale as, maximum snelheid in de luchtstraal, en radiale afstand tot de centrale as waarop de luchtsnelheid 0,1 m/s en 0,2 m/s bedraagt, in afhankelijkheid van de afstand x tot de mondopening bij luid spreken (links) en hoesten (rechts).

Dosisbepaling

Om de virusoverdracht van mens op mens op kortere afstand in praktijksituaties te bepalen speelt een aantal andere factoren een rol.

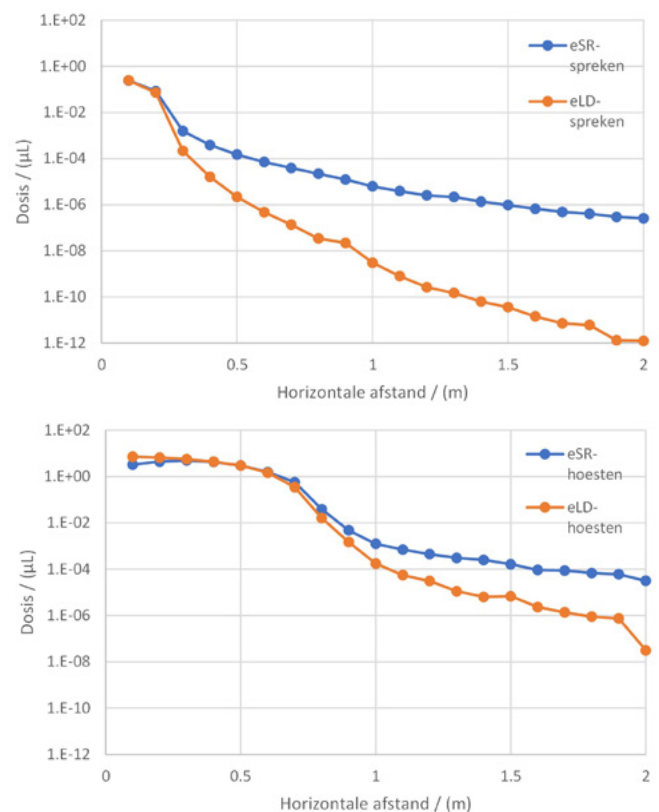
- Ten eerste is het van belang om te weten hoe het zit met mate van uitstoot van virusdeeltjes onder verschillende activiteiten, de afname van de concentratie vanuit de mond/neus naar de verdunning in de pluin van uitgeademde lucht en hoe de verschillende deeltjes in relatie tot de grootte zich hierin manifesteren. De besmettelijkheid van de deeltjes en de exacte plaats van receptie waarbij dit tot infectieoverdracht leidt, is hierbij het domein van de virologie en laten we, zoals gezegd, even buiten beschouwing.
- Ten tweede weten we dat (bij de meeste) mensen de neus en mond aan de voorzijde van het hoofd zitten en het daarom nogal uitmaakt of personen met de neuzen naar elkaar (face-to-face) toe staan of dat de neuzen allemaal dezelfde kant op wijzen (face-to-back).
- Ten slotte is het van belang om goed inzicht te hebben in de interactie tussen de luchtstromingspatronen vanuit de mond/neus en de (turbulente) luchtstroming van de lucht in de ruimte.

Stilstaande lucht, face-to-face

Om met het eerste punt te beginnen. Door Chen en anderen [9] is het model van Wei voor stilstaande omgevingslucht uitgebreid door de distributieverdeling van de uitgestoten deeltjesgrootte mee te nemen in de analyse, en in relatie daarmee de dosis te berekenen door inademing en door depositie van de deeltjes op de slijmvliezen (ogen, neus, mond). Deze studie beperkt zich tot recht tegenover elkaar staande personen, derhalve met de gezichten naar elkaar toe. De omgevingslucht in het dosismodel is 100% schoon. Naast hoesten is ook naar spreken gekeken.

