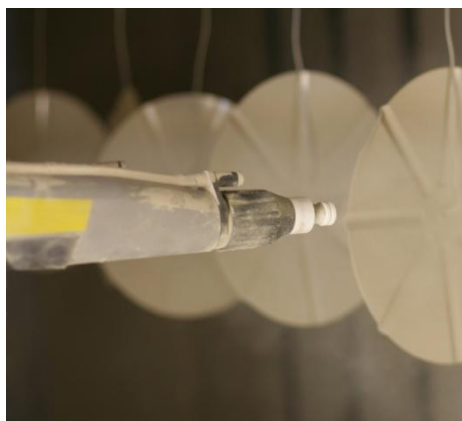




Nanoteknologiske overflader og nye kvalifikationskrav

- Kvalifikationsanalyse for operatører i overfladebehandlings- og farve-/lakindustrien



Udarbejdet af:

Teknologisk Institut, Arbejdsliv
Gregersensvej
2630 Taastrup
+45 72202623
www.teknologisk.dk

For:

Industriens Uddannelser
Vesterbrogade 6D, 4.sal
1780 København V
+45 33779111
www.industriensuddannelser.dk

ISBN: 978-87-92237-19-4

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	4
2	Grundlag for analysen (metode)	6
	Afgræsning af jobområdet	8
3	Nanopartikler og funktionelle additiver	9
	Hvad er nanopartikler?	9
	Nanopartikler i farve-lak industrien	10
	Overflademodificering (partikelcoating)	14
	Enzymer	14
4	Produktionsudstyr og arbejdsprocesser	15
	Traditionelle overfladebehandlingsteknikker	15
	Nye laksystemer og overfladebehandlingsteknikker	16
	Andre arbejdsprocesser	17
5	Miljø og arbejdsmiljø	20
	Størrelse og funktionalitet – hvad skal vi fokusere på?	20
	Nanopartikler under mistanke	20
	Opmærksomhedspunkter i miljøarbejdet	21
	Opmærksomhedspunkter i arbejdsmiljøarbejdet	22
	Sikkerhedsdataarket	24
6	Behovet for uddannelse	25
	Udbredelse i dag og fremover	25
	Hvilken type opkvalificering	26
	Uddannelsessystemets rolle i udviklingen	27
7	Inspiration til jobprofiler	29
	Tyske jobprofiler	29
8	Konklusioner og anbefalinger	32
	Vurdering af behovet for nye efteruddannelsesstilbud	32
	Forslag til efteruddannelsesmodel	37
9	Litteratur	40

1 Indledning

Denne rapport er afrapporteringen til Industriens Uddannelser af analyseprojektet "Kompetence- og uddannelsesbehov vedrørende brugen af nanoteknologi i operatørarbejdet inden for farve- og lakindustrien og overfladebehandlingsindustrien".

Fra 2008-2009 blev der lavet to danske undersøgelser af fremtidige kvalifikationsbehov blandt faglærte i Danmark (Kubix/DTU 2009; TI 2009). Begge analyser havde et bredere fokus end indeværende analyse, og havde til formål at skabe overblik over eventuelle behov for justeringer af de danske erhvervsuddannelser. Der var således heller ikke et specifikt fokus på *efteruddannelse* i analyserne. Begge analyser indikerer dog, at der inden for industriel overfladebehandling vil ske ændringer i fremtiden i lyset af nanoteknologien, som kan give anledning til justering af overfladebehandleruddannelsen og udbuddet af AMU-mål. Det er blandt andet på baggrund heraf, at indeværende analyse er gennemført, og rapporten forsøger at give et mere nuanceret billede af udviklingen inden for dette område.

Rapporten bygger på en kortlægning af dansk og udenlandsk forskning og litteratur på området, på interviews/virksomhedsbesøg hos i alt 13 danske og tyske virksomheder, samt fem interviews med danske og tyske eksperter inden for relevante grene af nanoteknologien. Industriens uddannelser har bidraget med udvælgelse af virksomheder og udpegning af potentielle respondenter.

Analysen viser, at der på nuværende tidspunkt er en meget begrænset udbredelse af processer i overfladeindustrien i Danmark, hvor nanomaterialer indgår, hvilket også betyder, at vi ikke med denne rapport kan påvise presserende behov for justeringer af erhvervs- og efteruddannelsesmulighederne henvendt til den danske farve-/lakindustri som følge af ændrede kvalifikationskrav til operatører i produktionen.

Rapporten angiver en række forhold, som sandsynliggør, at nanoteknologi kan være på vej til at vinde større udbredelse i Danmark inden for en overskuelig årrække. Blandt andet har en række nanoteknologiske farve-/lakprodukter, som kan anvendes med eksisterende påføringsteknikker og udstyr, inden for de sidste par år set dagens lys, og der laves i stadigt større omfang forskning i de miljømæssige og arbejdsmiljømæssige udfordringer forbundet med nanoteknologi. Dette må forventes at bidrage til at mindske usikkerhederne omkring nanomaterialer. Desuden er der meget der tyder på, at nanoteknologisk viden og kompetence kunne gå hen og blive en vigtig konkurrenceparameter for virksomhederne i den danske overfladebehandlingsindustri, idet branchen er under hård konkurrence både, hvad angår den højteknologiske, videnintensive nicheproduktion og den omkostningseffektive behandling af større serier. Efteruddannelse af branchens operatører kan i den forbindelse vise sig at udgøre en væsentlig katalysator for at påvirke udviklingen i konkurrencesituationen i gunstig retning.

På baggrund af analysens samlede resultater peger vi i rapporten på en række forhold, som branchen med fordel kan bringe i fokus, med henblik på også i fremtiden at kunne matche de behov og forventninger som overfladebehandlingsindustrien har til erhvervs- og efteruddannelsesmulighederne på området. Konklusionen præsenterer:

- En model for fremtidige uddannelses-/efteruddannelsesinitiativer på området
- Oplæg til opkvalificeringsforløb af faglærere
- Opmærksomhedspunkter for udvalgets fremtidige overvågning af området

Et væsentligt skridt i den retning er at omsætte branchens konkurrencemæssige udfordringer og strategiske pejlemærker til efteruddannelsesmuligheder, der i praksis kan styrke virksomhedernes evne til at imødekomme disse udfordringer.

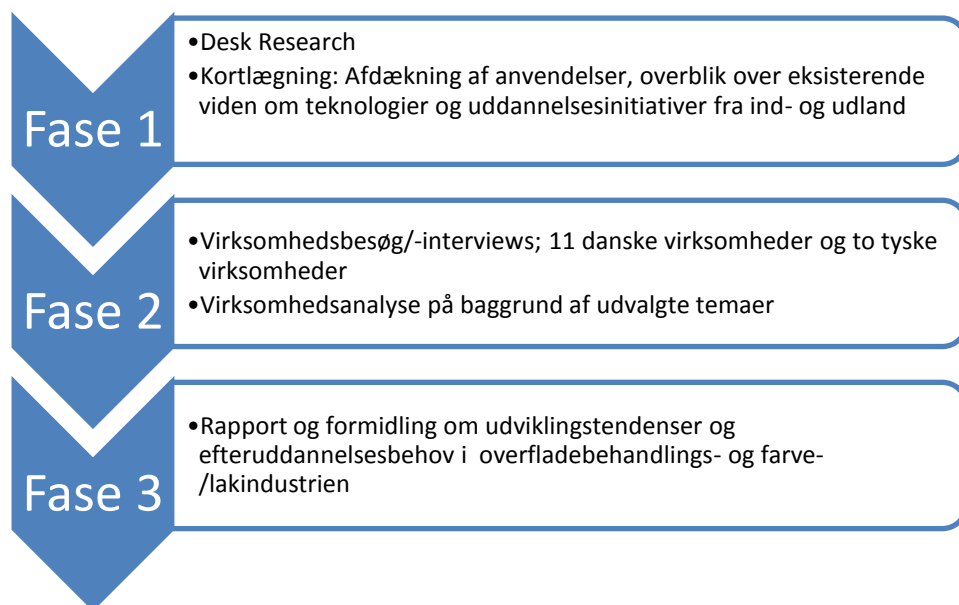
Vi vil gerne benytte lejligheden til at takke de virksomheder og de respondenter, som vi har besøgt eller interviewet i forbindelse med gennemførelsen af denne analyse.

Henrik Vejen Kristensen og Claus Müller
Teknologisk Institut, Arbejdsliv
December 2009

2 Grundlag for analysen (metode)

Projektet er gennemført i tre faser med udgangspunkt i det analysedesign, der er illustreret i figur 1.

Figur 1: Analysedesign



Formålet med desk researchen i fase 1 har været at skabe overblik over eksisterende viden og rapporter om nanoteknologi i overfladebehandlings- og farve-/lakindustrien. På denne baggrund blev der udarbejdet et kortlægningsnotat, som har dannet udgangspunkt for projektets samlede analyse. Kortlægningsnotatet er indarbejdet i nærværende rapport.

Kortlægningen har så vidt muligt taget udgangspunkt i litteratur og undersøgelser, som specifikt vedrører faglærte og ufaglærte operatører, og har skabt grundlag for en fokuseret indsamling af empiri ved besøg hos både danske og udenlandske virksomheder. Kortlægningen har omfattet følgende tre områder:

- Afdækning af nye teknologier, materialer og tendenser for fremtidige anvendelser inden for området
- Et overblik over eksisterende viden om eventuelle miljø- og sundhedsrelaterede risici ved arbejdet med nanomaterialer. Herunder links og referencer til eksisterende redskaber for håndtering af nanoteknologiske risici
- Resumé af kvalifikationsanalyser og uddannelsesinitiativer fra ind- og udland

I ovenstående afdækning er der desuden anvendt resultater fra Industriens Fællesudvalgs (IF) spørgeskemaundersøgelse (08.10.08), samt input fra brancherepræsentanter i de faglige udvalg og efteruddannelsesudvalg under Industriens Fællesudvalg. Afdækningen er yderligere suppleret ved en gennemgang af danske og udenlandske rapporter, og der er gennemført fem telefoninterviews med forskere inden for nanoteknologiske overflader samt human- og økotoxforskningen i Danmark og Tyskland.

Respondenterne for de gennemførte telefoninterviews er:

- Uwe Schumann, ISW
- Held Alstrup Jensen, NFA
- Anders Baun, DTU Miljø
- Poul Bo Larsen, Miljøstyrelsen
- Rikke Louise Meyer, I-nano

I fase to har virksomhedsbesøg i 13 danske og tyske virksomheder skabt grundlag for virksomhedsanalysen. De besøgte virksomheder er:

- Jyllak
- Beck & Jørgensen
- Engineered Particels Germany, EPG
- BYK Additives, Tyskland
- Teknologisk Institut, Materialeprøvning
- Teknologisk Institut, Tribologicenter
- Alcumatic
- Louis Poulsen
- Teknos
- C5 Surface
- HP Masking/Tiger Coatings
- Heidelberg Cement (Perstrup)
- Biolocus

I projektets tredje fase er resultaterne blevet sammenfattet i nærværende rapport, som afdækker danske såvel som internationale udviklingstendenser i overfladebehandlings- og farve-/lakindustrien, og det er på den baggrund, at vi i det afsluttende kapitel i rapporten skitserer efteruddannelsesbehov på AMU- målgruppens jobområde.

Udvælgelse af interviewdeltagere

Respondenterne ved virksomhedsbesøgene har hovedsageligt været produktionsansvarlige eller uddannelsesansvarlige, der fra deres daglige arbejde har hands-on erfaring med AMU-målgruppens jobfunktioner og udviklingen i disse. Der har i nogle tilfælde været suppleret med interview med en forsknings-/udviklingsansvarlig medarbejder – særligt hvad angår fremtidige udviklingstendenser på området.

Der var fra analysens start lagt op til, at der også skulle gennemføres interviews med operatører i overfladebehandlingsvirksomhederne. Men den meget begrænsede udbredelse af processer, hvori der indgår nanopartikler, har betydet, at det ikke har været muligt at gennemføre denne type interview.

Udvælgelsen af virksomheder er sket i samarbejde med sekretariatet for Industriens Fællesudvalg, som har udpeget virksomheder til virksomhedsanalysen, der er aktive brugere af AMU.

Temaområder for interviews med respondenter ved virksomhedsbesøg

Virksomhedsbesøg og interviews er blevet gennemført med udgangspunkt i følgende temaområder:

- Eksisterende brug eller forventninger om fremtidig brug af nanomaterialer i produktionen
- Erfaringer og forventninger til omstilling af produktionsudstyr og arbejdsgange

- Eksisterende organisering af miljø- og arbejdsmiljøarbejdet i virksomheden, og eventuel behov for opkvalificering i miljø- og sikkerhedsorganisationen eller blandt operatørerne
- Kvalifikationsbehov set i forhold til teknisk-faglige, miljø- og sundhedsrelaterede kvalifikationer, samt forholdet mellem viden og praktiske færdigheder
- Gennemgang af eksisterende uddannelsespraksis og drøftelse af eventuelle behov for ændringer og justeringer af eksisterende arbejdsmarkedsuddannelse

Afgræsning af jobområdet

Den danske farve-lak og overfladebehandler industri består af ca. 300 virksomheder fordelt på følgende typer virksomheder/brancheområder:

- Farve/lak producenter og agenturer.
- Overfladebehandling af konstruktions- og bygningskomponenter (herunder vindmøller, skibe, olieplatforme, betonkonstruktioner m.v.)
- Industrielakering og overfladebehandling af industrielle komponenter.
- Autolakering og klargøring (inkluderes ikke i undersøgelsen).

