

# NANOPARTIKLER I ARBEJDSMILJØET

Laboratorium



**BRANCHEARBEJDSMILJØRÅDET**  
Undervisning & Forskning



**INDUSTRIENS**  
BRANCHEARBEJDSMILJØRÅD



**Branchearbejdsmiljørådet for Undervisning og Forskning**  
Stu­diestræde 3, 2. sal  
1455 København K



**Industriens Branchearbejdsmiljøråd**  
Postboks 7777,  
1790 København V

Foto & Layout: Teknologisk Institut

Grafik: Teknologisk Institut & Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø

Tryk: Rosendahls Schultz grafisk a/s

Materialer fra Industriens Branchearbejdsmiljøråd kan fås ved henvendelse til organisationerne, og kan downloades fra [www.ibar.dk](http://www.ibar.dk). Pjecen kan endvidere downloades via [www-bar-u-f.dk](http://www-bar-u-f.dk) og købes hos Videncenter for Arbejdsmiljø, Arbejdsmiljøbutikken, tlf. 3916 5230 [www.arbejdsmiljobutikken.dk](http://www.arbejdsmiljobutikken.dk)

Bestillingsnummer: 202264

Oplag: 500 eksemplarer

Oktober 2010

ISBN: 978-87-92141-27-9

# Forord og indhold

Udviklingen af nanoteknologi og nanomaterialer rummer store danske erhvervspotentialer inden for en lang række områder. De sidste 10 år er der sket en stigning i udvikling og anvendelse af partikulære nanomaterialer. Forskningsresultater har samtidig givet anledning til mistanke om mulige sundhedsrisici relateret til eksponering for nanopartikler i arbejdsmiljøet.

Pjecen fokuserer på risici for eksponering for luftbårne nanopartikler i arbejdsmiljøet og mulige strategier til at forebygge eksponering. Herunder 1) produktion af nanopartikler, 2) håndteringen af nanopartikulære pulvermaterialer og suspensioner, samt 3) støv- og aerosoldannelse fra bearbejdning af nanopartikelholdige kompositmaterialer.

Pjecen er henvendt til arbejdsmiljørepræsentanter fra laboratorier, der arbejder med nanopartikelholdige materialer. Den giver inspiration til muligheder for håndtering af luftbårne nanopartikler i laboratoriearbejde. Uddybende information og redskaber findes i det tilhørende inspirationskatalog og onlineværktøjet NanoSafer via [www.ibar.dk](http://www.ibar.dk) og [www.bar-u-f.dk](http://www.bar-u-f.dk).

Pjecen er udarbejdet ud fra viden anno 2010. Det forventes dog at måtte opdateres i årene fremover på baggrund af nye erfaringer og et stigende antal resultater fra de mange igangværende nationale og internationale forskningsprojekter.

Læsere bør være opmærksomme på, at der i dag ikke er udviklet specifik lovgivning på området, og pjecen er ikke godkendt som vejledning i Arbejdstilsynet, men udtrykker partnernes foreløbige anbefalinger.

Pjecen indeholder følgende afsnit:

Forord og indhold	3
Introduktion til nanomaterialer	4
Sikkerhedsforanstaltninger	6
Nanomaterialer i laboratoriet	11
Introduktion til NanoSafer	18

# Introduktion til nanomaterialer

Udviklingen af nanomaterialer med nye eller forbedrede egenskaber rummer store danske erhvervs- og samfundspotentialer – eksempelvis inden for områder som miljøteknologi, bio-pharma, energi og katalyse, optik, elektronik, informations- og kommunikationsteknologi, plast, byggeri, farve- og lak samt overfladebehandling.

Nanoteknologi er en relativt ny teknologi. Selvom visse produkter og teknologier har været nanoteknologiske i mange år, så har nanoteknologi indtil for få år siden primært været en videnskabelig disciplin, hvor arbejdet på området har foregået i laboratorierne. "Nanoteknologi" omfatter som sådan både materialer, viden og produktionsteknologi til måling, analyse og manipulation af materialer. Industrielle anvendelser af nanoteknologi ses i dag inden for:

- Katalysatorer
- Informations- og kommunikationsteknologi
- Produktion af fiberoptik og sensorteknologi
- Overfladebehandling
- Polering og slibning
- Produktion af lak, plast og beton.
- Medicin
- Fødevarer
- Kosmetik
- Tekstil

## Nanopartikler og nanomaterialer

Ordet *nano* kommer fra græsk, hvor det betyder dværg. Nano er en måleenhed svarende til en milliardtedel ( $10^{-9}$ ), og 1 *nanometer* (nm) er en milliardtedel af en meter. *Nanopartikler* er defineret ud fra en fysisk størrelse på ca. 1nm til 100nm. Definitionen af nanopartikler omfatter partikler af forskellige former. Herunder fibre, plade- og kugleformede partikler.

### Nanopartikler

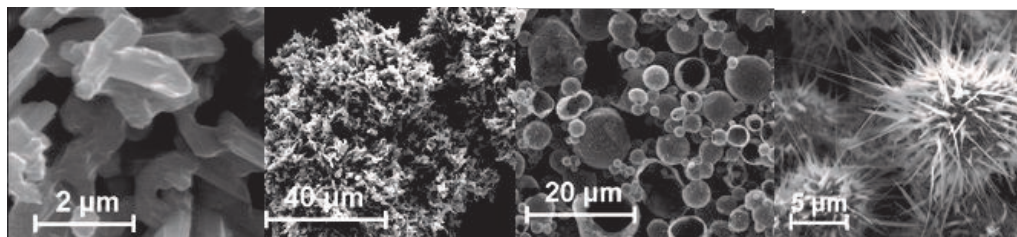
Nanopartikler er en fællesbetegnelse for alle stoffer, hvor de primære partikler har mindst én dimension mindre end ca. 100 nm.