De rekenresultaten laten zien dat voor spreken de grote deeltjes tussen 100 μm en 400 μm niet verder reiken dan 0,7 m van de spreker. De kleinere komen verder vanwege het meebewegen in de luchtstraal, en de nog grotere hebben zo'n grote massa draagbaarheid dat deze minder worden beïnvloed door de luchtweerstand en meer als ballistische projectielen door de ruimte bewegen. Het grootste deeltje in de analyse van 750 μm valt op de vloer op een horizontale afstand van 1,4 m van de spreker.

Figuur 4: Ontvangen dosis door inademing (eSR) en door depositie op de slijmvliezen (eLD) voor spreken (links) en hoesten (rechts) [9].



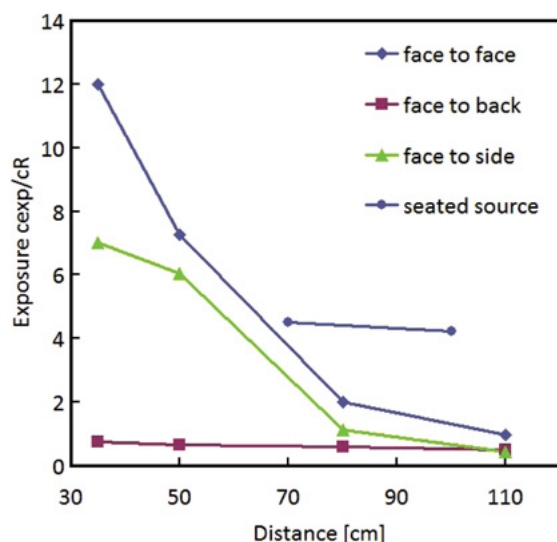
De door Chen [9] berekende dosis door inademing (e_{SR}) en door depositie op de slijmvliezen (e_{LD}) is in Figuur 4 weergegeven voor spreken (van '1' naar '100' tellen) en voor éénmaal hoesten. De dosis is hierbij gedefinieerd als het totale volume van de deeltjes dat wordt ingeademd of neerslaat op de slijmvliezen. Voor spreken zien we dat de dosis door inademing op een afstand van 1 m van de spreker ongeveer een factor 3000 hoger is dan die door depositie op de slijmvliezen. Voor hoesten is dit verschil minder groot, maar ook daar is de dosis door inademing dominant op een afstand >1 meter.

Deze studie toont daarbij aan dat we ons duidelijk meer zorgen moeten maken om de deeltjes die we inademen dan om de deeltjes die op de slijmvliezen terecht komen. Daarnaast zien we dat éénmaal hoesten een dosis door inademing geeft van $1,6 \cdot 10^{-4}$ μL bij een onderlinge afstand van 1,5 meter. Dezelfde dosis ontvangt men als van '1' naar '100' wordt geteld en de onderlinge afstand 0,5 meter bedraagt. Tellen op 1,0 meter afstand geeft een dosis van $6 \cdot 10^{-6}$ μL , op 1,5 meter afstand is dit een factor 6 lager. Grofweg staat, op een afstand > 1 meter, één hoest gelijk aan 5 uur lang praten.

Positie van personen ten opzichte van elkaar

Voor het tweede punt kunnen we kijken naar meetresultaten van onder meer Nielsen [10], zie Figuur 5, waaruit blijkt dat de overdrachtsfactor

Figuur 5: Blootstellingsindex als functie van de afstand tussen bron en ontvanger, voor verschillende onderlinge posities [10].



op korte afstand significant lager is voor face-to-back ten opzichte van face-to-face. Maar ook de verschillende posities die personen ten opzichte van elkaar innemen (bijvoorbeeld een staande persoon ten opzichte van een zittende persoon) geven een nadrukkelijk ander niveau van blootstelling te zien. Daarbij komt dat de neuzen en monden niet stil staan, zelfs als de personen op dezelfde positie blijven.

Door Zhang et al [11] is een distributieverdeling gemeten van de positie van het hoofd voor zittende personen in een klaslokaalopstelling. Met een standaarddeviatie van circa 30° voor de draaiing en circa 20° voor de kanteling van het hoofd, is de variatie groot. Het vertalen van deze informatie in gangbaar te hanteren rekenmodellen zal een volgende stap dienen te zijn, omdat de positie van het hoofd en de neus uiteraard de richting van de uitgeademde stroming bepaalt.