Den danske farve- og lakindustri består af en række danske og udenlandsk ejede virksomheder, der producerer og/eller sælger maling, lak og additiver til industriel overfladebehandling og forbrugermarkeder. Den danske industri af overfladebehandlere består af en række industrielakeringsvirksomheder og enkelte virksomheder fra andre industrielle brancher, hvor overfladebehandling af færdige produkter eller komponenter spiller en vigtig rolle i produktionen (ex. vindmølleindustrien). Desuden findes en lang række autolakerere og autoklargørere, som dog ikke inddrages i undersøgelsen.

Foruden disse virksomheder ser kortlægningen på udviklingstendenser på områder, som normalt ikke henføres til industrien, men som kan kaste lys over nye udviklingstendenser på industriel overfladebehandling - herunder virksomheder med speciale i polymeroverflader, glaskeramiske overflader, tribologi, sol-gel og tyndfilmsteknologi ol.. Der lægges hermed op til at udvalget kan gøre sig overvejelser om, i hvilket omfang det ønskes at se udenfor den etablerede industri i Danmark.

3 Nanopartikler og funktionelle additiver

Den nanoteknologiske udvikling har omdrejningspunkt i udviklingen og anvendelsen af nanopartikler som et funktionelt additiv, der kan give nye og/eller forberede egenskaber til lakker og maling. Fra virksomhedsanalysen har det været muligt at få overblik over udviklingstendenser og udbredelsen af nye typer materialer og udstyr, der knytter sig til den nanoteknologiske udvikling. I dette kapitel er input fra virksomhedsanalysen sammenholdt med litteraturen, og det giver et overblik over nuværende og fremtidige anvendelser i den danske industri.

Hvad er nanopartikler?

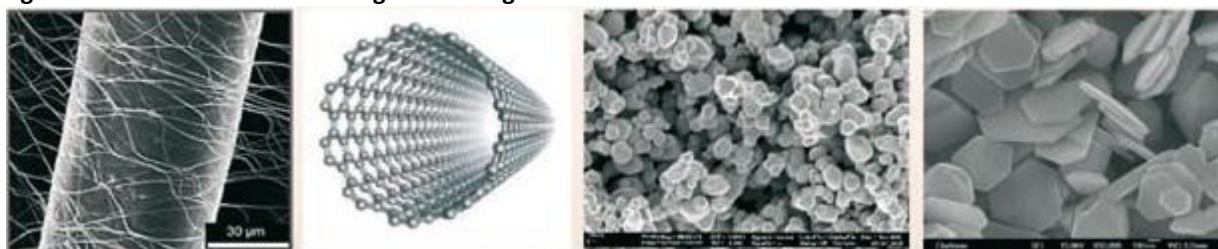
Ordet *nano* kommer fra græsk, hvor det betyder dværg. I dag bruges nano som betegnelse for en milliardtedel (10^{-9}), og 1 *nanometer* (nm) er derfor en milliardtedel af en meter. *Nanomaterialer* er defineret ud fra deres størrelse og er partikler i *nanoskala*, svarende til en størrelsesorden fra ca. 1 nm til 100 nm [BSI, 2007]. Ordet *nanomaterialer* bruges som en fællesbetegnelse for alle stoffer med mindst én dimension mindre end 100 nm.

Som udgangspunkt gælder det, at når partiklers størrelse nærmer sig nanoskala, ændres deres egenskaber (grundet kvante-mekaniske og andre fysiske effekter). En af forklaringerne på dette skyldes, at stoffer på en så lille skala simpelthen opfører sig fysisk anderledes end alle større partikler gør. Desuden har nanopartikler en meget stor overflade i forhold til deres masse sammenlignet med større partikler. Da det næsten udelukkende er overfladen på en partikel, der er aktiv, medfører dette, at nanopartikler i sammenligning med større partikler er langt mere kemisk reaktive. Det er disse fysiske og kemiske effekter, der udnyttes i et givent lak-system.

Geometriske former

Ligesom nanomaterialer kan være sammensat af mange forskellige stoffer, kan de have meget forskellige og komplekse geometriske former. Eksempler på sådanne former inkluderer rør, fibre, kugler og flager (ISO/TS 27687:2008). Når man beskæftiger sig med nanomaterialer er et væsentligt aspekt derfor stoffernes form og struktur - herunder hvor mange af stoffets ydre dimensioner, der er i nanoskala. Dette kan enten være en, to eller tre. Nanorør er et eksempel på et stof med to dimensioner i nanoskala, og nanoflager et eksempel på et stof med kun en dimension i nanoskala. Disse eksempler på forskellige former, som nanomaterialer kan antage, kan ses illustreret på figur 2:

Figur 2. Nanomaterialer i forskellige former og dimensioner.



[FMER, 2008, http://www.bmbf.de/pub/nanoparticles_small_things_big_effects.pdf]

Naturlige, industrielle og syntetiske partikler

Nanopartikler er i sig selv ingen ny opfindelse, og de forekommer da også naturligt mange steder i miljøet. Nanopartikler som sådan er derfor ikke nødvendigvis fremstillet af mennesker, og det er derfor vigtigt at skelne mellem følgende tre typer af partikler: De naturlige, de industrielle og de syntetiske partikler.

- De *naturlige nanopartikler* dannes uden menneskelig indblanding og omfatter blandt andet små partikler fra vulkanudbrud og små partikler dannet ved afbrænding af organisk materiale (f.eks. fra en skovbrand), samt en række biologiske molekyler såsom proteiner og DNA.
- De *industrielle nanopartikler* dannes som biprodukter ved menneskelige handlinger, eksempelvis sod og partikler fra køretøjers udstødning og maskiner i den industrielle produktion. Disse findes derfor i høje koncentrationer i alle byer og en række industrielle processer (f.eks. i svejsesod).
- De *syntetiske nanopartikler* er de partikler, som med overlæg designes, fremstilles og anvendes til et bestemt produktionsformål.

Det er særligt de naturlige og syntetiske materialer, der er interessant for farve- og lakindustrien. I arbejdsmiljøsammenhæng er det dog væsentlig at se på industrielle anvendelser af alle typer partikler, hvis og når de anvendes i unaturligt høje koncentrationer i fremstilling og forarbejdningsprocesser.

Nanopartikler i farve-lak industrien

Nanopartikler har været anvendt i en årrække til pigmentering og UV-beskyttelse af overflader og lakker. Via virksomhedsanalysen er følgende anvendelser af nanomaterialer identificeret. I tabel 1 nedenfor ses et overblik over de nye nanoteknologiske anvendelser, der er identificeret i virksomhedsanalysen.

Tabel 1: Nanopartikulære overflader (anvendelsesområder)

Komponent	Effekt	Produkt/type	Påføring/proces	Stadie
Beton	Selvrensende overflade	-ProCover; selvrensende fotokatalytisk vådlak	Rulle/sprøjte	Kommerciel
Betonelementer	Anti-graffiti	-Vådlak	Rulle/Sprøjte	Kommerciel
Billak	Ridsefri, renslet, slip-let overflader	-Vådlåk	Sprøjte (Robot og manuel)	Forsøg
Motor-komponenter/ Varmeveksler Køleanlæg m.fl.	Rens-let	- Cleasy: additiv som iblandes lakken, binder sig i matrixen, og giver glattere overflader - Sol-gel/silan baseret overflade til metal og gummiemner	Rulle/sprøjte	Forsøg
Gryder, keramiske kogeplader, udstødningsrør	Fedtfri, sliplet, anti-misfarvning ved varme, ridsefri	-Sol-gel/silan baseret vådlak med hærkningstemperatur på ca. 500 grader C.	Sprøjte (Robot/Manuel)	Kommerciel (Tyskland)
Mobil display	Ridsefri, fedtfri	-Lak	Ukendt	
Ruder	Hydrofil/ antidug, selvrensende	-Shine on (SCR) med titaniumdioxid additiv	Manuel pumpe	Kommerciel/forsøg

Elektriske komponenter	Antistatisk, elektrisk ledende	-Additiv til vådlak	Ukendt	Forskning/forsøg (Tyskland)
Møbler og køkkenlåger	Ridsefri (ekstrem hårdhed)	- UVILUX® HARDCOAT 2066, UV-lak	Valse, sprøjte og vakuum	Kommerciel
Anti-biofilm (fødevare-forarbejdning, medicinsk udstyr)	Antimikrobiel	-Sol-gel/silan baseret vådlak med titanium dioxid; kobber eller sølv (epoxy) - Bioni Hygienic interiørmaling med antibakteriel additiv (nanosølvpartikler)	Sprøjte Centrifuge	Forskning/GTS, Forsøg (Danmark, Tyskland, Australien)
Off-shore konstruktioner	Proteinned-brydende, polerende	-CoatZyme: enzymbaseret bundmaling, vandbaseret med aktiv enzym (CZ006) og zinkoxid	Sprøjte, Rulle/pensel	Forsøg/kommerciel
Metalværktøj, Plastform-værktøj	Overflade-modificering	-CoCr -Titanlegering med videre	Plasmanitrering Ionimplantering (overflade-modificering)	Kommerciel/GTS
Metalværktøj, Plastform-værktøj Hørerapparats-komponenter, alu-folie (ultratynd)	Ultratynde metal-belægninger	-TiN, Titan, TiCN, DLC, CrN	PCVD PVD CVD Open air plasma	Kommerciel/GTS

Som det ses, er mange anvendelser fortsat på forsøgsbasis, om end det i dag også er muligt at identificere en række kommercielle produkter og anvendelser. De kommercielle produkter og anvendelser er alle nye (inden for de sidste 1-3 år) herhjemme, og volumen (materialeforbrug og antal emner) er fortsat begrænset. Tønning & Poulsen (2007) lavede i 2007 en analyse for miljøstyrelsen og forsøgte at give et overblik over, hvor stor volumen af nanopartikler, der blev brugt i industrien. I nedenstående tabel er resultatet af undersøgelsen præsenteret.

Tabel 2: Anvendelse af nanopartikler (mængder)

Nanomateriale	CAS Nummer	Industrielt område (størrelser)	Skala
TiO ₂ (rutil + anatas)	13463-67-7	Kosmetik (10-20 nm) Maling og blæk (nano/mikropartikler)	> 1 ton per år > 100 tons per år
TiO ₂ (anatas)	1317-70-0	Coatings (9-25 nm)	< 1 kg per år
Fe ₂ O ₃	1309-37-01	Maling og blæk (nano/mikropartikler)	> 100 tons per år
Carbon black	7440-44-0	Maling og blæk (nanopartikler) Tekstiler (nanopartikler)	> 1 ton per år > 10 tons per år
Kiselsyreanhydrid (amorf)	7631-86-9	Maling og blæk (10-20 nm) Coatings (10-25 nm) Beton (100-200 nm)	> 1 ton per år kg per år Ikke rapporteret
ZnO	1314-12-2	Kosmetik (nano/mikropartikler)	Ikke rapporteret
Ag	7440-22-4	Coatings (nanopartikler) Tekstiler (nanopartikler)	< 1 kg per år < 1 kg per år
Cu	7440-50-8	Coatings (nanopartikler)	< 1 kg per år

Kilde: Tønning & Poulsen (2007)

Tabel 2 angiver nogle af de mest almindelige partikler i fremstilling af farve og lak (f.eks. carbon black, TiO₂, Fe₂O₃) samt nogle de nyere partikeltyper (nanosølv og nanokobber). Også andre typer nanopartikler som nanofibre, mineralske nanoflager o.l. er rapporteret anvendt i F&U aktiviteter (Tønning og Poulsen 2007). Resultaterne er baseret på en spørgeskemaundersøgelse med input fra industrien, og vi ved fra litteraturstudiet og virksomhedsanalysen, at antallet af nanomaterialer som anvendes er større. En mere opdateret og specifik oversigt over nanopartikler og deres (forventede) anvendelse i dag til overfladebehandling er derfor præsenteret nedenfor.

