

# **Evaluering af delprojektet *Nanoteknologi i gymnasiet*, del i projektet *Matematik og Naturfag i Verdensklasse II 2004-2006*.**

Af Mette Andresen.

## **Indhold:**

<b>1. Indledning.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Mål og intentioner.....</b>	<b>1</b>
<b>3. Projektets delaktiviteter.....</b>	<b>3</b>
3.1 Det fælles undervisningsmateriale.....	4
3.2 Den eksperimentelle del.....	4
3.3 Udarbejdelse af supplerende og selvstændigt materiale.....	4
<b>4. Erfaringer fra gennemførelsen af projektet.....</b>	<b>5</b>
4.1 Indholdet i undervisningsforløbet.....	5
4.2 Forløbets form og de ydre rammer.....	10
4.3 Indsigt i og interesse for naturvidenskab og miljø på HCØ.....	14
<b>5. Lærernes tilbagemeldinger i spørgeskemaerne.....</b>	<b>17</b>
<b>6. Konklusioner og perspektiver.....</b>	<b>18</b>
6.1 Udvikling af nye undervisnings- og læringsmetoder.....	18
6.2 Lærernes kompetenceudvikling.....	19
6.3 Introduktion af nye, tværgående emner.....	19
6.4 Matematisk og naturvidenskabelig almendannelse.....	20
6.5 Interesse for naturvidenskabelige fag og uddannelser.....	21
<b>7. Litteratur.....</b>	<b>22</b>

## **1. Indledning**

Nærværende rapport indeholder en evaluering af delprojektet *Nanoteknologi i Gymnasiet*, som er del i projektet *Matematik og Naturfag i Verdensklasse II* der forløb i perioden 2004 – 2006. *Matematik og Naturfag i Verdensklasse I*, der forløb i perioden 2000 – 2004 er udførligt omtalt i (Andresen og Thorslund 2005).

Denne evalueringsrapport er udarbejdet af Cand. Scient. Ph.d. Mette Andresen, adjunkt på Danmarks Pædagogiske Universitet, efter aftale med projektledelsen i projektet *Matematik og Naturfag i Verdensklasse*. Der er således tale om en intern evaluering, for så vidt som den er bestilt og finansieret af projektet selv. Formålet med evalueringen er at opsamle og kritisk vurdere de erfaringer der er gjort i delprojektet. Ifølge aftalen mellem parterne skal evalueringen ”..*beskrive delprojektets aktiviteter og præsentere relevante refleksioner over disse, såvel fra deltagernes som fra et teoretisk didaktisk lærerudviklings synspunkt. Evalueringen skal omfatte en vurdering heraf i relation til de opstillede mål for delprojektet samt i relation til de overordnede mål for Mat Nat Verdensklasse projektet.*”

Deltagernes refleksioner er indfanget ved to gruppeinterviews med 8 henholdsvis 6 elever fra to af de deltagende skoler og et gruppeinterview med 4 af de deltagende lærere. Interview'ene blev gennemført ved projektets afslutning i april 2006. Lærerne fra hver af de 10 deltagende skoler har ved skoleårets afslutning udfyldt et spørgeskema. I alt blev der returneret 9 skemaer i 2005 og 7 skemaer i 2006.

Gennem hele projektperioden har de deltagende skoler været tilmeldt en virtuel konference i *Skolekom*<sup>1</sup>. Mails og andet materiale fra denne skolekonference, fra projektets hjemmeside<sup>2</sup> samt lærernes spørgeskemaer indgår i de data, som udgør underlaget for evalueringen.

## **2. Mål og intentioner**

Det fremgår af følgende uddrag af projektbeskrivelsen<sup>3</sup> for *Matematik og Naturfag i Verdensklasse* og for delprojektet *Nanoteknologi i gymnasiet*, at målet med at udvikle og afprøve nanoteknologi undervisningsmaterialet med tilhørende undervisningsmetoder var at bidrage til at øge interessen for fagene, sætte fokus på fagrelevant almindelse og motivere eleverne til uddannelsesvalg indenfor området. Lærernes kompetenceudvikling var også et mål. Desuden skulle projektet som helhed fremme netværksdannelsen mellem skoler (gymnasier og grundskoler) i hovedstadsområdet, universiteter og virksomheder. Netværket skulle danne ramme om samarbejde mellem fagdidaktiske forskere og praktikere i skolen.

---

<sup>1</sup> Skolekom er et netbaseret, landsdækkende kommunikationssystem for undervisere og studerende på alle niveauer i uddannelsessystemet, med postfunktioner og åbne og lukkede virtuelle konferencestrukturer.

<sup>2</sup> [www.matnatverdensklasse.dk](http://www.matnatverdensklasse.dk)

<sup>3</sup> Findes på projektets hjemmeside

## **Baggrund**

Formålet med *Matematik og naturfag i verdensklasse* er

- at øge interessen for matematik og naturvidenskabelige fag
- at sætte fokus på matematisk og naturvidenskabelig almindelse
- at motivere unge for en teknisk-naturvidenskabelig uddannelse

Projektets mission er at udvikle nye undervisnings- og læringsmetoder og nye undervisningsmaterialer på grundlag af fagdidaktiske forskningsresultater og nye fagligt pædagogiske ideer.

Lærernes kompetenceudvikling er en integreret del af projektet og støttes gennem afholdelse af kurser, seminarer og konferencer.

Projektet etablerer netværk af skoler i Hovedstadsregionen, som er rammen om et samarbejde mellem fagdidaktiske forskere og praktikere i skolen. Universiteter, institutioner og virksomheder knyttes til netværket gennem aftaler omkring bestemte forsknings- og udviklingsprojekter.

### **Matematik og naturfag i verdensklasse II**

Projekt *Matematik og naturfag i verdensklasse* fortsætter i skoleårene 2004/05 og 2005/06 med fem delprojekter:

1. Naturvidenskab for alle – fysik i 1.g
2. Nanoteknologi i gymnasiet – fysik og kemi i 2.g
3. Matematik med CAS – matematik i 3.g
4. Naturvidenskab for alle, et tværfagligt projekt – biologi, fysik/kemi og geografi i 8. kl
5. Overgangsprojekt – fra natur/teknik i 6. kl til biologi, fysik/kemi og geografi i 7. kl

### **Forprojekter**

Med hensyn til de tre førstnævnte delprojekter er der iværksat et forberedende arbejde med henblik på at udvikle undervisningsmateriale til modelforløb inden for hvert delprojekt.

Et modelforløb skal omfatte 10-20 timers undervisning, og undervisningsmaterialet skal følges op af pædagogiske overvejelser (lærervejledning, kurser o.l.). Materialet skal være web-baseret, fx placeret på de intranet, som amter og kommuner er ved at etablere som forberedelse til "det virtuelle gymnasium". På nettet skal der være en hovedtekst på 10-20 sider, som kan downloades fx i pdf-format. Desuden skal der være række forslag til supplerende aktiviteter: Opgaver, eksperimenter, supplerende læsning ...

Undervisningsmaterialet testes i løbet af skoleåret 2003/2004 i et mindre antal klasser med henblik på at iværksætte egentlige udviklings- og forskningsprojekter fra skoleåret 2004/2005.

I delprojektbeskrivelsen er der nævnt en række kvaliteter ved emnet nanoteknologi, som kunne give grund til at forvente, at elevernes forståelse og interesse for naturvidenskab ville blive styrket gennem arbejdet med dette emne. Muligheden for konkret samarbejde med videregående undervisningsinstitutioner og evt. virksomheder er nævnt, ligesom brugen af grænseoverskridende højteknologi og områdets tværfaglige karakter er fremhævet som kilder til elevernes forståelse og interesse.

Nanoteknologi beskrives som et redskab til at nyttiggøre eksisterende viden indenfor områderne fysik, kemi og biologi innovativt, dvs i nye konstruktioner med nye potentialer.

## **Nanoteknologi i gymnasiet**

- fysik og kemi i 2.g

Projektets mål er at udvikle og afprøve web-baseret undervisningsmateriale til korte undervisningsforløb om nanoteknologi. Undervisningsmaterialet skal kunne bruges i fysik eller kemi i 2.g og dække 10-20 timers undervisning. Samarbejde med universiteter eller erhvervsvirksomheder er en integreret del af projektet.

