Margareta Enghag är universitetslektor vid Institutionen för Matematikämnet och naturvetenskapsämnenas didaktik, Stockholms universitet. Hennes forskningsintresse avser undervisning och lärande av fysik i skola och högskola. Fokus i forskningen avser hur undervisningens organisation ger elever/studenter möjlighet att interagera och samtala om fysikrelaterat innehåll som ligger nära fysikens ämnesdiskurs men även berör samhällsfrågor (sociovetenskapliga dilemman).

Linda Schenk är docent i toxikologisk riskhantering vid Institutionen för filosofi och historia vid Kungliga Tekniska högskolan. Hennes forskning handlar om beslutsfattande om risker och vilka kunskapsunderlag som åberopas på samhälls-, organisations- och individnivå. Huvudintresset har varit risker med farliga ämnen i arbetsmiljön men ett är växande intresse är hur ungdomar och unga vuxna resonerar kring risk och osäkerhet.

MARGARETA ENGHAG

Stockholm University, Sweden
margareta.enghag@mnd.su.se

LINDA SCHENK

Royal Institute of Technology, Sweden
linda.schenk@abe.kth.se

Nanoteknik och riskbedömning som nytt kunskapsinnehåll i gymnasiets naturvetenskapliga kurser – en designstudie

Abstract

Nanoscience and nanotechnology (NST) is a rapidly developing knowledge area, which need incorporating in the school science curricula. The many uncertainties of risks and benefits with NST also open up for using NST as a socio-scientific issue (SSI). We present the two first iterations of a teaching sequence aimed for upper secondary school physics. The sequence contains content knowledge on NST and risk assessment and employs traditional classroom teaching, and a debate about NST as a SSI. The aims are to explore 1) students assessments of risks and benefits with NST, and 2) what design principles for teaching nanoscience and risk assessment that emerge as significant. We found that the risk assessment exercise stimulated student argumentation and discussion during the SSI debate. The teachers preferred to focus on the SSI activity, but found it challenging to fit NST content knowledge into the traditional teaching approach. Design principles found are discussed.

INTRODUKTION

Nanovetenskap och nanoteknik (NVT) utvecklas i en allt snabbare takt, och mängden patentansökningar och industrier som etableras globalt visar att NVT utvecklas som ett tekniskt paradigmen i linje med ångmaskinen, elektriciteten och halvledaren (Shea, Grinde, & Elmslie, 2011). Nanoteknik och

nanovetenskap handlar om att studera, manipulera och bygga på atomär nivå där materians tjocklek är mellan 1-100 nm i minst en dimension, för att på detta sätt kunna designa speciella egenskaper och funktionalitet. NVT öppnar många nya möjligheter och tillämpningar, med nanoteknik kan vi efterlikna förmågor från naturen, t ex geckoödlans vidhäftningsförmåga i återanvändbar tejp, hajhudens egenskaper i våtdräkter, den vattenavstötande egenskapen hos lotusblomman i smutsavvisande fönster. Dessa applikationer har ofta sitt ursprung i att material i nanoskala uppför sig annorlunda än sitt motsvarande bulkmaterial. Dock innebär detta också att ett nanomaterial kan medföra andra risker för miljö och människor än motsvarande bulkmaterial:

Nanomaterial har ett brett användningsområde som utvecklas hela tiden och hundratals produkter som innehåller nanomaterial används redan. Nanomaterial är utvecklade för att uppvisa nya egenskaper (såsom ökad styrka, kemisk reaktivitet eller konduktivitet) jämfört med samma material som inte är i nanoskala. De risk- och faro-bedömningsmetoder som används i dag är inte utvecklade för att ta hänsyn till dessa egenskaper och risker kan därför förbises. (Naturvårdsverket, 2015, s.226)

Inte bara toxikologiska risker har uppmärksamats i samband med NVT. Ett flertal aktörer har påtalat att NVT applikationer väcker ett brett spann av etiska och moraliska frågor, exempelvis om skyddande av personlig integritet, interaktionen människa och teknik och vad det innebär att vara mänsklig, samt inte minst hur fördelar och risker fördelas globalt (se t.ex. Statens medicinsk-etiska råd, 2010).

Samhället ser alltså ett helt nytt kunskapsområde växa fram och med det socio-politiska frågor om associerade risker. Det finns därför ett behov av NVT i skolan. I likhet med många andra forskare menar vi att skolans undervisning bör förse elever med förståelse för kunskapsområdet såväl som tillhörande sociala och etiska frågor angående både risker och fördelar (t.ex. Albe, 2007; Hingant & Albe, 2010; Laherto, 2010, 2011; Murcia, 2013; Simonneaux, Panissal & Brossais, 2013; Roco, 2003).