Tabel 3: Anvendelse af nanopartikler (partikeltype og effekter)

Partikel	Karakteristika	Effekt	Anvendelsesområder
SiO ₂	“Aerosil”	Billig, fylder porer	Ridsefaste og korrosionsbeskyttende overflader, bindemiddel
SiO ₂	Flad	Øgede barriereegenskaber	Forbedring af barriereegenskaber, generering af interfererende farver i overfladen
TiO ₂	Rutil	UV-absorberende	UV-absorberende og ridsefaste overflader, overflader med optiske effekter (anti-reflekterende mv.)
TiO ₂	Anatase	Fotokatalytisk aktivitet	Selvrensende og dugfri overflader, antibakterielle overflader
Al ₂ O ₃	Korund	Porerfyld, katalyserende	Ridsefaste og korrosionsbeskyttende overflader
AlO(OH)	Bohemite	Fylder porer, katalyserende	Ridsefaste og korrosionsbeskyttende overflader
CeO ₂	Sfærisk	UV-absorberende, katalyserende, korrosionshæmmende	Ridsefaste og korrosionsbeskyttende overflader, termisk katalysator
ZnO	Sfærisk	UV-absorberende	Polymere stoffer, for opløsninger med neutral pH
ITO (indium-tin-oxyd)	Blå farve	IR/UV-absorberende	IR-reflekterende, elektrisk ledende eller antistatiske overflader
ATO (antimon tin oxyd)	Brun farve	IR/UV-absorberende	IR-reflekterende, elektrisk ledende eller antistatiske overflader
ZrO ₂	Hvid farve	Fylder porer, katalyserende	Ridsefaste og korrosionsbeskyttende overflader, termisk katalysator
Fe ₂ O ₃	Magnetit	Magnetisk	Medicinsk anvendelse, f.eks. cancerbehandling
Ag-kolloid	Sfærisk	Antibakteriel	Antibakterielle overflader (additiv)
Metal kolloid	Pd, Pt, Au, Ru, Cu	UV-absorberende, katalyserende	Transparente farvede coatings, UV-stabile farver, termisk katalysator
Carbon nanorør	Sort farve	Elektrisk ledende, antistatisk	Anvendelsesmuligheder undersøges, f.eks. som ledende coatings
CO, Mn, Ce blandet oxyd	Sort farve	Katalyserende	Selvrensende og lugtabsorberende overflader i f.eks. ovne, industrielle anlæg, coating af motordeler, katalysatorer

Kilde: Sepeur 2008

Det har ikke gennem virksomhedsanalysen været muligt at kunne verificere anvendelsen af alle disse partikler i laksystemer, da virksomhederne enten ikke har haft den nødvendige viden, eller ikke har ønsket at dele viden om laksystemernes kemiske (og partikulære) sammensætninger. Dog understreger resultatet af virksomhedsanalysen, at der findes kommercielle produkter med nanopartikler, som markedsføres med egenskaber som ridsefaste, korrosionsbeskyttende, anti-reflekterende, UV-/IR-absorberende, fotokatalytiske/selvrensende og katalyserende, samt at der forskes og udvikles i at opnå elektrisk ledende, antistatiske og antibakterielle overflader (se tabel 1).

Overflademodificering (partikelcoating)

For at anvende nanopartikler som additiv er det nødvendigt at kunne stabilisere og dispergere partiklerne i vand, polymere eller anden solvent. Nanopartikler er ofte ekstremt hydrofobe og har tendens til at klumpe sammen i større agglomerater og aggregater. Stabiliseringen og dispergeringen laves med forskellige kemiske modifikatorer (partikelcoatings), som spænder bredt over en række kulsyreforbindelser, alkoxysilanforbindelser, fosfatforbindelser, sulfonatforbindelser og kvartære ammoniumsforbindelser (Sepeur 2008).

Enzymer

Foruden rækken af nanopartikler, som i dag anvendes (og forsøges anvendt) inden i overfladebehandlingen, arbejdes der i Danmark også på at anvende enzymer til antibakterielle og antibegroningsvirkende lakker og maling. Anvendelsen af enzymer i overfladebehandling ligger i konvergensfeltet mellem den nanoteknologiske og bioteknologiske udvikling, da enzymer er biologiske proteiner, hvis størrelse ligger inden for nanoskalaen.

4 Produktionsudstyr og arbejdsprocesser

Dette kapitel præsenterer nogle af de traditionelle og nye teknikker samt arbejdsprocesser, hvormed nanopartikelholdige laksystemer og overflade påføres. Der gives et tentativt bud på, i hvilke dele af overfladebehandlingen, der kan opstå nye krav om viden og færdigheder blandt operatører – i kraft af ændrede arbejdsprocedurer, nye materialer og nyt udstyr. Til slut gives en kvalitativ vurdering og diskussion af, hvorvidt der vil være efterspørgsel til at dække et evt. AMU-mål på området.

Traditionelle overfladebehandlingsteknikker

Industriel overfladebehandling og lakering udføres traditionelt med følgende teknikker:

- **Kemisk og elektrokemisk overfladebehandling:** (Overfladebehandling i nikkel, krom, zink, tin, ædelmetaller, keramik og andre overfladebehandlinger).
- **Industrilakering:** (Vådlakering, pulverlakering, zinkmanganfosfatering, affedtning i kar, jernfosfatering og fosfatering).
- **Korrosionsbeskyttelse:** (Coating), (Metallisering, vådmalinger, specialbelægninger, fristråleblæsning, slyngrensning, højtryksrensning, håndafrensning og udførelse af entreprisarbejde uden for virksomheden).
- **Andre opgaver inden for overfladebehandling:** (Varmforzinkning, Eloksering, Slibning og polering, Termisk sprøjtning, Vibrationsbehandling) (Kilder: Danske overfladebehandlere, Norsk Pulverlakteknisk Forening).

Som angivet i kapitel 3 (se tabel 1) er størstedelen af de eksisterende anvendelser af nanopartikler i lak og maling produceret, så de kan påføres med traditionelle overfladebehandlingsteknikker til vådlakering (hvad enten det er baseret på vand, fortynder eller epoxy).



Til venstre ses påføring af betoncoating hos Perstrup Beton/HeidelbergCement. Til højre ses opsætning af sprøjterobot hos EPG i Frankrig.

Ovenstående billeder illustrerer, at påføringen af lakkerne kan være mere eller mindre avanceret alt efter behov. Hos EPG i Frankrig overfladebehandler man meget dyre emner i store serier med krav om meget stor præcision, hvilket gør robotteknologien anvendelig, mens man hos Perstrup Beton skal belægge få, men meget store betonemner uden de store krav til æstetik og præcision, hvorfor en manuel påføring er anvendelig.

Inden for den kemiske og elektrokemiske overfladebehandling er der i dag en række forsknings- og testprojekter af nye nanolegeringer til erstatning for eksempelvis krom. Disse nye legeringer er fortsat meget dyre og svære at opskalere til industrielt brug men også et område, der lidt længere ude i fremtiden kan vise sig interessant for den danske overflade- og galvaniseringsindustri (Se evt. <http://ing.dk/artikel/99929-ny-nanolegering-erstatte-krom?bund>).

Hverken i litteraturen eller i virksomhedsanalysen¹ har analysen frembragt eksempler på nye effekter i pulverlak eller kemisk/elektronisk overfladebehandling med anvendelsen af nanopartikler. Så trods udvikling af nye laktyper skaber den nanoteknologiske udvikling ikke umiddelbart behov for investeringer eller uddannelse i anvendelsen af nyt udstyr til påføring.

Nye laksystemer og overfladebehandlingsteknikker

Foruden de traditionelle overfladeteknologier findes i dag en række teknikker og teknologier, som må tilføjes listen af nanoteknologiske overfladeteknologier. Abicht et al (2005) har identificeret følgende overfladeteknikker, som synes relevante for faglærte, der arbejder eller vil specialisere sig i overfladebehandling i den tyske industri:

Tabel 4: Nanoteknologiske overfladebehandlinger

CVS Kemisk gasfase syntese	Sol-Gel-belægning
CVD Kemisk gas pådampning	Langmuir-Blodgett tyndfilmsbelægning
PVD Fysisk gas pådampning	Gasfase pådampning (ætseteknik)
MOPVD (metallisk organisk gasfase epitaxialt system)	Coating teknik
Epitaxialstøbning	Dip-Teknik
Molekylærepitasi (formning)	Kapillærstøbning

Dette er teknikker, som ligger uden for rammerne i den eksisterende overfladebehandleruddannelse, og hvor der for en dels vedkommende bruges nyt og anderledes produktionsudstyr.

Plasma og kemisk pådampfingsanlæg

Som Kapitel 3 (se tabel 1) angiver, findes der i dag kommercielle anvendelser for nogle af disse nye laksystemer og teknikker i Danmark. Til overflademodificering og belægning af ultratynde (metal)belægnings anvendes en række forskellige teknikker på plasma og vakuumanlæg.

¹ Metallisk pulverlak fra Tiger Coatings kan være en undtagelse. Tiger Coatings har ikke ønsket at udtale sig om deres produkter til dette projekt. Se <http://tigercoatings.com/index.php?id=1396&L=11&C=1> og <http://tigercoatings.com/index.php?id=31&L=11&C=1>



Til venstre ses et PCVD-anlæg hos Tribologisentret i Århus. Til højre forklarer en medarbejder CVD-processen (Kilde: Teknologisk Institut)

Virksomhedsanalysen viser, at anvendelsen af disse typer anlæg og materialer kræver særlig viden om for-/efterbehandling, opstilling, vedligehold, processtyring og kvalitetskontrol, som i dag i stort omfang varetages af medarbejdere med videregående uddannelser og personer med andre faglige uddannelsesbaggrunde (smede, maskinarbejdere, industriteknikere mv.).

Silan-teknologi og sol-gel processer

Virksomhedsanalysen identificerede kommercielle aktiviteter i udlandet og danske forsøg i industriel skala i regi af GTS, hvor der anvendes silan baseret laksystemer. Sol-gel processen er den mest fremskredne og umiddelbart bedst anvendelige proces til silan baserede laksystemer, der er funktionaliseret med nanopartikler. Det skyldes ikke mindst, at systemerne kan påføres med traditionelle vådlakeringsteknikker (dog ofte i en epoxyopløsning, som kræver en særlig arbejdsmiljøindsats). Sol-gel processen og andre lignende teknikker er velbeskrevne i Sepeur (2008).

Andre arbejdsprocesser

Foruden de nævnte teknikker og udstyr til den egentlig overfladebehandling er tre andre områder væsentlig, fordi anvendelsen af nanopartikler og nye laksystemer formentlig vil ændre på det udstyr, der anvendes, den viden der påkræves og de procedurer, der arbejdes efter i de forskellige produktionsled.

Opblanding og dispergering (rivning)

Det mest afgørende aspekt ved anvendelsen af nanopartikler i laksystemer for at opnå de ønskede nye effekter, er en korrekt dispergering af partikler i eller på overfladen af lakken. I første omgang er dette en udfordring for producenter af additiver (via partikelcoating) og lak (via rivning). For størstedelen af de kommercielle nanoteknologiske laksystemer, der er identificeret i

virksomhedsanalysen, kan dette ifølge producenterne gøres med eksisterende viden og teknologi blandt overfladebehandlerne.



Til venstre ses en ultrasonikator til dispergering af nanopartikler. Til højre ses opstillingen til påføring en sol-gel/silan baseret lak med epoxy (Kilde: Teknologisk Institut)

Dispergeringen af nanopartikler i en matrix er dog fortsat et stort udviklingsområde, og virksomhedsanalysen har givet eksempler på nye teknikker, som måske i fremtiden kan introduceres i en produktion. Det gælder eksempelvis tilføring af høj-energi (ultral lyd o.l.) som erstatning for en mekanisk rivning af partikler. Ligeledes er det fortsat uklart, om det kræver særlige procedurer og teknikker at påføre laksystemer, hvor effekten opnås ved, at nanopartiklerne lægger sig i overfladen, samtidig med, at man vil fastholde en lak med andre egenskaber. Så vidt denne analyse har givet svar på, opnås dette kun i dag ved at bruge en epoxy, der afdamper (som ved sol-gel baserede systemer), eller ved polerende malingen, hvor malingen langsomt slibes af i tynde lag (som i skibsmaling).

Således vil viden om, hvordan man opnår en korrekt dispergering af partikler til forskellige formål være væsentlig – særligt hvis man arbejder i farve- og lakindustrien, eller med opblanding af laksystemer i overfladebehandlingsindustrien.

Processtyring

I virksomheder og udviklingsinstitutioner omfattet i virksomhedsanalysen, hvor man har lavet kommercielle eller udviklingsrelaterede påføringer af sol-gel/silane baserede systemer, har man i dag ingeniører, kemikere og fysikere ansat til at overvåge og styre (processtyring) en række forhold i forbindelse med produktionen, forbehandlingen, påføringen og hærdningen af overfladen.

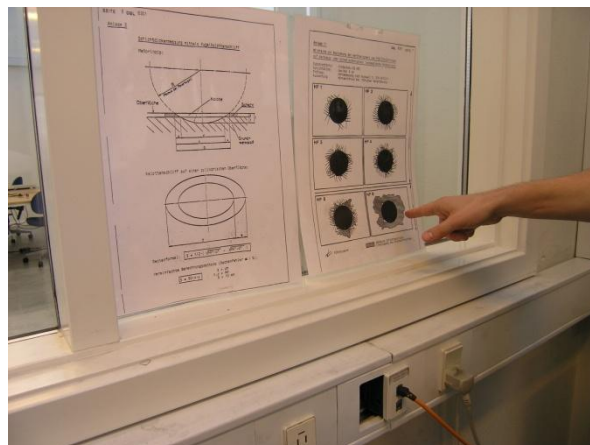
Som nævnt er processerne i sig selv ikke radikalt anderledes, men der er dog en række faktorer, som er afgørende for et godt resultat. Ikke alle faktorer nævnes i de gennemførte interview, men faktorer som *pH-værdi og temperaturer ved dispergering, luftfugtighed og lagtykkelser ved påføring, hærdtemperaturer* samt evt. tilførsel af gasarter (f.eks. nitrogen, argon) under hærdning har betydning for resultatet.

Desuden betyder den nuværende pris på materialerne, at præcision (og lagtykkelser) har væsentlig økonomisk betydning. Dette forventes også at spille en afgørende rolle i fremtiden, og stiller krav til operatørernes faglige håndelag. Det kan også betyde en mere udbredt anvendelse af robotter og dyser til belægning af meget tynde overflader.