Der er endnu ikke videnskabeligt belæg for, at grænserne på 1 og 100 nm er korrekte i forhold til at klassificere partiklerne. Diskussionen om definitioner foregår fortsat i regi af ISO og EU videnskabelige komité SCENHIR. Derfor kan de øvre og nedre grænser i fremtiden blive ændret, når mere viden bliver etableret.

Inden for kosmetik og medicinalindustri findes der særlige definitioner på nanomaterialer.

Industrielt producerede nanopartikler kan have flere forskellige og komplekse geometriske former. Kernen i nanopartikler består ofte af metal, metaloxid, silikat, karbid eller organiske cellevægslignende stoffer - såsom peptider og fosforlipider. Syntetiske nanopartikler kan være dopede med andre grundstoffer og/eller overflademodificeret med uorganiske og organiske lag og kemiske

Billeder viser eksempler på nanopartiklernes mangfoldige geometriske former. [<http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/fnano/img/almanach200801.jpg>]



funktionaliseringer.

## Nanopartiklers oprindelse

Partikler i nanometer-størrelse er ikke et nyt fænomen. De forekommer naturligt mange steder. Der kan skelnes mellem følgende 3 typer af partikler:

- *Naturlige nanopartikler* dannes fra vulkanudbrud og afbrænding af organisk materiale (fx fra en skovbrand).
- *Industrielle biprodukter* dannes ved menneskelig aktivitet. Disse inkluderer sod og partikler fra køretøjers udstødning og maskiner i industriel produktion, og de findes derfor i alle byer og nær en række industrielle processer (fx i svejserøg).
- *Syntetiske nanopartikler* designes og fremstilles med bestemte forskningsmæssige eller kommercielle formål.

Nanopartikler har en meget stor overflade i forhold til deres masse. Det betyder, at de i sammenligning med større partikler er langt mere reaktive. Tabel 1 illustrerer, hvor stor forskellen er på det samlede overfladeareal og partikelantallet som følge af partikelstørrelsen i 1 mg af et bestemt stof.

Syntetiske nanopartikler påkræver sig stor opmærksomhed i arbejdsmiljøorganisationen. Deres specielle fysiske-kemiske egenskaber, som netop gør dem anvendelige til en række industrielle og forskningsmæssige formål, giver også mistanke om sundhedsskadelige effekter.

Tabellen viser en beregning af antal partikler og samlet overfladeareal i 1 mg partikler.

Partikeldiameter	0,01µm (10nm)	0,1µm (100nm)	1µm (1.000nm)
Antal partikler	$10^{15}$	$10^{12}$	$10^9$
Samlet overflade areal	3.000 cm <sup>2</sup>	300 cm <sup>2</sup>	30 cm <sup>2</sup>

I arbejdsmiljøarbejdet er det væsentlig at se på alle typer luftbårne partikler. Der er dog stor forskel på partiklernes kemiske sammensætning, størrelse og fysiske form alt efter deres oprindelse. Disse faktorer har betydning for partiklernes toksicitet.

# Sikkerhedsforanstaltninger

Forskningsresultater har de senere år givet anledning til mistanke og debat om mulige sundhedsrisici relateret til eksponering for syntetiske nanopartikler i arbejdsmiljøet.

Det er endnu uklart, hvilke partikler der er sundhedsskadelige for mennesker, samt i hvilket omfang mennesker vil blive eksponeret. Det er ligeledes ikke afklaret, hvordan man håndterer partiklernes komplekse form og sammensætning i relation til specifikke definitioner og regulering af området.

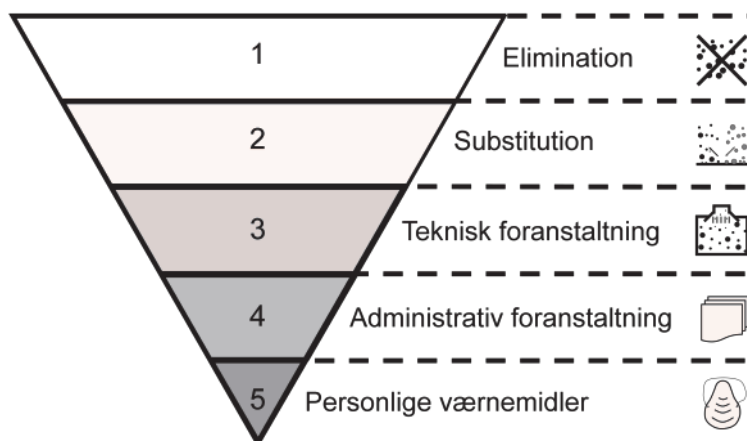
Opstilling af sikkerhedsforanstaltninger tager ofte udgangspunkt i data fra produktblade og sikkerhedsdataark. Der findes endnu ingen regulering, der sikrer en entydig specifikation af mærkning og klassificering af produkter med nanopartikler. Er man i tvivl, bør man derfor rådføre sig med leverandøren, og man skal som minimum indhente datablade på de anvendte materialer og produkter.

Ud fra den tilgængelige viden omkring helbredseffekten af luftbårne nanopartikler anbefales det at minimere eksponeringen for luftbårne partikler så meget, som det er praktisk muligt, og at man følger forsigtighedsprincippet.

## Anvendelse af kontrolhierarkiet

Trods usikkerheder om nanopartiklers sundhedsskadelige effekter er det mulig, at mindske eksponeringen for nanopartikulært støv og dermed skabe en forebyggende arbejdsmiljøindsats.

Det anbefales at lave en gennemgang af mulige eksponeringsrisici på hele arbejdspladsen. Herunder særligt at kortlægge anvendelser og mulige udslip af luftbårne nanopartikler. Hvor der er behov for at opstille eller forbedre sikkerhedsforanstaltninger, kan man med fordel bruge kontrolhierarkiet og opstille sikkerhedsforanstaltninger i den prioriterede rækkefølge. Ofte vil det være nødvendigt med en kombination af sikkerhedsforanstaltninger.