Nanovetenskap inom fysik, kemi och biologi ger nya infallsvinklar för undervisning om skala och storleksordningar, om hur materialegenskaper och kraftverkan mellan dessa partiklar påverkas av kvanteffekter med intressanta fenomen till följd. Dessa fenomen känner vi inte igen från motsvarande växelverkan i vardagslivet. NVT kan integreras med svenska ämnesplaner i både fysik, biologi och kemi, samtidigt som det medför intressanta kopplingar till nya etiska och sociala infallsvinklar (Laherto, 2010) som kan berika undervisningen genom samtal eller debatter om NVT som sociovetenskapliga dilemman (Albe, 2007; Hingant & Albe, 2010; Enghag & Schenk, 2016). Kopplingen till NVT som ett sociovetenskapligt dilemma gör att riskbedömning kan vara ett steg in i undervisning om NVT, men riskbedömning är också ett kunskapsinnehåll i egen rätt. Risk blir ett allt viktigare begrepp i dagens samhälle (Adams, 1995; Beck, 1992; Christensen, 2009) och kraven ökar på medborgare att förstå och fatta beslut om ny teknik och nya konsumentprodukter. Eftersom nanoteknik är en framväxande vetenskap, finns det just nu möjlighet att bevittna den vetenskapliga processen, och beslutsfattandet om hur denna nya teknologi ska användas (Stevens, Sutherland, & Krajcik, 2009). Vetenskapliga framsteg innefattar att utveckla förklaringar av hur och varför saker fungerar, men också att kunna tillämpa kunskapen för att nå mål, lösa problem och besvara frågor som ställs av ett samhällsintresse. Kunskap om NVT såväl som riskbedömningsprocesser knyter alltså tydligt an till målet om att utbilda beslutsförmässiga medborgare med naturvetenskaplig allmänbildning eller scientific literacy.

I denna artikel presenteras och diskuteras en intervention med två iterationer med nanovetenskap i fysikundervisning som har genomförts på en svensk gymnasieskola under 2014 och 2015 samt resultat och planerad fortsättning. Delar av planering och resultat från dessa interventioner har tidigare presenterats på konferenser (Enghag, Karlsson, Schenk, & Wester, 2013; Enghag & Schenk, 2016). Forskare och lärare har samarbetat för att designa och utveckla en undervisning som ger plats åt NVT inom fysikundervisning på gymnasiet i den svenska ämnesplanen (2011) och som introducerar NVT

i kombination med ett kunskapsinnehåll om riskbedömning. Genom att introducera riskbegreppet syftar vi till att knyta etiska och sociala frågor närmare det naturvetenskapliga undervisningsinnehållet (Christensen, 2009).

TIDIGARE FORSKNING

Laherto (2011) undersökte 23 lärares åsikter om vilket kunskapsinnehåll relaterat till NVT som kunde inkluderas i de finska skolornas undervisning från tre tematiska perspektiv: 1) bedömningen av hur viktigt det var att inkludera NVT i läroplaner, 2) bedömningen av vad som var undervisningsrelevant kunskapsinnehåll, och 3) bedömningen av vilka resurser som krävs för att inkludering NVT i undervisningen. Resultaten visade att lärarna fann NST relevant för naturvetenskaplig undervisning, särskilt inom fysik och kemi, men att brist på resurser, så som tid och lämpligt undervisningsmaterial, sågs som ett hinder för att införa det på egen hand. I denna studie är vår utgångspunkt att lärare finner det relevant att inkludera NVT, dels för att det förväntas vara intresseväckande för elever liksom för läraren själv, och dels för att det möjliggör ett inslag av reflektion över fysikens roll i samhällsfrågor.

Det påpekas i litteraturen att det är av intresse att lärare implementerar lektionssekvenser med sociovetenskapliga dilemman (t ex Kolstø, 2001; Sadler, 2009) och att lärares erfarenheter av arbete med samhällsfrågor med naturvetenskapligt innehåll kan tas tillvara (Ekborg, Ottander, Silfver, & Simon, 2013). Simonneaux och kollegor (2013) presenterade en undervisningssekvens om NVT som avslutades med en debatt där NVT diskuterades som en s.k. socialt brännande fråga (Socially Acute Question), vilket är ett koncept närliggande sociovetenskapliga dilemman. Denna debatt analyserades dels med avseende på samtalstyper som förekom (Mercer, 2000) dels med en analys av riskperception. Simonneaux och kollegor såg vidare att elevernas diskussion fokuserades till en debatt om ny teknik mer allmänt, och inte till ett samtal om NVT. Detta väcker frågan om hur debatten kan organiseras för att behålla fokus på NVT. En liknande iakttagelse rapporteras av Angell, Guttersrud, Henriksen och Isnes (2004) som undersökte norska ungdomars attityder till fysikämnet och fysikundervisning. När det gäller ungdomars syn på om fysik är relaterat till vardagsvärlden, fann forskarna att samtal om fysikrelaterade frågeställningar verkar vara naturligt och viktigt för ungdomar, men att de gärna glider in på mer existentiella spekulationer, snarare än att gå på djupet i granskningen av fysikrelaterade vardagsfenomen. Även i studier av universitetsstudenters kunskap och värderingar rörande NVT visas att ungdomar mest möter NVT genom vardagen, t ex via nanopartiklar i konsumentprodukter, och att de i avsaknad av utbildning om risk resonerar utifrån sina egna socialt konstruerade uppfattningar (Gardner, Jones, Taylor, Forrester & Robertson, 2010). Karlsson, Enghag, Schenk och Wester (2014) fann att unga universitetsstudenters argumentation analyserad med SEE-SEP modellen (Christenson, Chang Rundgren och Höglund, 2012) till 50 % baserades på värderingar.