Selvom de færreste i dag ønsker at dele deres viden om sådanne faktorer, da det er forretningshemmeligheder, må det forventes at være områder, som på sigt kan indarbejdes i (efter)uddannelser på området i takt med udbredelsen af sol-gel/silan baserede overflader.

Kvalitetskontrol

Kvalitetskontrol af færdige overflader er et andet område, hvor der forventes at blive introduceret nye procedurer og teknikker. Den mest oplagte og umiddelbare ændring af kvalitetskontrollen opstår, fordi mange nanoteknologiske overfladebelægninger er transparente, meget tynde (mindre end $5\text{ }\mu$) og i praksis usynlige.



Til venstre ses udstyr til kvalitetskontrol af hårde metalliske overflader på f.eks. skærende værktøj. Til højre ses en kontrolvejledning til de karakteristika i overfladen, der kan opstå efter mekaniske påvirkninger af overfladen (Kilde: Teknologisk Institut)

Den visuelle kvalitetskontrol, som for mange industrilakere er den primære måde at kontrollere arbejdet på, vil ikke længere være tilstrækkelig for at kontrollere, om overfladebehandlingen er lavet på hele emnet og i et tilpas jævnt lag. Denne udfordring er væsentlig, fordi der som nævnt vil stilles krav til præcision og minimering af materialeforbrug (for at mindske omkostninger). Vil man opnå nye egenskaber som ridsefasthed, hårdhed, ændrede overfladespændinger ol., er det ligeledes nødvendigt at lave kvalitetskontrol på andre parametre end i dag - og i nogle tilfælde med andet udstyr.

Forbehandling (affedtning og metallisering)

Flere interviewpersoner har påpeget, at silan baserede overflader muligvis kan lette forbehandlingen af materialer (f.eks. metallisering). Under virksomhedsbesøg (i virksomhedsanalysen), hvor man har anvendt denne type overflade, har forbehandlingen været begrænset til en affedtning.

5 Miljø og arbejdsmiljø

Nanoteknologiens udbredelse er præget af stor usikkerhed om de egentlige sundheds- og miljøeffekter af nanomaterialer. Visse sundhedsvidenskabelige og arbejdsmiljøfaglige studier indikerer, at eksponering for visse nanomaterialer kan have alvorlige sundhedseffekter [NIOSH 2009; Hansen et al 2008]. Medarbejdere i virksomheder, der fremstiller eller forarbejder nanomaterialer, vil typisk være udsat for unaturligt høje koncentrationer i længere perioder, og vil derfor også være udsat for potentielle risici i arbejdsmiljøet. Det er derfor vigtigt at fokusere på nanomaterialer i arbejdsmiljøet og det eksterne miljø.

Størrelse og funktionalitet – hvad skal vi fokusere på?

Gennem en del år har human- og økotoxikologisk forskning haft fokus på en række partiklers sundheds- og miljømæssige effekter. Partiklerne har været i fokus pga. deres størrelse og tilhørende fysiske, kemiske og biologiske egenskaber – herunder toksicitet/farlighed samt nye veje for optagelse og ophobning i organismer. I dag ses dog et skift i fokus fra størrelse til funktionalitet. Dette har flere årsager.

Fra den hidtidige miljøforskning og økotoxikologi er der publiceret flere studier af rene partikler, hvor man ikke har kunnet eftervise klare toksiske effekter på organismer ved normale eksponeringer (af visse partikler). Andre studier har påvist, at nanopartikler kan have problematiske adjuvanseffekter, hvor de forstærker effekten af andre toksiske stoffer (Interview med Lektor Anders Baum, DTU).

Også fra arbejdsmiljøforskningen og humantoksikologien har der været anledning til at skifte fokus fra størrelsen til funktionalitet. Studier af nanopartiklers gennemtrængelighed gennem værnemidler og optag i organismen (cellemembraner, nerve-blod baner, fedt o.l.) har vist, at det meget vel kan være partikler i størrelser mellem 100-300 nm, der er de mest problematiske. I arbejdsmiljøsammenhæng arbejder man derfor med en lidt bredere definition af nanopartikler som værende partikler med mindst dimension, der er mindre end *omegnen* af 100 nm (ISO ISO/TR 27628:2007).

Desuden er de kemiske modifikatorer, som anvendes til at stabilisere og dispergere partikler, kommet i fokus, fordi de enten i sig selv, eller sammen med nanopartiklerne, kan være toksisk eller allergisk problematiske. Et eksempel er kvartære ammoniumsforbindelser, som anvendes til at dispergere montmorillonite (nano-ler), og som har vist at have en klar adjuvanseffekt for allergigener (Kristensen et al 2009).

Nanopartikler under mistanke

Flere af de eksisterende studier (mikro-økosystemer, vandmiljøer) er lavet med C60-fullerener og carbon nanotubes (CNT), som ser ud til at være problematiske for mikroorganismer i miljøet. Ingen af disse partikeltyper har virksomhedsanalysen fundet kommercielle produkter med inden for overfladebehandling og farve-/lakindustrien, om end vi har set F&U-relaterede blandt virksomheder i både Danmark og Tyskland. CNT og andre nanofibre er værd at være opmærksom på i virksomhedernes miljø-, arbejdsmiljø- og sikkerhedsarbejde. CNT er under mistanke for at virke sundhedsskadelig, og er gennem flere undersøgelser blevet sammenlignet med asbestfibre (f.eks. Poland et al 2008).

Nanosølvparkler og zinkoxidpartikler til anvendelse i antimikrobielle overflader er materialer, der forventes at kunne give miljøudfordringer. Dels fordi der har været usikkerhed om dets potentielle

resistenseffekt på visse typer bakterier, og dels fordi sølvioner og zinkoxid i vandmiljøet kan give udfordringer på rensningsanlæg og vandmiljøet generelt, hvor det kan skade gavnlige bakteriekulturer. Nanosølv og zinkoxid fremhæves, fordi det er partikler, som i dag vinder udbredelser til anvendelser på en række områder – herunder industriel overfladebehandling.

Opmærksomhedspunkter i miljøarbejdet

Den eksisterende viden om nanopartiklers effekt på miljøet er fortsat noget fragmenteret og giver ingen klare anvisninger for, hvordan nye nanomaterialer bør håndteres. Ud fra ekspertinterview har det kun været muligt at få tentative og principielle anbefalinger til, hvordan dette arbejde kan håndteres af farve-/ lakvirksomheder.

Den generelle anbefaling fra eksperter er, at hvis virksomheden ikke har tilstrækkelig viden om partikler og materialer, som indgår i produktionen, bør man bruge forsigtighedsprincippet. Det betyder følgende for miljø og arbejdsmiljøarbejdet:

- Ved brugen af nanomaterialer skal man begrænse den diffuse forurening. Dvs. undgå at sprede partiklerne unødigt på arbejdspladsen (luft, spildevand, materiel affald). Det gælder om at vide, hvor materialet er, og forsøge at holde det der (Interview med Anders Baun, DTU)
- Nanopartikelholdige materialer bør som minimum bortskaffes efter gældende regler for spildevand, udledning til luften og affald, og kan med fordel behandles som farligt affald (Interview med Poul Bo Larsen, UVM og Anders Baun, DTU)

Udledninger via spildevand, luft og affald

Støvholdigt affald er en anden miljøudfordring, som er kendt i industrien, og stiller krav til bortskaffelsen, fordi det kan skabe arbejdsmiljøudfordringer i renovationsbranchen. Fra andre undersøgelser (igangværende projekt – ”Arbejdsmiljøkatalog om håndtering af nanopartikler”) ved vi, at der blandt forskningsinstitutioner og andre industrivirksomheder, som arbejder med nanopartikler og pigmenter, tages særlige hensyn ved bortskaffelsen. Dels behandles nye nanopartikler som miljøfarligt affald, og de håndteres i særlige lukkede beholdere, og dels laves der flere steder særlige aftaler med renovationsvirksomheder og særlige afhentninger af støvholdigt affald fra produktionen.

Miljø og kemikalieregulering

Reguleringen af nanopartikler er lagt ind under REACH. Der er i dag ikke krav om en særlig registrering af et ’nano’materiale. I REACH klassificeres materialer efter deres kemiske sammensætning og form. Der er forskellige tonnage-værdier, som bestemmer, hvornår et materiale skal registreres ud fra den mængde det bliver produceret og anvendt. Der har været initiativer til at lave særlige regler for deklareringen af nanopartikler inden for kosmetik, hvor produkter med nanopartikler skal deklareres inden 2013, og der er iværksat en komite under REACH, som ser på området. Lignende initiativer er ikke på tegnebrættet for farve- og lakprodukter, men det kan ikke udelukkes inden for en årrække (Interview med Poul Bo Larsen, Miljøstyrelsen).

I dansk lovgivning er der mulighed for at lave regler vedr. affaldshåndtering (affald, udledning til luften og spildevand) af nanopartikler, men der er ingen aktuelle planer i øjeblikket (Interview med Poul Bo Larsen, Miljøstyrelsen).

Afgørelser fra den særlige komite under REACH, der beskæftiger sig med nanopartikler, samt Miljøstyrelsen vil være vigtige at holde øje med, fordi det kan give anledning til konkrete efteruddannelsesbehov i forhold til overholdelse af gældende lovgivning.

En nærmere gennemgang af miljølovgivningen i relation til nanoteknologien findes i Larsen (2009).

Opmærksomhedspunkter i arbejdsmiljøarbejdet

Der er fortsat en række ubesvarede spørgsmål omkring de sundhedsrelaterede risici ved brugen nanopartikulær overfladebehandling. Fra et arbejdsmiljøperspektiv er det principielt de luftbårne nanopartikler, som kræver særlig opmærksomhed. Man skal dog stadig ikke glemme, at der kan være problematikker relateret til udsættelse for volatile og semi-volatile stoffer.

Især 2 forskningsprojekter hos NFA har relevans for dette studie:

- 1) Nanofilm, som ser på spraybaserede forbrugerprodukter til overfladebehandling
- 2) Nanokem, som ser på risici inden for farve- og lakindustrien

Erfaringer fra de to projekter viser, at eksponeringsrisici for nanopartikler relaterer sig til forskellige a) anvendelsesområder og b) produkttyper. Det område, som erfaringer relaterer sig bedst til er traditionel sprøjtelakering, der kan være indendørs eller udendørs, og foregå i hhv. i en lukket eller åben produktionsproces – afhængig af produktionsforhold og størrelse på emnet, der overfladebehandles. Øvrige områder som tribologi, glaskeramisk overfladebehandling og tyndfilmsbelægning er ikke nærmere belyst, omend disse også er områder, hvor der er store forventninger til at skabe nye overfladefunktionaliteter med nanopartikler og nanostrukturerede overflader.

Oprindelsen af nanopartikler

Nanopartikler er generelt defineret som et frit objekt med en størrelse på 1-100 nm i mindst én dimension. Dog kan det være relevant at inddrage partikler mellem 100-300 nm i overvejelser om arbejdsmiljø og miljø, da partikler i denne størrelse også kan have særlige egenskaber med betydning for deres miljø og sundhedseffekter. Partiklerne kan have en række forskellige kemiske sammensætninger og strukturer, som afgør deres egenskaber – såvel funktionelle som miljø og sundhedsrelaterede. Dertil kommer, at partikler kan være coatede eller kemisk funktionaliserede, hvilket kan ændre deres egenskaber markant fra det, der forventes ud fra den rene partikel. Nanopartikler kan kategoriseres som:

1. Naturlige partikler
2. Syntetiske partikler
3. Industrielle partikler

Særligt de syntetiske partikler er under mistanke for at være miljø- og sundhedsskadelige. Naturlige partikler findes i almindelig frisk luft og som mineraler i jorden, og bør kun inkluderes i vurderinger af miljø og arbejdsmiljø, hvis de anvendes i produktionen i unaturligt store mængder – hvilket så vidt vides ikke er tilfældet ved farve- og lakindustrien og overfladebehandling. Nanopartikler, der dannes som biprodukt i forbindelse med industrielle processer (f.eks. svejseod i forbindelse med svejsning), kan være en udfordring i arbejdsmiljøet. For overfladebehandlere og sikkerhedsorganisationen på virksomheder, som laver spraybaserede overfladebehandling samt slibning af nanocoatede overflader, er denne kategori af partikler væsentlig at være opmærksom på, da der kan dannes nanopartikler i selve spray- og slibeprocessen (også selv om der ikke er nanopartikler i det oprindelige produkt).

Sundhedsskadelige virkninger

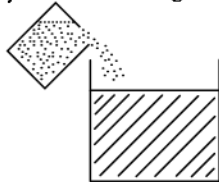
Der er resultater undervejs, som kan være med til at afklare, hvorvidt visse nanopartikulære overfladeprodukter kan være sundhedsskadelige. Resultater fra et studie af eksponering for nanofilm produkter forventes offentliggjort sidst i 2009 eller primo 2010, og vil således kunne inddrages i den endelige analyse. Umiddelbart er der mistanke om, at visse produkter er akut sundhedsskadelige. Der er endnu ikke resultater, der indikerer skadevirkninger ved langtidseksponering. I relation til farve-/lakområdet ventes indsendelse af to artikler i sidste halvdel af 2009 og offentliggørelse i foråret 2010.

