



De natuurkunde van Corona- verspreiding

Daniel Bonn, WZI/IoP

Evidence is piling up that the very efficient spreading of the coronavirus happens by aerosols:

Nature 2020, NEJM 2020, Lancet 2020, PNAS 2020,



De natuurkunde van de Corona-verspreiding: aerosolen en superspreader events

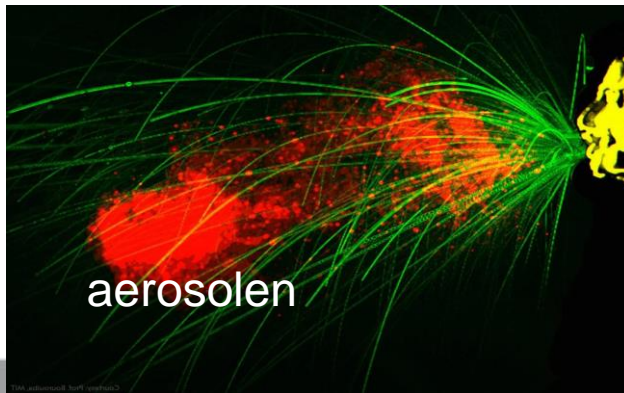
28 mei 2020:

Ventileren, ventileren.....

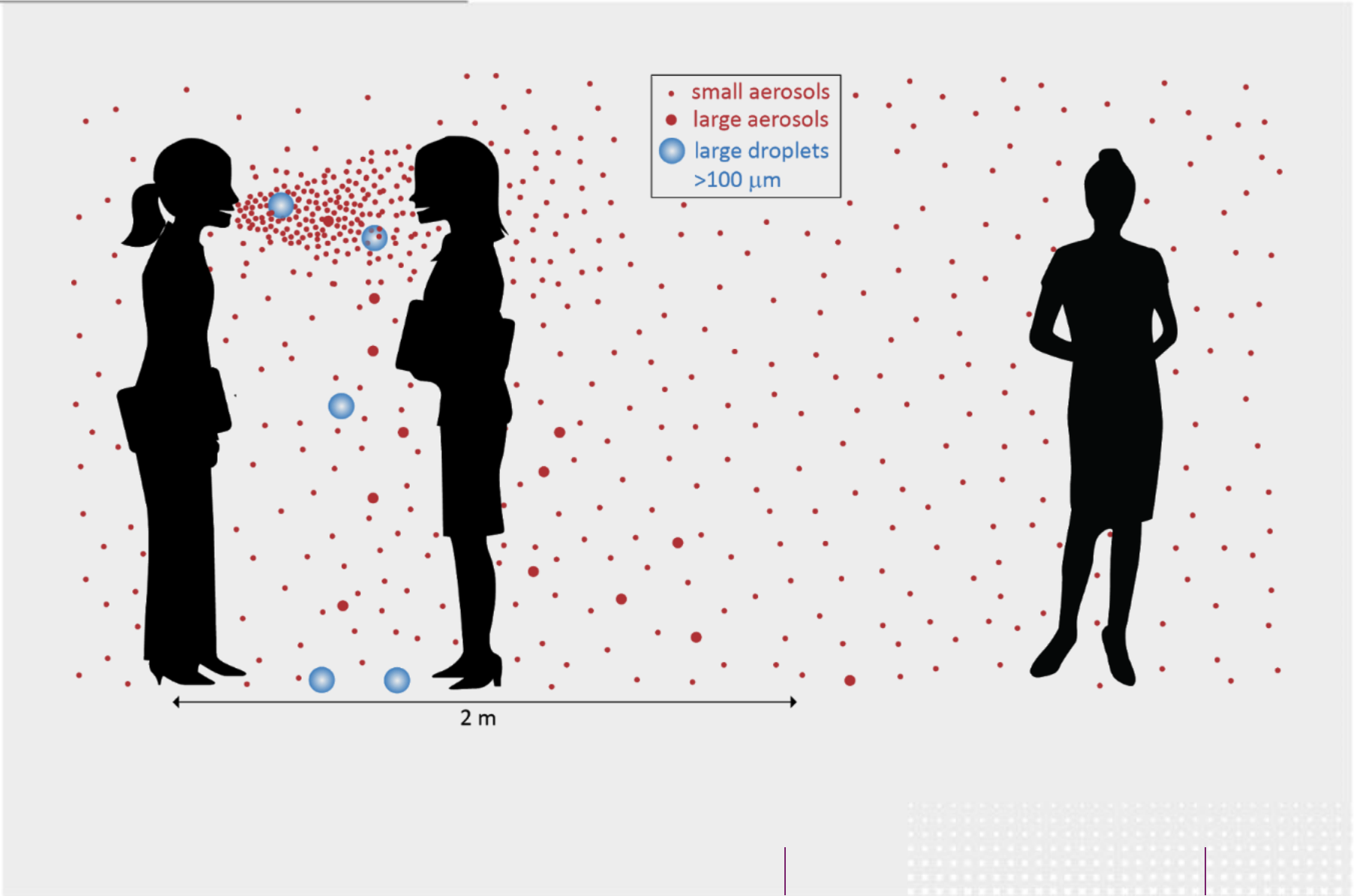


19 juli 2021:

We hebben ventileren niet goed gecommuniceerd



Aerosols vs. large drops



Size Matters

(1 μ m aerosol takes ~ 10 minutes to fall to the floor)