### **Baggrund**

Nanoteknologi er tværvideenskabelig og er opstået i grænseområdet mellem fagene fysik, kemi og biologi. Disse videnskaber har lært os, hvordan atomer og molekyler opfører sig. I fremtiden vil vi gerne kunne kontrollere og organisere disse i strukturer, der kan noget nyt. I nano-området har der vist sig at være kort vej fra grundvidenskabelig indsigt til mulige anvendelser. I nano-området er det således både grænserne mellem fagene og grænsen mellem grundforskning og anvendt forskning der udviskes.

Netop det at der er tale om grænseoverskridende højteknologi og at området er tværfagligt gør, at vi mener undervisning i nanoteknologi er velegnet til at styrke elevernes naturvidenskabelige forståelse og vil virke engagerende på mange elever. Samtidig giver emnet mulighed for konkret samarbejde med videregående undervisningsinstitutioner og evt. virksomheder.

### **Undervisningsmaterialet**

Materialet produceres af gymnasielærere i samarbejde med medarbejdere på Nanoscience-centret på Københavns Universitet. Materialet skal tilrettelægges så dataopsamling, visualisering og simulering kan indgå i undervisningen.

Mulige emner:

- Solceller
- Enzymatisk nedbrydning af fedtstoffer
- Scanning tunnel mikroskopi
- Behandling af pKs-begrebet ud fra en atomar synsvinkel

### **Forprojekt**

Der er iværksat et forprojekt omfattende et undervisningsforløb om solceller med henblik på en afprøvning allerede i skoleåret 2003/04.

Undervisningsmaterialet om solceller og nanoteknologi er udarbejdet af Sheela Kirpekar, Ordup Gymnasium og Nils Galsøe-Andresen, Rysensteen Gymnasium, i samarbejde med Nanoscience Centeret, og Ungdomslaboratoriet på Københavns Universitet.

Solcellerne er baseret på det samme pigment, som findes i hvid maling samt brombærsaft, og cellen er et modelsystem, som kan belyse grundlæggende forhold bag fotosyntesen. Det eksperimentelle arbejde med solcellen skal dels foregå på gymnasierne, dels på Ungdomslaboratoriet. Når eleverne besøger Ungdomslaboratoriet vil der også indgå et besøg på Nanoscience Centeret., og medarbejdere herfra vil orientere om nanoteknologi.

### **3. Projektets delaktiviteter**

Som led i projektet skulle eleverne i grupper fremstille deres egne solceller. Grupperne skulle derefter afprøve solcellerne under et besøg på Ungdomslaboratoriet, HC Ørsteds Instituttet på Københavns Universitet. Ved samme lejlighed var der arrangeret et foredrag om nanoteknologi og en laboratorie rundvisning på universitetet.

Undervisningsmaterialet til forløbet var tilgængeligt på projektets hjemmeside [www.matnatverdensklasse.dk](http://www.matnatverdensklasse.dk), som desuden indeholdt en række links med

baggrundsviden og videre perspektiver, blandt andet til Risø, NASA og SolEnergiCentret.

Der blev afholdt et heldagskursus på Ungdomslaboratoriet på H C Ørsteds Institut for de deltagende lærere både i efteråret 2005 og 2006.

### 3.1 Det fælles undervisningsmateriale

Materialet var beregnet til et undervisningsforløb i kemi eller fysik i 2.g., og det var intentionen at en omtale af fotosyntesen eventuelt kunne lægge op til et fagsamarbejde med biologi. Undervisningsforløbet var udviklet i samarbejde med [Nano-Science Centeret](#) og [Ungdoms-laboratoriet](#) på Københavns Universitet. Nedenstående tidsplan for det eksperimentelle arbejde viser den tidsmæssige fordeling mellem arbejdet på skolerne og på Ungdomslaboratoriet på HCØ.

Omfanget af selve undervisningsmaterialet var 28 sider hvoraf de første 19 indeholdt en gennemgang af krystallinske solcellers opbygning og virkemåde, et afsnit om lys og fotosyntese, samt en gennemgang af fotoelektrokemiske, specielt nanokrystallinske farvesensibiliserede solcellers virkemåde. En række mindre opgaver var indflettet i teksten. De sidste 9 sider var en trin-for-trin vejledning til fremstilling af selve  $\text{TiO}_2$  solcellen, indfarvet med chlorofyl, brombær- eller hindbærsaft, samt et lille katalog over idéer til eksperimenter med den færdige solcelle.

### 3.2 Den eksperimentelle del

*Tidsplan for det eksperimentelle arbejde:*

- Hjemme på eget gymnasium: 1 time, fremstilling af  $\text{TiO}_2$  - mix.
- Hjemme på eget gymnasium: 2 timer,  $\text{TiO}_2$  - mix påføres glasplader og brændes ved  $550^\circ\text{C}$ .  
Farvning med hindbær/brombær og evt. chlorofyl.
- På HCØ, 3-4 timer (formiddag).  
Montering glasplader.
- Måling af karakteristik for nano-cellen.  
Opladning af kondensator, og udladning gennem motor der løfter et "lod".  
Spektrofotometrisk undersøgelse af de tre farvestoffer.
- På HCØ, 2 timer (eftermiddag) Besøg på Nano-Science Centeret, oplæg om nanoteknologi.

Det blev anbefalet at planlægge med, at eleverne forud for det eksperimentelle arbejde skulle arbejde med teori om emnet i ca. 5 timer, og efter det eksperimentelle arbejde bruge 5-10 timer på efterbehandling af måleresultater og rapportskrivning.

### 3.3 Udarbejdelse af supplerende og selvstændigt materiale

Ved projektets afslutning juni 2006 var der ikke blevet lagt noget supplerende undervisningsmateriale på hjemmesiden, udarbejdet af de deltagende lærere.

På skolekom konferencen var enkelte øvelsesvejledninger og links blevet formidlet, for eksempel:

- En lærer havde lagt en vejledning ud på konferencen til et forsøg med Hexadecanethiol. Formålet med forsøget var at undersøge, hvordan vand hæfter til en overflade af hhv. metallisk sølv og et nanometer tykt lag af hexadecanethiol.

- Enkelte af lærerne havde redigeret det fælles undervisningsmateriale til en udgave, beregnet for deres egne elever.

#### **4. Erfaringer fra gennemførelsen af projektet**

I dette afsnit er de hovedsynspunkter sammenfattet, som kom til udtryk under de tre gruppeinterviews. Disse hovedsynspunkter er illustreret med klip fra interviewene. Ved hvert klip er det angivet hvilket interview der er tale om, samt linjenummer i udskriften af interviewet.

##### **4.1 Indholdet i undervisningsforløbet**

###### *Selve fremstillingen af solcellen*

Fremstillingen af solcellerne havde tilsyneladende voldt større eller mindre vanskeligheder i de fleste tilfælde.

Det var et mindre problem, at konsistensen af den fremstillede TiO<sub>2</sub>-suspension blev ikke som foreskrevet:

L:...Og jeg må indrømme, når jeg skulle lave den her kolloidopløsning – jeg har altså ikke formået at lave en der kunne komme i de der sprøjteflasker. Det har I andre åbenbart?

