

# Mekanismer som kan føre til at COVID-19 spres i inneluft

Norsk VVS nr. 10-2020

Professor Finn Drangsholt, UiT  
Førsteamanuensis Amar Aganovic, UiT

## Innledning

WHO opererer med følgende begrunnelse for at COVID-19 ikke karakteriseres som luftsmitte :

*People can catch COVID-19 from others who have the virus. The disease spreads primarily from person to person through small droplets from the nose or mouth, which are expelled when a person with COVID-19 coughs, sneezes, or speaks. **These droplets are relatively heavy, do not travel far and quickly sink to the ground** (<https://www.who.int/news-room/q-a-detail/q-a-coronaviruses>)*

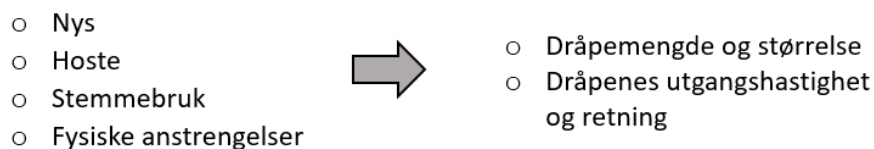
I dette notat beskrives transportmekanismer i luft i rom, relatert til følgende:

- Partikkelstørrelse
- Fordampningshastighet
- Luftstrømmer generert av ventilasjonsanlegg
- Luftstrømmer generert av oppdrift fra varmeavgivende utstyr
- Luftstrømmer knyttet til bevegelse og åpning/lukking av dører

Kort oppsummert indikerer gjennomgangen at væskefordampning og luftstrømmer intern i lukkede rommet vil medføre at viruset vil kunne holde seg i luften lenge. Med basis i denne konklusjonen anbefales noen enkle tiltak som vil kunne redusere muligheten for at smitte ikke sprer seg ukontrollert intern i et rom og til andre arealer.

## Transportmekanismer i luft

Blant de forskjellige smitteveiene for COVID-19 er dråper og luftbårne ruter de mest interessante med hensyn til ventilasjon og klimatisering av rom. Den luftbårne sykdomsoverføringen av COVID-19 starter via luftveisprosesser som nysing, hoste, fysiske anstrengelser og stemmebruk. Sammenhengen mellom luftveisprosesser og dråpeforekomst kan skisseres som følgende :



Når luftveisdråpene er frigjort fra øvre luftveier, utsettes de for ulike omgivelsesfaktorer som definerer videre transport. Dråpeegenskapene vil sammen med omgivelsesfaktorene (og virulens) definere risikoen for smitte via luft. Sammenhengen mellom omgivelsesfaktorer og smitterisiko kan skisseres som følgende :

- Ventilasjonsprinsipp
  - ventilasjonsmengde
  - Lufthastighet
  - Lufttemperatur
  - Relativ fuktighet
  - Varmekilder
  - Bevegelse av mennesker
  - Åpning av dører/vinduer
- ➔
- Dråpene alder (levetid)
  - Dråpenes transportbaner

### Luftveisprosesser som genererer dråpesmitte

Figur 5 illustrerer spredning av dråper som strekker seg langt utenfor det "sosiale distanseringsområdet" på 1-2 meter. Konsentrasjoner av dråper vil være høyest ved utslippskilden. Utover i «strålebanen» avtar konsentrasjonen fordi dråpeskyen fortynnes med romluft og de største dråpene faller til bakken. Konsentrasjonen av dråper vil utover i dråpeskyen være relatert til ventilasjonsmengde og mekanismer som holder dråpene svevende. Godt ventilerte lokaler vil ha lavere smitterisiko en dårlig ventilerte lokaler.