Risk och riskbedömningar i naturvetenskaplig undervisning

Christensen (2009) diskuterar behovet av särskild riskundervisning och utgår från Ulrik Becks beskrivning av risksamhället. De tekniska system som byggs upp runt omkring oss är mer än tidigare förenade med osäkerhet, de omfattar riskbedömning och beslut om livsstil och hållbar utveckling. Det ger ofta så komplexa frågor att de inte kan lösas av experter eller med enskilda vetenskapliga fakta. Hon hänvisar även till Edward Jenkins:

As Jenkins (2000) has observed, if we do not engage in school science with the uncertain science of contemporary issues, we leave students confronted with 'two seemingly conflicting, if perhaps overlapping, visions of science: one constructed and institutionalised in the school curriculum and another which is much less secure and develops from their own, rapidly enlarging experience of the social, physical and emotional worlds which they inhabit' (p. 209). He suggests that including risk assessment in science education is important because this context of uncertainty and complexity is where most students will ultimately encounter science in their lives. (Christensen, 2009, p.210)

Riskbedömningar kan bli en kontrast till det säkra och oproblematiserade kunskapsinnehållet som traditionellt presenteras inom fysikämnet. Riskbegreppet har, trots att det funnits så länge i den sociopolitiska diskursen om teknik och samhälle, inte tagits in i skolornas styrdokument. Detta påtalades redan 2006 i brittiska projektet 'Twenty first century science' (Millar, 2006). Försök att i samarbete med lärare skapa utrymme för riskbedömningar, t ex i matematikämnet (Levinson, Kent, Pratt, Kapadia & Yogui, 2011) har rapporterats, och flera EU-projekt har utvecklat olika typer av resurser och fortbildningsinsatser för lärare.

Kolstø (2006) studerade hur ungdomar tog ställning i ett sociovetenskapligt dilemma, där frågan var om kraftledning kunde dras genom ett tätbebyggt område, efter information framkommit om att elektromagnetisk strålning från kraftledningarna skulle kunna orsaka förhöjd förekomst av leukemi hos barn. Han analyserade detta i en förenklad variant av Toulmins argumentationsmönster (Toulmin, 1959; se t ex Simon, 2004), i vilken han följde vad elever påstår om ett kontroversiellt ämne, vilka data och information de hänvisar till, och hur detta leder till ett motiverat ställningstagande, ett slutomdöme. Detta är en användbar metod för analys av elevers argumentation, särskilt när de inte specifikt har tränat på argumentation.

HUR SKA NVT INTRODUCERAS PÅ GYMNASIET?

Ett fortbildningsprojekt för lärare med en inriktning mot ett fysiknära innehåll finns inom EU-projektet EduNano (Se edunano.eu) med fortbildningsresurser för avancerad nano-undervisning, t ex AFM-mikroskopets funktion (Jones, Anderson, Yeo, Greenberg, Brossard, & Moore, 2014). Tio olika temaområden där nanopartiklar används och innebär både risk och nytta presenteras i ett undervisningsmaterial kallat *Small Sciences – Big Decisions* utvecklat av Nye, Greenberg och Jones (2013) (se länk i referenslistan) och publicerat efter utvärdering (Jones, Anderson, Yeo, Greenberg, Brossard, & Moore, 2014). I vår studie modifierar vi materialet för att erbjuda elever möjlighet att diskutera ställningstaganden i användning av NVT i samhället. Detta bygger på rekommendationer från Hingant och Albe (2010, s.148) som understryker i en omfattande litteraturgranskning att det allmänt saknas studier om kopplingen mellan science, technology and society från gymnasieskolan, och att även om nanoliteracy bara avser en introduktion till NVT måste man noggrant studera alla möjligheter att bidra till förståelse av NVT och dess inverkan på samhället samt följa upp etiska aspekter av NVT.

Designbaserad forskning

Designbaserad forskning utgår från en skolas lokala praktik med dess begränsningar och möjligheter, och ger möjlighet för forskare och lärare till ett utbyte gällande påståenden om undervisning och lärande, och kan ge förutsättningar för att skapa effektivt lärande i utbildningsmiljöer (Design-Based Research Collective, 2003; McKenney & Reeves, 2012; van den Akker, Gravemeijer, McKenney, & Nieveen, 2006). Genom att inkludera forskningsfrågor om vilka designprinciper som ger kraftfulla lärandemiljöer, och succesivt förfinas dessa designprinciper i cykler, utvecklas undervisningen positivt, och ny kunskap genereras. Van den Akker (1999) menar att designprinciper kan hjälpa andra att utveckla sin undervisning inom ett visst område både med avseende på val av undervisningsmaterial och procedurer för tillvägagångssättet.

SYFTE OCH FORSKNINGSFRÅGOR

Syftet med studien är dels att få kunskap om elevers förmåga att diskutera, ta ställning och argumentera om nanovetenskap och nanoteknik, samt att utveckla en design för undervisningen av NVT, så den kan integreras i fysikundervisning på gymnasiet, och bidra med ett aktuellt innehåll av nanovetenskap, nanoteknik och riskbedömning.

Följande mer specifika forskningsfrågor är:

1. Vad lyfter elever fram som risk och nytta med nanovetenskap och nanoteknologi?
2. Vilka designprinciper för NVT och riskbedömning kan urskiljas som viktiga för att undervisa NVT inom fysikämnet på gymnasiet?

TEORETISK ANSATS OCH METOD

Studiens forskningsupplägg följer modellen i Figur 1. Studien baseras på didaktikforskning med ett sociokulturellt perspektiv, där lärande ses som ändrat deltagande i sociala praktiker som bygger på gemensamma aktiviteter och kommunikation (Dewey, 1938/1963; Vygotsky, 1978; Mortimer & Scott, 2003; Mercer, 1995). Grundantagandet baseras på kritisk realism (Sayer, 2000), och att det är möjligt att studera mänskliga handlingar i öppna system, samt att utifrån kvalitativa studier av enskilda fall förstå mekanismer som ger kausala samband (Maxwell, 2004). Det går att studera processer i utbildningssituationer, och mekanismer bakom händelser kan ges orsak-beskrivningar och förklaringar i komplexa lokala sammanhang och fortfarande erbjuda olika typer av generaliserbarhet (Fires-tone, 1993). För att kunna studera dessa processer måste vi utforma interventionerna iterativt för att successivt få svar på våra forskningsfrågor.