Eksponering

Der er publiceret to studier fra NFA inden for området slibning af nanopartikelholdige farve-/lakprodukter og anvendelse af nanofilm spray-produkter. Endnu en artikel er ved at blive indsendt med en detaljeret partikelanalyse af emissioner fra slibning af farve/lak. Disse studier viser generelt kun små ændringer i partikelstørrelsesfordelingen ved slibning af farve/lak. Motoren fra slibemaskinen er den største kilde til luftbårne partikler i nanoskala. Til sammenligning dannes der nanopartikler ved anvendelse af både nanofilm pumpe- og sprayprodukter, og koncentrationerne af både SVOC og nanopartikler kan blive relativt høje ved anvendelse i lavt ventilerede rum. De vigtigste produktionsprocesser at være opmærksom på, hvis man er i tvivl om et produkts skadevirkninger og gerne vil minimere eksponering, er illustreret nedenfor:

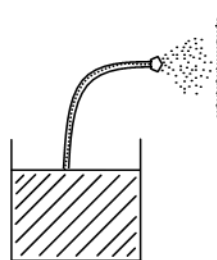
Opmærksomhedspunkter for eksponering for nanopartikler

1) Håndtering af pulver



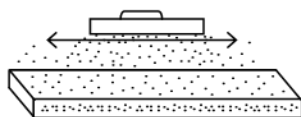
Håndtering af pulver omfatter typer af håndtering fra afvejning, transport, omhældning, opblanding til rensning af filtre o.l., hvor omhældning formentlig er den proces, hvor eksponering vil være størst

2) Påføring ved spray eller dyse



Ved spray eller sprøjtning gennem en dyse skal man være opmærksom på at der kan udledes nanopartikler fra lakken, og at der kan dannes partikler ved en kemisk proces når lakken sprøjtes ud i luften—også selvom der ikke er nanopartikler i lakken.

3) Slibning/polering af overflader



Ved klargøring, slibning og polering af overflader kan der også frigives et mindre antal nanopartikler (og større partikler).

Kilde: Teknologisk Institut 2009

Eksponering vil selvsagt være størst i produktioner, der ikke foregår i lukkede rum/systemer og indendørs. Eksempelvis ved lakering og coating af større emner eller ved mindre produktioner, hvor man ikke har et lukket automatiseret kammer til lakering. Ved udendørs coating af eksempelvis bro- og bygningskonstruktioner vil eksponeringen i udgangspunktet være minimeret, da partikler hurtigt vil blive udtyndet i luften omkring operatøren – medmindre operatøren står direkte i vindretning, eller laver samme type opgave gennem længere tid (Kilde: Keld Alstrup Jensen m.fl. NFA 2009; TI 2009).

Disse 3 opmærksomhedspunkter relaterer sig således direkte til traditionelle overfladeteknikker. Ved en række nye overfladeteknikker som eksempelvis CDV og PDV foregår processerne i lukkede systemer under vakuum, hvorfor der ikke er mulighed for eksponering i den direkte påføring, men det skal i virksomhedsanalysen undersøges nærmere, hvorvidt der kan opstå eksponeringsrisici ved klargøring af processen og efterbehandling.

Arbejds miljøregulering og vejledninger

Der er endnu ikke *specifik* lovgivning, som giver særlige anvisninger for arbejdet med nanopartikler. Dvs. nanopartikler er underlagt de eksisterende regler for arbejdsmiljø og sikkerhed på arbejdspladsen. Lovgivningsområdet er ligesom miljø- og kemikalielovgivningen et område, som også kan skabe behov for efteruddannelse.

Som i miljøarbejdet er der i relation til arbejdsmiljø en række ubesvarede spørgsmål og meget få præcise retningslinjer (og ingen specifik lovgivning). Den principielle anbefaling er derfor at:

- Brugen af støvende og aerosoldannende materialer og processer med nanopartikler (i praksis håndtering af pulvere, slibeprocesser og spray af opløsninger, se figuren ovenfor) bør håndteres udendørs eller med bedst mulige værnemidler.

I virksomhedsanalysen har vi set en række eksempler på arbejdspladser, der anvender retningslinjerne fra epoxybehandling, VOC'er og laboratoriearbejde med kræftfremkaldende stoffer som sikkerhedsstandard. Farve- og lakindustrien og overfladebehandlingsindustrien har i mange år opbygget kompetencer og erfaring til at håndtere giftige kemikalier, epoxy og flygtige opløsningsmidler. Det synes væsentligt, at industrien fastholder denne viden i arbejdet med nanopartikler – også selv mange laksystemer i dag er vandbaseret. Ligeledes at operatører, som kender og kan arbejde under retningslinjerne for håndtering af disse materialer i fremtiden.

Sikkerhedsdataarket

Overflademodificeringen af nanopartikler er som nævnt essentiel for at kunne fremstille et additiv, der kan dispergeres, og som oftest er en forretningshemmelighed. Kemikalielovgivning er udformet således, at det er det aktive stof i et produkt, som registreres (i REACH) og deklarerer i et sikkerhedsdatablad. Det kan betyde, at sikkerhedsdatabladet for et additiv kan være mangelfuldt, fordi det aktive stof (nanopartiklen) er registreret med henvisning til miljø- og sundhedstest baseret på partiklen alene, eller et bulkmateriale af samme stof - uden særligt hensyntagen til den kemiske modificering (Interview med Lektor Anders Baun, DTU-Miljø). Opmærksomhedspunkter som dette kan være relevant at lægge ind i grund-, hovedforløb eller efteruddannelse rettet mod arbejdsmiljø og miljøkoordinatorer.

6 Behovet for uddannelse

Dette kapitel præsenterer 3 væsentlige diskussioner vedrørende behovet for udvikling af egentlige efteruddannelsesinitiativer på baggrund af den viden, vi har fra litteraturstudiet og virksomhedsanalysen.

Fra tidligere undersøgelser (Teknologisk Institut, 2009) og virksomhedsanalysen ved vi, at der på det nanoteknologiske område er en tradition for intern oplæring i et samspil mellem F&U afdelinger og operatører i produktionen. Det skyldes ikke mindst beskyttelse af viden, som er unik og konkurrencegivende på et område, hvor teknologien og viden om anvendelse af nye materialer er i hastig udvikling, men selvfølgelig også i mangel på (eller mangel på kendskab til) eksisterende efteruddannelsestilbud. Vi ved også, at udbredelsen i dag er ret begrænset herhjemme.

Dette giver anledning til tre overvejelser, som er relevante for udbuddet af efteruddannelse i Danmark.

- I hvilket omfang vil der i fremtiden være volumen til at dække en efteruddannelse på område?
- I hvilket omfang vil virksomheder være interesserede i at anvende eksterne efteruddannelsestilbud på dette område?
- Kan bedre uddannede operatører spille en større rolle forbindelse med omsætning af F&U til egentlig produktion?

De efterfølgende tre afsnit giver en diskussion og vurdering af disse overvejelser.

Udbredelse i dag og fremover

Ifølge Møller (Overfladeteknologi – Innovation og Vision) er flere af teknikkerne i tabel 4 (se kapitel 4) af mindre kommerciel betydning og udbredelse i dag. Ud fra virksomhedsanalysen vurderes der at være mellem 20-30 vakuumanlæg og nogle få plasmaanlæg på virksomheder, universiteter og GTS-institutter i Danmark. Dvs. at nogle (men langt fra alle) har kommerciel produktion på disse anlæg allerede i dag. Således vil der formentlig ikke være volumen til at dække et selvstændigt AMU-mål i dag på området. Udstyret kræver i dag store investeringer og produktionsomkostninger, men i lyset af den relaterede intensive og fremskredne udvikling på området, vurderes begge områder at vokse (kommercielt set) i fremtiden.

I dag er udbredelsen af kommercielle nanoteknologiske laksystemer til traditionel påføring begrænset. Som tabel 1 (se kapitel 3) illustrerer, er der i Danmark en del udvikling og forsøg i gang – særligt med anvendelse af sol-gel baserede laksystemer. Også hos udenlandske producenter er der udvikling og forsøgsaktiviteter i gang, og det forventes derfor, at udbuddet af laksystemer, der er funktionaliseret med nanopartikler, vil vokse betragteligt inden for de nærmeste år.

Hvorvidt disse produkter vinder stor udbredelse er derimod noget mere usikkert. En række forhold gør sig gældende her:

- Prisen på de nye laksystemer er i dag væsentligt dyrere end traditionelle systemer. Der ses dog en væsentlig prisreduktion på kommercielle nanopartikler allerede i dag. Hvorvidt dette vil smitte af på priserne på nye additiver og laksystemer, vil uden tvivl influere på omfanget af anvendelsen i dansk overfladebehandlingsindustri.

- Der er fortsat usikkerhed om levetiden på produktets nye funktionaliteter/effekter. De fleste overfladebehandlere er underleverandører til større producenter, som kræver kvalitetsgarantier fra overfladebehandleren eller malingsproducenter. Det gælder ikke mindst overflader, som er ekstremt glatte eller afvisende, da genbehandling kan være problematisk (f.eks. overflader med rens-let, anti-graffiti og ridsefrie). Da de nye produkter endnu ikke har flere år på bagen, findes der ikke praktisk erfaring at støtte sig til. Samtidig er der ikke nødvendigvis etableret standardiserede tests for langtidsholdbarheden af nye effekter. Derfor er mange tilbageholdende med at gå forrest i en kommerciel anvendelse af nye nanoteknologiske laksystemer.
- Der er fortsat mange usikkerheder og ubesvarede spørgsmål vedrørende arbejdsmiljø, miljø samt forbrugeraccept, som ligeledes afholder mange virksomheder fra at gå ind på området. Herunder er usikkerheden om, hvilke standarder og regulering området pålægges, en medvirkende faktor.

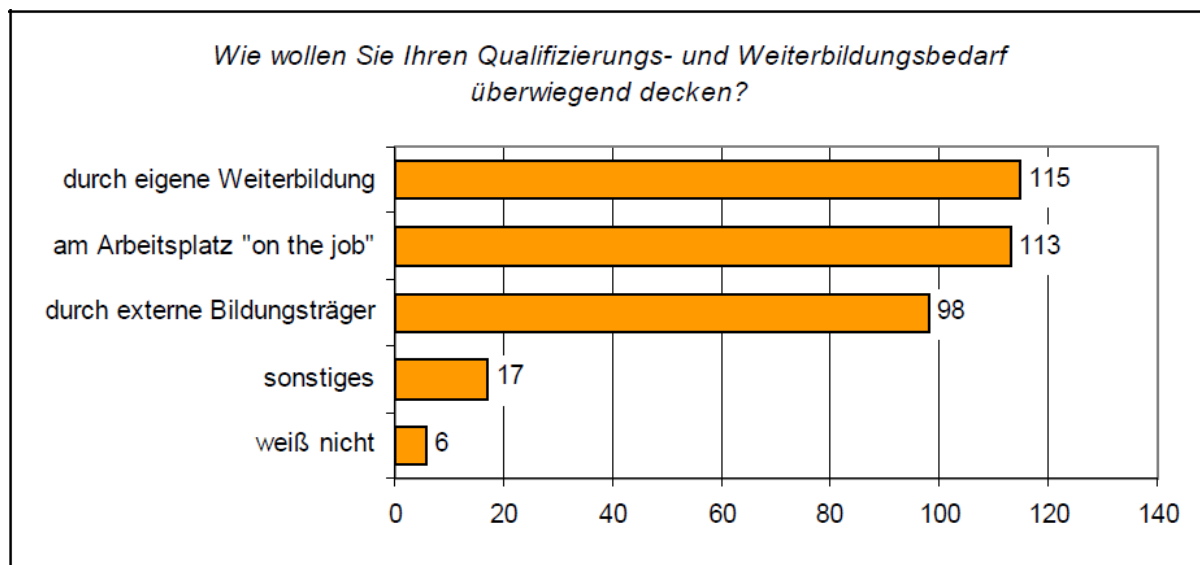
Set i forhold til et eventuelt efteruddannelsesbehov i industrien er disse problematikker tvetydige. På den ene side taler usikkerhederne for, at der ikke vil være en bred nok anvendelse til at dække en efteruddannelse. På den anden side kan udvikling af en efteruddannelse baseret på eksisterende viden og praktiske erfaringer (og med en løbende opdatering) være med til at imødekomme de ubesvarede spørgsmål omkring kvalitet og sikkerhed og give industrien herhjemme et konkurrencemæssigt løft.

I en fremtidssikring af udbuddet af AMU-mål anbefales det derfor at overvåge sol-gel, plasma og vakuum teknikkernes udbredelse og lave en løbende vurdering af, om de vinder stor nok udbredelse til, at der kan opstå et egentligt efteruddannelsesbehov.

Hvilken type opkvalificering

Fra en bredere tysk undersøgelse om efteruddannelsesbehov i den tyske nanoindustri, tegner sig et billede af et ønske om at kunne opkvalificere medarbejdere med egne uddannelser, omend intern oplæring og ekstern uddannelse også her fylder en del.

Figur 4: Præferencer for opkvalificering i Tyskland



Kilde: Abicht 2008

Det tyske billede bør ikke uden videre overføres til danske virksomheder, da der i den tyske undersøgelse indgår en række meget store virksomheder, som i modsætning til mange SMV'er i Danmark har bedre mulighed for at opstille egne uddannelser.