Figuren viser kontrolhierarkiet, som skal bruges til at prioritere forskellige mulige sikkerhedsforanstaltninger. Elimination og substitution af sundhedsskadelige materialer og arbejdsprocesser er første vej til beskyttelse. Derefter kan man overveje tekniske foranstaltninger osv. ned gennem hierarkiet.

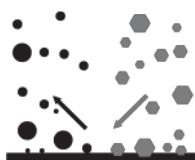


## Elimination og substitution

Ifølge AT-vejledningen om arbejde med stoffer og materialer (AT C.1.3) skal arbejdsgiveren sikre, at farlige stoffer og materialer på arbejdspladsen fjernes, erstattes eller begrænses til et minimum. Det skal især ske ved at erstatte et farligt stof eller materiale med et ufarligt, mindre farligt eller mindre generende stof eller materiale - eller ved at ændre arbejdsprocessen.

Arbejdsmiljøorganisationen skal sammen med relevante ressourcepersoner afdække følgende spørgsmål:

- Kan produkter designes ved hjælp af mindre sundhedsskadelige materialer? Herunder om det specifikke nanomateriale kan bruges med en anden funktionalisering?
- Kan de planlagte produkter produceres hos underleverandør med større ekspertise i håndtering af nanomaterialer eller et lukket procesanlæg?
- Kan pulvermaterialer erstattes med granulater, suspensioner eller mindre støvende materialer?



Vejledningen påpeger, at stoffer og materialer skal bruges i en form, der medfører mindst mulig risiko for påvirkning ved arbejdet. Det kan overvejes at bruge granulat eller suspensioner af partikler i stedet for et støvende pulver.

I forbindelse med eksperimenterende forsknings- og udviklingsarbejde er det sjældent muligt at substituere nanomaterialet, da det ofte er netop dets specifikke egenskaber, man søger at udnytte eller udforske.

Funktionalisering af nanopartikler kan være udslagsgivende for partiklernes toksicitet og eksponeringspotentiale. Funktionaliseringen af nanopartikler kan medføre en øget risici, men kan også i nogle tilfælde skabe en mulighed for substitution til et mindre risikobetonet materiale.

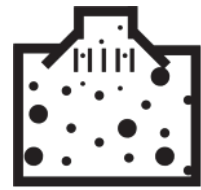
I nogle tilfælde har det vist sig, at man kan substituere nanopartiklers funktionalisering eller molekylære form og fortsat opnå de ønskede effekter. Fx har det i nogle tilfælde været muligt at erstatte fullerener, karbon nanorør, kvanteprikker og forskellige metaloxider med materialer, man formoder er mindre risikobetonede. Mulighederne for funktionaliseringen af nanopartikler omfatter:

- Skift af krystallinsk eller molekylær form.
- Tilføjelse/fjernelse af doteringsstof til kemisk modifikation.
- Ændring af kemisk overflade.
- Ændringer af størrelsesfordelingen af partikler.

Når man ser på alternative materialer skal der indhentes fyldestgørende og ensartede oplysninger fra leverandører for at kunne sammenligne. I overvejelser indgår hensyn til det ydre miljø.

## Tekniske foranstaltninger

Tekniske foranstaltninger omfatter fysiske og tekniske indretninger ved arbejdsprocessen til at isolere, indkapsle og afskærme processen, samt brugen af mekanisk ventilation og filtre (lokalt og/eller centralt). Forskning indikerer, at almen kendte tekniske foranstaltninger generelt set kan nedsætte eksponeringen for nanopartikler effektivt, hvis de er designet korrekt til den specifikke arbejdsproces.



I APV arbejdet er det nødvendigt at gennemgå eksisterende faciliteter og nye anlæg for at sikre, at indkapsling, afskærmning og ventilation er designet korrekt. Tre punkter er væsentlige i gennemgangen af tekniske foranstaltninger.

- Ved at indrette laboratorier og stinkskebe korrekt er det muligt at reducere risikoen for at komme i kontakt med nanomaterialer. Ved at sikre at gulve, vægge og inventar er lavet i materialer med glatte og rengøringsvenlige overflader minimeres samling af nanopartikulært støv på overflader. Herved lettes rengøring ved spild og eksponering af medarbejdere mindskes.
- Støv- eller aerosoldannende processer skal så vidt muligt foregå indkapslet og/eller under udsugning. Det kan være i handskeboks, stinkskebe eller LAF-bænk med HEPA-filtre. Er dette ikke muligt kan eksponering minimeres ved opstilling af anden afskærmning, brug af lokal ventilation og personlige værnemidler.
- Glas og apparatur mm. skal anbringes i lukkede skabe og være korrekt mærket. Der skal være så få ting i lokalet som muligt. Nanomaterialer skal opbevares i lukkede og mærkede skabe (evt. sammen med andre sundhedsskadelige kemikalier).

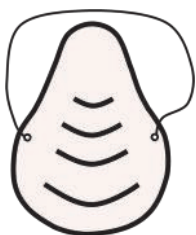
## Administrative foranstaltninger

Mange laboratorier anvender foruden nanopartikler en lang række potentielt sundhedsskadelige materialer og kemikalier. Det er derfor vigtigt at have velbeskrevne procedurer for registrering, bortskaffelse, brug af laboratoriefaciliteter og værnemidler. Ligeledes at personalet er uddannet og instrueret i disse procedurer. I mange tilfælde har man disse administrative foranstaltninger på plads, og man kan med fordel bruge nogle af disse i arbejdet med nanopartikler.



Administrative foranstaltninger omfatter adgangsbegrænsninger, uddannelse i gode arbejdsrutiner, udarbejdelse af arbejdspladsbrugsanvisninger og vejledninger om håndtering af daglige arbejdsrutiner, spild, uheld, rengøring, personlig hygiejne, brand, driftsstop og vedligehold ol.

I NanoSafer og hovedrapporten "Nanopartikler i arbejdsmiljøet" findes en række yderligere eksempler og inspiration til opstilling af administrative sikkerhedsforanstaltninger.