Mondmaskers

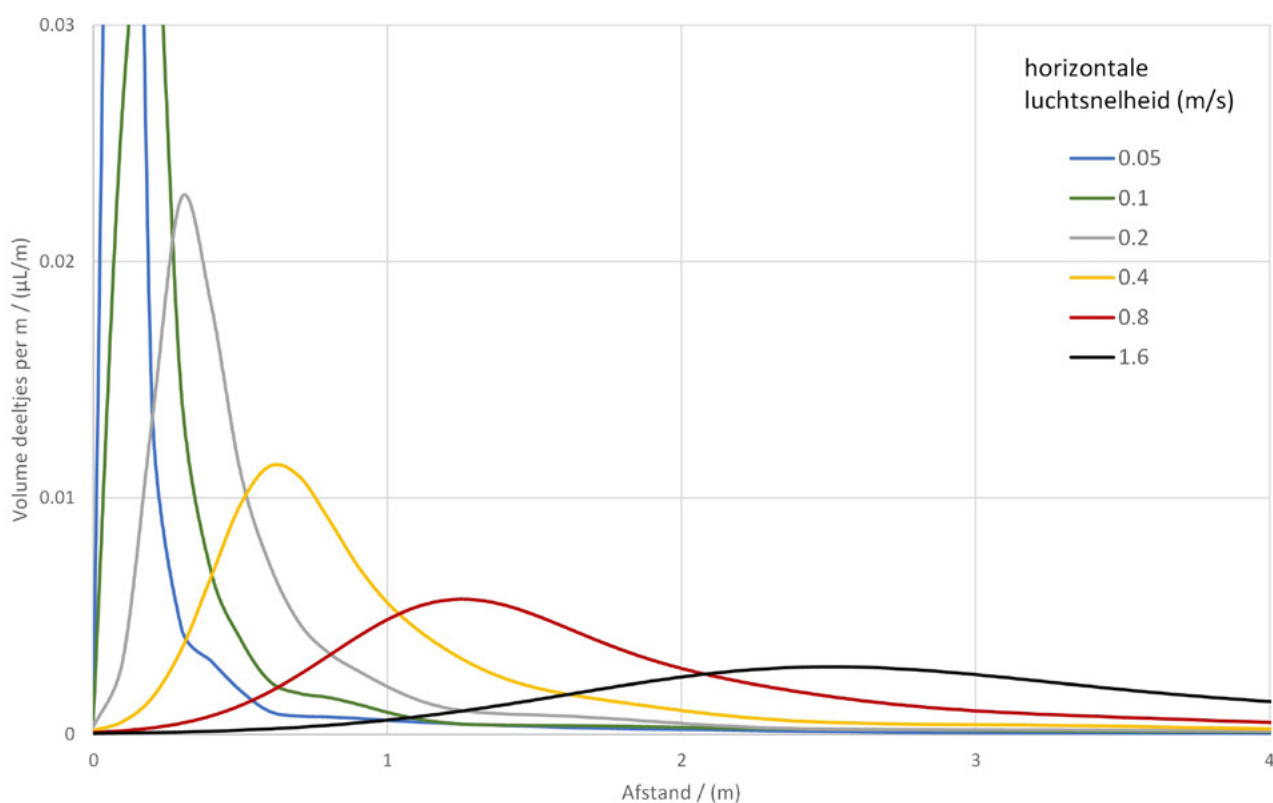
Over het effect van mondmaskers op de verspreiding was en is in Nederland veel discussie. In dit artikel laten we mondmaskers buiten beschouwing, behalve de constatering dat het gebruik op de overdracht via de grotere druppeltjes waarschijnlijk een groot effect heeft bij een onderlinge afstand kleiner dan 1,5 meter.

