

### 3. Eksponering i arbejdsmiljøet

Hver gang vi trækker vejret, indånder vi små partikler i nanoskala. Udendørs kommer partiklerne primært fra ufuldstændig forbrænding af fossile brændstoffer som fx diesel. Indendørs findes også en række kilder til små partikler, som også primært er knyttet til forbrænding. Eksempelvis fra stearinlys, rygning, gasblus, elektriske ovne og anvendelse af elektriske motorer (støvsugning, føntørring).

Tidligere undersøgelser har vist, at man i det industrielle arbejdsmiljø kan udsættes for fine partikler fra arbejdsprocesser i meget høje koncentrationer og gennem længere tid. Tabel 3.1 viser eksempler på koncentrationer fundet i forskellige, overvejende traditionelle, arbejdsmiljøer (20; 21). Det er vigtigt at holde in mente, at det er eksponeringens toksiske egenskaber, der afgør, om eksponeringen reelt er høj.

**Tabel 3.1: Eksempler på rapporterede koncentrationer af fine partikler ved forskellige aktiviteter**

	Koncentration angivet som partikler per cm <sup>3</sup>					
	Under 10.000	10.000-30.000	30.000-100.000	100.000-300.000	300.000-1.000.000	Over 1.000.000
Zink støbning						
Arbejde med kvarts-smeltning						
Håndlodning						
Stål støbning						
MIG svejsning						
Jern støbning						
Arbejde i lufthavn						
Udendørs ophold nær olieraffinaderi						
Slibning af granit						
Slibning hårdmetal, stål, keramik, teflon						
Slibning af aluminium						
Slibning af hårdt træ						
Spåntagning, lav mængde KS-middel						
Plasma coating af tråd						
Galvanisering						
Plastsvejsning						
Asfaltarbejde						
Sækkefyldning, titandioxid						
Sækkefyldning, karbon black						
Sækkefyldning, nikkelpulver						

Udsættelse for svejserøg, lodderøg samt partikler fra metalsmeltning og støbning har i lang tid været forbundet med skadelige sundhedseffekter på især luftveje, hjerte-kar- og centralnervesystemet. Eksponeringer fra disse arbejdsprocesser består af meget fine og biologisk reaktive partikler bestående af overgangs- og tungmetaller. Der er dog endnu ikke etableret sammenhænge mellem partikelantalskoncentration og biologiske effekter.

## Fokusering af arbejdsmiljøindsatsen

På grund af feltets omfang og bredde er det relevant at fokusere på, hvor arbejdsmiljøorganisationen umiddelbart kan gøre en forskel. Nanomaterialer kan med fordel anskues i følgende 3 kategorier (7):

- Luftbårne nanopartikler og aerosoler
- Solventbårne nanomaterialer (dispersion i vand eller anden solvent)
- Nanomaterialer bundet i en fast matrix

Eksponering via indånding af luftbårne nanopartikler og aerosoler er den vigtigste og mest hyppige årsag til eksponering af partikler i arbejdsmiljøet (7).

Nanopartikler, der er bundet i en fast matrix, er meget lidt mobile og vil derfor udgøre en meget lille risiko for at frigive nanopartikler og for eksponering af medarbejdere (8). Ligesom nanopartikler i en fast matrix er meget lidt mobile, er nanopartikler i en opløsning (solventbårne) mindre mobile end luftbårne nanopartikler (7). Nylige undersøgelser har dog vist, at nanopartikler opløst i væsker kan frigives ved tilførsel af højenergi som eksempelvis ved ultralydssonikering (22), og at væskebaseret reaktorsyntese kan resultere i lige så høje partikelkoncentrationer i arbejdszonen som tørre processer (23).

***Baseret på den nuværende forskning vurderes det at være mest relevant for arbejdsmiljøorganisationen at fokusere på arbejdsprocesser med direkte produktion og håndtering af partikulært støv samt frigivelse af aerosoler og støvpartikler fra bearbejdningsprocesser.***

## Partikelstørrelsens betydning for eksponering

Den faktiske størrelse på specifikke nanopartikler har betydning for arbejdsmiljøarbejdet af flere grunde. I den sammenhæng kan nævnes følgende vigtige konsekvenser ved nanopartiklers størrelse:

1. Nanopartikulært støv er ikke umiddelbart synligt.
2. Øget flygtighed og spredning i luften (større tendens til at partiklerne støver).
3. Mulighed for øget eksponering gennem luftvejene.

## Usynligt støv

Nanopartiklernes individuelle størrelse betyder, at en meget lille mængde støv kan medføre en usynlig eksponering for millioner af partikler, uden at det opdages. I princippet er dette et velkendt fænomen fra trafikerede gader, hvor partikelkoncentrationer på  $10^5$ - $10^6$  partikler/cm<sup>3</sup> ofte forekommer.