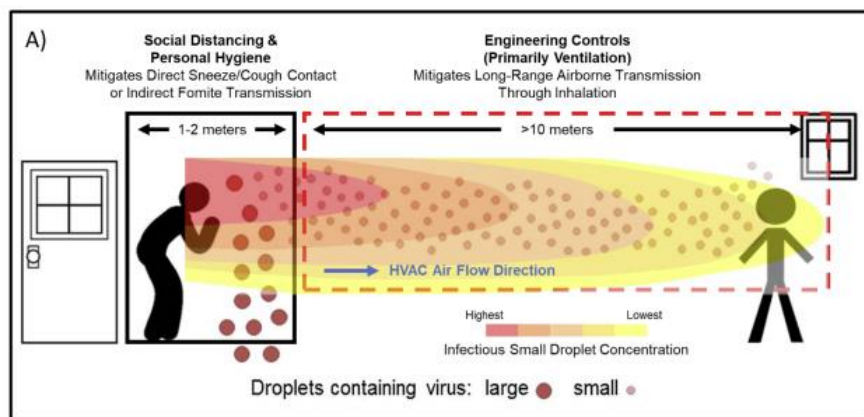


Fig. 5 Konseptuelt diagram over dråpetransport innendørs [6].

Det synes å være stor spredning i partikkelstørrelse avhengig av om dråper tilføres ved stemmebruk med varierende styrke, eller ved hosting og nysing. Nysing kan generere størrelsesorden en million dråper med en diameter fra 10 til 500 mikrometer. De største dråpene holder seg svevende i luften bare noen sekunder pga sin tyngde, men kan i denne

tiden infisere slimhinner i øyne, nese eller munn hos en mottakelig person som har nær kontakt med en syk person. Levetiden på mindre fraksjoner vil være avhengig omgivelsesfaktorene i rommet. Dråper som får redusert sin størrelse gjennom fordampling kan ende opp som dråpekjerner med diameter mindre enn  $10\ \mu\text{m}$ .

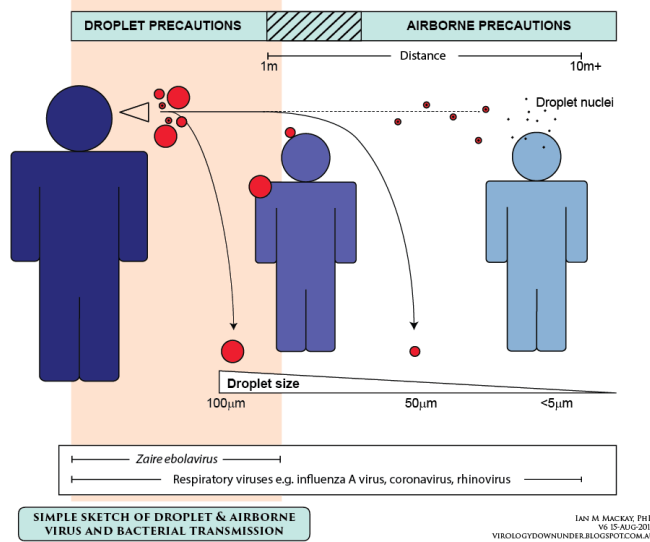


Fig 1. Skisse av luftbåren smitte mellom en smittebærende person og en frisk person [1]

Mens de fleste tror at bare hoste eller nys kan generere smittsomme dråper, har studier vist at det å snakke i 5 minutter kan generere det samme antall dråpekjerner som en hoste, dvs. flere tusen dråpekjerner. Eksempel på slike observasjoner er vist i Figur 2. Figur 2(a) viser at stemmebruk genererer aerosoler med liten diameter ( $\sim 1\ \mu\text{m}$ ), mens figur 2(b) viser at nys/hoste genererer partikler hvis størrelse fordeler seg på et større fraksjonsområde ( $\sim 50\text{-}500\ \mu\text{m}$ ).