Uddannelsessystemets rolle i udviklingen

Hvorvidt uddannelse kan spille en proaktiv rolle i udviklingen afhænger af, hvilke efteruddannelsesmuligheder der findes, og hvordan de danske virksomheder vælger at organisere deres arbejde. I rapporter fra Danmark og Tyskland (Teknologisk Institut 2009, Albicht 2005) samt på UVM's CAP-konference (DGI-byen, september 2009) lægges der op til en diskussion af erhvervsfaglige medarbejders rolle i industriens fremtidige optag af nanoteknologi. Det fremhæves blandt andet, at overfladebehandlere og andre erhvervsfaglige kan spille en mere aktiv rolle, som bindeled mellem F&U og produktion i samspillet mellem ingeniører, laboranter o.l. samt eksternt i forhold til leverandører og videnmiljøer. Det være sig ved opstilling af testproduktioner, opskalering af laboratorieforsøg, kvalitetskontrol og videnhjemtagning.

Som nævnt tidligere, er det for nuværende begrænset, hvor mange danske virksomheder, der benytter nanobaserede teknologier i deres produkter eller som en integreret del af deres produktionsprocesser. Derfor er det også relativt få faglærte og ufaglærte der indtil videre er beskæftiget i jobs, hvor der indgår arbejde med nanopartikler og -teknologier. Der hvor nanoteknologier indgår i produkter og processer i Danmark, er det oftest halvfabrikata eller måleudstyr importeret fra udlandet (eller meget små special-serier fremstillet i Danmark). Indtrykket fra virksomhedsanalysen er imidlertid, at i takt med, at nanoteknologi vinder indpas i produkter og processer, som det er tilfældet i Tyskland, vil det ingeniørtunge, mere udviklingsprægede arbejde gradvist kunne varetages af faglærte og ufaglærte medarbejdere, fordi processerne og materialerne overgår til drift og kan håndteres med mere og mere brugervenlige brugerflader/maskiner i en daglig drift.

Som billedet er nu, benytter virksomhederne sig i uddannelsessammenhæng næsten udelukkende af målrettet sidemandsoplæring suppleret med de eksisterende kursustilbud til industri- og procesoperatører. I et lidt længere perspektiv vil faglærte og ufaglærte i følge virksomhederne formentlig også få brug for mere viden om den kemi og fysik, som ligger til grund for teknologien - også selvom produktionsapparatet bliver mere brugervenligt. Det kan skyldes, at eksempelvis

fejlfinding og kvalitetskontrol kan ændre karakter som følge af de nye teknologier, og kræve ekstra viden om disse fagområder.

Disse aspekter bør også overvejes i forhold til efteruddannelse af faglærte og ufaglærte i industrien.

7 Inspiration til jobprofiler

I takt med at udredelsen af nanomaterialer og nyt udstyr udbredes i Danmark, kan der udvikles særlige jobprofiler, som bør understøttes af uddannelse og efteruddannelse. Dette forventes ikke inden for de næste år. Jobprofiler kan dog være et godt redskab til at skabe overblik fremtidige kvalifikationskrav og uddannelsesbehov på et givent område. Til inspiration for udvalg på området præsenterer dette kapitel derfor to udvalgte jobprofiler fra et tysk studie, som opridser kvalifikationskravene til operatører i den tyske nano/farve-lakindustri.

Tyske jobprofiler

ISW i Tyskland har fra 2003-2005 lavet en gennemgribende analyse af den tyske nanoindustri med fokus på identificering af kvalifikationer blandt faglærte. Analysen har blandt andet affødt en specifik jobprofilbeskrivelse, som kan danne udgangspunkt for en fremtidig tysk erhvervsfaglig uddannelse eller specialisering i nanooverfladebehandling.

Analysen er så vidt vides den eneste af sin slags, og er et godt udgangspunkt for diskussioner af efteruddannelsesbehov blandt danske operatører i overfladebehandlerindustrien grundet det tætte samspil mellem dansk og tysk overfladebehandlingsindustri og indkøb af farve/lak, additiver o.l. fra tyske leverandører.

CASE: Tysk jobprofil for nanooverfladebehandler

Nedenfor ses en oversættelse af jobprofilen for en nanooverfladebehandler i den tyske nanoindustri. Profilen giver et overblik over arbejdsområder og kvalifikationsbehov for denne type arbejde

Arbejdsområde anvendelse	og	Specialist i nanooverfladebehandling i virksomheder og i F&U institutioner med fokus på nanocoating. Arbejdsområdet er koncentreret om at producere og behandle ultratynde overflader inden for en bred vifte af anvendelsesområder. Området omfatter hele coatingprocessen fra forberedelse af overflader og råmaterialer, coating og opfølgingsbehandling og kvalitetssikring. Udover at arbejde med serieproduktion arbejder de også med individuelle emner.
Kontaktpunkter nuværende kvalifikationer	med	Eksisterende erhverv indenfor fysik, teknik, kemi og mikroteknologi.
Kundskaber og viden - tekniske færdigheder	-	Grundig viden om overfladefysik og overfladeteknikker samt overfladeanalyse (f.eks. mikroskopi, spektroskopi, lasermålingsteknologi). Grundlæggende matematik, kemi og fysik med indgående kendskab til nanodimensionelle overflader og tynd coating teknologi. Grundig anvendelsesrelateret viden og viden om coating og coating procedurer. Omfattende viden om materialer og deres karakteristika, især glas, metaller, polymerer og keramiske materialer. Viden om klassificerings- og kvalitetsstandarder, f.eks. ISO-standarder såvel som brugsanvisninger, sikkerhedsdatablade, industriel sikkerhed og miljøbeskyttelse. Godt kendskab til engelsk og teknisk engelsk.
Færdigheder og evner - metodiske kompetencer	-	Udføre overfladecoating ved hjælp af moderne maskiner og industrianlæg. Mestre forskellige kemiske og fysiske procedurer i forbindelse med coating af ultratynde overflader, især inden for kemisk dampudfældning(CVD), PECVD, MOCVD og fysisk dampudfældning (PVD), forstøvning og katodebuebelægning. Anvende epitaksiteknikker, vakuummetaliserings, tyndfilmteknologi, SOL-GEL processer, galvanisk adskillelse, coating og kemiske immersionsprocesser. Udføre coating på metaller og metalforbindelser, polymerer, glas og keramiske materialer. Anvende industrielle systemer, instrumenter og maskiner til coating (støbmaskiner, plasma- og katodeforstøvningssystemer) og styre processen ved hjælp af procesteknologi. Kvalitetssikre halvfabrikata, slutprodukter ved hjælp af analysemetoder til ultratynde coatings

	og nanooverflader.
Personlige karakteristika, sociale kompetencer	Fleksibilitet, disciplin, kontrollere for tekniske fejl, ansvarlighed
Andet	Bæredygtig arbejdsproces

Kilde: (oversættelse i TI 2009 fra Albicht et al 2005)

Jobprofilen er ikke helt specifik med benævnelsen af, hvilke metoder og teknikker en nanooverfladebehandler skal kunne håndtere, men det foreslås, at en viderebearbejdning tager udgangspunkt i de nævnte påføringsteknikker og teknologier, som er fremhævet i kapitel 4. Jobprofilen er heller ikke specifik på, hvad kompetencer i bæredygtige arbejdsprocesser indebærer. Dette kan kapitel 5 kaste yderligere nærmere lys over.

CASE: Jobprofil for medarbejder i den kemiske procesindustri

For medarbejdere i farve- og lakindustrien (og den øvrige procesindustri) kan der være inspiration at hente i en jobprofil for 'nanokanter' analysen:

Arbejdsområde og anvendelse	Indsatsområder for nanokanter er små og mellemstore virksomheder samt storforetagender inden for den kemiske industri eller i lægemiddel-industrien (sværvægte i nanoteknologien). Nanokanter arbejder i tæt samarbejde med ingeniører, teknikere og faguddannede medarbejdere med kvalitetssikring for øje. De styrer og overvåger kemiske produktionsanlæg eller delområder deraf og gennemfører til dels kvalitetskontrol i forløbet. Deres arbejde indbefatter opgaver for organisationen og gennemførelse af logistikopgaver.
Kontaktpunkter med nuværende kvalifikationer	Kemikere, farmaceuter, proces teknikere, kemoteknikere, farmoteknikere.
Kundskaber og viden - tekniske færdigheder	Basisviden om matematik, kemi, biokemi, biologi og fysik, som er orienteret mod nanoteknologi, f.eks. dimensionsforståelse. Speciel viden om kemi, især kemiske reaktioner og syntese, samt fysik og kemisk-fysiske reaktionskæder og deres parametre. Stor viden om industrielle, kemiske produktionsprocesser og teknikker til produktion af nanopartikler, nanopulver eller nanobelægninger. Gode analytiske kundskaber og fremgangsmåder ved procesovervågning og styring. Viden om specifikke kvalitetsstandarder (ISO- og DIN-normer) for produktionen. Stor viden om forordninger vedr. arbejderbeskyttelse, farlige stoffer, beskyttelse mod brand og miljøbeskyttelse, herunder forståelse for og forebyggelse af fare.
Færdigheder og evner - metodiske kompetencer	Gode færdigheder inden for forskellige fremstillingsprocesser af nanopartikler og nanobelægninger i industriel målestok. Hertil hører Sol-Gel-processen, kemiske dampfasesynteser (CVD) samt kemiske og fysiske dampfaseudledninger (CVD, PECVD, PVD). Færdigheder, som kan komme til anvendelse ved ætseteknikker og galvanoteknikker til bearbejdelse af overflader og også gerne sinterprocesser til fremstilling af materiale af nanopartikler. Færdigheder til gennemførelse af kvalitative og kvantitative analysemetoder (overvågning af produktionsprocessen). Betydelige evner inden for betjening af procesledeteknik (styring og overvågning af produktionsanlæggene). Kendskab til gennemførelse og indledning af service og reparationsarbejde (f.eks. udskiftning af filter eller pumpe). Evner til at gennemføre og koordinere transport- og logistikarbejde.
Personlige karakteristika, sociale kompetencer	God teknisk forståelse Stor fleksibilitet og udholdenhed I stand til at tænke i sammenhænge Omfattende og udpræget teknisk interesse og meget initiativrig Meget samvittighedsfuld og meget nøjagtig.
Andet	

Kilde: Oversættelse fra Abicht et al 2005

Begge jobprofiler ligger som flere andre i de tyske studier i spændrummet mellem EUD og KVU, og der ses en del overlap til profilen for nanooverfladebehandler. Profilen er ikke enstemmig med arbejdsopgaver og kvalifikationskrav i den danske farve- og lak industri, men de kan bidrage til uddannelsesudvalgenes fremtidige arbejde med at overvåge og udvikle uddannelsestilbuddene på området.

8 Konklusioner og anbefalinger

Dette kapitel samler konklusioner og anbefalinger fra analysen, samt giver et samlet bud på behovet og anbefalinger til det faglige udvalgs arbejde med overvågning og udvikling af fremtidige uddannelsesinitiativer på området.

Vurdering af behovet for nye efteruddannelsesstilbud

Nanobaserede teknologier inden for farve-/lakindustrien har som tidligere nævnt vist sig at have en – i hvert fald indtil videre – meget begrænset udbredelse i industrien i Danmark. Det betyder også, at der i skrivende stund ikke kan påvises presserende behov for justeringer af erhvervs- og efteruddannelsesmulighederne henvendt til den danske farve-/lakindustri, som følge af ændrede kvalifikationskrav til medarbejderne i produktionen.

Alligevel er der tegn på, at nanoteknologi kan være på vej til at vinde større udbredelse i Danmark inden for en overskuelig årrække. Det er især følgende tendenser, der kunne pege i den retning:

- En række nanoteknologiske farve-/lakprodukter, som kan anvendes med eksisterende påføringsteknikker og udstyr, har inden for de sidste par år set dagens lys
- Forskningsresultater benyttes i stigende grad til konkrete forsøg og test i industrien
- Der er stigende generel bevågenhed omkring nanoteknologi og nanoteknologiens muligheder i mange forskellige sammenhænge
- Der laves mere forskning i de miljømæssige og arbejdsmiljømæssige udfordringer forbundet med nanoteknologi end tidligere, hvilket må forventes at mindske usikkerhederne omkring nanomaterialer
- Nanoteknologisk viden og kompetence er central konkurrenceparameter for nye, store landvindinger på områder som for eksempel medicin og materialeteknologi. Det kan have afsmittende effekt på udviklingen af nye produkter til forskellige former for overfladebehandling
- Prisen på nanoprodukter er nedadgående

Vi kan derfor på baggrund af analysen pege på en række forhold, som branchen med fordel kan bringe i fokus, med henblik på også i fremtiden at kunne matche de behov og forventninger som overfladebehandlingsindustrien har til erhvervs- og efteruddannelsesmulighederne på området.

Det tyder på, at der sker en, omend langsom, 'nedsivning' af ændrede jobkrav, og deraf nye kvalifikationskrav som følge af udvikling af nye nanoteknologiske muligheder. Dette skal forstås på den måde, at der på nuværende tidspunkt pågår overvejelser og udviklingsaktiviteter i branchens ledelses- og udviklingsmiljøer omkring nanoteknologiernes anvendelighed i dansk kontekst. Den danske overfladeindustri producerer primært små, nicheprægede serier, hvorfor de nanoteknologiske muligheder generelt først bliver interessante, hvis det er muligt at integrere og anvende disse teknologier med det eksisterende produktionsapparat (påføringsteknikker). Så længe ledelses- og udviklingsmiljøerne sonderer de nanoteknologiske muligheder – herunder især de potentielle sundhedsmæssige og arbejdsmiljømæssige risici – er de tydeligvis tilbageholdende med at tage nanobaserede teknologier i anvendelse.