## Personlige værnemidler

Personlige værnemidler skal være sidste vej til at beskytte sig, men kan være nødvendige som supplement til andre tekniske og administrative foranstaltninger. De bruges som sidste udvej til at beskytte medarbejderne mod:

1. Partikler og materialer, man enten har mistanke om er sundhedsskadelige.
2. Eller partikler og materialer, man ikke kender sundhedsvirkningen af.

Er værnemidler nødvendige, sker der ofte en eksponering af lokalet. Klare skriftlige instruktioner og uddannelse af personale skal være på plads i forhold til rengøring. Ligeledes hvor og hvornår personlige værnemidler er påbudt, og hvor og hvornår det er sikkert at tage værnemidler af igen.

## Åndedrætsværn

Filtrerende åndedrætsværn skal altid være tilgængeligt i produktionen med fint støv. Maskefiltre vil aldrig beskytte 100 % mod nanopartikler, men masker med P3 filtre vurderes at være de mest effektive til at opfange nanopartikler af forskellige størrelser under normale arbejdsforhold og i kortere perioder.

Den største kilde til eksponering ved brug af masker er, hvis ikke masken sidder tæt rundt om næse og mund. En god pasform er derfor vigtig.

Medarbejdere, som arbejder med nanofibre (ex. karbon nanorør), bør man være ekstra forsigtig og bør overveje at anvende friskluftforsynet åndedrætsværn og sikkerhedsforanstaltninger på niveau med asbestarbejde eller kræftfarlige stoffer og materialer.

Billedet til venstre viser anvendelse af personlige værnemidler ved sprøjtning af en sol-gel belægning på overflader. Arbejdet udføres i ventileret sprøjtekabine. Forskeren på billedet anvender 2 lags handsker, skåneærmer og friskluftforsynet åndedræt.



## Handsker

Forskning har vist, at nanopartikler kan gennemtrænge en række forskellige handske typer. Som billedet til højre viser, kan det være nødvendigt at bære minimum 2 lag handsker. Antallet af lag skal dog tilpasses arbejdsprocessen, så arbejdet fortsat kan gennemføres i praksis uden unødige spild o.l. Studier har vist, at karbonbaserede og  $\text{TiO}_2$ -nanopartikler skaber allergisk sensibilisering af celler hos mus (allergisk reaktion eller adjuvans-effekt). Nitrilhandsker er blandt de mest effektive til at modstå gennemtrængning af partikler. Valg af handsketype tilpasses det specifikke arbejde, og man følger producenternes anbefalinger.

Der henvises i øvrigt til handskevejledning på [www.ibar.dk](http://www.ibar.dk).



Billedet til højre viser en laborant iført en lang inderste handske og en yderste nitrilhandske til beskyttelse mod gennemtrængning af nanopartikler

## Beklædning og briller

Der findes ikke meget viden om korrekt valg af beklædningsmaterialer. Blandt de generelle råd er at:

- Overflader på beklædning og fodtøj skal være støvafvisende og gerne af et non-woven materiale (ex. tyvek)
- Heldragten skal være tætsluttende ved hals og håndled.
- Nogle nanomaterialer kan være irriterende for øjne, eller de kan være opblandet i en irriterende eller ætsende solvent. Arbejdet skal i sådanne tilfælde laves i stinkskab eller LAF-bænk, og der anvendes sikkerhedsbriller, som slutter tæt om øjnene.
- Kontamineret beklædning forsegles i det givne arbejdsområde, inden det transporteres til vask eller affald. Dermed minimerer man risici for at forurene tilstødende arbejdsområder. Brug opløselige poser, hvis tøjet sendes til vask.

# Nanomaterialer i laboratoriet

Laboratorier til forskning, udvikling, tests og målinger er det arbejdsområde, hvor håndteringen af nanomaterialer er mest udbredt. Det strækker sig fra forskningslaboratorier på forsknings- og uddannelsesinstitutioner og Godkendte Teknologiske Serviceinstitutioner til private laboratorier i tilknytning til industrien.

Det er endnu uklart, i hvilket omfang nanomaterialer anvendes i undervisning uden for universiteterne. Med et fokus på nanoteknologi og naturvidenskab i folkeskolen og de gymnasiale uddannelser er det ikke usandsynligt, at man også her vil se forsøg med nanomaterialer i fremtiden.

Dette kapitel gennemgår en række typiske arbejdssituationer, hvor der opstår risici for eksponering for luftbårne nanopartikler.

## Arbejdssituationer med eksponeringsrisici

I laboratoriet kan man forvente anvendelser af alle typer syntetiske nanopartikler. Der eksperimenteres ofte med helt nye partikler og funktionaliseringer, som tilsammen ofte har helt ukendte egenskaber. Det gør det vanskeligt at evaluere sundhedsrisiciene for partiklerne og øger behovet for tiltag som nedsætter eksponeringsrisici. Eksponering for nanopartikler kan ske ved mange aktiviteter. Fx:

- Håndtering af tørre nanomaterialer. Typisk i forbindelse med åbning af beholdere, afvejning, omhældning og opblanding.
- Udslip af partikler fra en suspensioner ved høj energitilførsel - fx ved sonikering.
- Produktion af nanopartikler og andre processer, såsom gas- og plasmafase og flammespray syntese.
- Større eksperimentelle opstillinger og forsøg uden for stinkske og HEPA-filtrede LAF-bænke, hvor pulver håndteres eller partikler dannes ved nedbrydning af kompositmateriale ol..
- Andre typer situationer i forbindelse med uheld, spild, rengøring, vedligehold ol.

## Arbejde i stinkske og LAF-bænke

Brugen af stinkske er den mest anvendte tekniske sikkerhedsforanstaltning i laboratoriet. Sammen med handskeboks vurderes stinksket at give den bedste beskyttelse i laboratoriet. Feltnmålinger viser blandt andet, at afvejning af nanopartikler ved korrekt brug af stinksket kan minimere eksponering for nanopartikler i medarbejderens åndedrætszone. Også ved mindre uheld og spild af nanopartikler viser et korrekt indstillet stinkske sig effektivt.