Luchtstromingen

Over de invloed van luchtstromingen in een ruimte op de verspreiding van virusdeeltjes is nog (veel te) weinig bekend en ligt daar een grote uitdaging vanuit de fysica. Rekenmodellen van verspreiding van deeltjes uit de mond of neus gaan veelal uit van isotherme condities waarbij de lucht stil staat. Een luchtstroming in de ruimte wordt hierop gesuperponeerd, op basis waarvan een uitspraak wordt gedaan over de extra afstand die een virusdeeltje in horizontale richting aflegt. Met behulp van de terminale valsnelheid van de deeltjes, kan vervolgens een inschatting worden gemaakt van de horizontale afstand die wordt afgelegd.

Voor hardop tellen van 1 tot 100, illustreert Figuur 6 onder enkele vereenvoudigende aannamen voor zo'n model de verdeling van het deeltjesvolume in het horizontale vlak 1,0 meter onder de mond van de spreker, als functie van de horizontale afstand stroomafwaarts, voor verschillende stroomsnelheden van de omgevingslucht. Hieruit wordt duidelijk dat een hogere luchtsnelheid het besmettingsrisico flink verhoogt op grotere afstand stroomafwaarts van de bron. De grootste bijdrage aan het volume komt van de deeltjes tussen $50 \mu\text{m}$ en $150 \mu\text{m}$.

Een alternatieve analytische berekeningswijze maakt gebruik van zogenaamde pluimmodellen waarmee doorgaans de verspreiding van gasvormige deeltjes uit schoorstenen wordt berekend. Omdat in deze modellen de zwaartekracht wordt verwaarloosd, is het resultaat alleen van toepassing op de lichtere deeltjes die met de luchtstroming meebewegen, ofwel tot een diameter van $10 \mu\text{m}$ à $20 \mu\text{m}$.



Figuur 6: Verdeling van het respiratoir deeltjesvolume per meter in het vlak op 0 meter hoogte, als functie van de afstand stroomafwaarts ten opzichte van de spreker. Tellen van 1 tot 100. Spreker op 1 meter hoogte. De horizontale snelheid van de deeltjes is gelijk aan de horizontale stroomsnelheid van de omgevingslucht. De verticale snelheid van de deeltjes is gelijk aan terminale valsnelheid.

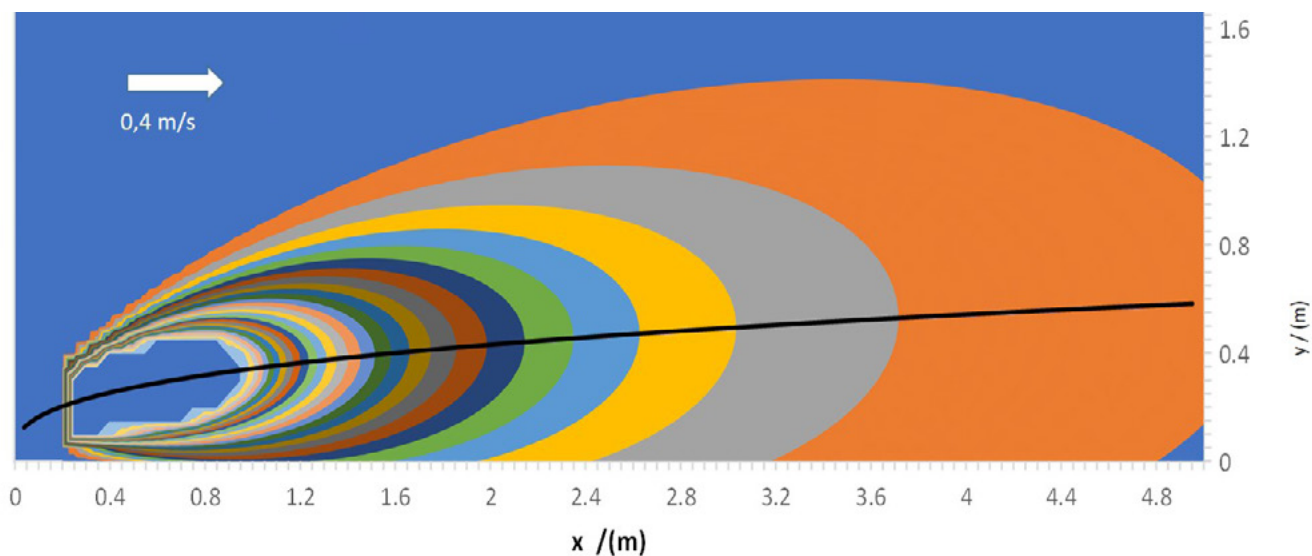
Figuur 7 toont als voorbeeld de verdeling van de virusconcentratie in quanta/m³ in een x-y vlak bij een bronsterkte van 10 quanta per uur en een dwarsstroming van 0,4 m/s en turbulentiegraad 20%, bepaald met een pluimmodel [12]. De bron bevindt op positie x,y = 0,0 en spreekt in de positieve y-richting (isotherm). De ventilatie van de ruimte is 10.000 m³/h resulterend in een 'achtergrondconcentratie' van 0,001 quanta/m³ als de spreker de enige bron zou zijn. Ook in deze figuur is de invloed van de luchtstroming duidelijk zichtbaar en strekt zich uit over enkele meters. Op 1,5 meter stroomafwaarts van de spreker is de virusconcentratie maximaal ongeveer 15x hoger dan de achtergrond.