Når disse forhold hen ad vejen er blevet afklaret, vil mulighederne formentlig gradvist integreres i produktionen, og først når det er ved at ske, vil eventuelle ændringer i jobindhold og arbejdsmiljø slå igennem i produktionsmiljøerne. Den ret entydige vurdering fra denne analyses respondenter er, at de på nuværende tidspunkt ikke forventer nogen ændringer i jobindhold og kvalifikationskrav for

produktionsmedarbejdere, der kommer til at arbejde med nano – medmindre det altså viser sig, at der er særlige sundhedsmæssige og arbejdsmiljømæssige risici forbundet med arbejdet.

Figur 5 nedenfor illustrer et principielt udviklingsforløb frem mod en fremtidig justering af efteruddannelsestilbuddene til overfladeindustrien. Den røde stiplede linje markerer vores indtryk af, hvor i processen vi befinder os i skrivende stund.

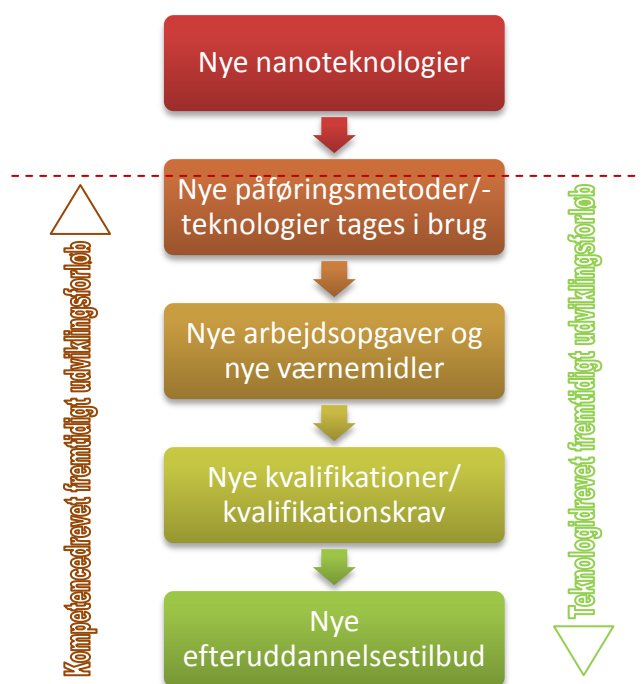
Denne udvikling skabes og påvirkes naturligvis af et komplekst sæt faktorer, men i denne sammenhæng kan det være formålstjenligt at skelne mellem, hvad man kunne kalde et 'teknologidrevet udviklingsforløb' og et 'kompetencedrevet udviklingsforløb' – illustreret med henholdsvis den grønne og den røde tekst-pil i figuren.

Det teknologidrevne udviklingsforløb udgør velsagtens den klassiske tænkning omkring teknologisk udvikling; implementering af nye teknologier (produkter og processer) skaber ændringer i jobkrav og kompetencebehov i jobbene – og derfor også nye behov for efteruddannelse på det pågældende jobområde.

Men man kan samtidig forestille sig, at nye muligheder for efteruddannelse omvendt kan fungere som katalysator for en videre teknologisk udvikling i overfladebehandlingsindustrien. I det omfang forskningsresultater og tidlige industrielle tests med relativt kort tidshorisont omsættes til nye uddannelsestilbud for industriens medarbejdere, kan man forestille sig et medarbejderdrevet træk på den teknologiske udvikling i overfladebehandlingsindustrien. Operatørernes ny erhvervede viden og kompetencer kan dels i bred forstand medvirke til at forbedre virksomhedens teknologiske udsyn, men vil også mere direkte, og på forkant, bidrage til at styrke virksomhedernes evne til (og muligheder for) at i praksis at tage nanoteknologiske muligheder i anvendelse.

Potentialet i denne katalysatoreffekt kan være interessant for branchen at studere nærmere, også set i lyset af den aktuelle konkurrencesituation i branchen (se også næste afsnit).

Figur 5: Det teknologidrevne og kompetencedrevne udviklingsforløb, som skaber behov for nye efteruddannelsestilbud for produktionsmedarbejdere i overfladebehandlingsindustrien.



I næste afsnit beskrives mere udfoldet det indtryk, analysen giver af den kommende udvikling på området, og de konsekvenser udviklingen kan have for produktionsmedarbejdernes jobindhold, de dertil knyttede kvalifikationskrav, og betydningen for efteruddannelsestilbud.

Udviklingsscenarier med betydning for fremtidens uddannelsesbehov

Overfladebehandlingsindustrien oplever i øjeblikket tilsyneladende et konkurrencepres på to fronter. Dels på de "store, konventionelle" ordrer/serier, som i stigende grad udføres i f.eks. Kina eller Østeuropa, fordi det er billigere dér og (snart) lige så godt. Og dels på de "specialiserede, højteknologiske" niche-ordrer fra især Tyskland, som er længere fremme med spydspidsteknologierne, end de danske virksomheder er. Her skal så endda tilføjes, at et land som Kina samtidig gør store forskningsmæssige fremskridt, og derfor også på den højteknologiske front, efterhånden haler ind på Europa.

Så hvor konkurrerer den danske overfladebehandlingsindustri egentlig lige nu? Hvilke kompetencer, og hvilken efteruddannelse er der brug for, for at ruste industrien bedst muligt i lyset af konkurrencesituationen?

Dette spørgsmål er ikke let at svare på. Men så længe nanoteknologiske overfladebehandlingsløsninger kan påføres med konventionelle metoder, er det korte svar, at der på kort sigt ikke vil være behov for en radikalt ændret indsats, hvad angår efteruddannelse.

Kompetenceprofilen for 'den velkvalificerede operatør' i den danske overfladebehandlingsindustri vil alt andet lige afhænge af, hvilken vej de strategiske vinde blæser i den nærmeste fremtid.

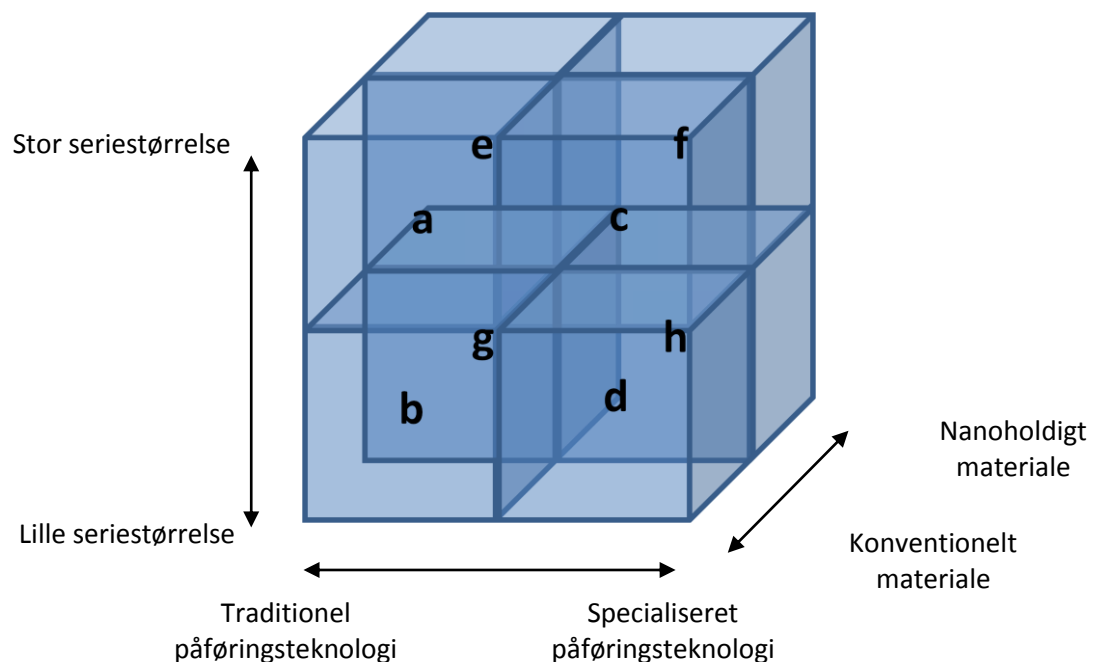
Der er tilsyneladende tre dimensioner, som vil have særlig indflydelse på, hvilke krav der bliver stillet til fremtidens operatør i overfladebehandlingsindustrien, og som derfor vil være bestemmende for, hvilke krav der stilles til efteruddannelse på området. Det drejer sig om:

- **Seriestørrelse (lille // stor)**: Størrelsen af de serier som overfladebehandles i Danmark er bestemmende for, om de danske overfladebehandlingsvirksomheder konkurrerer på den kvalitative eller den kvantitative dimension: Store serier, som produceres til lavest mulige stykpris (og dermed er i konkurrence med østeuropæiske og kinesiske virksomheder), og de små nicheprægede serier ("high end") som kræver særlig ekspertise (og dermed er i konkurrence med især tyske virksomheder).
- **Påføringsteknikker og teknologi (traditionel // specialiseret)**: Vi skelner her mellem traditionelle teknologier (f.eks. sprøjtepistol, valse, kar) og udstyr specielt udviklet til særlige opgaver. Virksomhedsanalysen har vist, at nanoteknologiske overflader i dag påføres med såvel traditionelle og nye specialiserede påføringsteknikker og teknologi, og at valget af teknik kan åbne markedsmuligheder af meget forskellige art.
- **Materiale (konventionelt // nanopartikelholdigt)**: Denne dimension vedrører, hvorvidt overfladebehandlingen anvender nanopartikler eller ej. Nanopartikler kan bidrage til at forbedre eksisterende funktioner i overfladen på linje med traditionelle systemer, og kan desuden bidrage med helt nye funktionaliteter og integration af flere funktioner (multifunktionelle overflader), som kan åbne nye markeder for overfladebehandlere (eksempelvis ved behandling af nye typer emner i plast, glas, træ og metaller).

Vi ser ud fra disse tre dimensioner otte scenarier for fremtidens efteruddannelse henvendt til overfladebehandlingsindustriens operatører, som hver især vil stille forskellige krav til uddannelsernes indhold og sammensætning; alt afhængig af det strategiske sigte for branchen.

Figuren nedenfor viser de otte scenarier i forhold til de tre centrale dimensioner.

Figur 6: Otte branchescenarier for konteksten for fremtidens efteruddannelse



Vi har således otte scenarier, der kort kan beskrives som følger, hvad angår krav til og behov for efteruddannelse for branchens produktionsmedarbejdere:

- a) Store seriestørrelser produceret med traditionel påføringsteknologi og konventionelle materialer
 - Produktionen er karakteriseret ved en høj grad af automatisering på anlæg med stor kapacitet og kort gennemløbstid, og efteruddannelse vil primært fokusere på udvikling af operatørernes kompetencer til at betjene og fejlrette på anlægget.
- b) Små seriestørrelser produceret med traditionel påføringsteknologi og konventionelle materialer
 - Produktionen består i høj grad af manuelt arbejde på komplekse eller skiftende typer af emner, og efteruddannelse vil primært fokusere på at opøve og forfine operatørernes håndelag og arbejdsteknikker i henhold til høje kvalitetskrav.
- c) Store seriestørrelser produceret med specialiseret påføringsteknologi og konventionelle materialer
 - Specialtilpassede og højeffektive robotter/anlæg anvendes til produktion af et stort antal emner, hvortil der stilles høje kvalitetskrav til hvert enkelt emne. Efteruddannelse vil primært fokusere på udvikling af kompetencer til kvalitetskontrol og dertil hørende justeringer af anlægget/robotterne.
- d) Små seriestørrelser produceret med specialiseret påføringsteknologi og konventionelle materialer
 - Specialiseret produktion af high-end nicheprodukter eller nichekomponenter. Efteruddannelse vil primært fokusere på betjening, justering og videreudvikling af specialudstyret, der bruges i produktionen.
- e) Store seriestørrelser produceret med traditionel påføringsteknologi og nanoholdige materialer
 - Komponenterne der her overfladebehandles, henvender sig til ekspanderende markeder med stor efterspørgsel på komponenternes særlige overfladeegenskaber (f.eks. til bilindustrien). Bedre holdbarhed eller højere kvalitet karakteriserer de overfladebehandlede komponenter. Efteruddannelse vil primært fokusere på sikkerhed, arbejdsmiljøforhold og kvalitetsstandarder.
- f) Store seriestørrelser produceret med specialiseret påføringsteknologi og nanoholdige materialer
 - Overfladebehandling af komponenter, der udgør en kompleks og kritisk del af andre store industriers produktion (f.eks. mikrochips eller medicin). Efteruddannelse vil fokusere på at sikre et højt videnniveau hos operatørerne, både hvad angår materialer, processer og kvalitetskontrol.
- g) Små seriestørrelser produceret med traditionel påføringsteknologi og nanoholdige materialer
 - Overfladebehandling af komponenter med udvalgte, særlige egenskaber - for eksempel ridsefasthed eller bakterieresistens. Komponenterne er billigere og/eller af højere kvalitet end tilsvarende komponenter overfladebehandlet med konventionelle materialer. Efteruddannelse vil her primært fokusere på at vedligeholde og videreudvikle operatørernes kompetencer.