## Spredning og støvdannelse

Særligt relevant i arbejdsmiljøsammenhænge er den øgede flygtighed og mobilitet af nanopartikler i luften. Luftbårne frie nanopartikler er mere mobile og spredes hurtigere end andre større luftbårne molekyler. De er så mobile, at deres opførsel og spredning i luft minder mest om gasarter (9).

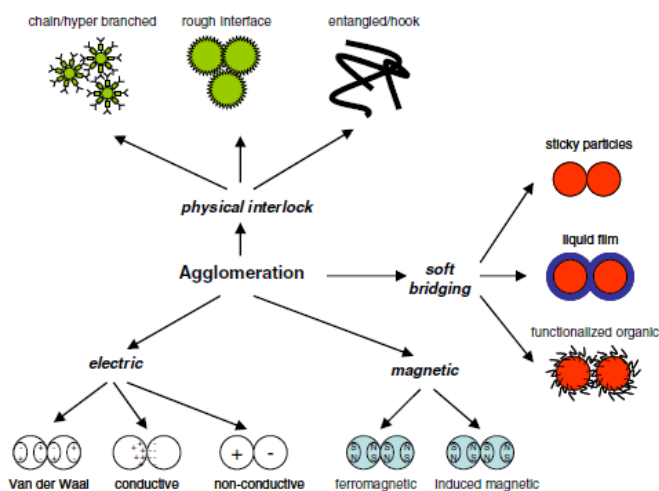
Vigtige størrelsesrelaterede parametre for nanopartikler er, hvor tæt de pakker sig som pulver, og hvor meget de støver. Mange partikulære nanomaterialer har en lav bulkdensitet (dvs. er løst pakket) og kan forholdsvis let ophvirvles. Generelt afhænger stoffers flygtighed af deres støvningsindeks: Jo højere støvningsindeks des lettere spredes et stof i arbejdsmiljøet. Støvningsindekset er derfor en vigtig størrelsesrelateret parameter for nanopartikler. Målinger har vist, at TiO<sub>2</sub> nanopartiklers støvningsindeks kan være op til 300 gange højere end sammenligneligt støv med større TiO<sub>2</sub> partikler (24). Dette er dog ikke en generel konklusion for alle nanopartikler (25).

### Partikler, agglomerater og aggregater

Partikler kan deles op i frie enkeltpartikler, agglomerater og aggregater. Agglomerater er klumper af løst bundne enkeltpartikler (14). Aggregater er bundet stærkere sammen og kan ikke umiddelbart adskilles (15). Når nanopartikler forekommer i luften har de en stærk tendens til at agglomerere med andre partikler.

Når partikler samles som aggregater, mindskes deres samlede overflade, hvorimod overfladearealet for agglomerater forbliver uændret. På figur 4 ses fysiske processer, der har indflydelse på dannelsen af agglomerater. Disse processer er ikke overraskende meget afhængige af partiklernes overfladekemi.

**Figur 3.1: Mekanismer bag agglomerering (24)**



I praksis har agglomerering og aggregering stor betydning for, hvorledes nanopartikler opfører sig som pulver og i luften. Hermed også for hvor stor eksponeringsfaren er (24). I arbejdsmiljøet vil langt de fleste nanopartikler ikke findes i luften som frie partikler, men derimod som enten agglomerater eller aggregater af partikler. Nanopartikler i luften vil binde sig til hinanden og til andre støvpartikler. Helt konkret betyder det, at en del af de luftbårne nanopartikler kan vedhæftes til almindeligt synligt støv og spredes sammen med det.

Eksponeringsrisiciene ved inhalation ændres under partiklernes bevægelse fra den oprindelige kilde til luften i de generelle arbejdsområder blandt andet på grund af agglomerering (26). Agglomerering ændrer deponeringsmønsteret i luftvejene.

Flere faktorer såsom arbejdsform, luftbevægelse, luftfugtighed og ovennævnte aerosoldynamiske processer har indflydelse på omfanget af spredningen af nanopartikler. Der er set en tendens til, at en lav luftfugtighed i arbejdsmiljøet vil få flere små agglomerater af nanopartikler til at blive luftbårne (27) og dermed øge eksponeringsrisikoen.

Hvis nanopartikler bliver luftbårne, spredes de hurtigt. Herved vil de give anledning til eksponering også andre steder end lige der, hvor udledningen af partiklerne sker. Dette medfører, at nanopartikler potentielt set kan spredes og deponeres på mange overflader vidt omkring i arbejdsmiljøet (9; 28).

I kraft af deres lille størrelse afsættes nanopartikler ikke med tyngdekraften på samme måde som andet støv. Derfor kan nanopartikler spredes i 3 dimensioner og afsættes andre steder end blot på oversiden af vandrette overflader. Dette kan være en kilde til langtidseksponering af medarbejdere grundet hudkontakt og indtag af nanopartikler (9).

Tilfredsstillende rengøring af arbejdsmiljøer med nanopartikler er derfor en udfordring og kræver en grundigere rengøring, end det almindeligvis vil være nødvendigt.