DUST PARTICLE (PM₁₀) <10 μ m >

RED BLOOD CELL 7-8 μ m >

RESPIRATORY DROPLETS 5-10 μ m >

DUST PARTICLE (PM_{2.5}) 2.5 μ m >

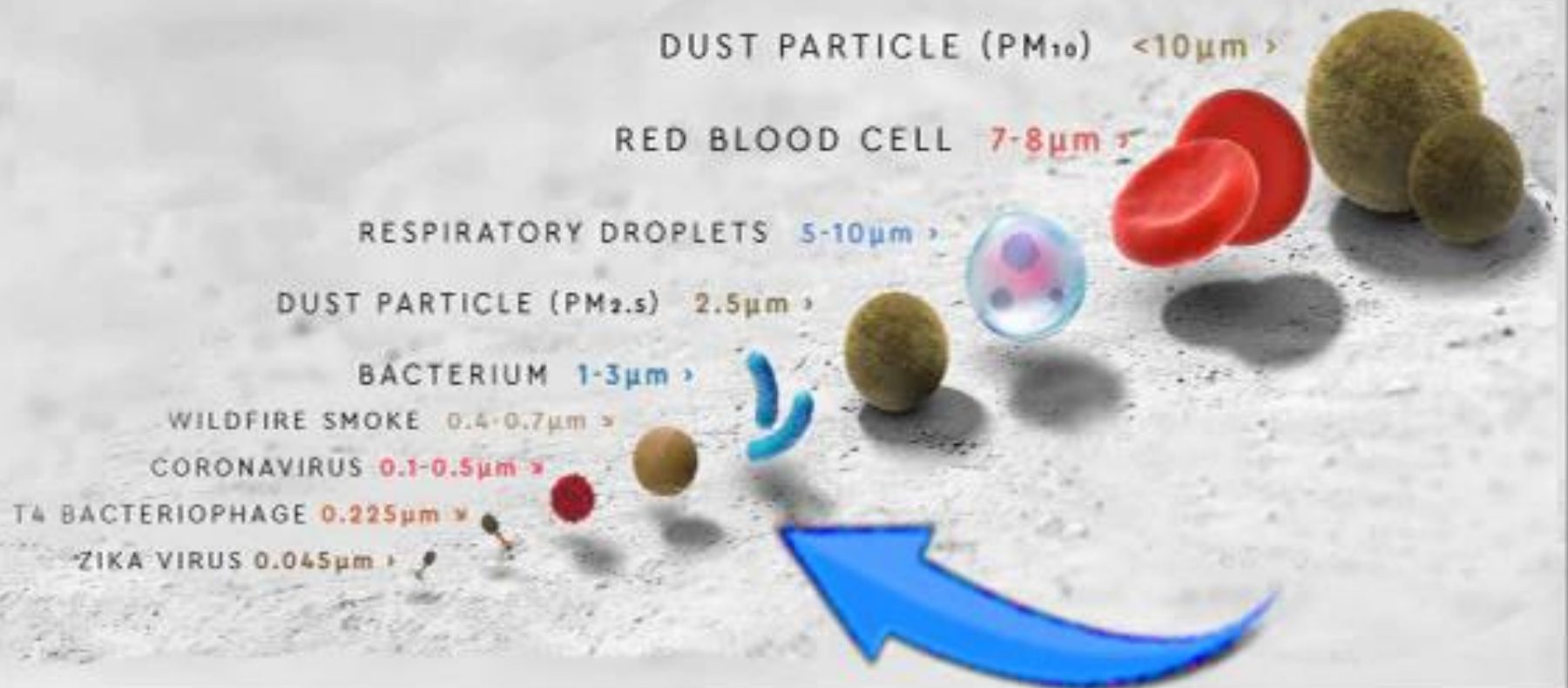
BACTERIUM 1-3 μ m >

WILDFIRE SMOKE 0.4-0.7 μ m >

CORONAVIRUS 0.1-0.5 μ m >

T4 BACTERIOPHAGE 0.225 μ m >

ZIKA VIRUS 0.045 μ m >

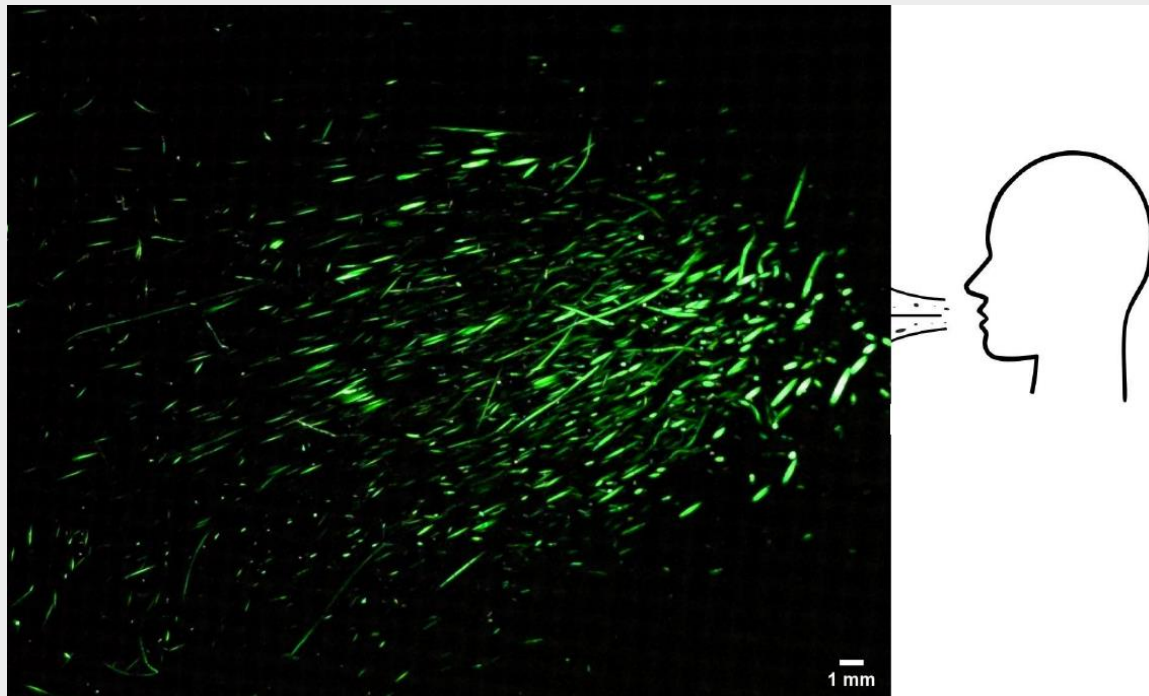




Aerosols defy the 1.5 m rule

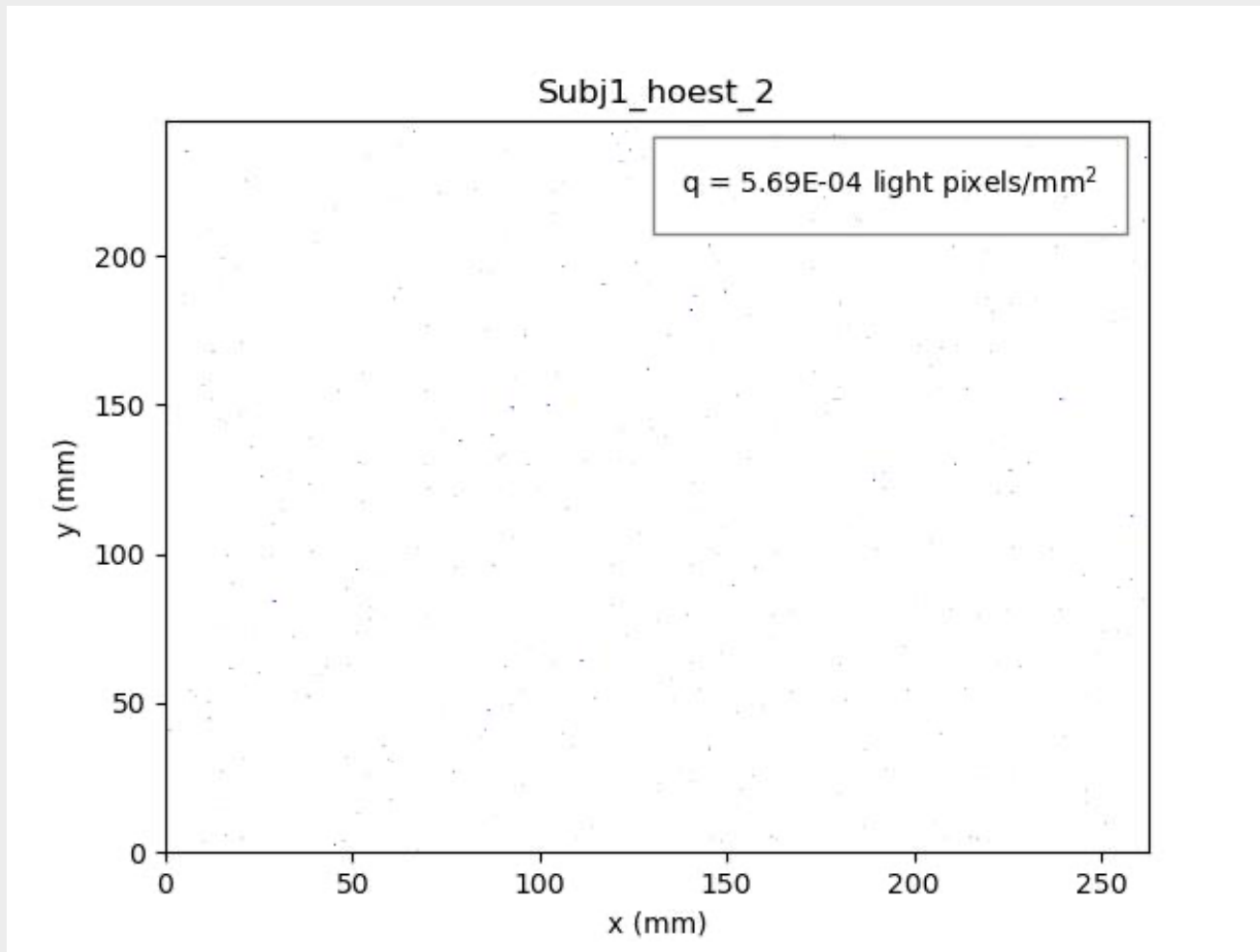


Aerosols: Laser sheet imaging of a cough

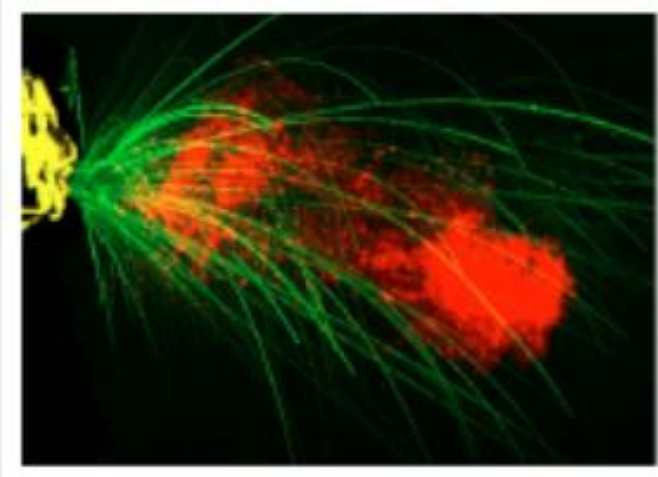


Speeds from 2-7 m/s

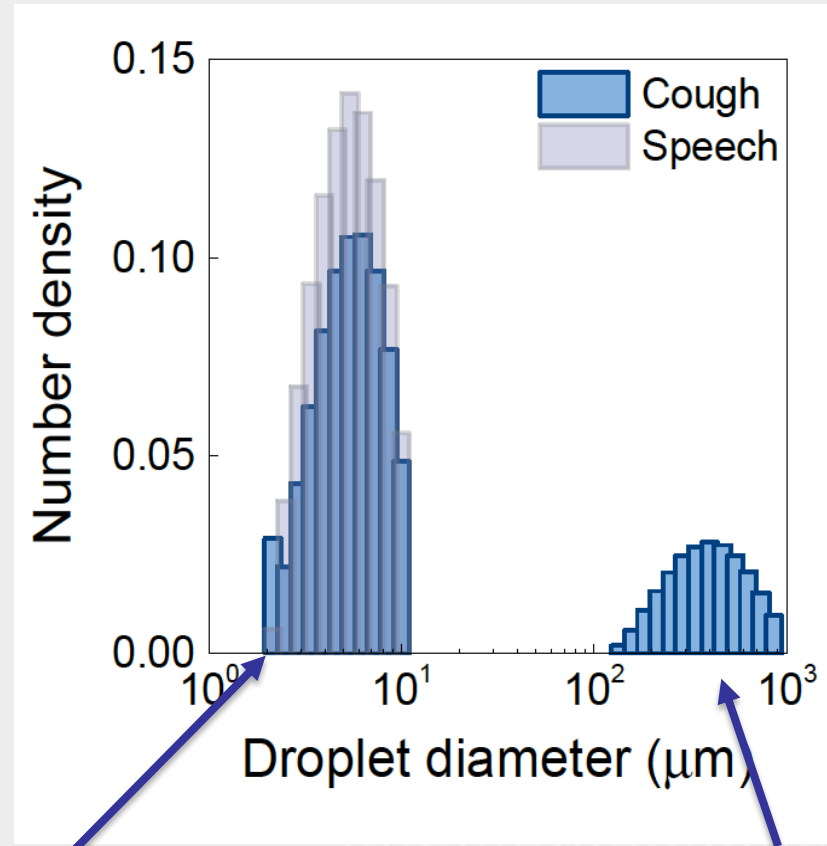
Aerosols: Laser sheet imaging of a cough



Aerosols: Drop sizing (laser diffraction)



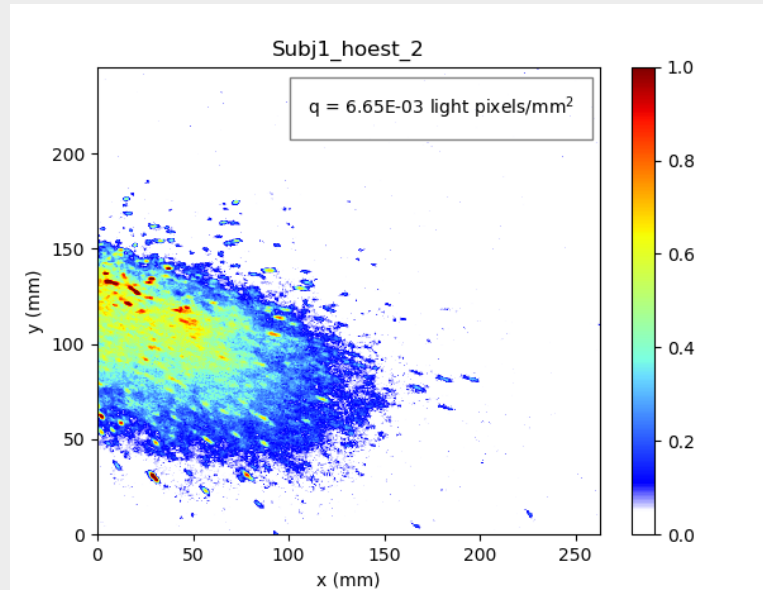
- Small (2-10 μm) drops from both speaking and coughing
- In addition when coughing large (100nm-1 μm) drops



Aerosols (usual definition $<5\mu\text{m}$)

Large drops ('1.5m rule')

How many small drops?