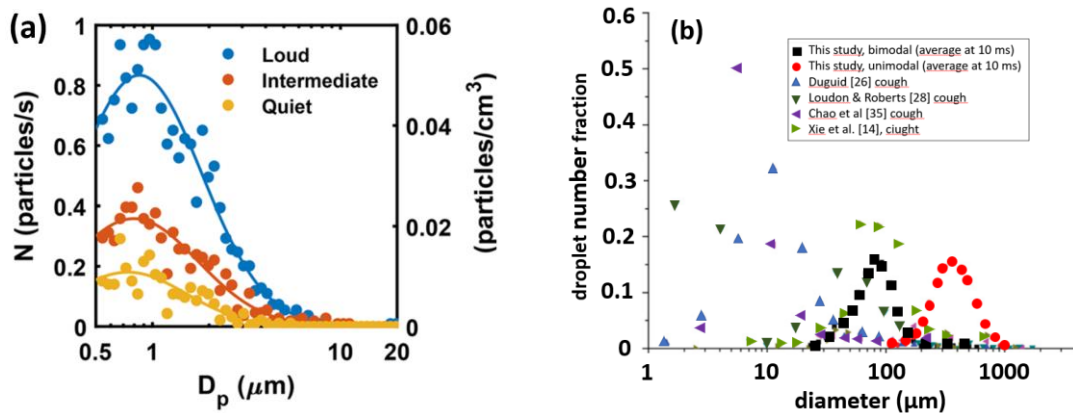


Fig 2. Dråpestørrelse og antall relatert til varierende stemmenivå (a) og nys/hoste (b). [2], [3].

Utgangshastighet på dråper som forlater åndedrettet vil også ha store variasjoner. Mens tale og normal pusting gir moderate hastigheter ( $< 1$  m/s) vil nysing og hoste kunne gi langt høyere hastigheter (5 – 20 m/s). De høyeste hastighetene vil kunne gi betydelig spredning (se Figur 3).

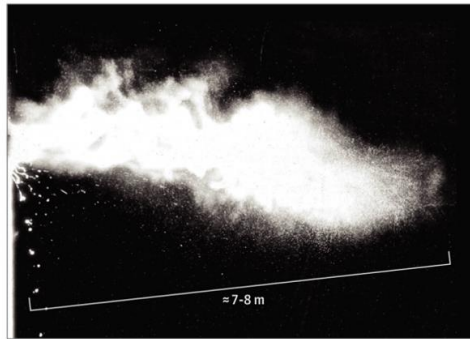


Fig 3. Dråpesky fra kraftig nys. Et høyhastighetskamera ved MIT viser at et nys kan spre dråper over en avstand på 7-8 meter [4].

### Omgivelsesfaktorer

Terminalhastighet er en størrelse som sier noe om hvor fort en partikkel faller i stillestående luft. Hastigheten kan gi indikasjon på hvor lenge en partikkel/dråpe vil kunne holde seg i lufta før den når bakken. Terminalhastighet er avhengig av partikkelens egenvekt, geometri og ruhet samt egenskaper til mediet som omgir partikkelen (temperatur, viskositet). Stoke's lov kan benyttes til å beregne terminalhastighet. Tabell 1 viser terminalhastighet for noen partikkelstørrelser. Det er i beregningene lagt til grunne at en væskepartikkel har form som kule, og at lufttemperaturen er på 20 °C.

Tabell 1. Terminalhastighet for noen utvalgte dråpestørrelser

D μm	Terminalhastighet m/s
500	2,2
100	0,3
50	0,1
10	0,004
1	0,001

Av tabellen ser vi at en partikkel på 500 μm i stillestående luft får en fallhastighet på 2.2 m/s, dvs hvis den slippes ut i en høyde over gulv på to meter tar det mindre enn ett sekund før den når gulvet. For en partikkel på 100 μm blir falltiden 6.6 sekunder. For partikler mindre enn 10 μm vil falltiden bli høy, dvs partikler generert ved stemmebruk og finfraksjonene som genereres ved hoste og nys kan holde seg i lufta lenge.

Temperatur og fuktighet kan påvirke dråpenes størrelse og fallhastighet gjennom fordampning. Når væskedråper frigjøres fra luftveiene som antas å ha en relativ fuktighet på 100%, starter en fordampningsprosess. Desto tørrere romlufta er jo hurtigere fordamper væskemengden.

Hvorvidt en dråpe vil bli værende i lufta eller falle til bakken vil da være avhengig av lufttemperatur, luftfuktighet og lokale aerodynamisk forhold

Beregninger med partikkelmodellen i FDS (NiST) gir eksempel på hvordan en partikkel endrer størrelse som funksjon av relativ fuktighet og tid i stillestående luft med romtemperatur på 20°C (Figur 4). Er lufttemperaturen høyere vil fordampningshastigheten øke.