Uitgebreidere analytische modellen zijn mogelijk, en dienen te worden ontwikkeld, waarbij rekening wordt gehouden met de uitademende luchtpluim, opwaartse krachten, verdamping van de druppels, stromingsweerstand, massa draagbaarheid, turbulentie en positie van het hoofd van de besmettingsbron. In een volgend artikel hopen we resultaten te publiceren.

Daarnaast worden er in de literatuur diverse rekenresultaten van CFD gepresenteerd op basis waarvan uitspraken gedaan worden

ten aanzien van het verspreidingsrisico. Dit wordt echter nog niet ondersteund door middel van luchtstromingsmetingen en meetbare data. De luchtstroming in een ruimte is namelijk een complex fenomeen om te meten. Naast de luchtsnelheid en de temperatuur is het, in relatie tot de virusoverdracht van mens-op-mens ook van belang de richting van de luchtstroming te weten. Alleen in laboratoriumopstellingen kan bijvoorbeeld op basis van optische meetmethoden (LDA, PTV, PIV) de luchtsnelheid in combinatie met de stromingsrichting kwantitatief worden bepaald. In de praktijk wordt, bijvoorbeeld met de hittedraad-anemometer, alleen de snelheid bepaald maar niet de richting. Door te werken met rook of tracergas kan vervolgens informatie worden verkregen over de stromingsrichting.

Een alternatieve meetmethode is bepaling van de luchtsnelheid, stromingsrichting en turbulentie is met behulp van akoestisch metingen [13]. Hiermee kan uiterst nauwkeurig het 3D-stromingsveld in een ruimte in kaart worden gebracht. In combinatie met de rekenmodellen voor de deeltjesverspreiding kan vervolgens het besmettingsrisico in de ruimte worden geanalyseerd.



Figuur 7: Virusconcentratie in quanta/m³ in het x-y vlak bepaald met een isotherm pluimmodel.