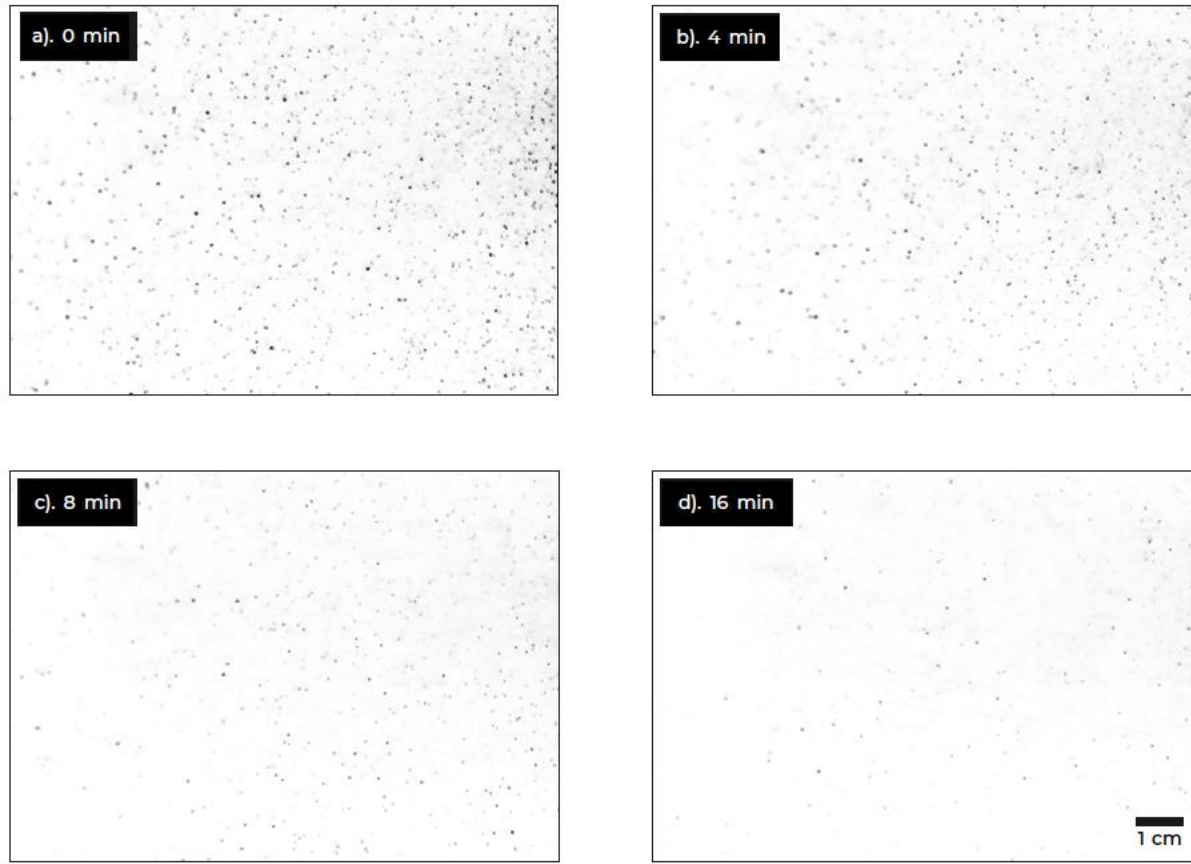


- a single cough: liquid weight of 0.07 ± 0.05 gram,
- speaking ten times: weight of 0.003 ± 0.001 gram.

For coughing: volumetric distribution shows $98 \pm 1\%$ of the volume contained in the large drops (100-1000 μm).

Small aerosol droplets, **~20 million microdroplets** produced in a single cough and **~7 million** for speech

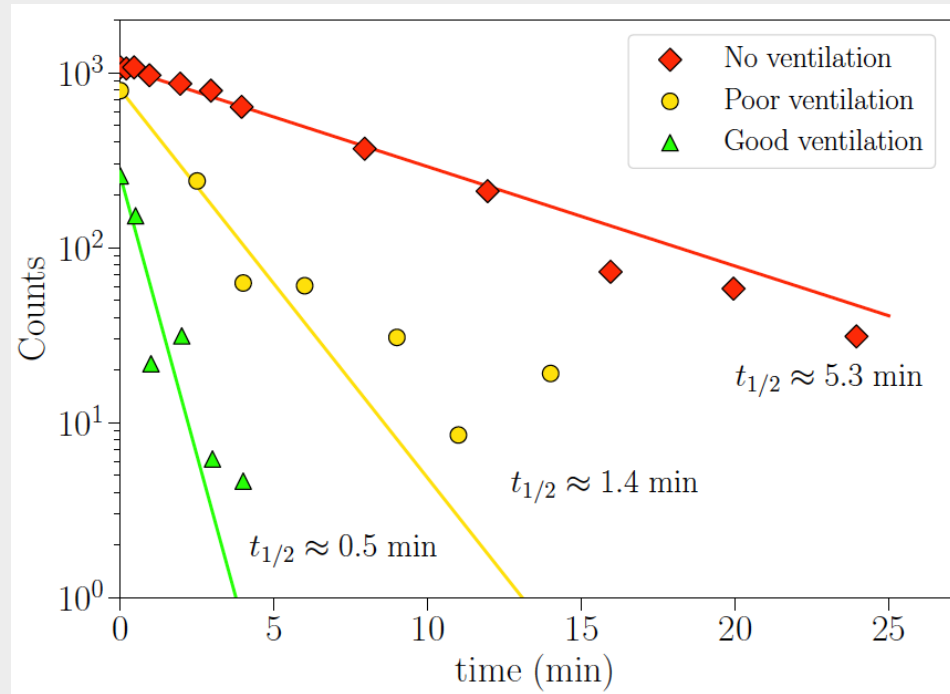
Persistence of aerosols (ill ventilated room)



16 minutes!

Small drops take minutes to sediment

Aerosols: Persistence of small drops in small confined spaces



Small droplet aerosols in poorly ventilated spaces; the need for specific measures to prevent SARS-CoV-2 transmission, A. Somsen et al. Lancet Resp.Med.2020



Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions

Scientific Brief

9 July 2020

....Another recent experimental model found that healthy individuals can produce aerosols through coughing and talking (19). To date, transmission of SARS-CoV-2 by this type of aerosol route has not been demonstrated; much more research is needed given the possible implications of such route of transmission.

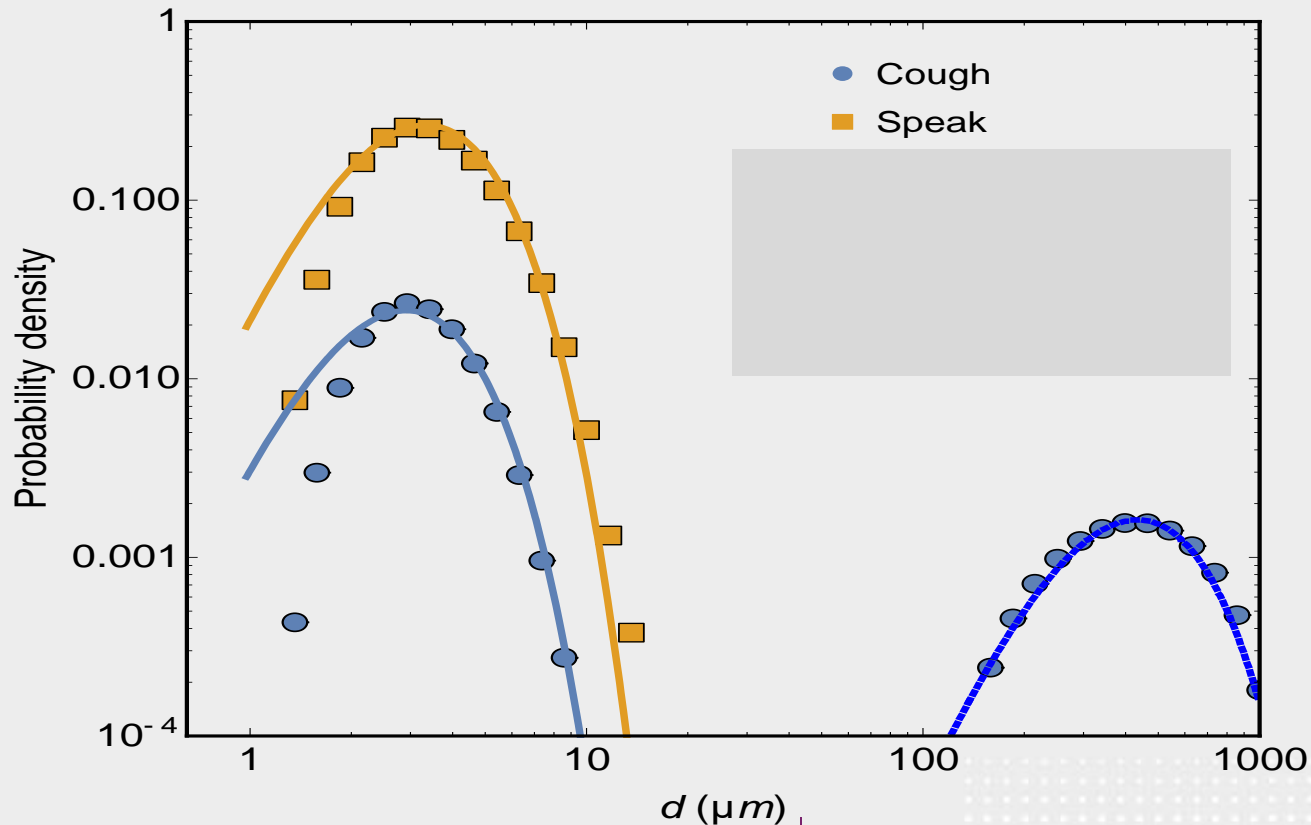
Scientific Brief: SARS-CoV-2 and Potential Airborne Transmissi...



Airborne transmission of SARS-CoV-2 can occur under special circumstances

Pathogens that are mainly transmitted through close contact (i.e., contact transmission and droplet transmission) can sometimes also be spread via airborne transmission under special circumstances. There are several well-documented examples in which SARS-CoV-2 appears to have been transmitted over long distances or times.

Evident question: what gives the drop size distribution from speaking and coughing ?