L: Nej, jeg brugte den ikke

L: Jeg lavede det kun i morteren og så trak vi det ud. Jeg kunne simpelthen slet ikke få det til at blive en opløsning der kunne være i den der plastikflaske. Det kunne slet ikke lade sig gøre. Men det fungerede udmærket med at få den ud på solcellerne. (Lærerinterview l.166-171)

Brændingen af solcellerne, derimod, var der flere dårlige erfaringer med:

L:...– jo, de brændte, det gav nogle problemer. Et af problemerne var ved forsøget, at det blev ikke brændt godt nok, (Lærerinterview l.20-21)

L: Jeg havde også forberedt min klasse ved at lave karakteristik både for batteri og for solcelle men jeg synes den klasse er ret tung at køre med så og de, en del af dem de havde brændt var også ret dårlige. Så tre ud af seks fik lavet en ordentlig karakteristik. Så jeg synes ikke det var vellykket, men det er nok typisk for den klasse også (Lærerinterview l.35-38)

L:...Det der med brænding af solceller synes jeg tog frygtelig lang tid og det var frustrerende for eleverne for de vidste ikke rigtig hvad skulle man egentlig gøre for at gøre det godt? Altså, der var nogen celler som var bedre end andre som gav bedre signaler. Det var alligevel også et helt eksperimentelt modul som gik med at brænde de celler. Det var måske den mindst spændende del af det. (Lærerinterview l.50-54)

**Blandt eleverne var der delte meninger om, hvorvidt fremstillingen havde taget (for) lang tid:**

E: Jeg synes vi brugte lang tid på at bygge de der solceller

E: ja

E: Ja solcellerne brugte vi lang tid på

E: altså, vi lavede kun de der plader og så skulle vi have sat dem sammen og puttet saft i

E: Det var ikke så meget arbejde der var derhjemme (Elevinterview1 1.466-470)

**Nogle af eleverne havde fået skadet deres solceller under transporten:**

E: Muligvis lave det til en flerdages ekskursion og så producere selve solcellen derinde fordi vi var flere der var ude for, at når vi så kom derind så i løbet af transporten så var noget af det der  $TiO_2$  (?) lag røget af, så den ikke virkede helt optimalt, vores solcelle, da vi så kom derind. Hvis man nu kunne få lavet den derinde så man ikke skulle have den transport, så ville det måske også gøre at folk fik mere ud af forsøget fordi der ikke er nogen der står i den der situation hvor de har en solcelle der ikke virker.

E: Det havde de så gjort ved os, der havde de en masse liggende. De sagde til os at de vidste godt, det var en erfaring så de havde en masse rigtig gode solceller liggende (latter). (Elevinterview2 1.169-176)

**En lærer fremhævede det positive i at eleverne fremstillede deres egne solceller:**

I: Hvad oplever I, at eleverne synes har været det mest spændende ved projektet?

L: Det tror jeg er ejerskabet, altså det der at sidde med sin egen solcelle, lave lidt indbyrdes konkurrence, har vi da oplevet i hvert fald hos os, altså det der med at 'vores var da bare lidt bedre end jeres', det syntes de var meget sjovt. (Lærerinterview 1.105-108)

**Problemerne med brændingen kunne i nogle tilfælde tilskrives manglende viden om eller erfaring med processen:**

L: Noget af det jeg synes jeg fandt ud af da jeg gik ind, sammen med min kollega, for at kigge på nogen af alle de artikler der er udgivet, for at finde ud af om der var noget man kunne hvide fat i. Vi fandt forskellige videofilm om hvordan man laver de her solceller. Og der bliver de jo helt brune!

Faktisk fandt vi ud af at de skal blive helt brune i brændingen og faktisk nå at blive hvide igen i brændingen, før at de er færdige. Og den havde jeg i hvert fald ikke fanget ude på HCØ selv, så jeg var glad for at jeg havde set den der film før jeg fortalte mine elever at den skulle nå at blive helt brun. Mange bliver jo overraskede når de ser at den bliver helt brun – skal vi så varme mere på den osv., det blev jeg først klar over da jeg så den film der så det kunne være det var noget der skulle udbredes.

L: Jeg synes også der var et teknisk problem og jeg følte mig lidt på gyngende grund. Jeg kunne ikke huske hvordan det så ud da jeg selv lavede det – da passede det nogenlunde synes jeg. Men da jeg så så elevernes, vi havde jo også lavet den indre modstand på batteriet, der er altså rette linjer! (...) og der tror jeg at det er den tekniske proces, altså den der brændingsproces, og det er jeg åbenbart ikke alene med, som der ikke er ordentlig styr på er den nu i orden eller er den ikke. Og det må altså være fordi den ikke er brændt ordentligt, at vi får det som om der er en fast modstand. (Lærerinterview l.132-149)

L:..den ene af de kolleger jeg arbejder sammen med i det her projekt han har jo prøvet det før og det kunne man godt mærke på den måde forløbet er kørt hos os. Så vi har ikke haft helt de samme problemer med at gøre det på skolen, synes jeg. Altså, vi var forberedt på hvor lang tid det tog at lave de der solceller og med at få dem brændt og sådan noget. Det er ikke kommet bag på os. Derfor føler vi heller ikke at det har været et problem. (Lærerinterview l.64-69)

**Manglende teknisk udstyr, for eksempel i form af en ovn, kunne også være en hindring:**

L: Der står at den skal brændes mellem 450 og 550 grader. Og hvordan måler man det ordentligt?

L: Jeg havde et par termofølere oppe på to bunsenbrændere, ikke? Men der var jo flere der skulle i gang. Så stod man lidt på lurenkig og tog det. Og eleverne, de skulle jo også selv styre det, ikke? (Lærerinterview l.152-154)

### *Elevernes forsøgsresultater*

I almindelighed regnede lærerne det for ønskværdigt, at det var muligt for eleverne at få relativt 'pæne' forsøgsresultater med hjem med henblik på det efterfølgende arbejde med at skrive rapporten. Endnu større vægt blev der lagt på, om eleverne opnåede forståelse for de begreber og sammenhænge de arbejdede med. På begge disse punkter var lærerne mere kritiske overfor aktiviteterne på Ungdomslaboratoriet end eleverne var. I det følgende er gengivet et par af de kritiske lærerudtalelser, som bekræfter behovet for at justere forløbet på de punkter, som blev nævnt i det foregående:

L: ... Men jeg synes problemet var, at resultaterne var så dårlige. Det vigtigste for dem var, at der kom da et signal ud. Så var der en anden – en af de meget omhyggelige elever: han målte spænding på den, og lige så snart han satte lys på den, så faldt spændingen. Det var en rigtig solcelle! (latter). Vi fandt ud af det – da han satte klemmerne på var det fugtigt, og så havde han et batteri, ikke? Og solcellen var polet modsat (latter). Det tog lidt tid at finde ud af den! Sådan nogen ting var der så man kan sige, det er jo ikke et forsøg der lægger op til gode resultater til en rapport. Det lægger måske op til en oplevelse, mere end ..(Lærerinterview l.124-131)

L: Vi har jo lavet 'et batteris indre modstand', det er i virkeligheden nøjagtig det samme forsøg så de havde lavet det før. Det jeg så gjorde var, at da de kom



tilbage med resultaterne så sagde jeg til dem, at nu skal I sammenligne de to karakteristikker og når man så karakteristikkerne, så var de jo lige så lineære som – der var en kæmpe indre modstand i de der og det forstår eleverne jo ikke en disse af. Så passer det ikke. Og nogen af dem så noget fuldstændig vildt, ikke. Og det betyder så at de kommer hjem med nogle elendige resultater når de skal lave rapporten. Det var den ene del af det. Den anden del af det var så det der spektroskopi hvor de ikke havde forstået absorption, det – da jeg opdagede de havde misforstået det, så måtte vi gå tilbage og regne det.  
(Lærerinterview 1.110-117)

**I et af gruppeinterviewene, under en samtale om introduktionen til og sammenhængen mellem de forskellige forsøg som skulle udføres, gav eleverne også udtryk for manglende sammenhæng mellem forsøget med absorption og de øvrige:**

E: Jeg synes faktisk ikke det var så svært når man havde læst de der papirer og jeg synes også at vores lærer gav en ret god gennemgang af det.

E: Jeg synes det var ret besværligt for vi havde sådan et tilhørende forsøg til det, absorption tror jeg, på computeren, som jeg ikke fattede noget af og det var vi ikke sat ind i. Og jeg forstod heller ikke helt hvad det havde med resten at gøre. Det endte vi heller ikke med at beskrive i vores rapport fordi det var fuldstændig ude af konteksten i forhold til det andet som vi var blevet sat ind i. Så det ved jeg ikke – der følte jeg at jeg manglede lidt introduktion. Til lige præcis det. Men det andet synes jeg faktisk ikke var.

E: det der med absorption var det det der med de der små glas med vand i?