En korrekt indstilling og brug af stinkskabet omfatter bl.a.:

- Lufthastigheden i skabets hejseugeåbning skal som minimum fastholdes på 0,5 m/s ( $\pm 10\%$ ). Test ved hvilken lugehøjde skabet suger 0,5 m/s.
- Visse nanopartikler (herunder karbon nanorør) kan være så 'flyvske', at de ophvirvles fra arbejdsprocessen af en luftstrøm på 0,5 m/s. I sådanne tilfælde anvendes en anden opstilling i stinkskabet eller handskeboks.
- Turbulens i lokalet rundt om stinkskabet undgås ved, at der ikke er trafik bag operatøren, og at alle vinduer og døre er lukkede i rummet.
- Undgå at bringe støv ud i lokalet ved ikke at lave hurtige armbevægelser og at tage armene ud af stinkskabet. Det er en god ide at have et ekstra lag handsker på, som kan tages af inde i skabet, før armene evt. tages ud.
- Spild og uheld reduceres ved at forberede hele arbejdsprocessen grundigt. Herunder at alle pipetter, glas, apparatur o.l. er tilgængeligt inde i skabet. Ligeledes at fugtige aftøringsmaterialer, vand og affaldsbeholder står klar i skabet til at rengøre eventuelt spild med det samme.

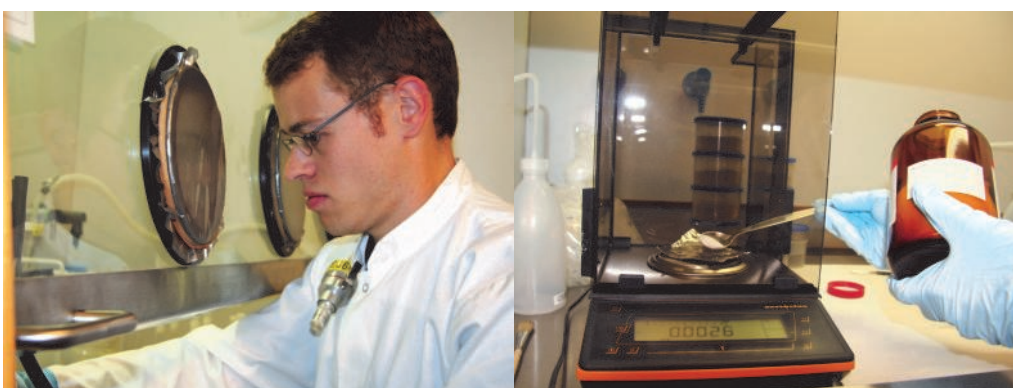


Billederne illustrerer en del af forberedelsen af arbejdet i stinkskabet. Alt udstyr er stillet klar - også til at håndtere spildsituationer og affald under arbejdet. Luftgennemstrømning er testet med et vaneometer til 0,5 m/s ved den givne lugehøjde.

### Afvejning og prøveudtagning

Afvejning og prøveudtagning af nanopartikelholdigt pulver er en af de mest udbredte arbejdssituationer, hvor man direkte håndterer nanopartikelholdigt pulver. Der håndteres typisk relativt små mængder materialer sammenlignet med industrielle produktioner, men materialerne er støvende.

Hele arbejdsprocessen omfattende åbning af beholdere, afvejning, omhældning og opblanding udføres derfor i stinkskab. Selv større mængder materialer forventes at kunne håndteres i korrekt indstillet stinkskab.



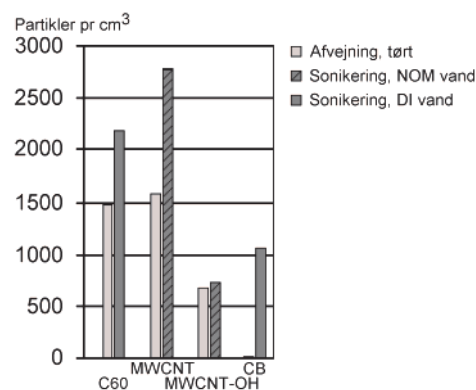
Billederne illustrerer typisk arbejdssituation for forskere og laboranter ved stinkskabet. I dette tilfælde håndteres nanopartikelholdigt pulver, som afvejes og opblandes til en forsøgsrække.

## Aerosoldannelse ved sonikering

Ofte kan man i et forskningslaboratorium have brug for at dispergere nanopartikler i en væske. Dette kan foregå ved kraftig omrystning og ultralydssonikering. Hidtil har det været antaget, at risiciene for eksponering af luftbårne partikler var ubetydelige, når partikler blev håndteret i suspensioner. Ny forskning viser dog, at nanopartikler kan aerosoliseres fra suspensioner ved sonikering med probe.

På billedet til venstre ses en opstilling til ultralydssonikering med probe i stinkskaab.

Grafen til højre viser resultaterne fra en amerikansk undersøgelse af eksponeringsrisici ved ultralydssonikering. Resultaterne antyder, at mængden af specielt hydrofobe partikler kan undslippe i et omfang svarende til frigivelse fra afvejning af pulver af samme materiale. Der er stor forskel fra materiale til materiale.



## Produktion af nanopartikler

Nanopartikler kan fremstilles på forskellige måder i laboratoriet. Det kan eksempelvis være ved:

- Mekanisk nedknusning
- Kolloidal eller væskebaseret syntese
- Damp- eller gasfase processer
- Flammespray syntese
- Open air plasmabelægning

En undersøgelse af partikelfrigivelsen ved produktion af 12 forskellige typer nanomaterialer ved flammespray syntese viste, at koncentrationen af fine partikler blev forøget fra ca. 2.100 til 106.000 partikler/cm<sup>3</sup>. Koncentrationen af fine partikler (PM<sub>1</sub>) i laboratorierne nåede op på 0,463 mg/m<sup>3</sup> sammenlignet med en normalkoncentration på 0,009 mg/m<sup>3</sup> (baggrund). Også ved andre typer opstillinger er der målt markante eksponeringsniveauer, og det anbefales derfor så vidt muligt at lave opstillinger i stinkskaab eller LAF-bænke

Til venstre ses et apparatur til deponering af ultratynde overfladebelægninger ved dannelse af plasma. Opstillingen er for stor til at kunne lukkes helt inde, og der anvendes udsug og værnemidler ved åbning.