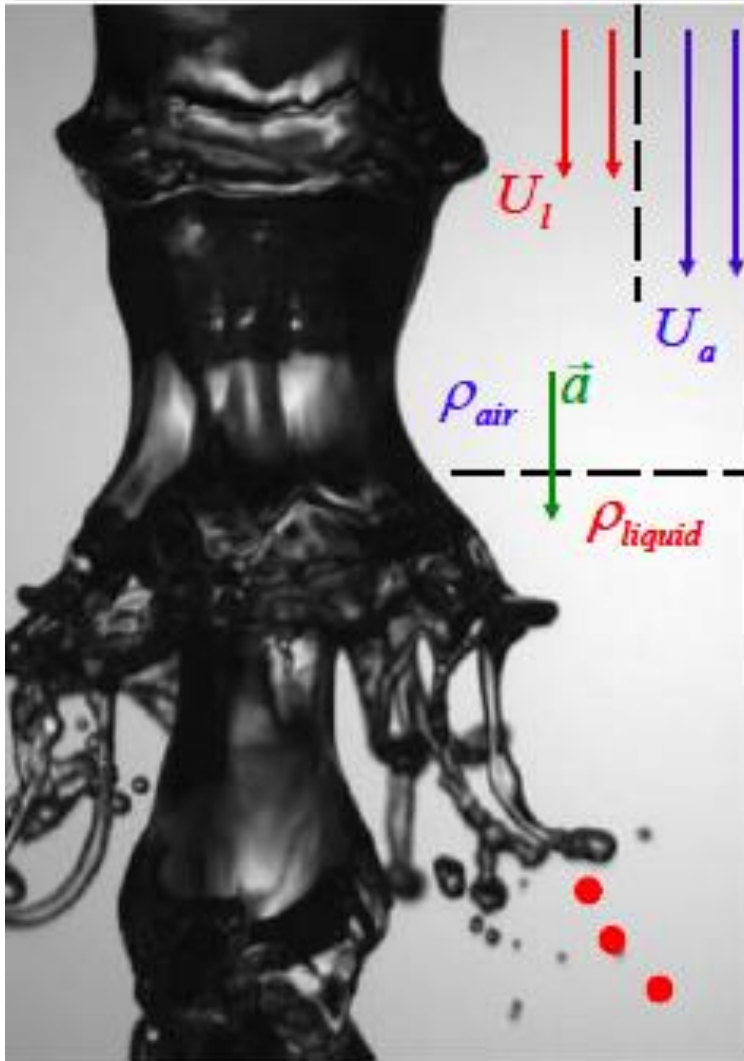


A high-speed photograph of a water spray. The water is captured in a cone shape, with a large, clear, circular droplet at the top. Below it, the water breaks into smaller droplets and a fine mist. The background is a plain, light gray.

What gives the drop size (distribution) in a spray?

S. Kooij, R. Sijs, M. Denn^a, E. Villermaux^b, D. Bonn
^aCCNY, ^bAix-Marseille Universite. (PRX 2018)

Spray formation: complicated physics!



1. Kelvin Helmholtz Instability: two fluids, with different speeds

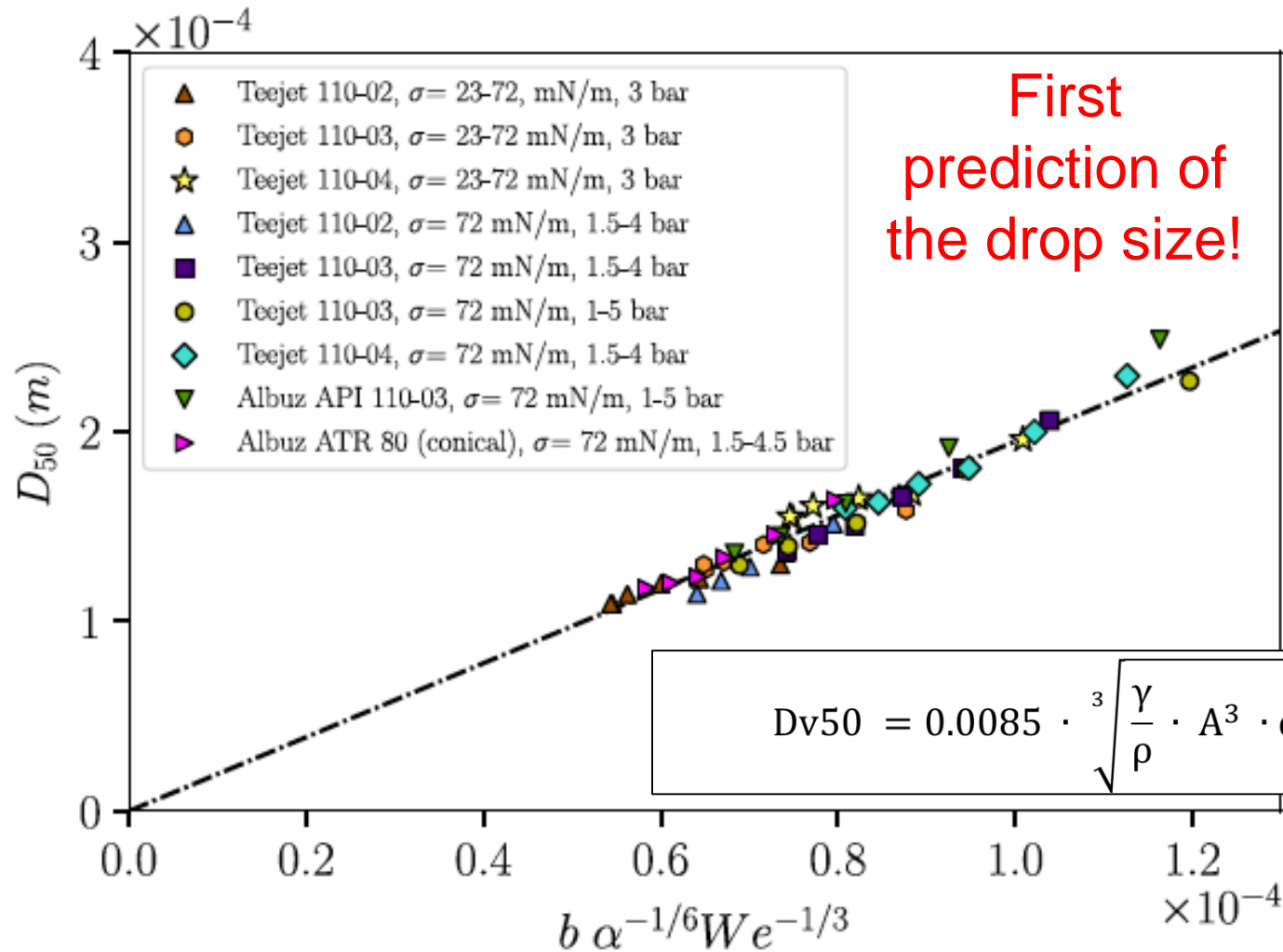


2. Rayleigh-Taylor Instability: two fluids, density difference

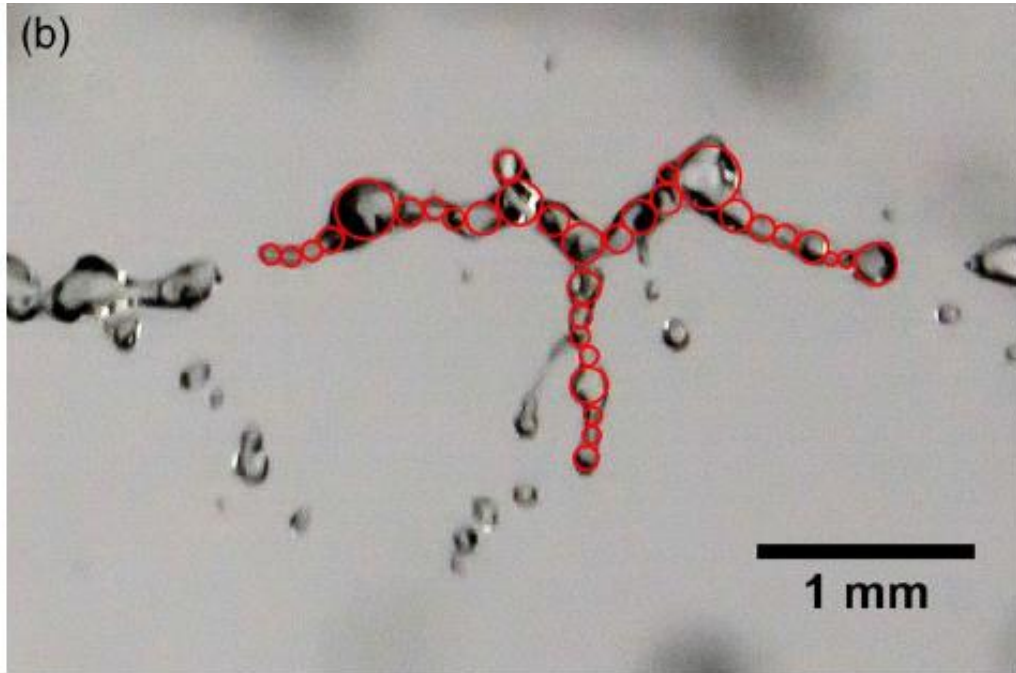
3. Rayleigh-Plateau Instability: two fluids, Surface tension



Drop size prediction from spray parameters and spraying liquid



Drop size & distribution



For one size of ligaments, drop size distribution is given by:

$$P(n, x = d/\langle d \rangle) = \frac{n^n}{\Gamma(n)} x^{n-1} e^{-nx}$$

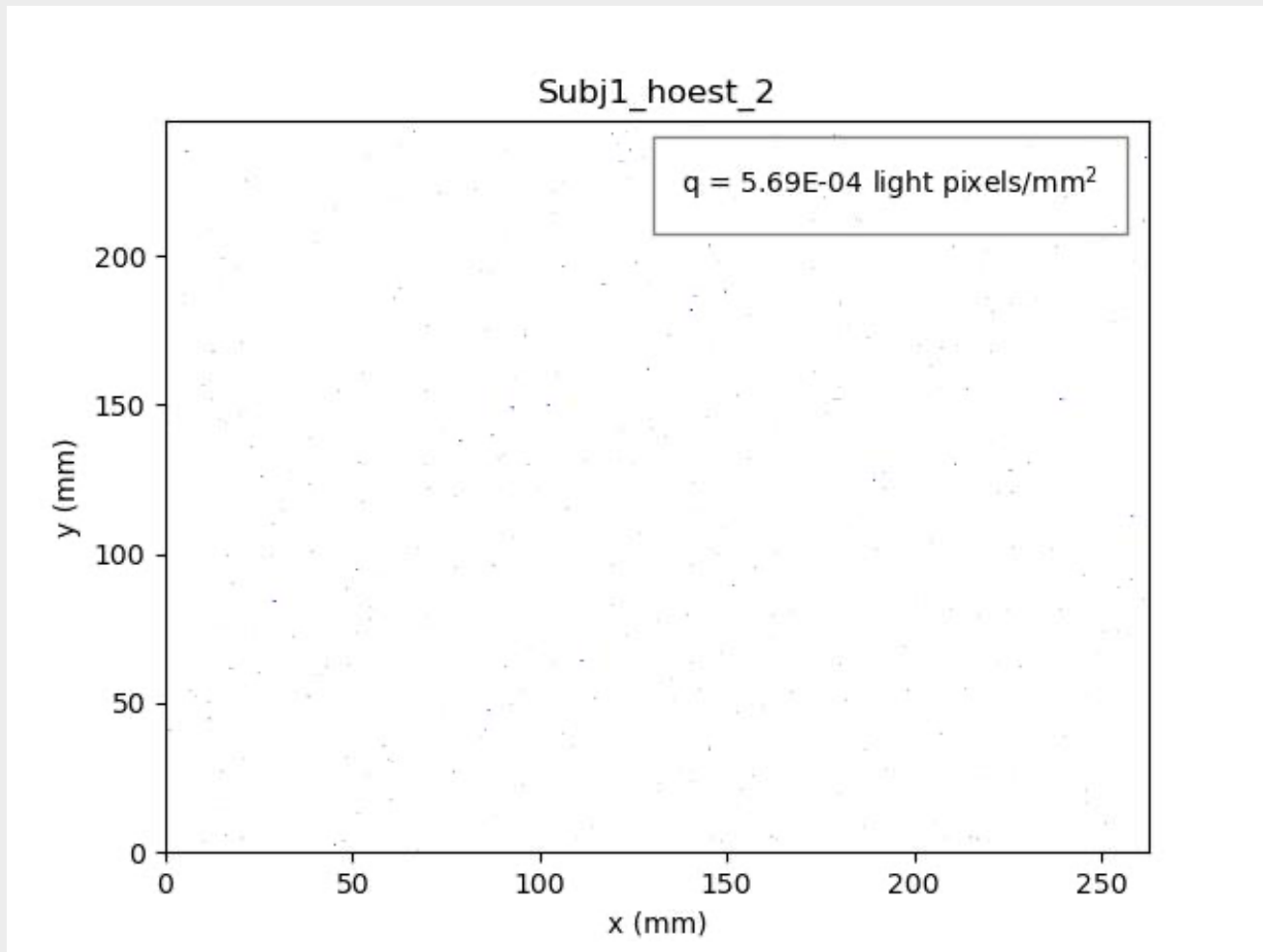
Where n gives the roughness of the filaments, here $n \sim 5$

What determines the drop size in sprays?
S Kooij, R Sijs, MM Denn, E Villermaux, D Bonn
Physical Review X 8 (3), 031019 (2018)

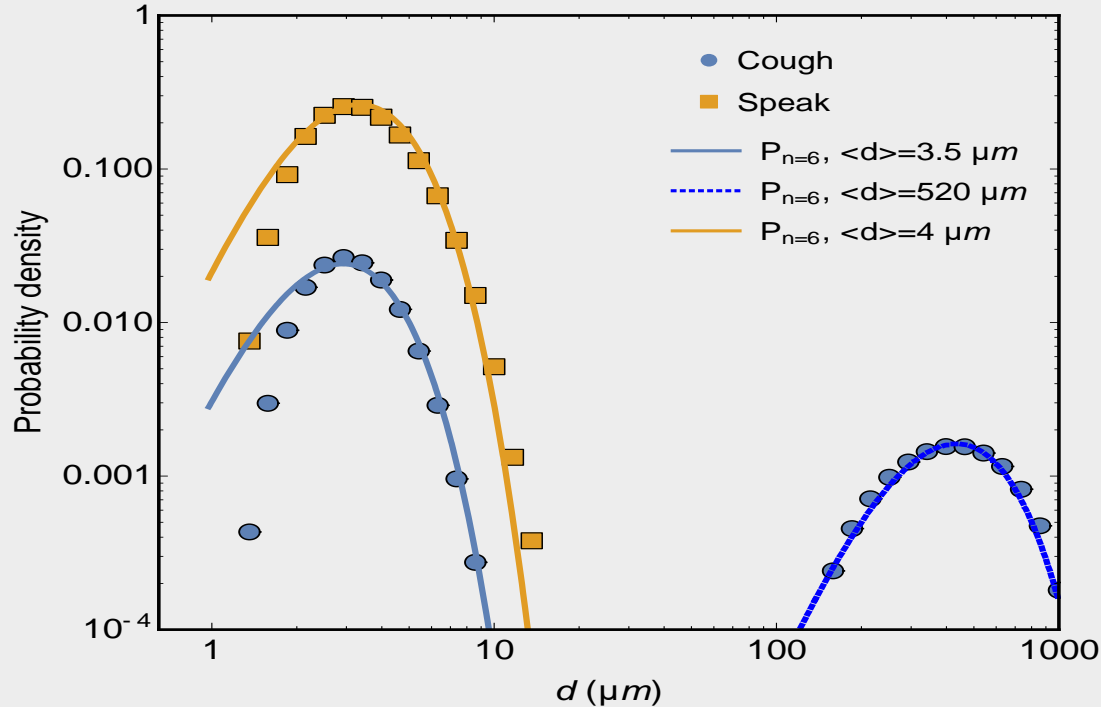
Similar ligaments are formed when coughing!



Similar ligaments are formed when coughing!



Back to COVID-19: drop size distribution from speaking and coughing is really just spraying!



- Very polydisperse, no strong non-Newtonian effects!
- Coughing produces both fine and coarse ligaments

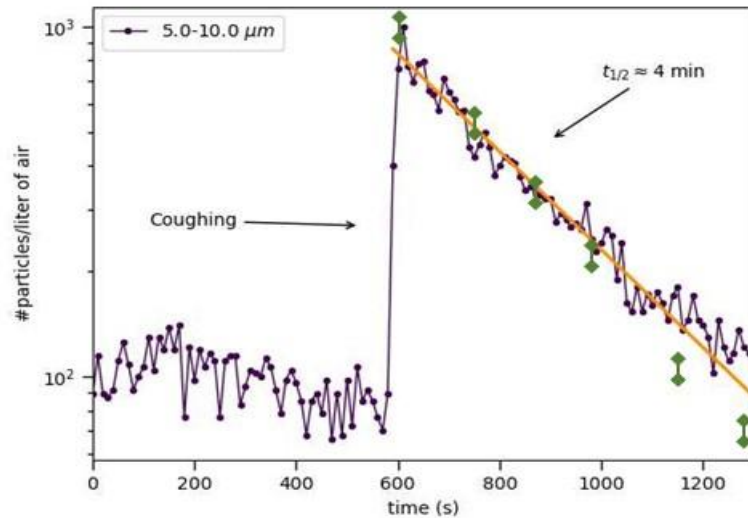
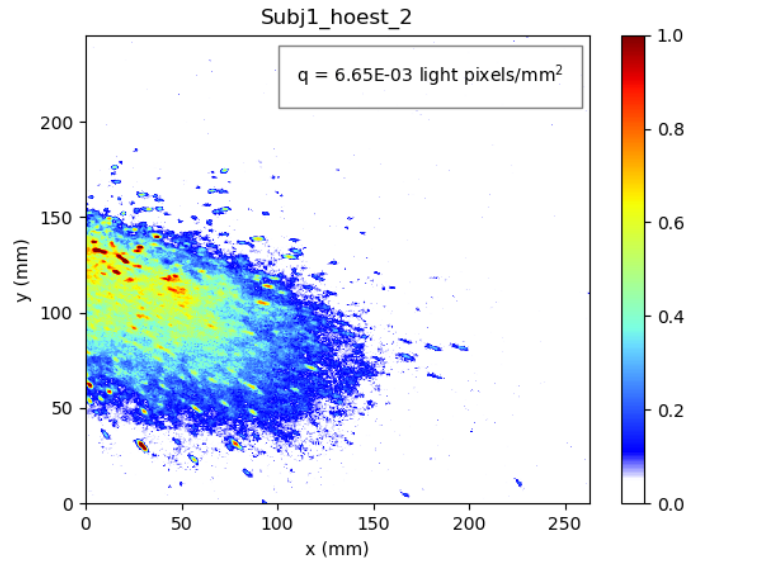
Can we use this knowledge to do a risk assessment?

How to model the aerosol persistence?

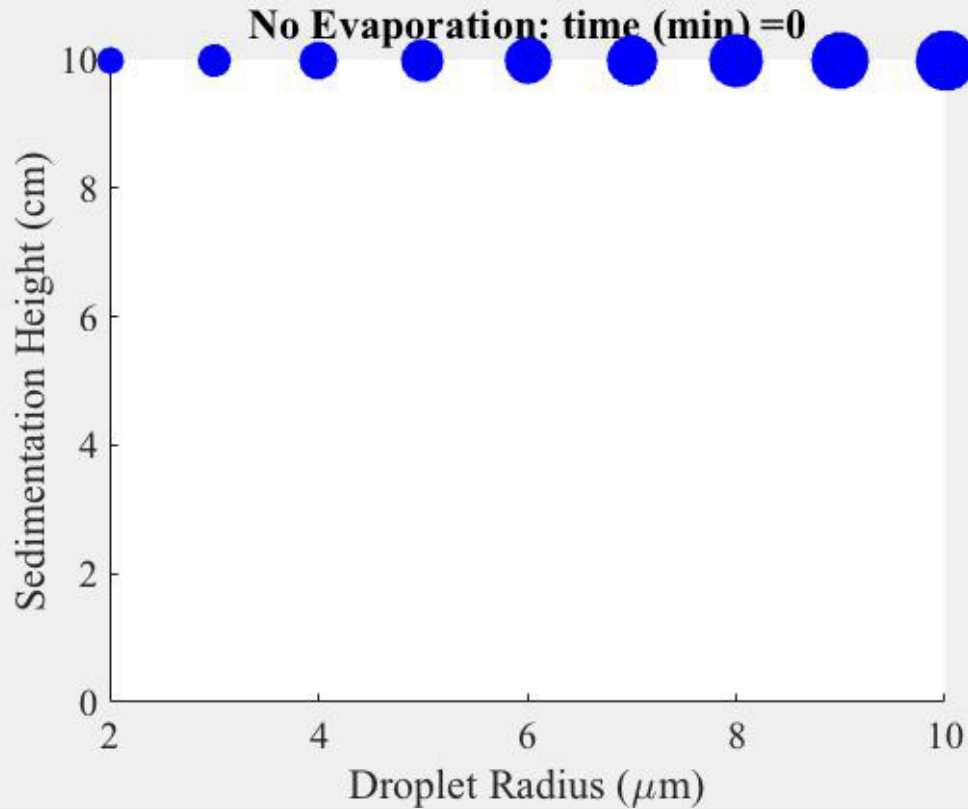


How to evaluate air quality?