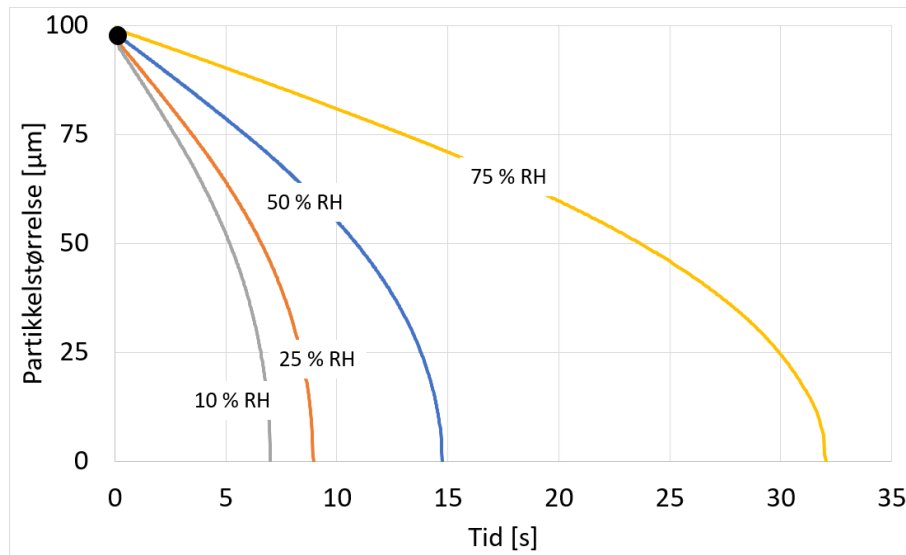


Fig 4. Endring av en væskepartikkels størrelse som funksjon av relativ luftfuktighet og tid [5].

I rom hvor det ikke tilføres fuktighet av betydning vil luftfuktigheten være nært knyttet til utetemperatur. Om en antar at relativ luftfuktighet ute ligger mellom 70 og 90%, kan en av Mollierdiagrammet for fuktig luft lese ut noen romtilstand (tabell 2).

Tabell 2. Relativ fuktighet i romluft som funksjon av utetemperatur

Utetemperatur C	Relativ fuktighet romluft %RH
-10	10-12
0	18-23
10	38-50
20	70-90

I store deler av året i Norge er utetemperatur under 0°C, dvs relativ luftfuktighet i rommet vil ligge under 25 %. Av figur 3 kan vi da lese ut at en væskepartikkel på 100 µm fordampes i løpet av ca 8 sekunder, en væskepartikkel på 50 µm fordampes i løpet av 2.5 sekunder, mens en væskepartikkel på 25 µm fordampes på 0.5 sekunder. Dette tilsier at i den kalde årstiden kan dråper som ved utslippskilden har relativ stor diameter bli værende i innelufta lenge.

Ventilasjonsprinsipp vil også påvirke de lokale luftstrømningsmønstrene rundt en person. Fortynningsventilasjon genererer hastighetskomponenter i alle retninger, da intensjonen med dette prinsippet er å oppnå samme temperatur og forurensningskonsentrasjon i hele oppholdssonen. I oppholdssonen vil hastighetskomponentene normalt være i størrelsesorden 0.1 til 0.2 m/s (i rom med høyt luftskifte kan de være høyere). Tilluftsventiler kan ha lang kastelengde og utløpshastighet i størrelsesorden 2-3 m/s. Transport av forurensninger kan dermed skje hurtig og over store avstander.

Oppadgående luftstrømmer vil kunne utligne fallhastigheten til tyngre partikler. Rundt en stående person genereres oppadgående hastighetsfelt som skyldes varmeavgivelse fra kroppen. Eksempel på hastighetsfelt rundt en person er vist i Figur 6. Av fargeskalaen ser vi at hastighet over hode er størrelsesorden 0.6 m/s.