Figur 1: Forskningsdesign

Tre startprinciper ligger till grund för interventionen:

Startprincip 1: Införandet av nytt kunskapsinnehåll, NVT och riskbedömning, som en ingång till samhällsfrågor med naturvetenskapligt innehåll, kräver att läraren erbjuds ett undervisningsmaterial som utgångspunkt att sedan bearbeta (Laherto, 2011). Detta är nödvändigt för att lärare ska kunna genomföra interventionen med begränsad arbetsinsats/fortbildning.

Startprincip 2: Undervisningen av risk: Riskbedömningen bör innehålla en jämförelse av risk och nytta och en argumentformulering baserad på information och understödande motiveringar (Eng-hag & Schenk, 2016). Detta ger grunden att bidra till förståelse av NVT och dess inverkan på samhället samt följa upp etiska aspekter av NVT (Hingant och Albe, 2010).

Startprincip 3: Eleverna behöver erbjudas tillfälle till samtal vilket leder till sonderande samtal för konsensus (Mercer, 2000), och /eller debatter där ställningstagande och argumentation utvecklas (Simonneaux et al., 2013). Detta är centralt för att eleverna ska få träna på ett motiverat ställnings-tagande.

Planerade interventioner

Vi presenterade och diskuterade de tre ovan listade inledande principerna för de fysiklärare vi samarbetade med, i syfte att erbjuda verktyg för att komma igång med NVT undervisning. Samarbetet skedde dels i samtal i samband med genomförandet, men också med kontakt via epost, då vi diskuterade uppgifter och idéer. Vi rekommenderade också boken *The Big Ideas of Nanoscale In Science and Engineering* av Stevens, Sutherland och Krajcik (2009) som underlag för studier av nanovetenskap och de fenomen som nanopartiklar för med sig. Denna bok behandlar nio viktiga koncept inom NVT: Storlek och skala, Materiens struktur, Kraft och växelverkan, Kvanteffekter, Storleksberoende egenskaper, Self-assembly, Verktyg och instrumentering, Modeller och simuleringar samt Samhällsvetenskapliga effekter. Utöver boken rekommenderade vi undervisningsmaterialet *Small Sciences – Big Decisions* (Nye, Greenberg och Jones, 2013). Detta material omfattar följande temaområden: energi, miljö, transport, medicin och hälsovård, militär och försvar, elektronik och datorer, jordbruk och livsmedel, tillverkning och konsumentprodukter samt flyg och rymdindustri. Temaområdena finns tillgängliga som power-point-presentationer och video-clips, där en kort info om NVT följer med varje temapresentation.

Intervention genomfördes i två cykler. Cykel 1 genomfördes vårterminen 2014 och cykel 2 under vårterminen 2015. Under båda cyklerna arbetade vi tillsammans med gymnasielärare och gymnasieelever som hade tidigare erfarenhet av forskningssamverkan. Det var olika undervisande lärare i de två cyklerna. Även den kurs i vilken undervisningssekvensen om NVT introducerades samt tiden som kunde avsättas åt sekvensen skiljde sig åt. Följaktligen implementerades vår undervisningssekvens på olika sätt av lärarna, men skulle i båda cyklerna innehålla elevpresentationer med riskanalys av var sitt temaområde inom NVT samt en diskussion/debatt. Simonneaux och kollegor (2013) lät eleverna genomföra en avslutande debatt kring en egenvald fråga efter en frågestund med en genetikforskare och en filosofidoktorand. Vi ville istället ta fram en lektionssekvens som ordinarie fysiklärare kan implementera på egen hand. Således lät vi eleverna välja teman utifrån *Small Sciences – Big Decisions* och baserade debattdiskussionen på detta material. För lärarna föreslogs följande upplägg som utgångspunkt för den egna planeringen:

- Lektion 1 Nanopartiklar i konsumentprodukter. Låta eleverna undersöka konsumentprodukter som innehåller nanopartiklar. Ge utrymme för elevers egna erfarenheter, samt introducera riskbegreppet, baserat på ett upplägg från en studie av ingenjörsstudenter (Karlszon et al., 2014).
- Lektion 2 Kort sammanfattande genomgång om Big Ideas 1-5 (Stevens, Sutherland & Krajcik, 2009) ev Nanovärlden (Rao, 2011). Big Ideas: 1 Storlek och skala, 2 Materiens struktur, 3 Kraft och växelverkan, 4 Kvanteffekter, 5 Storleksberoende egenskaper.
- Lektion 3 Big Ideas 6-8 (Stevens, Sutherland & Krajcik, 2009). Big Ideas: 6 Self-Assembly, 7 Verktyg och instrumentering, 8 Modeller och simuleringar.
- Lektion 4 Studiebesök vid Materialvetenskap, Karlstads universitet, med visning av olika typer av mikroskop (svepelektron-, SEM, och sveptunnelelektronmikroskop, STEM) och atomkraftmikroskop (AFM), samt presentationer om forskning med/om nanopartiklar.
- Lektion 5-6 Självstudier och grupparbeten. Debatt om nano som ett samhällsfenomen, men också argumentation om nano som kunskapsområde, utifrån en webbaserad aktivitet *Small Sciences – Big Decisions* (Nye, Greenberg & Jones, 2013). Häri ingår en uppgift om att diskutera en hypotetisk forskningsbudget och att efter att varje grupp presenterat sitt tema fatta beslut om fördelning av denna budget till olika områden där NVT tillämpas.
- Lektion 7 Avslutande pass gärna en personlig utvärdering från eleverna om nanopassen. Enkät om kunskaper och intresse för nanovetenskap (Murcia, 2013)

Procedur och datainsamling under studiens första interaktion

Det första året planerades en lektionssekvens som del i kursen Naturvetenskaplig fördjupning. Det var 12 elever som läste kursen, dessa hade olika planer för fortsatta studier, men uttryckte till sin lärare intresserade av området och av att delta i studien. Läraren hade tidigare personlig erfarenhet

av nanovetenskapliga undersökningar inom industrin och av arbete på ett forskningslaboratorium där nanomaterial tillverkades. Interventionen i cykel 1 följde det föreslagna upplägget presenterat i föregående sektion (Se Planerade interventioner). Eleverna fick ingen formell modell av riskbegreppet, utan utgick från sin vardagsförståelse av begreppet risk (risk är en oönskad händelse som kan eller kan inte hända).