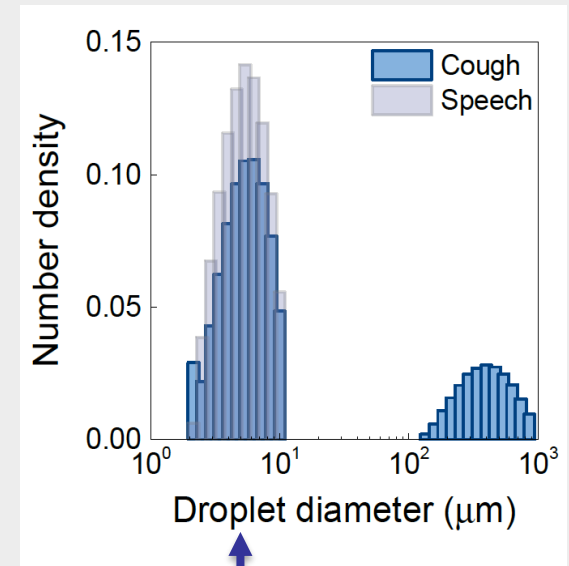
Dried-up aerosols=dust!
Cleanroom dust meter!



Aerosols: Persistence of small drops in small confined spaces



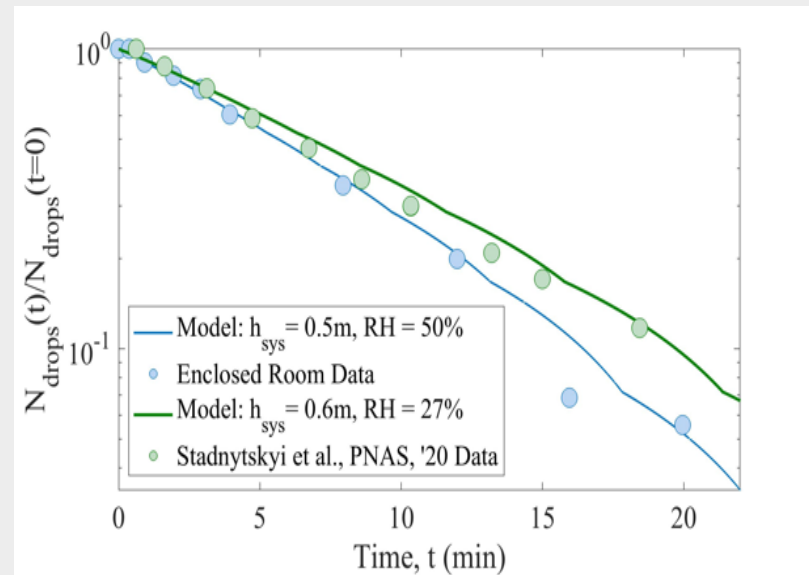
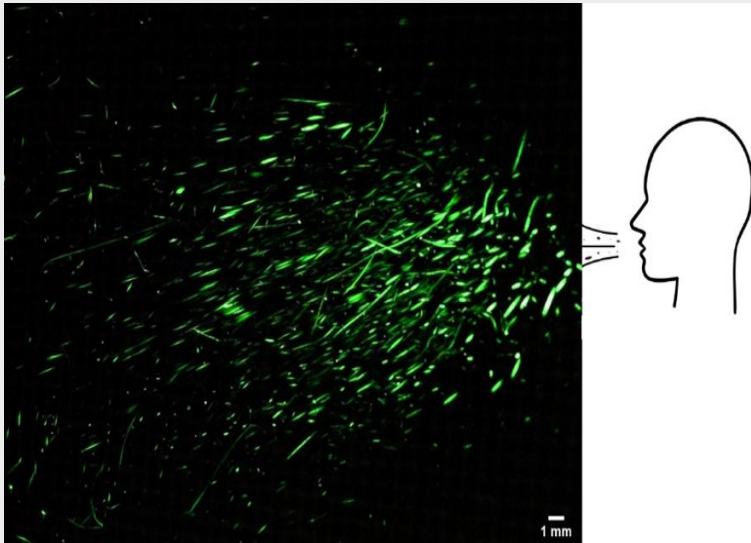
5 μm drop from 1.5m \rightarrow 9 minutes



aerosols

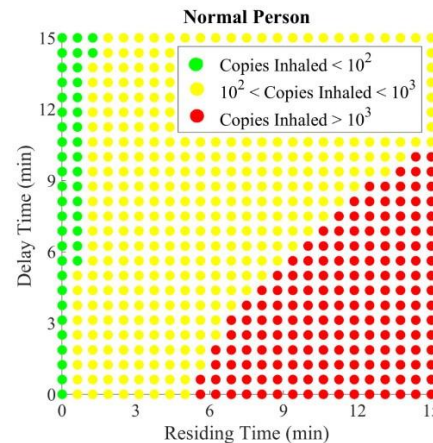
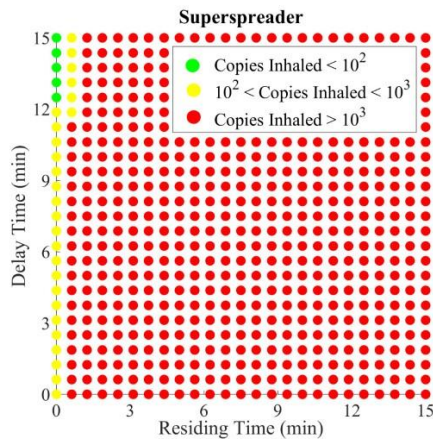
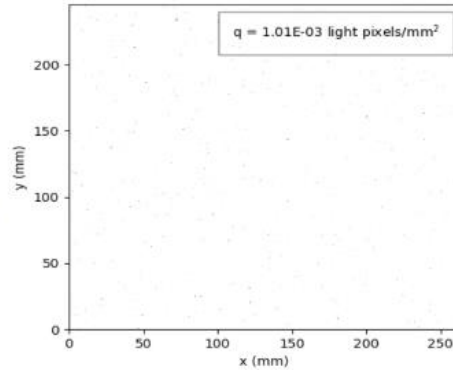
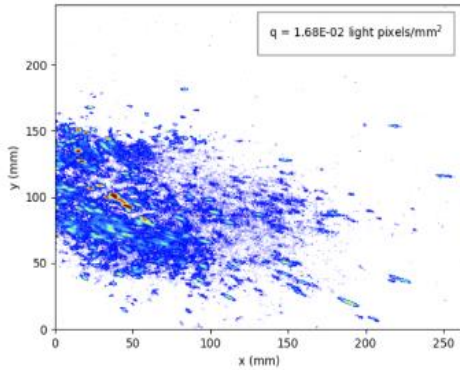
Complete model including gravity, evaporation, initial velocity...

- Quantitatively predicts our and PNAS (Bax and coll.) persistence data



Aerosol persistence in relation to possible transmission of SARS-CoV-2
 S. Smith et al., Phys.Fluids. (2020)

Risk analysis from persistence



infection after inhaling 100-1000 particles
(From SARS-CoV-1)

AVERAGE VIRAL LOAD

$\sim 7 \times 10^6$ virus particles/milliliter

Wölfel et al. *Nature* 2020: **581**: 465-469.

$\sim 10^4$, in the aerosols after 1 cough

We (Smith et al.)

MAXIMUM VIRAL LOAD

$\sim 2 \times 10^9$ virus particles/milliliter

Wölfel et al. *Nature* 2020: **581**: 465-469.

Conclusion: superspreaders are dangerous, as is bad ventilation



Coronavirus disease (COVID-19): How is it transmitted?

13 December 2020 | Q&A

The English version was updated on 30 April 2021.

[How does COVID-19 spread between people?](#)

We know that the disease is caused by the SARS-CoV-2 virus, which spreads between people in several different ways.

The virus can spread from an infected person's mouth or nose in small liquid particles when they cough, sneeze, speak, sing or breathe. These particles range from larger respiratory droplets to smaller aerosols.

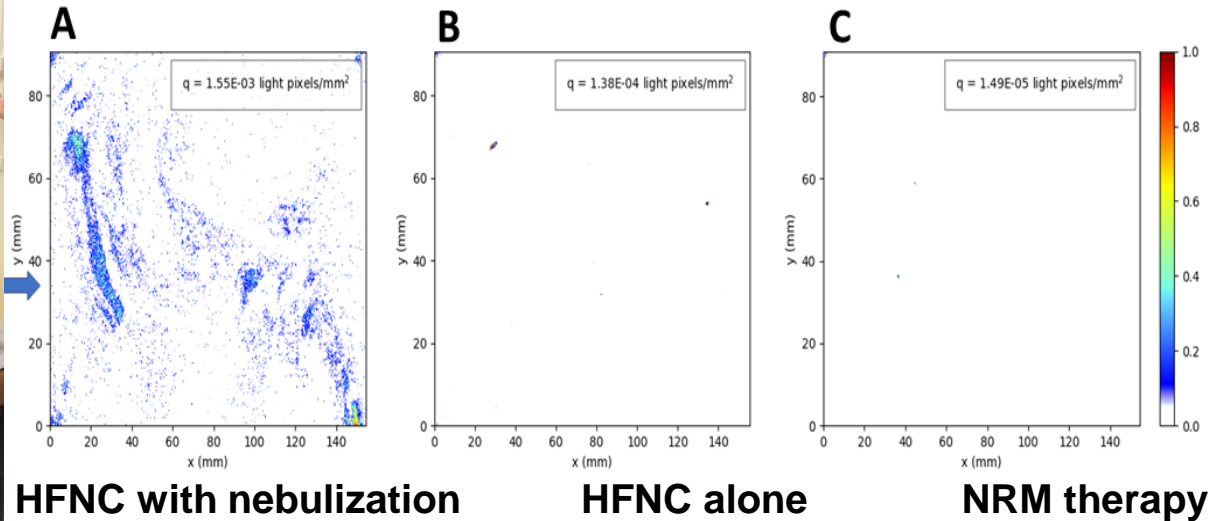
- Current evidence suggests that the virus spreads mainly between people who are in close contact with each other, typically within 1 metre (short-range). A person can be infected when aerosols or droplets containing the virus are inhaled or come directly into contact with the eyes, nose, or mouth.
- The virus can also spread in poorly ventilated and/or crowded indoor settings, where people tend to spend longer periods of time. This is because aerosols remain suspended in the air or travel farther than 1 metre (long-range).

Respiratory masks from the ICU at our academic hospital (Amsterdam UMC)

Can high-flow nasal cannula (HFNC) oxygen therapy be used on Covid-19 patients without risk for the hospital staff?