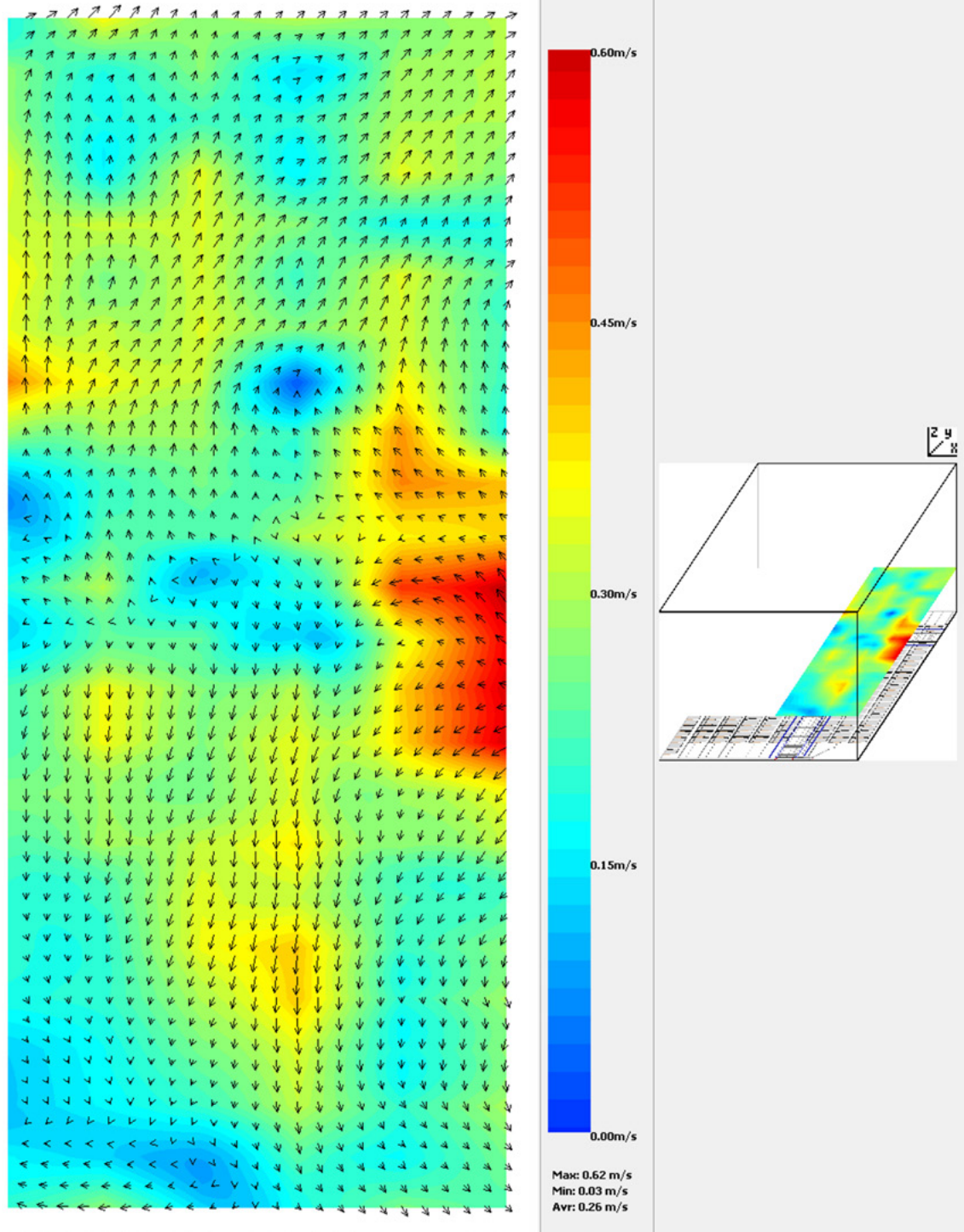
■ 0.029-0.03	■ 0.028-0.029	■ 0.027-0.028	■ 0.026-0.027	■ 0.025-0.026	■ 0.024-0.025
■ 0.023-0.024	■ 0.022-0.023	■ 0.021-0.022	■ 0.02-0.021	■ 0.019-0.02	■ 0.018-0.019
■ 0.017-0.018	■ 0.016-0.017	■ 0.015-0.016	■ 0.014-0.015	■ 0.013-0.014	■ 0.012-0.013
■ 0.011-0.012	■ 0.01-0.011	■ 0.009-0.01	■ 0.008-0.009	■ 0.007-0.008	■ 0.006-0.007
■ 0.005-0.006	■ 0.004-0.005	■ 0.003-0.004	■ 0.002-0.003	■ 0.001-0.002	