Forskarna videofilmade och deltog för observation under lektion 1 (diskussion och undersökning av konsumentprodukter), under lektion 4 (besök på universitets nanolab) och under lektion 6 (debatt om risk och nytta med nano). En gästforskare deltog som observatör och samtalspartner till försteförfattaren vid de tre videoinspelade passen. Eleverna genomförde under lektion 6 en kort muntlig presentation utan visuella hjälpmedel om sitt förberedda tema. Efter presentationerna följde en debatt kring en hypotetisk forskningsbudget vilken läraren antecknade på tavlan i klassrummet. Slutligen under lektion 7 besvarades vår anonyma webbenkät om kunskaper och attityder, resultaten från denna skickades tillbaka till läraren för erfarenhetsåterföring om elevernas lärande av NST koncept. Utöver detta gjordes inledningsvis en ljudinspelning av en intervju med den undervisande läraren. Lektion 6, transkriberades i sin helhet, medan övrigt material har genomlyssnats flera gånger och transkriberats i valda delar.

Procedur och datainsamling under studiens andra iteration

Det andra året planerades en lektionssekvens som ingick i fysikämnet för studenter på naturvetenskapligt program, fysik 3. Det var 12 elever som läste kursen. Dessa elever hade redan valt till civilingenjörsprogram efter gymnasiet, och uttryckte till sin lärare intresse av miljöfrågor och ny energiteknik. Läraren var engagerad i att arbeta mer med kommunikation i klassrummet, och nyfiken på att integrera NVT i fysikkursen. Kortare tid avsattes till undervisningssekvensen under denna cykel på grund av kursens tidsramar. Detta innebar att lektionen med konsumentprodukter och universitetsbesöket ströks. Upplägg och tidsåtgång för den genomförda interventionen i cykel två var som följer:

- Lektion 1-2 Big Ideas of Nano-studier, Introduktion till *Small Sciences – Big Decisions* Elever förbereder sitt temaområde, Introduktion av riskbegreppet
- Lektion 3 Elevernas ppt-presentationer av förberedda teman, med uppgift att identifiera tre fördelar och tre risker samt att genomföra en semi-kvantitativ riskbedömning följt av kort debatt.
- Lektion 4 Enkät om elevernas kunskaper och attityder om NVT (Murcia, 2013)

Andra året deltog förstaförfattaren och en doktorand, som videoinspelare och observatörer vid debatten under lektion 3. I denna cykel presenterades eleverna för en formell modell av risk (risk = sannolikhet för händelsen $\times$ konsekvenser av händelsen). Här anges sannolikheten som fyra kvalitativt rangordnade nivåer (ordinalskalor), och likadant fyra kvalitativt rangordnade nivåer av konsekvenser. Modellen används frekvent inom riskbedömningar i samhällssektorn (se t ex Räddningsverket, 2003). Denna modell fick eleverna använda under lektion 3 för att göra sin riskbedömning av de tre identifierade riskerna under sitt tema. Efter presentationerna följde en debatt kring en hypotetisk forskningsbudget vilken läraren antecknade på tavlan i klassrummet. Lektionen videofilmades och transkriberades delvis. Under lektion 4 besvarades vår anonyma webbenkät om kunskaper och attityder, resultaten från denna skickades tillbaka till läraren för erfarenhetsåterföring om elevernas lärande av NVT koncept.

Analysmetoder

För att besvara forskningsfråga 1 om hur elever bedömer risk och nytta med NVT så använde vi dels ett förenklat ramverk byggt på Toulmins analysverktyg för att analysera argument och beslut om risker från Kolstø (2006), samt en induktiv innehållsanalys (Mayring, 2000) genom utveckling av kategorier från meningsbärande enheter (Kvale, 1997). Från båda cyklerna analyserades dels elevernas riskbedömningar, dels deras argumentation. En mer detaljerad argumentationsanalys utfördes på

den första cykelns material, i vilken vi kategoriserade transkripten från debatten enligt påståenden, de empiriska data som refereras till, och de ställningstaganden som föreslås (presenterat i detalj i Enghag & Schenk, 2016). För att besvara den andra forskningsfrågan om vilka designprinciper för NVT och riskbedömning som kan urskiljas som viktiga för att undervisa NVT inom fysikämnet på gymnasiet, så analyserade vi hur designstudien utvecklades mellan cyklerna och vilka fördelar och nackdelar vi såg med vår implementering och intervention utifrån begreppen syfte och mål (Hart, Mulhall, Berry, Loughran & Gunstone, 2000). Hart et al. (2001) använder syfte (purpose) för att uttrycka lärarens pedagogiska intentioner för en aktivitet och hur aktiviteten ska organiseras för att passa in undervisningsenheten, och hur aktiviteten tänks resultera i planerat lärande för eleven. Med mål avses vad eleverna förstår som det resultat de ska leverera av aktiviteten, t ex en produkt eller en redovisning som kommer att bedömas.