Respiratory masks from ICU (laser sheet)



R. Bem et al., Aerosol formation during HFNC – risk assessment for SARS-CoV-2 transmission to health care workers, Respiratory care (2021)

Risk: LOW

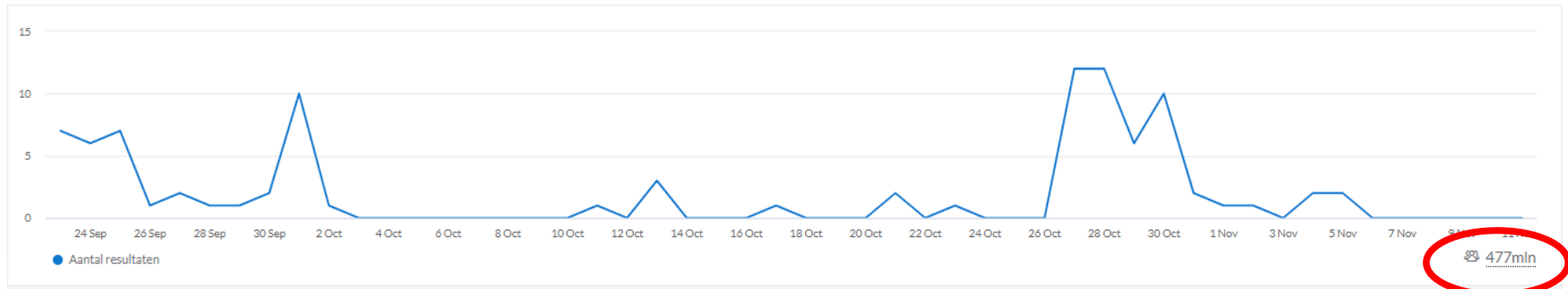
Conclusions

- Aerosol transmission of SARS-CoV-2 is likely to be a risk, especially superspreaders
- The solution is: Ventilation, ventilation, ventilation.....
- This is a truly interdisciplinary problem where physics and engineering should be combined with biology and virology

✓ "daniel bonn" Welke mediasoort 2 geselecteerd Waar Overall Wanneer 23 Sep 2020 - 11 Nov 2020 Welke talen Alle talen

94 resultaten | Dubbele artikelen: De minste resultaten

Datumbereik: 23 Sep 2020 - 11 Nov 2020



The team

IoP: S. Kooij,



S. Smith

Medspray/ IoP: C. van Rijn



AMC: L. van der Hoek, A. Vlaar, R. Bem



Cardiologie Centra Nederland: I. Tulevski, A. Somsen



VUMC: L. Hofstra



- Hoe nu verder?
- Zijn aerosolen elders belangrijk?

HET PAROOL, DONDERDAG 15 DECEMBER 2022

NIEUWS 9

Wetenschap Simpele remedie tegen opspattend water: klep dicht

Lasers onthullen hoe toiletten spetteren

Bij het doorspoelen van een toilet schieten vele minuscule druppeltjes – inclusief ziekmakers uit het toiletwater – de lucht in. Amerikaanse wetenschappers hebben dit effect voor het eerst in beeld gebracht. ‘Het is schokkender dan verwacht.’

Dennis Vaandel
AMSTERDAM

Als je deze beelden ziet, kijk je nooit meer op dezelfde manier naar het doortrekken van een toilet,” aldus John Crimaldi, natuurkundige aan de Universiteit van Colorado Boulder in de Verenigde Staten. Hij heeft het over plaatjes die hij samen met collega's schoot en vorige week publiceerde in het vakblad *Scientific Reports*. Ze onthullen iets dat met het blote oog niet zichtbaar is: de wolk van waterdruppeltjes die na het doorspoelen uit de toiletpot omhoogschiet.

Het is een effect waarmee wetenschappers al tientallen jaren bekend zijn. Hoewel toiletten ontwikkeld zijn om hygiëne te bevorderen, hebben ze ook minder frisse kanten. Met het doortrekken verdwijnt ontlasting uit de pot, maar door het kloetsende water vliegt ook in tegenovergestelde richting inhoud die directe omgeving in. Dat brengt een risico met zich mee, want in toiletwater bevinden zich uit ontlasting afkomstige ziekmakers. Die kunnen meeliffen met zeer kleine druppeltjes – zogeheten aerosolen – die toiletbezoekers vervolgens kunnen inademen. Met name op publieke toiletten kan dit de nodige gezondheidsrisico's opleveren.

Schokkend inzicht

Toch was het niet bekend hoe zo'n welk zich precies gedraagt. De enige kennis kwam tot nu toe van simulaties en indirecte metingen. Voor Crimaldi en collega's reden genaog om afgelopen zomer een toilet in hun laboratorium te plaatsen. Met een speciale meetopstelling – inclusief twee lasers die de druppeltjes beschijnen en camera's die de situatie vastlegden – slaagden de onderzoekers erin de beweging van de ‘doortrekwolk’ in beeld te brengen.

Die bewegingen bleken krachtiger dan verwacht. “We dachten dat de aerosolen omhoog zouden zweven, maar ze schoten eruit als een raket,” zegt Crimaldi. Binnen acht seconden bevonden de druppeltjes zich op anderhalve meter boven het toilet, waarna de wolk uiteindelijk tot aan het plafond uitdielde. Waar de grootste druppels binnen enkele seconden op de vloer of een oppervlak in de buurt belandden, bleken de kleine aerosolen bovendien minutenlang in de lucht te blijven zweven. Uitgeroemd die druppeltjes zijn gevaarlijk, omdat ze na inademing tot diep in de longen kunnen doordringen.

“Een schokkend inzicht,” zegt Daniel Bonn, natuurkundige aan de Universiteit van Amsterdam. Hij is niet betrokken bij de studie, maar onderzoekt in zijn laboratorium met vergelijkbare technieken het gedrag van vloeistoffen. “Op de afbeeldingen zijn meer aerosolen te zien dan ik verwacht had. Dit is een belangrijke observatie voor de volksgezondheid. De beelden maken het probleem inzichtelijk.”

Waterdruk

Bewustwording was dan ook een van de doelen, merkt Crimaldi op. “Door dramatische visuele beelden van dit proces te maken, kan onze studie een belangrijke rol spelen in de berichtgeving over volksgezondheid.” Overigens leverde het onderzoek meer op dan bijvoorbeeld

plaatjes alleen: het team bepaalde ook de grootte en snelheid van de druppeltjes en de manier waarop ze bewegen. Die informatie kan waardevol zijn bij het verbeteren van toiletten en hygiëne maatregelen, meent Crimaldi. “Dat kan je niet effectief doen zonder te weten hoe de aerosolenwolk zich ontwikkelt en beweegt.”

De onderzoekers benadrukken dat er tijdens het experiment alleen water in het toilet zat. De aanwezigheid van ontlasting en toiletpapier kunnen, net als rondlopende mensen, de verspreiding van de wolk verergeren. Daarnaast maakt ook de manier van doorspoelen uit: het team gebruikte een zogenaamde flushometer,

die veel voorkomt. In openbare toiletten in de Verenigde Staten. Anders dan de in Nederland gebruikelijke stortbak maakt deze methode gebruik van de waterdruk (en niet zwaartekracht). “Waarschijnlijk maakt de krachtige waterdruk het probleem wat extremer,” zegt Bonn. “Desondanks zullen er ook bij een ‘Nederlands’ toilet, of bij lagere waterdruk, waarschijnlijk nog steeds veel kleine druppeltjes vrijkomen.” Het devies is volgens Bonn dan ook: doe altijd de deksel dicht tijdens het doorspoelen. “Een makkelijke oplossing, maar wel effectief. Er zullen vast nog wat aerosolen onder de deksel doorglippen, maar dat zal verwaarloosbaar zijn.”

→ Wetenschappers gebruiken lasers om de verspreiding van druppeltjes bij het doortrekken te meten. FOTO JOHN CRIMALDI/UNIVERSITY OF COLORADO BOULDER

‘We dachten dat de aerosolen omhoog zouden zweven, maar ze schoten eruit als een raket’

De kleine aerosolen bleken minutenlang in de lucht te blijven zweven



Corona op het toilet?

Kun je ziek worden van de aerosolen op het toilet? Met name tijdens de coronapandemie stak deze vraag regelmatig de kop op. Het is immers bekend dat virusdeeltjes in de ontlasting van geïnfecteerden achterblijft – niet voor niets wordt tegenwoordig rioolwater gebruikt om de verspreiding van corona te volgen. Vooral nog is het onduidelijk of ‘toilet-aerosolen’ ook corona kunnen verspreiden. “Die kans lijkt klein,” zegt natuurkundige Daniel Bonn. “Al is het lastig om dat zeker te weten: we kunnen maar zelden achterhalen waar mensen precies geïnfecteerd zijn geraakt.”

Corona is niet het enige gevaar. Ook andere bacteriën en virussen kunnen lange tijd in het toilet achterblijven – soms wel tientallen speeluurten. Vooral op openbare toiletten bestaat de kans om ziekmakers afkomstig uit de ‘grote booschaps’ van vorige toiletgebruikers, via aerosolen in te ademen. Bonn: “Die ziekmakers uit ontlasting, zoals E. coli, zijn niet mals. Voor de algehele hygiëne is het dus goed om rekening te houden met de aerosolenwolk, coronapandemie of niet.”



Luchtkwaliteit: fijnstof

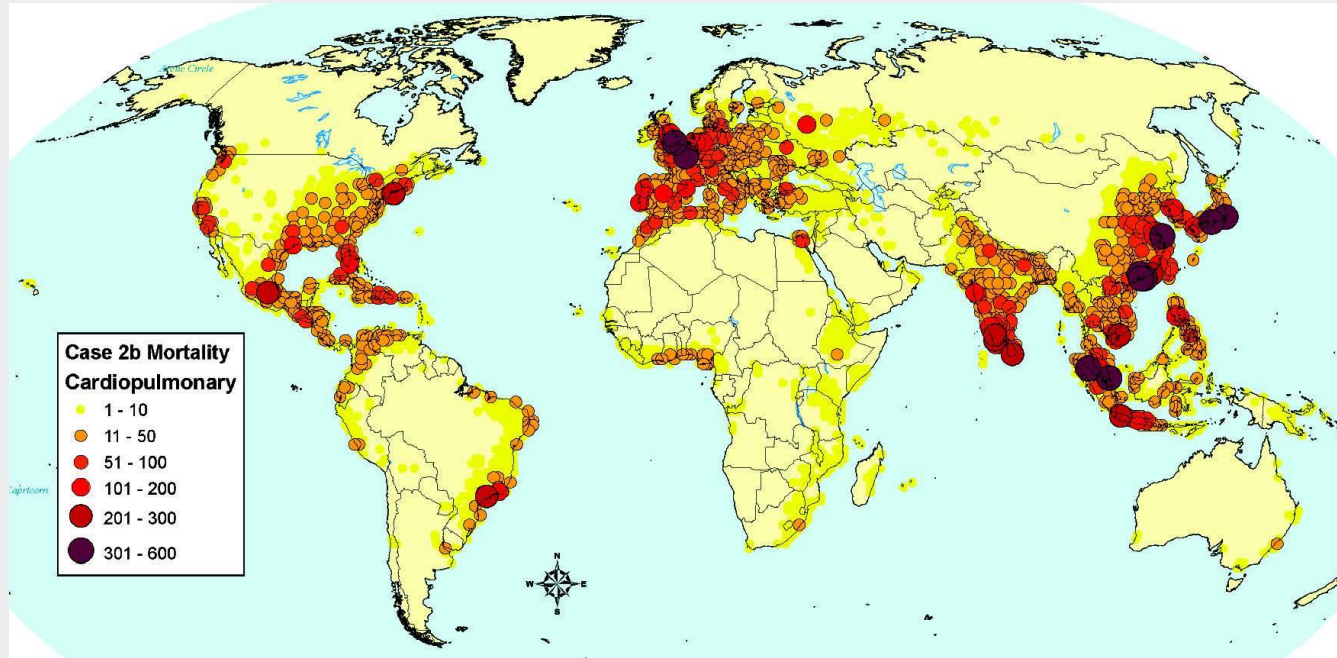
air pollution caused 8.8 million extra deaths in 2015.