### Overflademodificering

Nanopartiklers egenskaber er i vid udstrækning bestemt af deres overfladeegenskaber. Ved overflademodificering er det muligt for forskere at manipulere med nanopartiklerne og fremstille syntetiske partikler med lige præcis de ønskede egenskaber. Derfor er mange kommercielle nanopartikler kemisk overflademodificerede. Eksempelvis anvendes overflademodificering ofte til at mindske nanopartiklernes tendens til at agglomerere (29), hvilket kan ændre partiklernes opførsel og effekter i arbejdsmiljøet.

### Eksponeringsveje

For at kunne forebygge og reducere den potentielle eksponering for medarbejderne er det nødvendigt at kunne identificere kilder og mulige årsager til eksponeringsrisici. I arbejdsmiljøsammenhænge inddeles eksponeringsvejene typisk i følgende 3 kategorier (9):

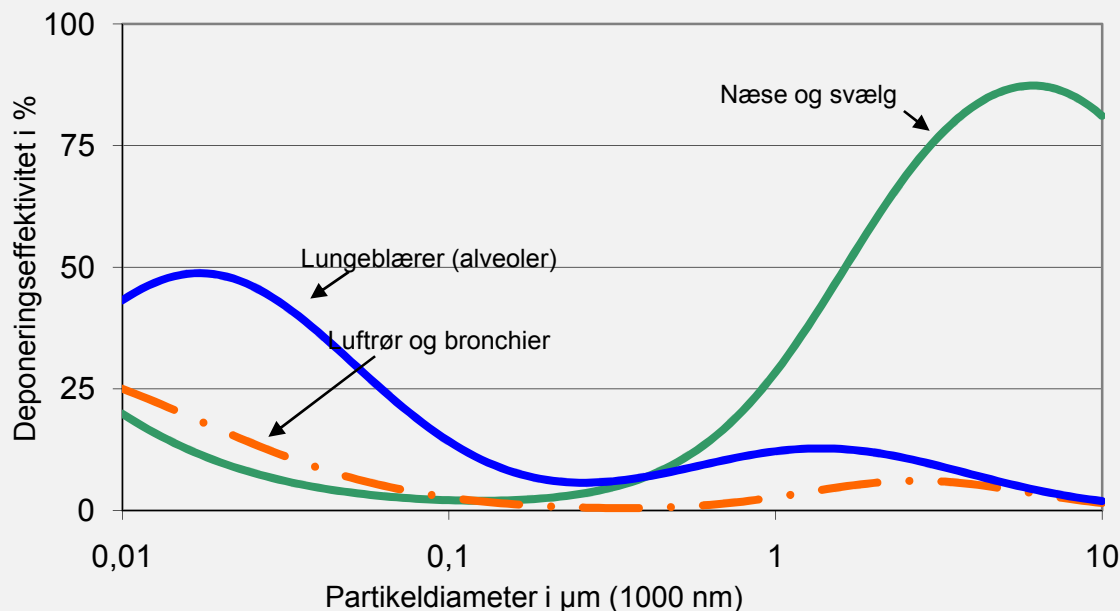
- Deponering i lungerne ved indånding
- Optag gennem huden ved hudkontakt
- Optag gennem tarmen via mad og spyt

Luftvejene anses for at være den største årsag til eksponering (7), hvilket understreger vigtigheden af partiklernes tendens til at støve (støvningsindeks). Nylige studier har dog vist, at dette ikke betyder, at andre eksponeringsveje er ubetydelige (30).

***Indånding er den primære eksponeringsvej for nanopartikler i arbejdsmiljøet. Der er meget begrænset viden om eksponering via andre veje såsom gennem huden og via mave-tarmkanalen.***

Grafen i figur 3.2 illustrerer, hvor stor en andel af partikler i luften der indåndes og deponeres i forskellige regioner i luftvejene. Af figuren fremgår det, at partikler i størrelsesordenen 1-300 nm deponeres dybt i lungerne - i alveoler og bronkier - i langt større omfang end større partikler. Bemærk at deponering i næse og svælg øges, når nanopartiklerne bliver meget små.

**Figur 3.2: Deponering af partikler i luftvejene**



Efter indånding afhænger deponeringen af partikler i lungerne af partikelstørrelse. Partikler med en diameter større end 10 µm deponerer primært i de øvre luftveje (næse, næsesvælg), mens mindre partikler er i stand til at deponere i større antal og dybere nede i bronkierne. Nanopartiklerne kan nå helt ned i alveolerne (lungeblærene). Tilbageholdelsen af partikler afhænger af mange faktorer herunder partikelkarakteristika (se afsnit 3.) og anatomiske forhold.

***Nanopartiklers størrelser gør, at de kan trænge helt ned i de fineste dele af lungerne (alveolerne). Endvidere øger størrelsen af nanopartikler risikoen for eksponering af medarbejdere, da nanopartikler ikke er synlige, og samtidig er mere støvende og flygtige i arbejdsmiljøet end andre stoffer.***