RESULTAT OCH ANALYS

Vi redovisar först resultatet från de två cyklerna av lektionssekvensen om nanovetenskap och nanoteknik (NVT) och de riskbedömningar som eleverna gjorde under den avslutande debatt-lektionen (90 min). Debattlektionen inleddes i båda cyklerna med att eleverna redovisade hur de skulle fördela 100 procent av en forskningsbudget om NVT på olika temaområden (Nye, Greenberg och Jones, 2013) och sen hade en diskussion kring den övergripande frågan Är nanoteknologi önskvärt och kommer det att förbättra för mänskligheten? (Simonneaux et al. 2013).

Första iterationen

Lektionspasset började med att eleverna fick 30 minuter för att förbereda sin presentation av temat, som de tidigare i lektionssekvensen valt och bearbetat. Varje grupp fick sedan muntligt vid sittande bord, presentera sitt tema, samt ange tre fördelar och tre risker som de identifierat under sina studier av detta tema. Efter presentationerna fick grupperna ange vilken andel av en hundra procents budget de vill satsa på varje tema, och argumentera kring detta. Läraren agerade klassens sekreterare och noterade på tavlan hur grupperna gjort budgetfördelningen över teman, deras nyttor, samt tre risker. Som sista del följde en diskussion med de övergripande frågorna. I tabell 1 redovisas en förkortad sammanställning av fördelar och risker från temapresentationerna och gruppernas förslag på resursfördelning. Resultaten visar att hälsovården prioriterades högst, medan elektronikutvecklingen rankades sist. Övriga teman som eleverna valt (jordbruk, miljö, militärt och transporter) rankades i stort sett som lika viktiga. Varje område har stora fördelar, som även var preciserade i det webbaserade materialet, medan riskerna, som eleverna i större utsträckning fick formulera själva var mer utmanande. De uttrycks också är mer allmänt: det är dyrt, kunskap saknas, vi vet för lite om följderna av användningen. Att användningen medför moraliska dilemman påpekas av gruppen som redovisar militär användning, medan elektronikgruppen påpekar risker med att elektronikutvecklingen riskerar att människans makt över tekniken förloras, tekniken blir smartare än människan.

Tabell 1: Resultat av elevernas bedömning av fördelar och risker med de olika temaområdenas användning av nanoteknik-första cykeln. Ranking baserad på hur resurser bör ges till olika teman.

Tema	Fördelar	Risker	Ranking medel %, median%
Hälsovård	Bota sjukdomar, cancer, hjärta, hud. Snart blir "nanobrus" en ny tablett för allt.	Kunskap saknas. Dyrt. Vi saknar färdiga produkter.	1 38%, 40%,
Militärt	Förbättrad stridssjukvård och kroppsskydd. Civil användning av medicinska tillämpningar.	Svårt att begränsa tillgängligheten. Oetiska val görs. Vem vill ha bättre vapen – moraliska dilemman.	2 14%, 10%
Transporter	Ökad säkerhet, bildäck med bättre grepp. Lättare material, mindre bränsleförbrukning, rostskyddet ger längre hållbarhet.	Dyrare. Biologiska risker.	2 14%, 12,5%
Jordbruk	Utveckling av smarta förpackningar, sensorer som känner av föroreningar, spårbarhet.	Vi vet för lite om hur människan kommer att reagera	2 14%, 10%
Miljö	Nanosilver oskadliggör bakterier, bryter ner avfall. Effektivare solenergiteknik.	Dyrt. Vi vet inget om biverkningar. Ekosystemen kan skadas.	5 13%, 10%
Elektronik	Snabbare, kraftfullare och mindre elektronik med mindre sensorer och böjliga material.	Tekniken blir smartare än människan genom utveckling av Artificiell Intelligens, övervakningssamhället.	6 6,7 %, 5%

Genom att kategorisera argument från transkriptionen av den övergripande diskussionen kunde fyra huvudkategorier lyftas fram där argumentet och det beslut argumentet ledde till formuleras. Från den meningsbärande enheten (citatet) har ett påstående och ett ställningstagande urskiljts och meningskoncentrerats (Kvale, 1997). De fyra kategorierna var: 1) Fortsätta utveckla NVT-våga tro på forskningen 2) Ändra fokus för forskning och utveckling, 3) Invänta mer kunskap innan vi går vidare, samt 4) Stanna upp – det känns bra som det är idag (se Enghag & Schenk, 2016). Ungdomarna argumenterar med fyra olika typer av påståenden, där det första är positivt: man lär sig på sikt av forskningen så man måste våga pröva. Två är tveksamma: det finns etiska dilemman, är detta nödvändigt? Låt oss vänta och se. Det mest negativa uttrycker att vi har det bra som det är idag, låt oss stanna upp här.