Til højre ses en forsøgsopstilling med open air plasma i et stinkskaab.



## Arbejde uden for stinkskab og LAF-bænken

Mange laboratorier på universiteter, GTS-institutioner ol. arbejder med test af nye materialer og laver eksperimentelle forsøg, som ikke kan håndteres i stinkskab. En undersøgelse af CVD-belægning af kulstofnanorør viser markante eksponeringsrisici ved åbning af anlæg og høstning. Ligeledes ved påfyldning af ekstruder i eksperimentel produktion af nanokompositter.

Det er derfor essentielt, at man i arbejdssituationer uden for stinkskabet anvender grundigt gennemtænkte og specifikt designede tekniske sikkerhedsforanstaltninger—eventuelt suppleret med personlige værnemidler. Det vil ofte være relevant at søge professionel hjælp til opstilling af disse sikkerhedsforanstaltninger.

### Renrum

En del nanoteknologisk forskning foregår i renrumsfaciliteter. I disse faciliteter vil der under normale forhold ikke være stor risiko for eksponering for partikler. Rummet holdes fri for partikler ved kraftig ventilation, en række procedurer for adgang, beklædning og rengøring. Ved udskiftning af filtre og vedligehold af anlægget er det dog væsentligt at være opmærksom på frigivelse af partikler.

### Afskærmning og brug af et lukket procesanlæg

I nogle tilfælde kan det være nødvendigt at afskærme arbejdet 100 % - ex. i en handskeboks. Det være i situationer, hvor processen støver ekstremt meget, eller i tilfælde, hvor de anvendte materialer vurderes at være særligt sundhedsskadelige.



Til venstre vises et anlæg til belægning af ultrafine overflader i en aflukket PCVD proces.

Til højre sandblæses ultrafine overflader i en ventileret handskeboks.

Et eksempel på en lukket proces er kemisk pådampning af molekyler eller implementering af ioner. Det gøres med udstyr som CVD, PCVD eller Ion accelerator. Processer af denne type foregår ofte under vakuum eller med gasarter som argon, kvælstof ol. Det er derfor et lukket procesanlæg.

Feltmålinger fra en ny forskningsundersøgelse viser, at selvom CVD processen er lukket, kan der opstå væsentlig eksponering for luftbårne nanopartikler efter processen. Resultaterne fra forskningen understreger et behov for at være opmærksom på eksponeringsrisici ved åbning af CVD anlægget, og (i tilfælde af, at anlægget bruges til fremstilling af nanopartikler) ved høstning af partikler.

På billedet ses en forsøgsopstilling i et forsejlet asbestelt med det formål at måle eksponeringsrisici ved udportionering af kulstof nanorør. Rummet er indrettet med rengøringszoner og ventilation svarende til standarder for asbestsanering.

### Midlertidige rum

I andre mere eksperimentelle forsøg kan man have behov for at etablere mere midlertidige rum til at afskærme arbejdet. Målinger fra et midlertidigt rum viser, at det er en udfordring at håndtere store mængder MWCNT og at opretholde et minimalt eksponeringsniveau uden anvendelse af personlige værnemidler, fordi materialet er meget flygtigt og let bliver



luftbåren under processen. Det vurderes derfor at være nødvendigt at opretholde et højt sikkerhedsniveau og bruge personlige værnemidler under arbejdet.

### Anvendelse af punktsug

Anvendelse af punktsug er almindeligt anvendt og er standardudstyr på laboratoriet. Det er endnu ikke klart, hvor effektive punktsug er til opsamling af luftbårne nanopartikler. Det bør derfor kun anvendes, hvor stinkskab eller indelukning ikke er muligt, og hvor de anvendte materials toksicitet ikke udgør en sundhedsrisici for medarbejderne.

I et oplæg til et hollandsk REACH værktøj (ART) vurderes almen brug og opstilling af mobilt punktsug at kunne nedbringe eksponeringsrisici fra pulverhåndtering med 50 %. Den lave vurdering skyldes, at effektiviteten af mobile punktsug er afhængig af medarbejderens ageren. Det udelukker eksempelvis ikke, at dele af arbejdet udføres uden for punktsugets ventilationszone, eller at partikler og støv bliver ført ud i rummet af turbulens, diffusion eller mekaniske bevægelser i opstillingen.

Disse forhold bør man derfor være opmærksom på, hvis man vil opnå effektiv beskyttelse, og man bør anvende personlige værnemidler som supplement til punktsuget.

### Andre situationer og opgaver

Andre situationer kan opstå, hvor man ikke kan håndtere nanomaterialer i et stinkskab eller en lukket proces. Blandt de vigtigste situationer er:

- Uheld eller spildsituationer under laboratoriarbejde eller transport
- Håndtering af affald
- Rengøring af udstyr og lokaler
- Vedligehold af ventilationsanlæg og udstyr

Der findes endnu ikke målinger, som viser de reelle eksponeringsniveauer i disse situationer og opgaver. Alle situationer vurderes dog at kunne medføre markante eksponeringsrisici for medarbejdere, hvis de ikke håndteres korrekt. Der skal derfor være udarbejdet klare anvisninger for håndtering af de forskellige situationer, og personlige værnemidler vil ofte være nødvendige under arbejdet.