E: ja

E: og saft i? plantesaft

E: ja og så noget underligt noget at vi skulle lave. Vi har haft nogen andre forsøg her på skolen om absorption. Men jeg synes bare at det forsøg i sammenhæng med det andet – det var bare lidt underligt.

E: det virkede bare som sådan noget til at udfylde tiden

E: ja (Elevinterview1 1.102-117)

**En anden elev havde den modsatte oplevelse:**

E: Jeg synes måske det der med absorption var meget sjovt på en eller anden måde fordi det var det der med at sådan prøve nogen andre apparater det der med at man laver nogen målinger og får sådan nogen præcise resultater som kommer ud i en flot graf som er helt rigtig og helt præcis det er da meget spændende altså det er jo sådan de arbejder mere og mere ude i det virkelige liv, ikke? Så altså jeg synes det var meget godt at man sådan også kan komme ud og se den måde at arbejde på. Fordi ellers kunne det meget nemt komme til at virke som noget vi lige så godt kunne have lavet herhjemme (Elevinterview1 1.492-498)

*Elevernes egen vurdering af deres udbytte*

**Adskillige nævnte at brugen af brombærsaft havde overrasket dem. Selve det at være blevet introduceret til området blev også fremhævet:**

E: Jeg ved ikke, jeg sidder lige og tænker her hvad jeg har lært – det kan være det kommer senere. (latter). Men altså, jeg synes i hvert fald man har fået en – har opdaget et nyt område som man godt vidste eksisterede men ikke havde sat sig mere ind i. Og så kan man sige, det man lige præcis kan bruge saft, noget du bruger til daglig egentlig, at man pludselig også kan bruge det til at lave energi med, det vidste jeg egentlig ikke og det – det har jeg måske i hvert fald lært af det, ikke, og så er det bare et nyt område som er blevet åbnet som jeg synes er spændende og som man – som jeg måske godt kunne tænke mig at bygge videre på. (Elevinterview2 1.219-225)

E: huha, jamen jeg synes også det var meget godt, det var nanoteknologi fordi det er sådan noget småt noget man ikke lige vidste så meget om og så kunne man komme lidt ind i den verden og så det der – jeg vidste ikke man kunne lave strøm med brombærsaft. Så det synes jeg var godt. Det synes jeg var lidt sjovt – det var meget sjovt.

E: Som de andre siger, så tror jeg også – jeg synes det er meget sjovt det der at man endelig får at vide, hvordan fungerer det. Altså som de siger, man har hørt så meget og man har sådan en idé om at det er det der sker men nu får man endelig forklaret, hvad er det egentlig der helt præcis foregår. (Elevinterview2 1.229-235)

**Det var tydeligt, at eleverne i almindelighed betragtede den skriftlige bearbejdning, dvs rapportskrivningen, som den fase hvor de opnår en egentlig forståelse af det emne de arbejder med. En del af eleverne havde endnu dette til gode på interviewtidspunktet:**

E: Indtil videre har jeg ikke lært noget som jeg kan bruge til noget, rigtig, også fordi vi ikke har skrevet rapporten. Når man skriver rapporten så skal man jo gå ned i teorien og sige aha og så skal man skrive det selv. Så sætter det sig lidt bedre, ikke? End når man bare lige har læst det. Og sidde og regne med det selv, der tror jeg, der regner jeg med at lære en hel del ellers er det meningsløst. (Elevinterview1 1.384-387)

E: altså, jeg ved ikke helt, jeg har svært ved at forholde mig til det når jeg ikke har skrevet rapporten, man får virkelig meget ind når man sidder og arbejder med den på den måde. Altså, det hænger bedre ved end når man bare sidder og læser en tekst. Så det er lidt svært at svare på [spørgsmålet: Hvad har du lært, MA]. (Elevinterview1 1.399-401)

E: Det er svært at sige noget konkret. Jeg tror det her generelle overblik over hvad nanofysik er på det her atomare niveau altså som man normalt ikke bevæger sig på i fysik. Det er som om, altså det er jo en helt anden verden – en helt anden måde at beskrive verden på som jeg synes man fik ud af det. Også fordi vi havde ligesom et efterfølgende emne hvor vi var nede i deci- hvor, og der synes jeg det var enormt rart at kunne sådan trække på noget af det man

havde lært og jeg tror mere det er det der overblik over, hvad er det der sker – der sker afsindigt mange ting. I stedet for at vi, normalt i fysik beskriver de makroskopiske størrelser vi kan se og måle

E: Vi skrev rapporten og vi var en rimeligt stor gruppe – jeg tror vi var seks mennesker i vores gruppe, eller sådan noget. Vi uddelegerede opgaverne og så var det sådan så har man sit lille fokusområde og så lærer man noget om det. Og jeg skrev så om selve forsøget og teorien i det og hvorfor det sker som det gør inde i selve solcellen, ikke? Hvor der så var nogen andre der beskrev nanoteknologien bredt og - det kommer ret meget an på efterarbejdet. Og som I siger, I føler ikke at I har fået ret meget ud af det endnu fordi at I slet ikke har skrevet rapporten. Så det der med rapportskrivningen tror jeg er rigtig vigtig. Jeg ved ikke, det kan godt være jeg havde fået mere ud af det hvis jeg selv skulle skrive hele rapporten. (Elevinterview1 l.406-420)

**For nogle elever havde projektet strukket sig over for lang tid, så de følte at de tabte tråden:**

E: Jeg hedder NN og jeg synes også det var meget spændende men jeg synes vores var fordelt over for stort et tidsinterval. Der gik for lang tid mellem forsøget og selve vores aflevering. Det synes jeg var lidt – det var nok vores egen skyld men det var lidt for bredt det vi havde. Der glemte man for meget synes jeg. (Elevinterview2 l. 14-17)

E: Jeg synes også stoffet var godt fordi der var så meget, blandet. Det var et kæmpe emne, synes jeg. Jeg synes slet ikke – da vi skulle skrive rapporten synes jeg slet ikke jeg lige kunne overskue hvordan vi skulle bearbejde alt det vi havde lavet, hvordan vi skulle få det ned. Og jeg synes, jo altså, det er derfor jeg synes det skulle gå hurtigere eller måske, jeg ved ikke, det varierer jo nok fra lærer til lærer fra selve afleveringen til .. afstanden fra forsøget til selve afleveringen skal være meget meget kort fordi der var så meget man skulle huske (Elevinterview2 l.153-158)

## **4.2 Forløbets form og de ydre rammer**

### *Det generelle indtryk*

**Eleverne var generelt positivt indstillet til aktiviteterne på Ungdomslaboratoriet, og gav overordnede vurderinger som:**

E: Altså, jeg kan jo næsten kun sige det samme men hvis vi nu tænker på HCØ derude så synes jeg det var rigtig fedt faktisk. Det var sjovt at prøve noget nyt udstyr som var anderledes end det vi har her på skolen. Og jeg synes der var sådan en god guide derude og det var nogen gode lærere og sådan og det var en meget god konklusion på vores projekt. Så det synes jeg da var ret fedt at komme ud i nogle nye lokaler og sådan noget. For at gøre det kort.

I: Ja

E: Altså, jeg synes da, i modsætning til x'erne [den anden klasse, MA], at vi har haft et meget kort men også et meget koncentreret projekt om nanoteknologi og jeg synes vi var sat ret godt ind i hvad det var der skete, vi havde ligesom gennemgået de forskellige trin i hvad det var man lavede og hvorfor man

lavede det, det var ret nemt og lige til at gå til når vi kom på HCØ. Og så er jeg også enig med dem i at der var nogen rigtig gode hjælpere til selve forsøget og de var gode til at snakke om: hvad skal vi bruge det her til i et større perspektiv altså hvad.. det hele endte med en rapport og de var gode til at hjælpe med at sammenfatte det. På en anden måde end når man selv er sådan bare skal lave et forsøg. Det er ikke altid man har for øje: hvad er det slutproduktet bliver på det her? (Elevinterview1 1.39-52)

### *Hjælp og vejledning under det eksperimentelle arbejde*

Bortset fra en misforståelse med nogle multimetre gav både lærere og elever gennemgående udtryk for stor tilfredshed med de ældre studerende der havde fungeret som hjælpere for eleverne under det eksperimentelle arbejde på Ungdomslaboratoriet. Som en lærer sagde:

L: Jeg synes det var nogle vældig dygtige vejledere de havde derinde. Eleverne roste dem også bagefter. Der var en enkelt gruppe som havde nogle tekniske problemer hvor multimetrene ikke virkede. De var så ikke så imponerede over indsatsen men resten var glade for instruktorerne. (Lærerinterview 1.177-179)

### **To af eleverne sagde:**

E: Så også det at få lov til at arbejde med nogen apparater der var lidt mere avancerede end det vi er vant til herfra, det var også spændende at prøve. (...)Det var også meget sjovt at prøve det som var lidt mere avanceret og samtidig var den hjælp man fik fra dem der var derinde den var utroligt god, de var gode til at hjælpe én og så svært var det faktisk ikke.