The World Health Organization (WHO) estimates smoking kills about 7 million people a year globally.



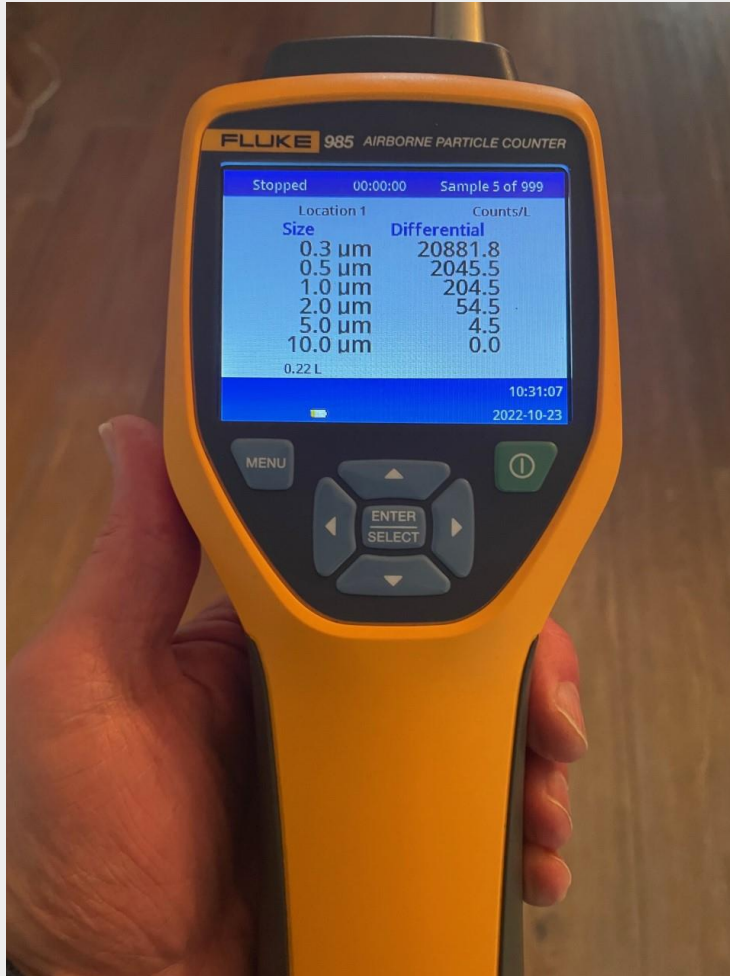
Bringing the outside air indoors

Chemistry: NO_x and SO_2 mortality

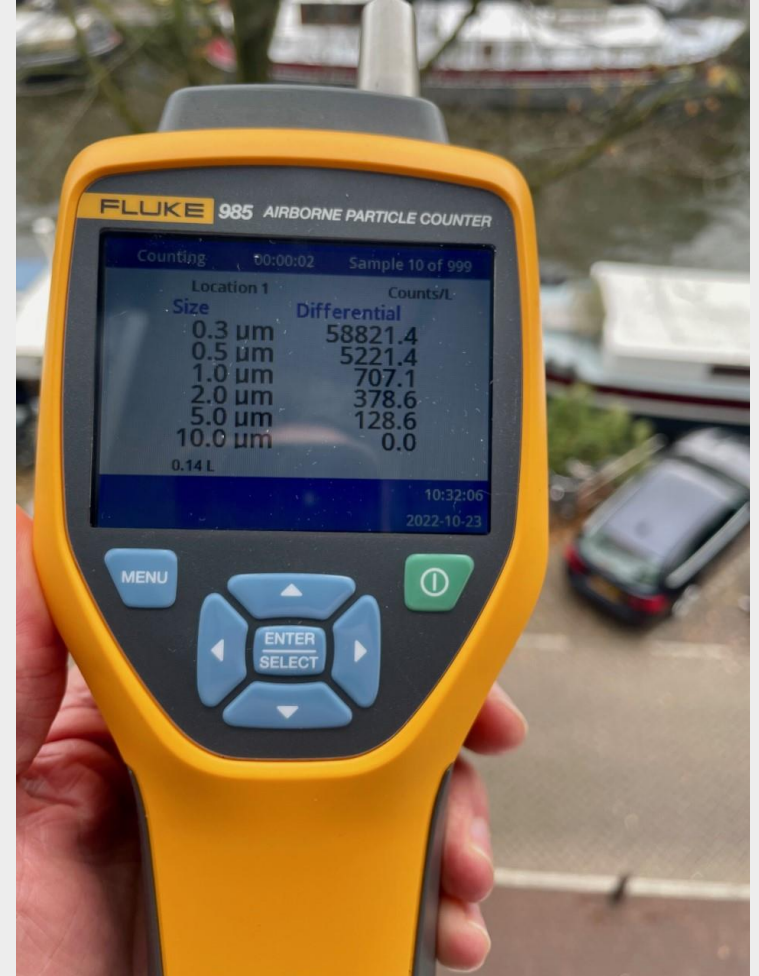


The ventilation paradox: most harmful chemical come from the outside: do we really want to ventilate more?

Amsterdam

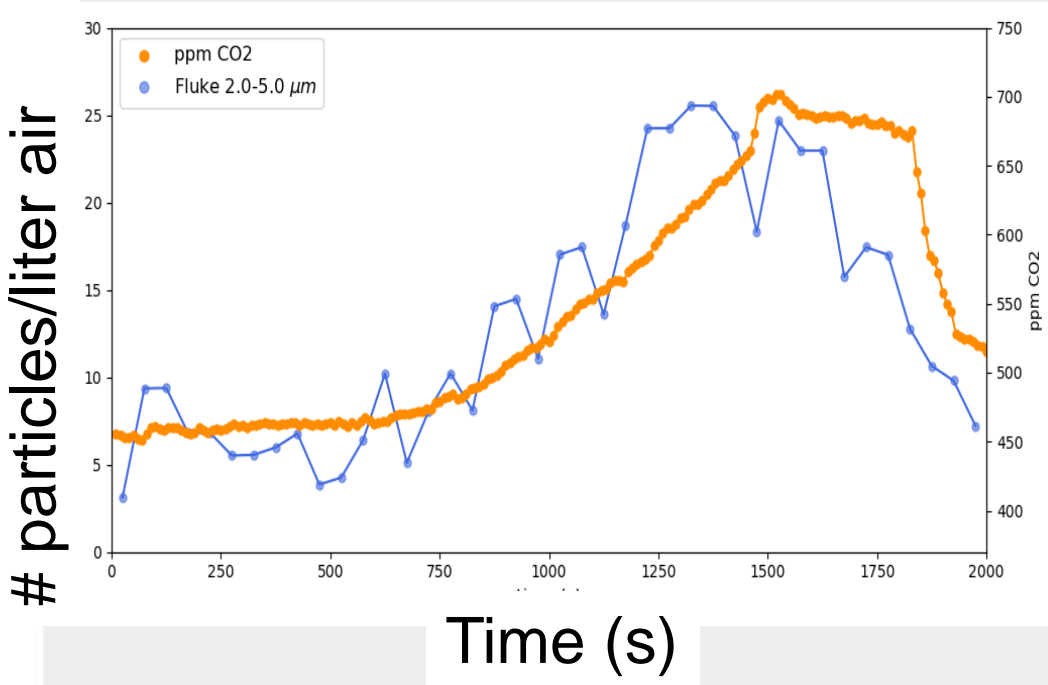


Inside my house



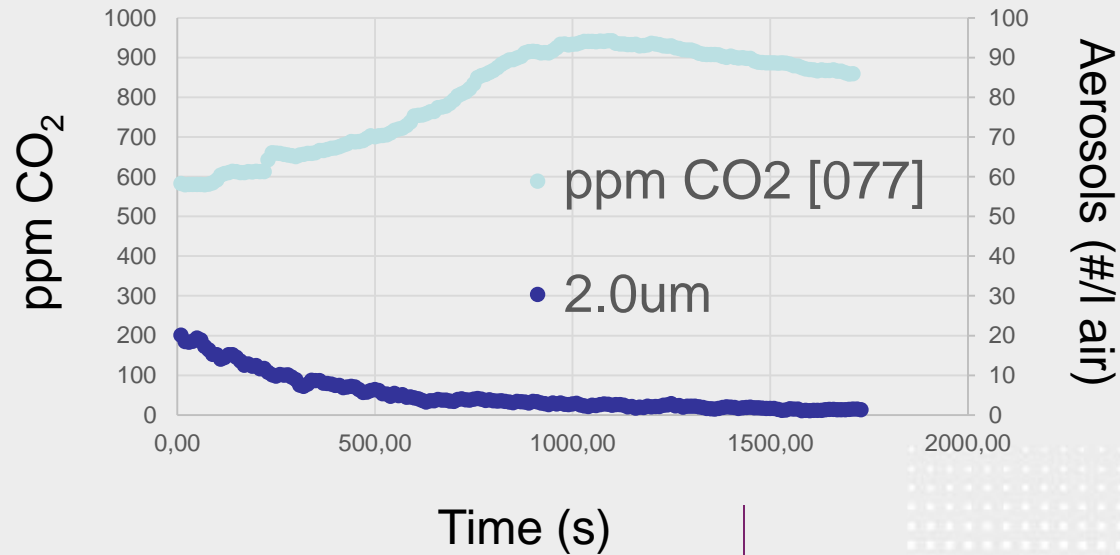
In my open window

Example: cardiac stress testing



Aerosols (handheld particle counter) and CO₂ strongly correlated: simple CO₂ measurement could suffice!

With Air purifier





Indoor Air Quality