Håndtering af uheld og spildsituationer bør generelt set håndteres som uheld med andre stoffer og materialer med afskærmning af området, brug af personlige værnemidler og lignende foranstaltninger (jf. At vejledning C.1.3). Samme sikkerhedsniveau tilrådes ved udskiftning af filtre, vedligehold af anlæg ol.

Ved rengøring af spild og rengøring af lokale og udstyr kan følgende råd følges.

- Fjern straks eventuel spild med en fugtig engangsklud, støvsuger med HEPA filter eller centralstøvsuger.
- Tør efter flere gange. Nanopartikler kan være usynlige, og sætte sig i meget fine ujævnheder i overfladen.
- Nanopartikler deponeres og hæfter på alle overflader, uanset om den vender opad, nedad eller er lodret.
- Engangsklude lægges straks efter brug i plastpose, der lukkes forsvarligt.



Billedet til venstre viser adgangs begrænsning af et laboratorium under rengøring.

Billedet til højre viser rengøring af et mindre spild med en fugtig klud.

Affald fra forsøg, rengøring o.l. håndteres som vist på billederne nedenfor, hvor nanopartikler registreres, håndteres, transporteres og bortskaffes som værende sundhedsskadeligt i arbejdsmiljøet. Der laves en dobbelt forsegleet emballage, som transporteres i en særlig lukket spand, der ligeledes er mærket.

Affaldet leveres efterfølgende til Kommune Kemi med mærkning af affaldsgruppe og med tydelig etiket, der viser, at det er mistænkt for at være sundhedsskadeligt, og derfor ikke må åbnes.

Således sikres det, at forurening ikke spredes fra et arbejdsområde til et andet.

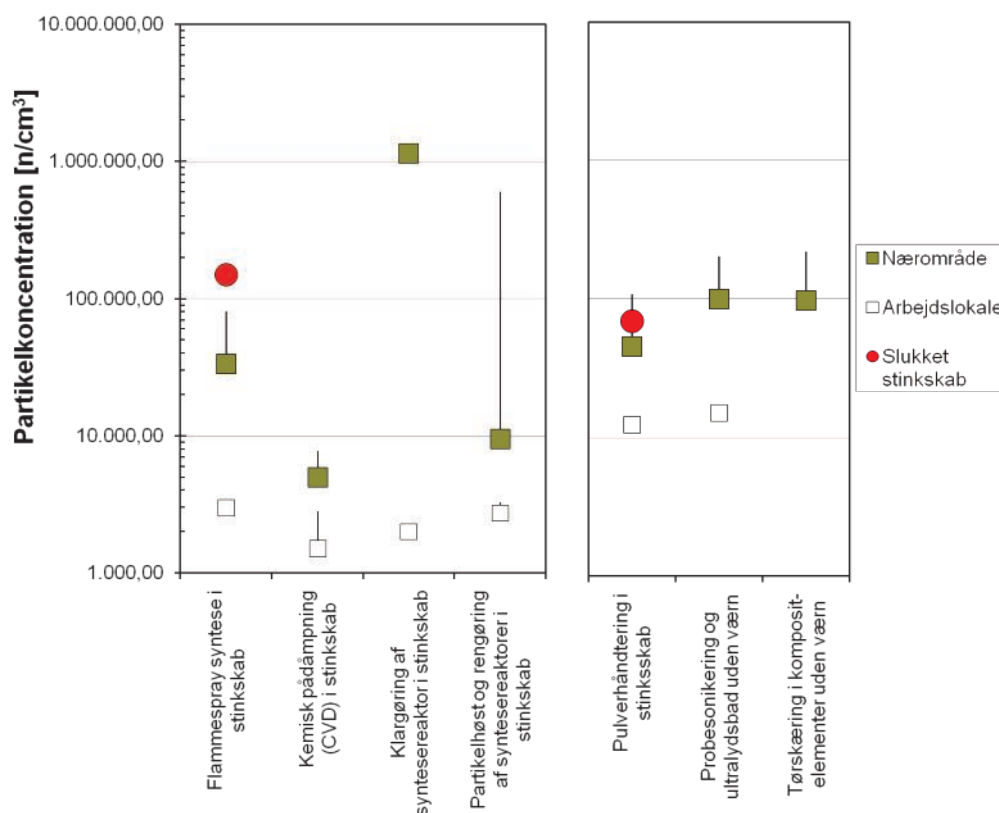


## Feltmålinger fra laboratoriet

Der findes målinger af eksponeringsniveauer for flere arbejdsituationer med nanomaterialer i laboratoriet. Grafen nedenfor summerer eksisterende resultater fra målinger af eksponeringsniveauet i laboratoriet.

Venstre del af grafen viser partikelkoncentrationen i laboratorier under syntese af nanopartikler, klargøring af reaktor syntese, og opsamling (høst) af nanopartikler fra produktionen samt rengøring af systemet.

Højre del af grafen viser partikelkoncentrationen målt ved pulverhåndtering (afvejning, ihældning og blanding) i stinkskab. Desuden ses partikelkoncentration under probesonikering og tørsækning i små kompositelameller med kulstof nanorør.



De illustrerede feltmålinger bør læses med visse forbehold. Der er endnu ikke lavet gentagende forskningsforsøg, der kan validere data fra forsøgene. Ligeledes vil eksponeringen fra denne type arbejdsituationer i nogen grad afhænge af den specifikke opstilling og valgte materialer under målingen. Det generelle billede er dog, at der ved alle typer processer er eksponeringsniveauer så høje, at man bør forholde sig til i arbejdsmiljøorganisationen.

Den røde markering viser målinger ved slukket stinkskab og illustrerer således effektiviteten af stinkskabet ved hhv. flammesyntese og pulverhåndtering af et nanopartikulært materiale. Forskellen kan se anderledes ud for mere flygtige pulvermaterialer.

Ved klargøring af syntese-aktorer er det uklart, om den høje partikelkoncentration faktisk skyldes bidrag fra dampe.

Ved skæring i kompositelameller uden værn viste målinger i øvrigt, at vådsækning reducerede den luftbårne koncentration til baggrundsniveau.