E: Jeg synes også at de var rigtig gode, de to unge mennesker der viste os den og forklarede det for os. Jeg fik også en samtale med ham den unge mand – jeg kan ikke huske hvad han hed – der lavede det med os og han fortalte en hel masse ud over det der da vi var der og jeg syntes også at jeg manglede noget baggrundsviden jeg havde kun lige det konkrete om solcellen jeg manglede noget om hvad der gik forud og hvad der gik efter. Det var lidt for kompakt. Så jeg synes det var godt han lige forklarede lidt mere ud over, altså måske fordi han lige havde et højere niveau så forklarede han det lidt ud over vores. Jeg synes det blev lettere at forstå på den måde. (Elevinterview2 1.62-73)

### **Nogle elever havde fået modstridende vejledninger fra de to hjælpere:**

E: Jeg synes også, altså det var egentlig lidt problematisk med de der to lærere i hvert fald for nogen af gruppernes vedkommende fordi de sagde nogen lidt forskellige ting, altså ham manden og så var der en pige, de var faktisk ikke helt enige om de ting de sagde. De sagde nogen forskellige ting til s så vi til sidst ikke vidste hvad vi skulle og så var forsøget – så var tiden gået (Elevinterview2 1.74-77)

**Et par af eleverne fremhævede, at de havde oplevet nogle forskelle mellem indstillingen hos studenterhjælperne og deres lærere:**

E: Jeg synes inden at vi tog af sted på ekskursion var der virkelig store dele af det som jeg ikke havde forstået. Og slet ikke følte at jeg kunne bruge til noget. Men da vi så kom derind så tror jeg det at nærmest altså få hjælp og blive undervist af nogen som ikke var vant til at undervise som lærer og derfor ikke var så pædagogiske endda, så de prøvede ikke at skære tingene ud i pap – de sagde det som det var, det synes jeg faktisk hjalp ekstremt meget fordi så var det som om at der blev ikke sådan lagt låg på en masse små ting som vores lærer havde skønnet at det ville være for svært for os. Altså, vi fik det simpelthen og så måtte vi tage det eller lade være. Og så kunne man også stille mere indgående spørgsmål hvis der var noget man ikke forstod. Og det gjorde i hvert fald for mig at det var rigtig meget, der var meget mere jeg forstod af det. (Elevinterview2 1.52-60)

E: Der følte jeg at vi fik meget mere hjælp end vi egentlig var vant til fordi at når vi har forsøg så er vi jo en halv klasse der har, så vores lærer han kan slet ikke nå rundt til alle grupperne. Og her, der var på et tidspunkt hvor nogen af vores beregninger de gik fuldstændig i koks og det kunne slet ikke passe og så begyndte han at skille det der måleinstrument ad for at finde ud af hvor fejlen var og det var man slet ikke vant til fordi normalt ville man bare få at vide at nå, men det kunne godt være at det skyldtes et eller andet bla bla, men det er ikke sikkert og sådan noget, men her, der gik han virkelig i detaljer og brugte hundrede år på at finde ud af hvad der var galt og det synes jeg var rigtig fedt.

I: Fandt han ud af det, så?

E: Nej, det gjorde han faktisk ikke! (latter) Men han gav os en masse gode grunde og eksempler og sådan noget. (Elevinterview2 1.102-112)

E: Altså vores de var ikke specielt pædagogiske men jeg ved ikke, jeg tror bare jeg blev meget fascineret af at se hvor meget de brændte for deres fag og netop det der med at hvis der var noget som ikke lige virkede så begyndte de at skille det hele ad og der var også på et tidspunkt hvor et computerprogram ikke virkede hvor de simpelthen gik i selvsving over det der program. Det endte med at de der to mennesker de stod bare og fyrede alle mulige dårlige jokes af over det der computerprogram og de hyggede sig så meget med det, ikke? Det var bare så sjovt at se hvor meget de virkelig brændte for det. Så derfor synes jeg, at de var egentlig ikke specielt pædagogiske, men det var sjovt at se og vi fik den hjælp vi havde brug for, det gjorde vi virkelig. Og lidt til, så... (Elevinterview2 1.276-283)

### *Udnyttelse af laboratoriets udstyr*

Selve det at lave eksperimentelt arbejde i et fremmed, tilsyneladende bedre udrustet laboratorium tiltalte eleverne:

I: Hvordan synes I det har været i forhold til den slags ekskursioner og virksomhedsbesøg?

E: Jeg ved ikke – vi lærte ikke så meget om selve universitetet, selve skolen, vi var bare oppe i det der fysiklokale og det var egentlig..

E: Vi lavede jo det vi skulle lave derovre og det var helt vildt godt altså det var meget federe end at stå inde i de lokaler vi altid er inde i. De har jo noget andet udstyr der er lidt bedre sådan er det – altså det er lidt sjovere at se nogen ting og prøve noget professionelt, ikke

I: Har I oplevet at det var mere spændende at arbejde i det laboratorium?

E: Ja

E: Meget mere spændende

E: Det er noget andet

E: Jeg tror også det er noget om det der ansvar man fik derpå en eller anden måde er anderledes end når man er i det fysiklokale man kender og hvor man har den lærer man kender altså man blev mere stillet til ansvar både fordi de hjælpere der var der inde regnede med at man tog det her seriøst og man havde mere et ansvar overfor dem og en selv. (Elevinterview1 1.300-313)

### **Der havde været flaskehalsproblemer ved nogen af besøgene:**

E: (...) Men der til sidst – i starten var det også meget godt med forklaring og de kunne nå rundt men til sidst blev det bare alt for kaotisk. Da havde folk lige pludselig travlt

E: Også det med computerne

E: Ja

E: Der var ikke så mange computere og vi skulle stå i kø alle sammen og kunne ikke nå det, faktisk

E: Det nåede vi overhovedet ikke, det der computer (...?)

E: Computertingen havde vi slet ikke fået introduceret ordentligt. Vi stod bare: nå! Skal vi også lave et spekter? (Elevinterview2 1.120-127)

### **Nogle af lærerne fandt, at Ungdomslaboratoriet ikke var tilstrækkeligt godt udrustet til en ønskværdig videreudvikling af nano projektet:**

L. Altså vores oprindelige plan var jo at de skulle lave solcellerne hjemme på skolen, også karakteristikkerne, så ville vi købe ind så de kunne lave dem på skolen, og så skulle de lave guld forsøget ude på HCØ, for at få nanoperspektivet ind på kroppen, ikke? Ind under huden eller hvad man nu skal sige. Men det kunne så ikke lade sig gøre, altså vi var nødt til at gøre det på den anden måde. For de kan ikke have så mange på en gang som skal lave guldforsøget. Det har de ikke kapacitet til. Men det var vi ikke klar over da vi planlagde det. Så netop det dud siger med at få dem ud på DTU måske ved at dele holde top, måske på DTU med den ene halvdel og på HCØ med den anden og så bytte, hvis man laver det samarbejde mellem kemi og fysik. For jeg kunne godt forestille mig at de også får problemer med at have plads nok til en klasse på 30. (Lærerinterview 1.85-93)

### ***Foredraget***

Klasserne havde hørt to forskellige foredragsholdere. Den ene havde tilsyneladende haft større succes med at fange elevernes interesse end den

anden, men meningene var delte. Den ene gruppe elever udvekslede følgende bemærkninger:

E: Men til gengæld synes jeg at til det sidste foredrag, der var folk virkelig trætte

E: Det var fandme også kedeligt

E: Det var virkelig kedeligt eller sådan... og man kunne ikke rigtig relatere det. Der var ret mange af tingene man ikke kunne relatere til og det var ret meget nanoteknologi overordnet og det var meget stort og meget sådan .. man kunne slet ikke..