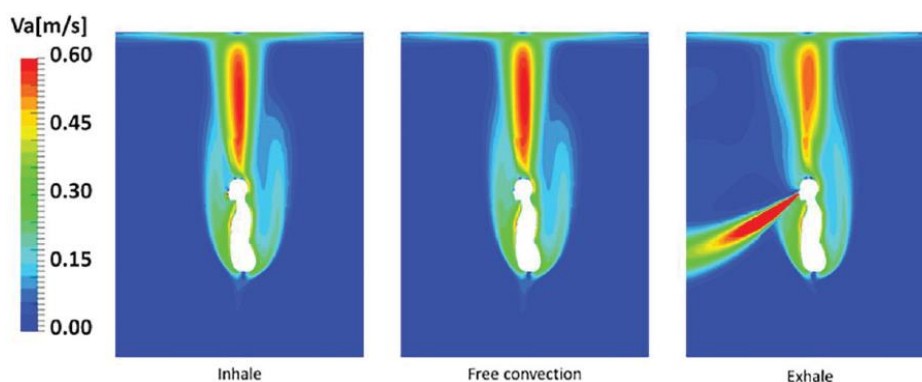


Fig 6. Hastighetsfelt rundt en menneskekropp pga konveksjon [7].

Dersom det benyttes plagg hvor romluft kan bevege seg på innsiden og ventileres ut rundt halsen, vil oppadgående hastighetskomponent være vesentlig høyere enn i overnevnte eksempel. Alt utstyr som avgir varme, generer oppadgående luftstrømmer. Volum og hastighet på disse luftstrømmene er koplet til geometri og varmeavgivende effekt (en stående person avgir ca 50 W i form av konveksjon, en radiator kan avgi flere hundre Watt). Figur 7 viser eksempel på hvordan varmeavgivelsen fra et fullsatt auditorium med fortregningsventilasjon genererer hastighetsfelt og oppkonsentrering av CO<sub>2</sub> fra åndedrettet.

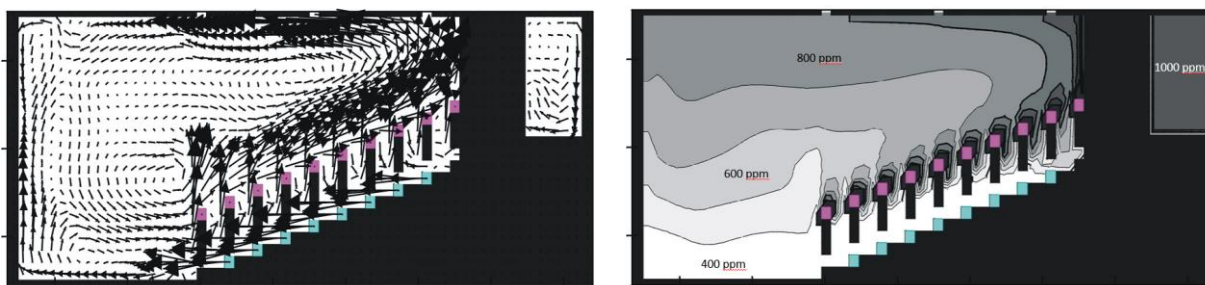


Fig 7. Luftstrømning og CO<sub>2</sub> konsentrasjon generert fra personer i et auditorium [8].

Figur 8 viser eksempel på hastighetsfeltet som etableres rundt en person med rolig gange i stillestående luft. Bak personen etableres en resirkulasjonssone (bakevje) som kan inneholde dråper fra åndedrettet. Når personen beveger seg fremover vil dråpefraksjonene som fanges opp av resirkulasjonssonen følge personbevegelsen.



Fig 8. Syntetisk Schlieren-bilde av tvungen konveksjon produsert av en person som går sakte gjennom et stille rom [9].

Åpning og lukking av dører, lufting med vinduer og temperaturforskjell mellom rom er også fenomener som vil generere hastighetsfelt som kan påvirke bevegelse og alderen på en væskedråpe.