# Introduktion til NanoSafer

NanoSafer er første generation af et internetbaseret værktøj, som gør det muligt at lave en evaluering af det forventede risikoniveau ved produktion eller håndtering af specifikke syntetiske nanopartikler eller nanopartikeldannende processer.

## Brug af NanoSafer

Værktøjet er mest anvendeligt, hvis du har god viden om de materialer og aktiviteter, der skal evalueres. Det er også godt at have konkret viden eller alternativt en kvalitativ fornemmelse af emissionspotentialet ved det givne stof eller den givne aktivitet. Det kan enten være et pulvermateriales støvningsindeks (mg/kg) eller niveauet af et udslip fra en proces (mg/min).

For at kunne lave vurderingen af eksponeringsscenarioet kræves data fra materialedataark, sikkerhedsdataark og enten en kvalitativ eller kvantitativ viden om, hvor støvafgivende en given aktivitet er. Hvis ikke data forekommer, så kan generelle data fx indhentes i opslagsværker eller via anviste links.

## Fanebladene 'Materialer' og 'Processer'

Den første fase består i at registrere sit stof og indtaste primære fysisk-kemiske data. Herefter kan vælges at foretage en automatiseret vurdering af stoffets "nano-relevans". Hvis materialet ikke vurderes til at have nano-relevans, bør man overveje at foretage risikovurdering som normalt.

Hvis stoffet vurderes at bestå af nanopartikler, kan man gå videre og indtaste data til vurdering af stoffets toksicitet. Vurderingen baseres på data om primærpartiklens størrelse og form samt de risiko- og sikkerhedsætninger, der i sikkerhedsdataarket danner grundlag for bestemmelse af beskyttelsesniveau.

Derefter indtastes data til beregning af eksponeringsniveau. Det omfatter data om arbejdsprocessen og kontekstuelle data (f.eks. energiniveauet i processen, lokale størrelse, ventilationsrate osv.).



I eksemplet til højre ses en vurdering af afvejning (proces) af karbon nanorør (materiale) uden brug af stinkskab. Nederst ses angivelsen af modulets anbefalede sikkerhedsniveau.

## Fanebladet "Beregn Score"

Endelig går man til beregningsmodulet, hvor man kan kombinere alle indtastede nanomaterialer og arbejdsprocesser i separate vurderinger. Usikkerheden ved små partikler tillægges en særlig risikofaktor. Samtidig vægter NanoSafer potentielle risici for alvorlige og kroniske sundhedseffekter (KRAN) højere end mindre alvorlige effekter.

Eksponeringsfaren vises for akut eksponeringsfare (15 min) og eksponeringsfaren for en hel arbejdsdag (8 timer) i både nærfeltet omkring aktiviteten og i den generelle rumluft. Man får altså fire værdier for eksponeringsfaren og én værdi for det toksiske potentiale.

Beregningsmodulet er konstrueret således, at den primære beregning vurderer eksponeringsfaren uden anvendelse af tekniske beskyttelsesforanstaltninger (f.eks. punktsug eller stinksug). Efterfølgende kan man lave nye beregninger, hvor kildestyrken er tilpasset i forhold til den forventede effektivitet for en specifik beskyttelsesforanstaltning.

## Fanebladet 'Inspiration'

Under 'Inspiration' er det muligt at få viden og inspiration om effekten af kendte sikkerhedsforanstaltninger og opmærksomhedspunkter i arbejdsmiljøindsatsen på arbejdspladsen.

Under 'Kontrolhierarki' og 'Arbejdsplads' findes en række inspirationssekvenser, som med billede og lyd formidler centrale budskaber om håndtering af nanomaterialer. Dette kan være til inspiration i arbejdet med at nedbringe eksponeringsrisici for arbejdet med specifikke materialer eller arbejdsprocesser. Under 'Inspiration' findes også links til uddybende information i rapporten 'Nanopartikler i arbejdsmiljøet'.



Du finder NanoSafer via [www.i-bar.dk/nanosaferr](http://www.i-bar.dk/nanosaferr). Her kan du oprette brugernavn og adgangskode via linket "Opret Konto". Med dit brugernavn og adgangskode kan du logge ind og gemme indtastede data fra gang til gang.



### Industriens Branchearbejdsmiljøråd

Postbox 7777  
1790 København V  
E-mail: [ibar@ibar.dk](mailto:ibar@ibar.dk)  
[www.ibar.dk](http://www.ibar.dk)



### Arbejdsgiversekretariat

DI  
H.C. Andersens Boulevard 18  
1787 København V  
Telefon: 3377 3377  
Telefax: 3377 3370  
E-mail: [di@di.dk](mailto:di@di.dk)  
[www.di.dk](http://www.di.dk)



### Medarbejdersekretariat

CO-industri  
Vester Søgade 12  
1790 København V  
Telefon: 3363 8000  
Telefax: 3363 8099  
E-mail: [miljoe@co-industri.dk](mailto:miljoe@co-industri.dk)  
[www.co-industri.dk](http://www.co-industri.dk)



### Branchearbejdsmiljørådet Undervisning og Forskning

Studiestræde 3, 2. sal  
1455 København K  
E-mail: [sekretariat@3bar.dk](mailto:sekretariat@3bar.dk)  
[www.bar-u-f.dk](http://www.bar-u-f.dk)



### Universitets- og Bygningsstyrelsen

Bredgade 43  
1260 København K  
Telefon: 3395 1200  
Telefax: 3395 1300  
E-mail: [ubst@ubst.dk](mailto:ubst@ubst.dk)  
[www.ubst.dk](http://www.ubst.dk)



### DM - Dansk Magisterforening

### Dansk Magisterforening

Nimbusparken 16  
3000 Frederiksberg  
Telefon: 3815 6600  
Telefax: 3815 6666  
E-mail: [dm@dm.dk](mailto:dm@dm.dk)  
[www.dm.dk](http://www.dm.dk)