E: Det synes jeg overhovedet ikke

E: Det synes jeg heller ikke (Elevinterview1 l. 131-137)

I: I har ikke været udsat for de samme personer, simpelthen

E: Nej

E: Jeres har været enormt god og vores ..

E: Altså, vi var alle sammen ret trætte på det tidspunkt, så han var faktisk godt klar over, at det der med en masse informationer om et specifikt emne som I har haft, det kunne vi ikke klare på det tidspunkt. Så han var enormt sjov og snakkede om nanoteknologi generelt, hvad er det vi bruger det til, hvad er fremtiden for nanoteknologi, han holdt os fangen han var bare enormt sjov og snakkede også om alt muligt andet

E: ja (Elevinterview1 l. 148-156)

E: Jeg ved ikke, jeg synes måske ikke det der foredrag var så godt

E: Ja han var da meget underholdende og han var god til at tale og sådan noget, men det han sagde, det var ikke sådan – jeg synes ikke han lærte mig så meget. Det var meget det der sådan nu ser vi denne her film og det var sådan en film med nogen ting der kom og så spiste de der grimme bakterier og så bliver man rask inde i kroppen. Altså, det var meget sjovt ikke, men det var

E: Altså, jeg synes det virkede mere som sådan en appetitvækker til hvis man vil studere nanoteknologi end at det sådan er en del af undervisningen hvor det er noget man skal lære.

E: Ja det tror jeg også var meningen (Elevinterview1 l.179-186)

#### **4.3 Indsigt i og interesse for naturvidenskab og i miljøet på HCØ**

**Mange af eleverne gav udtryk for at de helt personligt havde oplevet forløbet som tilfredsstillende, for eksempel sagde en elev:**

E: Ja men jeg vil også sige at jeg synes det er et spændende emne og jeg vidste jo ikke rigtig noget om nanoteknologi før. Jeg blev dybt fascineret over hvad man i virkeligheden kan bruge det til altså det kan man sige at det at få sat det i perspektiv det at kunne forstå at hvis man kan integrere solceller i bygningskomponenter så kan man skabe en ren form for energi som vindmøllekraft der ikke tærer på naturens ressourcer i den forstand og ikke forurener og sådan noget – det synes jeg er fantastisk, det var jeg dybt imponeret over. Altså noget af det jeg fandt mest interessant og det er noget jeg

kan relatere til nu, altså når jeg hører nanoteknologi og bioteknologi eller nanoscience så bliver man lidt – hvad kan jeg bruge det til i praksis og hvor kan jeg finde det henne? Er det noget der er værd at videreudvikle? Og det har jeg forstået, at det må det jo virkelig være. (Elevinterview2 1.245-253)

**Og en anden elev sagde:**

E: Jeg kunne enormt godt lide det der, og det er også ved naturvidenskab generelt at gå fra det der stadie med, fordi de fleste mennesker ved at en solcelle kan bruge solenergi til at producere energi men at så gå videre til det stadie hvor hvad består solcellen så af og hvordan sker selve processen og det synes jeg, at i det her forløb, det har jeg forstået nu og det var godt fordi jeg tror ikke jeg havde forstået det på samme måde uden det her forløb. Og komme ud og prøve det i praksis det er altid en god ting. Og også med nano teknologi, ligesom få – fordi, man hører jo meget om det, men nanoteknologi hvor man gør sådan og sådan men hvordan gør man det? At få den forståelse for det, det synes jeg var rigtig godt. (Elevinterview2 1.254-261)

**Begge udtalelserne viser den tilfredsstillende eleverne har oplevet ved at få deres nysgerrighed stillet både med hensyn til den faglige viden og med hensyn til de teknologiske aspekter som anvendelsesmåder og –potentialer.**

**Lærerne mente ikke at eleverne ville se de ældre studerende som rollemodeller, men det positive indtryk kunne alligevel have en gunstig virkning. Som en lærer sagde:**

L: Må jeg godt sige en ting? Fordi jeg tror altså at selvom de måske ikke opfatter dem som rollemodeller, de der unge studerende der render sammen med dem, så virker det jo også afskræmmende eller hvad man skal sige, at de er 'lige som os'. Det er ikke farligt at læse på universitetet, så på den måde tror jeg godt de kan fungere. Ikke det der forskerliv men at universitetet ikke virker afskrækkende. (Lærerinterview 1.231-235)

**Eleverne var enige om, at emnet nanoteknologi er et vigtigt emne, som der vil blive undervist i i gymnasiet fremover. Der var dog lidt usikkerhed om hvordan emnet vil kunne passes ind:**

I: Tror I, at det der med nanoteknologi er noget der vil blive undervist i i gymnasiet fremover? Tror I man vil sige, at det her er noget man har brug for at vide noget om uanset hvad, så man kan tage stilling og..

E: Jeg tror det

E: Det tror jeg også helt sikkert

E: Altså, det er helt tydeligt at det har enormt stor betydning for fremtiden og fremtidens forskning og det er det det hele handler om, ikke?

E: Og så måske i starten som et mindre underemne i naturfag eller kemi eller fysik men jeg ved ikke

E: Det kan godt være – fordi det bliver jo mere og mere en del af..

E: Jeg tror mere det er kemi og biologi men det kan godt være fordi jeg har misforstået det lidt



E: ..sammen med fysik

E: Biologi

E: Men jeg synes du har ret (Elevinterview1 1.211-223)

**Det fremgik tydeligt af interviewene med eleverne at de havde oplevelsen af at have fået et interessant indblik i et engageret forskningsmiljø:**

E: Jeg syntes det var vildt spændende, han sad også og snakkede om hvordan alle de der fysikere i virkeligheden bare leger og har det helt vildt sjovt og det er ligesom – jeg ved ikke det virkede enormt interessant og meget meget frit. Det tiltalte mig meget, det virkede som om folk havde enormt meget ansvar. Det virkede som om det var et enormt godt arbejdssted også

E: Ja han tog det meget ned på jorden

I: Er det også jeres indtryk? Tror I at de har et spændende arbejde, de folk I mødte?

E: Altså, han lød jo helt vildt interesseret så det var jo fedest men han gjorde jo bare ikke så meget for at vi skulle synes det var det fedeste, medmindre at vi vidste noget om hans emne men det var der ingen af os der gjorde. Men altså, han gik virkelig bare ned på hans helt eget emne, ikke?

E: Man kunne sagtens se at det var rigtig vigtigt og rigtig godt men det var på ingen måde noget jeg selv gad. Jeg har altid syntes det var meget sjovt, fysik og kemi og sådan nogen ting men det der dræbte det ret meget. (latter) Lige det emne gad jeg ikke, tror jeg

I: Hvad siger du?

E: Jeg ved ikke, altså, kemi har altid interesseret mig, det har altid været sjovt men fysik det er ikke lige mig så jeg ved ikke, altså. Det er ikke lige noget for mig. (Elevinterview1 1.196-210)

I: Tror I at de har et spændende job, de mennesker I mødte?

E: De får det

E: ja det vil jeg også holde på de gør

E: Det er jo et spørgsmål om interesse, ikke? Altså, jeg kan utrolig godt lide naturvidenskab men fysikdelen er nok den del der siger mig mindst, altså. Så for mig ville det nok ikke virke så spændende som det gør for dem men jeg er for eksempel meget interesseret i biologi så jeg interesserer mig på samme måde, så jeg tror det er i høj grad et interessespørgsmål.