- h) Små seriestørrelser produceret med specialiseret påføringsteknologi og nanoholdige materialer
- Specialiseret, forskningspræget specialproduktion af high-end nicheproduktioner med høje kvalitetsstandarder (f.eks. inden for industrielt værktøj, rumfart o.l.). Høj enhedspris og højt videnindhold. Efteruddannelse vil være karakteriseret ved en meget høj grad af specialisering, både hvad angår materialer, processer og kvalitetskontrol.

Ud fra tilbagemeldinger på de strategiske overvejelser i relation til nanoteknologi blandt F&U og produktionsansvarlige i de virksomheder, som indgår i virksomhedsanalysen, synes det mest realistiske scenarie på den korte bane at være, at overfladebehandlingsvirksomheder vil satse på en udvikling med brug af nanopartikler i laksystemer til traditionelle påføringsteknikker og teknologi i mindre specialiserede serier.

På den lidt længere bane synes der dog at være behov for også at se efter nye markedsmuligheder med brug af nye påføringsteknikker og teknikker samt en opbygning af praktisk viden om anvendelse af nye materialeegenskaber i overfladebehandlingsindustrien. Hvis overfladebehandlingsindustrien indgår mere direkte i udviklingen af nye anvendelser for nanomaterialer og nye påføringsteknikker, øger det chancerne for at komme ind på nye markeder (hvilket for mange er nødvendig i lyset af den stigende konkurrence i Østeuropa og Kina på traditionelle produktioner). Hvis danske overfladebehandlingsvirksomheder kan bidrage med praksisviden om anvendelser af nye materialer og teknikker, vil det give incitament for store danske og europæiske videntunge slutproducenter til at fastholde overfladebehandlingsleverancer til nye produkter herhjemme. Her kan efteruddannelse og kompetenceudvikling spille en proaktiv rolle (jf. figur 5).

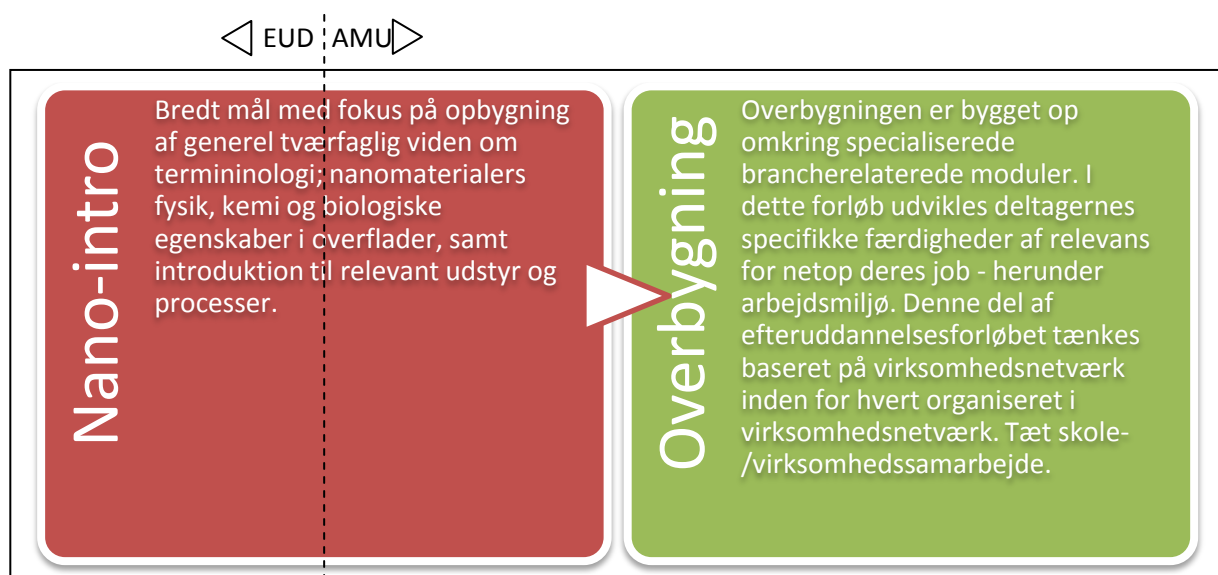
Forslag til efteruddannelsesmodel

I den udstrækning, at udviklingen går i retning af en større udbredelse af brugen af produkter og processer, hvori nano-teknologi indgår, kan man forestille sig, at behovet opstår for mere specialiserede og fokuserede efteruddannelsesforløb.

Med henblik på at overvåge udviklingen og skabe et fundament for at sikre et relevant og praksisnært udbud af efteruddannelse, er en mulighed at tænke i trinopbyggede efteruddannelsesmuligheder, idet behovet for specialisering hos medarbejderne i produktionen vil være meget varieret afhængig af karakteren af virksomhedens produktion.

Et modulopbygget AMU-forløb kunne skitseres som følger:

Figur 7: Trinopbygget model for fremtidens efteruddannelse i overfladebehandlingsindustrien



Tanken med overbygningen er at lave et uddannelsesstilbud til operatører med erfaring i virksomheder, som gerne vil i gang med at anvende nye nanomaterialer og/eller udstyr. Det foreslås, at overbygningen laves i virksomhedsnetværk – evt. med bidrag fra GTS eller universitetsmiljøer. På den måde sikres adgangen til praktisk erfaring om brugen af nanomaterialer og nyt specialiseret udstyr, som i dag ikke findes på skolerne. Virksomheder inden for samme type produktion eller anvendelsesområde kan dele gode erfaringer og sammen opbygge kompetence på området. Forløbet vil ligeledes kunne bibeholde en god balance mellem teori, erfaring og praktik.

Der er eksempler på, at branchen tidligere med gode resultater har anvendt virksomhedsnetværk i efteruddannelsessammenhæng. Beck og Jørgensen gennemførte i samarbejde med tre andre virksomheder (Hempel, Flint Group og Dyrup) og Københavns Tekniske Skole et efteruddannelsesforløb for operatører om 'Produktionskemi i farve- og lakindustrien'. Forløbet blev indledt af undervisning på Københavns Tekniske Skole, hvorefter operatørerne modtog undervisning på hver af de deltagende virksomheder i emner og temaer, hvor de respektive virksomheder har særspecialiseret kompetence. Det er et eksempel på en metode til gensidig udnyttelse af branchens videnressourcer og kompetencer – og kan være foregangseksempel for en model for efteruddannelse af overfladebehandlere og andre brancher, som arbejder med nanomaterialer.

Den sorte ramme i figuren indikerer, at forløbet for en dels vedkommende eventuelt med tiden kan integreres i EUD-sammenhæng.

Efteruddannelse af faglærere

I og med det indtil videre er begrænset med udbredelsen af nanoteknologi i dansk kontekst, kan første trin i retning af at fremtidsorientere branchens efteruddannelsesmuligheder være at efteruddanne lærerkræfterne i den eksisterende efteruddannelsesstruktur.

Der er i øjeblikket ikke behov for en egentlig omorganisering af efteruddannelserne henvendt til overfladebehandlingsindustrien, men med en skærpet opmærksomhed og forøget viden omkring nanoteknologiens muligheder og udviklingstendenser hos lærerstaben, vil der kunne opnås i hvert fald to fordele, som er relevante på nuværende tidspunkt:

1. Efteruddannelse af lærerne omkring nanoteknologiens nuværende betydning for produkter, processer og arbejdsmiljø, vil gøre det muligt at integrere undervisning på dette felt i de allerede eksisterende efteruddannelsesmuligheder
2. Opdateret viden om nano i lærerstaben vil medføre en øget opmærksomhed på de kommende udviklingstendenser på området, og på den baggrund kan det løbende vurderes i samarbejde mellem udvalg, skoler og virksomheder, om der er basis for at udvikle nye efteruddannelses tilbud

Lærere som i dag underviser industrideknikerne, procesoperatørerne, autolakererne, plastmagerne og epoxyfaglærerne er som udgangspunkt i målgruppen for et efteruddannelsesforløb. Det faglige fokus for efteruddannelsen kunne lægges på terminologi, processtyring ved dispergering af nanopartikler, overfladebehandlingsteknologier, arbejdsmiljø og miljø, praktiske anvendelser m.fl.

Fokusområder for fremtidig overvågning

Som nævnt er udbredelsen af nanoteknologi fortsat begrænset inden for farve- og lak samt industriel overfladebehandling. Der er dog en række forhold, der peger på, at udbredelsen vil vokse de nærmeste år, og der kan opstå efteruddannelsesbehov. For at fremtidssikre det eksisterende udbud af uddannelser og efteruddannelser på området, anbefales det, at det faglige udvalg og sekretariatet i fællesskab har opmærksomhed på følgende områder:

- REACH og OECD's arbejdsgrupper og komiteer vedr. nanoteknologi f.eks. via Miljøstyrelsen og Sundhedsstyrelsen
- Udarbejdelsen af arbejdsmiljøvejledninger og redskaber – herunder arbejdsmiljøkataloget om håndtering af nanopartikler, som forventes at blive udgivet i efteråret 2010 af Industriens Branchearbejdsmiljøråd, Branchearbejdsmiljørådet for Uddannelse og Forskning samt Videnskabsministeriet
- Nanopartikel- og emzymholdige additiver til laksystemer via leverandører i Tyskland, USA og udviklingsmiljøer i Danmark
- Den industrielle udbredelse af sol-gel/silan baserede laksystemer via udviklingsmiljø er i blandt andet Tyskland (Institut für Neue Materialien og andre miljøer omkring Saarbrücken) og Danmark (f.eks. Teknologisk Institut, Århus)
- Prisudviklingen af udstyr til og udbredelsen af plasmateknikker og kemisk pådampning af overflader via en række udviklingsmiljøer og virksomheder i Danmark og udlandet

9 Litteratur

Abicht, L. m.fl.: (2008): *"Weiterbildungsbedarf in Unternehmen der Nanotechnologie"*, isw Institut für Strukturpolitik und Wirtschaftsförderung gemeinnützige Gesellschaft mbH.

Abicht, L. m.fl., (2005): *"Schlussbericht - Trendqualifikationen in der Nanotechnologie"*, isw Institut für Strukturpolitik und Wirtschaftsförderung gemeinnützige Gesellschaft mbH

Abicht & Schumann (2007): "Identification of skill needs in nanotechnology: overview based on the second analysis". I Zuckersteinova (Ed), 2007. Skill needs in emerging technologies: Nanotechnology. Cedefop.

Baron, W. (2004): "Qualifikationsbedarf Oberflächentechnik: Unternehmen, Universitäten, Fachhochschulen" *Vakuum in Forschung und Praxis* 16 (2004) Nr. 1 11-15

Cebulla m.fl. (2006): "Hochschuleangebote im Bereich Nanotechnologie", VDI Technologiezentrum

DIIRD (2004): *"Nanotechnology – skills capabilities requirements for Victoria"*. Victoria: Department of Innovation, Industry and Regional Development.

Hansen m.fl. (2008): "Nanoteknologiske horisonter", DTU

Hansen m.fl. (2008): *"Late lessons from early warnings for nanotechnology"*, Nature Nanotechnology.

ISO/TS 27687 (2008): *"Nanotechnologies - Terminology and definitions for nano-objects - Nanoparticle, nanofibre and nanoplat"*, ISO

ISO/TR 27628 (2007): *"Workplace atmospheres — Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols — Inhalation exposure characterization and assessment"*, ISO

Kristensen m.fl. (2009): *"Adopting Eco-Innovations in the Danish Polymer Industry Working with Nanotechnology – Drivers, Barriers and Future Strategies"*. Nanotechnology Law & Business, vol 6 issue 3 2009

Koponen et al (2009): *"Sanding dust from nanoparticle-containing paints: physical characterization"*, Journal of Physics: Conference series 151

Kubix/DTU (2009): *"Hvordan påvirker nanoteknologi faglært arbejde?"*, Kubix/DTU og Undervisningsministeriet

Larsen (2009): *"Nanomaterialer – en regulatorisk udfordring. Nationale og internationale initiativer på området"*, Miljø og sundhed 15. årgang, nr. 2, september 2009

Malsch (2008): "Nano-education from a European perspective", *Journal of Physics: Conference Series* 100, 2008. IOP Publishing

NIOSH (2009): *"Approaches to Safe Nanotechnology"*, NIOSH

Nørgaard et al (2009): *"Release of VOCs and Particles during Use of Nanofilm Spray Products"*, Environmental Science and Technology

Oxis (2005): *"UK Industrial Survey of Skills and Training Needs in MicroNanoTechnologies"*. The Oxis Partnership, England

Poland m.fl. 2008: *"Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestoslike pathogenicity in a pilot study"*. Nature Nanotechnology, 20 May 2008

Schneider & Jensen (2009): *"Relevans of aerosol dynamics and dustiness for personal exposure to manufactured nanoparticles"*, Journal of nanoparticle research, Special Issue

Sepeur (2008): *"Nanotechnology"*, European Coatings Tech Files, Vincentz Network, Germany

Teknologisk Institut (2009): *"Nanoteknologi og fremtidens erhvervsuddannelser"*, Teknologisk Institut & Undervisningsministeriet

Tønning, Kathe & Poulsen, Mikael (2007): *"Nanotechnology in the Danish Industry – survey on production and application"*, Danish Ministry of the Environment

Zukersteinova (Ed) (2007): *"Skill needs in emerging technologies: Nanotechnology"*. Unedited proof copy. Cedefop.