Lärarnas syfte och elevernas mål med aktiviteterna, första iterationen

Vår första lärare har arbetat som materialfysiker många år, bl a med fibriller av kol, och ser vissa risker för användning av mascara med nanopartiklar med tanke på att nanopartiklar kan ta sig över blod-hjärnbarriären, det vill säga passera från blodet in i hjärnan med oönskade effekter. Läraren har ett stort intresse av att ta in nanovetenskap i fysikkursen, men med kravet på att vara förberedd för ett gemensamt slutprov i fysik 2, väljer läraren att ta in lektionssekvens i en kurs naturvetenskaplig fördjupning, vilket öppnat sig som en möjlighet att ta in nanofysik och mikrobiologi. Läraren önskar att man vågat göra en mycket mer radikal förändring av det centrala innehållet när den nya ämnesplanen infördes (år 2011), istället för att bara stuva om moment i den klassiska fysiken. Kravet på en lärobok som kvalitetsgranskas mot styrdokumentet, står högt på önskelistan. På frågan om det finns någon koppling till NVT i kursplanerna i fysik idag svarar läraren:

Nu är det första gången jag kör fysik 2, och jag har en låda (med materialfysikprover) från mitt tidigare liv, men jag har aldrig tidigare tänkt att jag skulle visa t ex fibriller, för det finns ingen direkt koppling. Jag har jobbat i ett fullt utrustat halvledarlabb tidigare, men i fysik 2-boken finns det 8 rader om (halvledarfysik), och hela vårt liv bygger ju på halvledarfysik, men i fysik-boken finns det 8 rader...!

Genom att genomföra lektionssekvensen i kursen Naturvetenskaplig fördjupning, kan lärarens syfte att presentera aktuell fysik för eleverna genomföras utan kraven på styrning mot krav på traditionell problemlösning och laborationer, och inriktas mot t ex diskussion och samtal i större utsträckning. Målet för eleverna blir deltagande i kvalitativa diskussioner och orientering inom ett nytt fysikområde med stora samhällsaspekter.

Andra iterationen

Debattenlektionen inleds även denna gång med elevparens redovisningar av risk och nytta inom sitt valda tema, som blev annorlunda än vid cykel 1. Eleverna presenterade denna gång de teman de valt med power-point-presentationer, vilket gjorde att det blev svårt att hålla tidsramen 5 minuter per presentation. Läraren agerar klassens sekreterare och noterar på tavlan hur grupperna gjort budgetfördelningen över teman, deras nyttor, samt tre risker med tillhörande nivå av sannolikhet och konsekvens (se tabell 2). Elevernas ranking ger störst resurser till energi och till miljö, medan rymdteknik anses mindre viktigt. Det var utmanande för eleverna att identifiera tre olika risker inom vissa teman. För miljöområdet tycks samtliga tre risker vara variationer på samma aspekt, nämligen att nanomaterial kan vara miljöskadliga. För de identifierade riskerna inom varje tema utförde eleverna i cykel 2 även en semi-kvantitativ riskbedömning (tabell 2). Detta innebar att eleverna på en skala 1- 4 graderade sannolikheten för att risken skulle inträffa och på en skala 1- 4 konsekvensen om risken inträffar (se tabell 2). Det som förändrats i denna cykel är alltså riskbedömningen. Sannolikheten anges i skalan (mycket liten- liten-stor-mycket stor) och konsekvens i skalan (lindrig-kännbar-allvarlig-katastrof). Det minimala väntevärdet (forventningsvärde/expected value) är således $1 \times 1 = 1$, och det maximala $4 \times 4 = 16$. Medelvärde av risker för varje område korrelerar med graderingen av forskningsbudgeten, på så sätt att militär användning ges minst tilldelning av budgeten, vilket kan ses som en indikation riskbedömningen har spelat in i elevernas beslut. Störst risk identifierades inom temat militärt, för möjligheten att militära applikationer kan spridas och komma att missbrukas av kriminella. Även inom tema miljö och tema transport identifierades allvarliga risker, med miljöeffekter av nanomaterial, farliga olyckor och kontrollsvårigheter. Energiriskerna bedömdes överlag som minst, framför allt på grund av att konsekvenserna bedömdes som relativt små (lindrig – kännbar) trots att sannolikheten bedömdes som mycket stor för två av de tre riskerna (tabell 2). Energi har också tilldelats störst medelvärde av gruppernas budgetförslag. Den fria diskussionen gällande nanovetenskapens nytta för mänskligheten blir av tidsskäl lärarstyrd på 10 min som återstår av lektionen, men flera argument kan urskiljas bl a : "viktigt att våga, även om det riskfyllt" samt "det kanske inte är så viktigt att utveckla allt så långt". Liknande argument uttrycktes under cykel 1. Riskbedömningen spelar en tydligare roll denna andra cykel.

Tabell 2: Resultat av elevernas bedömning av fördelar och risker med de olika temaområdenas användning av nanoteknik –andra cykeln. Risk angiven som sannolikhet (S) och konsekvens (K). Ranking baserad på hur resurser bör ges till olika teman.

Tema	Fördel	Risk	Sannolikhet x konsekvens =väntevärdet	Ranking medel %, median%
Energi	Billigare och effektivare solpaneler. Effektivare batterier. Arbetsstillfällen inom nanoforskningen.	Otestad teknik. Dyr forskning. Slår ut marknaden för fossila bränslen.	2x1=2 4x2=8 4x1=4	1 40%, 38%
Miljö	Tar bort gifter från marker, luften och vatten Identifiera och hitta giftiga kemikalier Många användningsområden.	Utforskat område, okända konsekvenser vid användning av nano Nanopartiklar kommer ut i miljön Framställningen är kostsam och inte miljövänligt	2x3=6 3x3=9 3x2=6	2 21%, 18%
Tillverkning	Billiga produkter – Massproduktion Medicinska världen Mindre och effektivare produkter	Det är även dyrt och omiljövänligt Extrema miljöer Kärnvapen kan göras mer kraftfulla och mer lättillgängliga	2x2=4 4x2=8 2x4=8	3 14%, 13%
Transport	Miljövänligt Energisnålt Starkare material	Farligare typ av olyckor Dyrt Svårt kontrollera nytt/gammalt	3x4=12 1x4=4 3x4=12	4 13%, 10%
Rymd-flygteknik	Starkare material Bättre energikällor Sensorer	Dyrt Brist på kunskap Stora projekt	3x2=6 2x4=8 3x1=3	5 6,7%, 5%
Militär o försvar	Egen säkerhet Egen offensiv Osynlighetsmantlar	Ännu inte känt hur nvt påverkar kroppen.Kan innebära fara ute i samhället då man inte ser folk (t.ex. trafiken) Osynlighetsmantel kriminell användning	3x2=6 4x4=16 1x4=4	6 5,8%, 5%