E: Jeg tror der er rigtig rigtig meget fremtid i at læse sådan noget som nano science og teknologi og man kommer til at være med i de der forskningsgrupper som måske ender med at gøre nogen banebrydende opdagelser. Så på den måde så tror jeg det er et rigtig rigtig spændende arbejde og, det er det der med, at der er ikke, altså jeg tror at der er ikke to dage der vil være ens – at det vil, hele tiden, så får man nye udfordringer og lærer noget nyt. Så på den måde så tror jeg det er et rigtig spændende arbejde.

I: Er der nogen af jer der selv kunne tænke jer at arbejde videre i den retning? Nu kan den jo ikke høre at der er nogen der sidder og nikker... (latter)  
(Elevinterview2 1.298-312)

Flere af eleverne gav udtryk for, at de måske gerne senere ville arbejde med nano science indenfor elektronik, computer science og biologi.

### **5. Lærernes tilbagemeldinger i spørgeskemaerne**

De deltagende lærere skulle udfylde et evalueringsskema fra hver skole ved afslutningen af skoleåret. I 2005 blev der returneret 9 skemaer, i 2006 7 skemaer.

Alle skolerne svarede ja på spørgsmålet om, hvorvidt lærerne havde været tilfredse med at deltage i projektet, og alle svarede bekræftende på spørgsmålet om, hvorvidt eleverne havde været tilfredse med at arbejde med projektet om solceller. Eleverne i en enkelt klasse havde været kede af at deres forsøg på HCØ var mislykkedes, men der var blevet rettet op på dette hjemme på skolen.

Der var ifølge besvarelserne stort set ikke udviklet undervisningsmateriale i forbindelse med nanoteknologi projektet, selvom en del lærere svarede at de havde redigeret i det fælles materiale eller suppleret med andre (små-) forsøg med solceller. Mange gav udtryk for, at det fælles materiale var righoldigt og dækkede behovet.

Spørgsmålet, hvorvidt eleverne efter lærernes vurdering har fået et fagligt løft ved at arbejde med projektet, blev gennemgående besvaret positivt. Svarene var mere nuancerede her end på spørgsmålet om elevernes tilfredshed. For eksempel svarede en skole: *'Ja, men de efterfølgende grupperapporter var ikke alle lige geniale, selvom der også var gode imellem'*. En anden skole svarede: *'Eleverne har selvfølgelig sat sig ind i et nyt fagligt område, men om der er tale om et "løft" i sammenligning med, hvad der ville være sket hvis tiden var brugt på et andet område, er svært at vurdere. Hvad forstår man egentlig ved et "løft"?'*

Ifølge besvarelserne har eleverne gennemgående været engagerede i arbejdet med projektet, mens det ikke har haft særlig betydning at materialet var web baseret. En del lærere havde skrevet materialet ud til eleverne. Eleverne på andre af skolerne var allerede vant til at bruge nettet til at søge oplysninger og følge diverse links.

Der var ikke mange forslag til justering af form eller indhold af projektet i næste forløb. Mange roste projektet, som en skole der skrev: *'NEJ. Det foreliggende projekt med det tilhørende materiale er en glimrende indføring i en række væsentlige problemstillinger indenfor nanoteknologi.'*

En skole svarede: *'Projektet fortjener ikke prædikatet Naturvidenskab i verdensklasse'*, uden at anføre en begrundelse. En anden skole svarede: *'Jeg har ingen idéer til justering af selve solcelleprojektet; men mener at verdensklasseprojektet på en eller anden måde burde give anledning til mere gensidig udveksling af inspiration og erfaring. Når det ikke er sket kan det hænge sammen med, at netop i det forløbne skoleår har alle kræfter været sat ind på at få gymnasireformen til at fungere.'*

En skole gjorde opmærksom på at eleverne i projektet havde vanskeligt ved at se forbindelsen mellem solceller og nanoteknologi. En anden skole foreslog at kombinere med brændselsceller.

Alle skolerne svarer tilbage, at resten af faggruppen har hørt om projektet.

## **6. Konklusioner og perspektiver**

Forløbet af nanoteknologi projektet vurderes i dette afsnit i relation til følgende mål fra projektbeskrivelserne for Mat Nat Verdensklasse og for delprojektet Nanoteknologi: 1)Udvikling af nye undervisnings- og læringsmetoder, 2)Lærernes kompetenceudvikling, 3)Introduktion af nye, tværgående emner, 4)Matematisk og naturvidenskabelig almindelse og 5)Interesse for naturvidenskabelige fag og uddannelser.

### **6.1 Udvikling af nye undervisnings- og læringsmetoder**

Ud fra en overordnet betragtning vedrører innovationen i nanoteknologi projektet undervisningens faglige indhold. Der har ikke på afgørende måde været eksperimenteret med hverken arbejdsform, ud-af-huset aktivitet eller teknologibrug:

- Arbejdsformen lå ganske tæt op ad traditionel, velestimeret undervisning i såvel fysik som kemi, hvor teorigennemgang lægger op til og understøtter eksperimentelt arbejde og efterfølgende skriftlig opsummering og bearbejdning i form af rapportskrivning.
- Besøget på Ungdomslaboratoriet fulgte en model som, med succes, har været brugt gennem længere tid, for eksempel af DTU<sup>4</sup>.
- Brugen af såkaldt 'ny' teknologi i undervisningssammenhæng i form af webbaseret undervisningsmateriale havde tilsyneladende ikke haft synderlig bevågenhed på de enkelte skoler.

Projektet har med held realiseret nytænkning med hensyn til det faglige indhold, på flere områder:

- Elevernes produktion af deres egen solcelle, som både af flere lærere og elever blev fremhævet meget positivt, var et kreativt element som styrkede elevernes motivation. Ifølge en konstruktionistisk læringsopfattelse (Rieber 1993) virker fremstillingen af et fysisk objekt som eleverne er fælles om og kan diskutere, fremmende for begrebsdannelse og læring. I det konkrete tilfælde havde fremstillingen af solcellerne altså tilsyneladende en sådan virkning.
- Valget af en solcelle som skulle indfarves med brombærsaft fik en del af eleverne til at 'tage forsøget til sig', tilsyneladende fordi de var positivt overraskede over at skulle bruge et så dagligdags, ufarligt 'kemikalie' i, hvad de fik præsenteret som en højteknologisk sammenhæng.
- I projektet blev velkendte problemstillinger fra energidebatten koblet med præsentationen af nanoteknologi som et splinternyt forskningsområde med et stort, ikke hidtil realiseret potentiale og med

---

<sup>4</sup> Se for eksempel [http://www.dtu.dk/Moed\\_DTU/Gymnasiebesøg.aspx](http://www.dtu.dk/Moed_DTU/Gymnasiebesøg.aspx)

stor bevågenhed i international forskning. Denne kobling skabte en positiv og optimistisk stemning omkring perspektiverne i projektets faglige indhold. Denne optimistiske opfattelse deltes i vid udstrækning af de elever, som fik dårlige forsøgsresultater.

I vurdering af undervisning, som er baseret på elevernes egne udsagn, kan man overordnet skelne mellem tre typer af undervisning, som eleverne udtaler sig positivt om: Den *underholdende undervisning*, *afslappende undervisning* og *udfordrende undervisning* (Breiting et al. 1999 s 202).

Sammenfattende var det klart under interviewene at elevernes positive udtalelser om nanoteknologi projektet skyldtes, at de oplevede det som udfordrende.

### 6.2 Læreres kompetenceudvikling

Lærernes kompetenceudvikling har været et underliggende mål men ikke specielt sat i fokus i nanoteknologi delprojektet. Følgelig var de deltagende læreres eget udbytte af at være med i projektet ikke et emne der blev spurgt eksplicit til, hverken i spørgeskemaerne eller under interviewet.

Siden hovedvægten i delprojektet kunne siges at ligge på nytænkning vedrørende det faglige indhold, er det nærliggende at vurdere lærernes kompetenceudvikling på dette punkt:

De tekniske og praktiske vanskeligheder ved selve fremstillingen af solcellerne, som der blev refereret til under evalueringsinterviewet, blev også diskuteret på skolekom konferencen. De må betragtes som begynder vanskeligheder, som der kan rettes op på ved distribution af flere oplysninger og materiale om brændingsprocessen mv. Det viste sig allerede 2. år at de lærere, som havde erfaring med fremstillingen fra 1. år, kunne undgå problemerne.