### Ventilasjonsanlegg

I mekanisk ventilerte rom kan overføring av avtrekksluft til friskluft representere økt smittefare. Omluftspjeld og roterende varmegjenvinnere representerer komponenter som kan føre avtrekksluft over i tillufta. Omluft ble i flere 10 år benyttet i ventilasjonsanlegg som effektreduserende tiltak. Tiltaket ble gradvis avløst av varmegjenvinnere som også reduserer energiforbruket. Først i 2010 kommer det veiledningen til Teknisk Forskrift under § 13-1forbud mot omluft :

- *Omluft skal ikke benyttes dersom dette fører til overføring av forurensning mellom rom*

Mange andre land tillater og bruker fremdel omluft i sine ventilasjonssystemer

Mens batterivarmevekslere og platevekslere holder avtrekk og tilluft helt adskilt, kan roterende varmegjenvinner overføre avtrekksluft til tillufta hvis trykkbalanse er ugunstig. I en periode var det vanlig å sette både tilluftsvifte og avtrekksvifte på varm side av gjenvinner. I slike anlegg er det målt overføring av avtrekksluft opp mot 30 %. Med riktig plassering av vifter vil denne lekkasjestrømmen være lav (< 1-2 %), men den kan øke med alder på anlegget.

## Konklusjon:

Rom for varig opphold inneholder mange mekanismer som kan få infiserte dråper fra åndedrettet til å spres seg i innelufta. Avtagende relativ fuktighet gjennom hele vinterhalvåret vil være en faktor som kan øke forekomsten av luftboren dråpesmitte innendørs. I Norge oppholder mennesker seg innendørs opp mot 90% av tiden. Nedenfor følger noen tiltak som kan dempe smittepresset innendørs i en pandemisituasjon :

- Sørge for at rom har tilstrekkelig ventilasjon i forhold til personbelastning og aktivitet
- Vurdere om det er mulig å øke ventilasjonsmengden i eksisterende systemer.
- Kontrollere at luft og vanddamp i avtrekket ikke overføres til tillufta via komponenter i ventilasjonsaggregatet
- Vurdere om avtrekkslufta bør HEPA filtreres dersom det påvises lekkasje fra avtrekk til tilluft og andre tiltak ikke er gjennomførbare
- Vurdere om det er fornuftig med lokal befuktning på de kaldeste dagene
- Redusere smittepress ved bruk av lokale luftrensere med HEPA filter
- Etablere gode FDV rutiner som også omfatter fokus på luftboren smitteproblematikk
- Vurdere om aktiviteten gir økt forekomst av dråpesmitte i lufta (trening, synging, høyt stemmevolum)
- Redusere smittepress ved å begrense tilstedeværelse av antall personer
- Redusere smittepress ved å bruke munnbind
- Redusere eksponering ved bruk av munnbind

## Litteratur

- [1] Fernstrom A, Goldblatt M. Aerobiology and its role in the transmission of infectious diseases. *J Pathog.* 2013;2013:493960–493960. doi: 10.1155/2013/493960.
- [2] Han, Z. Y., Weng, W. G. & Huang, Q. Y. Characterizations of particle size distribution of the droplets exhaled by sneeze. *Journal of the Royal Society Interface* **10**, 11, <https://doi.org/10.1098/rsif.2013.0560> (2013).
- [3] Asadi S, Wexler AS, Cappa CD, Barreda S, Bouvier NM, Ristenpart WD. Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. *Sci Rep* 2019;9:2348. 10.1038/s41598-019-38808-z
- [4] Bourouiba L. Turbulent gas clouds and respiratory pathogen emissions: potential implications for reducing transmission of COVID-19. *JAMA.* 2020;323(18):1837-1838. doi:[10.1001/jama.2020.4756](https://doi.org/10.1001/jama.2020.4756)
- [5] NIST Special Publication 1019 Sixth Edition, Fire Dynamics Simulator user's guide.
- [6] Morawska L, Cao J. Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. *Environ Int.* 2020;139:105730. 10.1016/j.envint.2020.105730
- [7] Ivanov M., Mijorski S., (2017), "CFD modelling of flow interaction in the breathing zone of a virtual thermal manikin", "Energy Procedia" Journal, Volume 112, pp. 240- 251, ISSN: 1876-6102, Elsevier;
- [8] Drangsholt, The applicability of demand controlled ventilating system for assembly halls. NTNU 1992
- [9] Bhagat RK, Davies Wykes MS, Dalziel SB, Linden PF. Effects of ventilation on the indoor spread of COVID-19. *J Fluid Mech.* 2020;903:F1. Published 2020 Sep 28. doi:10.1017/jfm.2020.720