Recent zijn door ABT en Innovation Handling metingen uitgevoerd in een theaterzaal met daarin een mengend ventilatiesysteem, waarbij de lucht vanaf de bovenzijde wordt ingeblazen via luchtverdeelslangen en afgezogen via roosters nabij het plafond. Ter beperking van de lengte van het artikel wordt hier nu niet diepgaand ingegaan wordt op de specifieke kenmerken van de zaal en het daarin aanwezige systeem. Met een totale luchthoeveelheid van 8000 m³/h voor 220 personen wordt ruimschoots voldaan aan de minimaal vereiste ventilatiehoeveelheden. Op basis van een Wells-Riley benadering wordt in deze zaal voldaan aan het acceptabel geachte risicoprofiel. Als we echter specifiek inzoomen op het luchtstromingspatroon blijkt dat sprake is van een duidelijk horizontale luchtstromingscomponent tot wel 0,45 m/s evenwijdig langs de stoelenrijen, zie figuur 8. Duidelijk is dat een besmet persoon die "bovenwinds" zit op deze wijze een groot aantal bezoekers die "benedenwinds" van de besmette persoon zitten kan infecteren: een potentiële locatie voor een superspreading event.

Conclusies

We begonnen dit artikel met de constatering dat de maatregel van social distancing om virusoverdracht te voorkomen leidt tot verschillende uitleg en dat deze ergens ligt tussen de 1 en 3 meter, al naar gelang men in welk land is. Op basis van literatuuronderzoek en beschouwd vanuit de fysica hebben wij getracht hieraan een verdere duiding te geven. In specifieke gevallen, bijvoorbeeld waarbij mensen face-to-back geïmponeerd zijn, bijvoorbeeld in een theateropstelling en waarbij mensen zich beperken tot ademen en af en toe praten, begint het besmettingsrisico pas duidelijk op te lopen als de onderlinge afstand minder dan 1,0 m is.

Anderzijds constateren we ook dat horizontale luchtstromingen het besmettingsrisico stroomafwaarts van een bron kunnen doen toenemen. Een horizontale luchtstroming dient dan ook te worden voorkomen. Daarbij komt dat de theoretische kennis over de verspreiding van virusdeeltjes als gevolg van (horizontale) luchtstromingen nog relatief beperkt is en wij daar de komende tijd verder onderzoek naar zullen doen. Verdere ontwikkeling van deze kennis is nodig om de fysieke achtergronden van virusoverdracht via de lucht beter te begrijpen en hiermee betere uitspraken te kunnen doen over te nemen maatregelen ter bescherming.



Figuur 8: Gemeten absolute luchtsnelheid (kleur) in een theaterzaal en bijbehorende horizontale component (pijlen) in een horizontaal vlak ter plaatse van de tribune.

Referenties

1. <https://www.rivm.nl/coronavirus-covid-19/verspreiding>
2. L. Liu et al (2017). Short-range airborne transmission of expiratory droplets between two people. *Indoor Air* 2017; 27; 452–462
3. G.R. Johnson et al, 2011. Modality of human expired aerosol size distributions. *Journal of Aerosol Science* 42 (2011) 839–851.
4. M. Pan et al (2019). Collection, particle sizing and detection of airborne viruses. *J. of Applied Microbiology* 127(6), 2019
5. M.G.L.C. Loomans et al, 2020. Rekenen aan het risico op infecties. *TVVL Magazine* nr. 5, 2020
6. J.K. Gupta et al, 2010. Characterizing exhaled airflow from breathing and talking. *Indoor Air* 2010; 20: 31-39
7. J. Redrow et al, 2011. Modeling the evaporation and dispersion of airborne sputum droplets expelled from a human cough. *Building and Environment* 26 (2011) 2042 - 2051
8. J. Wei and Y. Li, 2015. Enhanced spread of expiratory droplets by turbulence in a cough jet. *Building and Environment* 93 (2015) 86 - 96
9. W. Chen et al, 2020. Short-range airborne route dominates exposure of respiratory infection during close contact. *Building and Environment* 176 (2020) 106589
10. P.V. Nielsen et al, 2012. Airborne cross-infection risk between two people standing in surroundings with a vertical temperature gradient. *HVAC&R Research*, 18(4):1–10, 2012
11. N. Zhang et al, (2020). Infection Spread and High-Resolution Detection of Close Contact Behaviors. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17, 1445.
12. J. Halitsky, 1989. A Jet Plume Model for Short Stacks. *JAPCA Note-book*, 1989 (39) 6.
13. R. Claessen et al (2020). Risico wordt zichtbaar met simulaties en metingen. *TVVL Magazine* nr. 5, oktober 2020.