Fraværet af lærerfremstillet, supplerende undervisningsmateriale ville kunne ses som tegn på at lærerne endnu ikke følte sig fagligt helt 'på hjemmebane' indenfor emnet. Det var imidlertid ikke et krav at deltagerne skulle udarbejde materiale, og som det påpeges i et af svarene på spørgeskemaet 2006 har mange af lærerne været optaget af at få gymnasireformen til at fungere. Desuden svarede en del af skolerne, at man fandt materialet rigeligt, dækkende, tilstrækkeligt etc. I flere af svarene fra skolerne nævnes emner, som det kunne være interessant at tage op eller udvide med – sandsynligvis vil det ske i løbet af det næste par år, hvis samarbejdet med Ungdomslaboratoriet fortsætter efter den konstruerede model.

Ifølge besvarelserne af spørgeskemaerne har man på alle skolerne fortalt resten af faggruppen om projektet, i varieret omfang.

### 6.3 Introduktion af nye, tværgående emner

Det fremgår af elevinterviewene, at selve emnet nanoteknologi af eleverne opfattes som et nyt emne med en høj grad af relevans for verden udenfor skolen.

Set fra elevernes side har projektet så godt som udelukkende hørt ind under enten fysik eller kemi, afhængigt af læreren. Det betyder at selvom forbindelserne til kemi hhv fysik har været trukket op for eleverne under

behandlingen, har projektet ikke har været realiseret som et egentligt tværfagligt projekt hvor faggrænserne udviskes eller helt forsvinder.

Eleverne tænker tilsyneladende meget fagopdelt forstået på den måde, at de ønsker at placere teorier, begreber og eksperimenter indenfor rammerne af et af de traditionelle fag, og ny viden som forbindes til deres eksisterende viden følger den eksisterende opdeling.

#### 6.4 Matematisk og naturvidenskabelig almendannelse

Som nævnt i afsnit (2) var et af formålene med projektet *Matematik og Naturfag i Verdensklasse* at sætte fokus på matematisk og naturvidenskabelig almendannelse. Dette er ikke uddybet i delprojektbeskrivelsen for nanoteknologi projektet men i et af de andre delprojekter: *Naturvidenskab for alle*.

I en udbredt, hverdagsagtig fortolkning af begrebet naturvidenskabelig almendannelse kan der være tale om kundskaber og færdigheder indenfor naturvidenskab af almindelig interesse, også for udenforstående.

Begrebet kan konkretiseres ved at betragte tre dimensioner: Naturvidenskab som produkt, naturvidenskab som proces og naturvidenskab som social institution (Sjøberg 1998 side 156 - 160). Naturvidenskabelig almendannelse i denne betydning er altså viden af almindelig interesse om hvad naturvidenskab er, hvordan man driver naturvidenskabelig forskning og udvikling, hvad den kan bruges til og hvilken samfundsmæssig rolle dette kan spille. Dette er i overensstemmelse med de mål for en almendannende undervisning i naturfag og teknologi som stilles op i rapporten *Fysik og Kemi – Naturvidenskab-for-alle*, og som refereres i delprojektbeskrivelsen for *Naturvidenskab for alle*.

I denne betydning har nanoteknologi projektet klart bidraget til elevernes almendannelse, for så vidt som de er blevet gjort bekendt med indholdet i dele af denne teknologi og dens anvendelser på et niveau, så de nu har en personlig holdning til emnet, som de antagelig vil kunne artikulere og argumentere for overfor andre.

I en mere generel diskussion om (almen) dannelse og naturvidenskab positionerer nanoteknologi projektet sig ved at præsentere emnet som et eksempel på en 'kort vej fra grundvidenskabelig indsigt til mulige anvendelser' og på, at 'grænsen mellem grundforskning og anvendt forskning (..) udviskes.'

Der skelnes således i undervisningsmaterialet mellem *nano science* som grundvidenskab og *nano teknologi* som anvendt forskning: nano science er det, der forsøger at beskrive og forstå de fundamentale strukturer, processer og systemer på den nanoskopiske skala, og som ofte går på tværs af de traditionelle naturvidenskabelige faggrænser. Nanoteknologi beskæftiger sig med materialer og systemer hvis fysiske, kemiske eller biologiske egenskaber kan forbedres på baggrund af viden om deres nanostruktur. Formålet med nanoteknologien er at udnytte disse egenskaber og blive i stand til at kontrollere strukturer og processer på atomart, molekylært og supramolekylært niveau. Anvendelsen af nanoteknologien kobles så igen, som nævnt ovenfor (afsnit 6.1), til løsning af problemer som er velkendte for eleverne fra energi- og miljø debatten.

### 6.5 Interesse for naturvidenskabelige fag og uddannelser

Der er ikke tvivl om, at de elever som blev interviewet har interesse for naturvidenskabelige fag, hvilket også er i overensstemmelse med lærernes opfattelse af klasserne. Eleverne giver gennemgående udtryk for en fornemmelse af ejerskab til udvalgte, naturvidenskabelige fag og fagområder og de taler for eksempel om 'deres egne' fag, i modsætning til andre fag, også indenfor det naturvidenskabelige område. Med en enkelt undtagelse kan elevernes udtalelser i interviewene tolkes som udtryk for, at denne interesse er blevet understøttet og i nogle tilfælde udbygget gennem deltagelsen i projektet. Det er ikke muligt på baggrund af det foreliggende materiale at give en egentlig vurdering af, hvorvidt deltagelsen i projektet vil påvirke nogen af elevernes uddannelsesvalg. Dette skyldes til dels at andre faktorer, udover faglig interesse, vides at indvirke på de unges uddannelsesvalg (Jespersen 2006). Et umiddelbart bud på en effekt kan dog være, at nogle hindringer måske er ryddet af vejen:

- Det positive indtryk fra besøget på Ungdomslaboratoriet og især den gode kontakt med de studerende hjælpeundervisere må antages at betyde, at potentielt interesserede ikke vil være afskrækkede fra at søge ind på en uddannelse på grund af forestillinger om et meget fremmedartet studiemiljø.
- Glæden ved at have fået faglig indsigt i et område, som de kendte af omtale på forhånd, kan efterlade et indtryk hos nogle af eleverne af, at det ikke behøver medføre social eksklusion at beskæftige sig med teknik og naturvidenskab. Det kan medvirke til at faglig viden om f.eks. nanoteknologi tværtimod kan anses for prestigegivende.
- Under besøget blev tegnet et billede af, at forskernes arbejde er meget frit og meget ansvarsfuldt. Eventuelle forestillinger hos eleverne om, at forskning indenfor naturvidenskab giver meget lidt plads til personlig udfoldelse, må antages at blive revideret på baggrund af de nye indtryk. Det kan måske medvirke til at potentialerne for personlig udfoldelse vurderes lige når eleverne sammenligner uddannelser indenfor naturvidenskab og humanistiske fag

Den personlige tilfredsstillelse som nogle af elever gav udtryk for ved at have fået stillet deres nysgerrighed med hensyn til emnet er jo ikke nødvendigvis en ny og unik oplevelse for eleverne. De må antages at have tilsvarende oplevelser indenfor andre fag.

## **7. Litteratur**

- Andresen, M. og Thorslund, J. (2005). *Lærere i bevægelse*. Roskilde Universitetsforlag
- Breiting, Søren et al. (1999). *Handlekompetence, interessekonflikter og miljøundervisning – MUVIN-projektet*. Odense Universitetsforlag
- Jespersen Jensen, Cathrine (2006). *Det naturlige valg: en analyse af unges valg af tekniske og naturvidenskabelige uddannelser*. Danmarks Pædagogiske Universitet. (Ph.d.-afhandling)
- Rieber, Lloyd P. (1993). A pragmatic view of instructional technology. I Tobin, K. (ed.): *The practice of constructivism in science education*. Lawrence Erlbaum. (s193-212)
- Sjøberg, Svein (1998). *Naturfag som allmenndannelse – en kritisk fagdidaktikk*. Ad Notam Gyldendal.