Lärarnas syfte och elevernas mål med aktiviteterna, andra iterationen

När läraren diskuterar interventionen efter cykel 2 har genomförts, så poängteras att syftet med NVT är att det ska vara intresseväckande. Det påtalas hur NVT framställs i det använda läromedlet, att det ligger långt bak i fysikboken, men det skulle passa bättre som något intresseväckande tidigare i kursen:

Läraren: Om man tittar nu i läromedlet för fysik 3, då är det väldigt lite med om nanofysik, och det kommer väldigt långt bak i boken ... jag skulle vilja ha det med lite tidigare, något som är intresseväckande lite tidigare, för att sedan gå in på Heisenberg och Schrödinger-ekvation mm.

Lärarens syfte är att NVT ska väcka intresse för fysikinnehållet såsom det beskrivs i läroboken, och egentligen hur detta intresse ska underlätta för eleverna att ta sig an det fysikinnehåll som behandlas

under kvantfysikavsnittet. Genom att genomföra interventionen i kursen fysik 3, kan lärarens syfte att presentera aktuell fysik för eleverna inte genomföras utan kraven på styrning mot krav på traditionell problemlösning och laborationer. Här ger inriktningen mot diskussion och samtal i interventionen ändrade förutsättningar för undervisningen.

Aktiviteten *Small Sciences – Big Decisions* där eleverna diskuterar valda teman har inte ett djupt fysikinnehåll man kan räkna på som man brukar i gymnasiefysiken, men är verkligen intresseväckande:

Intervjuaren: Här framställs det ju som ett samhällsfenomen att diskutera?

Läraren: Ja, exakt så, och det är lite roligt, för ofta presenterar en nånting här på gymnasiet – och sen börjar man räkna på det

Intervjuaren: Ja..

Läraren: Men här blir det mer diskussion...det blir på ett annat sätt. Då blir det att man tänker...man kanske skulle ha räknat lite mer?

Det uttrycks en ambivalens mellan att undervisa fysik på ett vedertaget sätt, där djup avser hur matematiskt innehållet kan framställas, och att nu ge sig in på ställningstagande och även att kunna ifrågasätta syftet med teknikutvecklingen, och att detta leder till osäkerhet i undervisningssituationen.

Läraren: Jag tycker just Big Ideas...den boken...var väldigt bra. Om en skulle göra mer runt ett område så stod det väldigt tydligt vad studenterna ska kunna och...det tycker ju är väldigt trevligt, när man är osäker på området, vad man ska rikta in sig på. Och även det här med valensband och bandgap fanns ju med...mycket intressant fysik var ju med där.

Intervjuaren: Om man skulle valt bara den boken, och man skulle valt att låta dem presentera en Big Idea var istället?...då hade det ju blivit en helt annan diskussion.

Läraren: Ja, då hade det ju blivit annorlunda ja. Då hade det ju blivit mer på djupet ja. Men kanske inte lika intresseväckande, jag vet inte? Inte lika lätt att ta till sig det de andra presenterade, för det var ju enkelt nu. Att ha en uppfattning. Man kanske egentligen skulle köra både och.

Det framgår att elevernas mål, vad eleverna förstår som det resultat de ska leverera av aktiviteten var att genomföra en riskbedömning och en argumenterande diskussion av NVT. Detta har genomförts på ett orienterande och övergripande plan, och har varit uppskattat och intressant för eleverna. Kunskapsinnehållet från *Big Ideas of Nano* har inte kunnat inkluderas in i lärarens vanliga fysikundervisning, utan fungerat som ett orienterande material för eleverna.

DISKUSSION

Syftet med studien var dels att få kunskap om elevers förmåga att diskutera, ta ställning och argumentera om nanovetenskap och nanoteknik, och dels att utveckla en design för undervisningen av NVT, så den kan integreras i fysikundervisning på gymnasiet, och bidra med ett aktuellt innehåll av nanovetenskap, nanoteknik och riskbedömning.

Den första forskningsfrågan berörde elevernas ställningstaganden gällande risk och nytta med nanovetenskap och nanoteknologi. Eleverna var mycket engagerade när de presenterade sin bedömning av risk och nytta med nanovetenskap och nanoteknologi. Argumentationen som kategoriserades i första cykelns debatt (och återfanns i andra cykelns korta diskussion), som kategoriserats efter påstående – ställningstagande, ger kategorier, som skulle kunna delvis jämföras med olika människors riskbenägenhet. Detta diskuteras även av Simonneaux och kollegor (2013) utifrån människors benägenhet till optimism och pessimism (se vidare Adams, 1995; Schwarz & Thompson, 1990). Denna spontana argumentation, som utgick från diskussionen om både risk och nytta, inbjuder till en argumentation som involverar inte bara naturvetenskapliga aspekter utan även etiska och erfarenhetsbaserade synpunkter, något som är eftersträvänsvärt i fysikklassrummet och ger tillfälle att träna på

att kommunicera fysik. Eleverna uttryckte inte bara olika grader av tilltro/misstro till en utveckling med NVT utan ifrågasatte även vad i detta vi verkligen vill ha, och vad som är etiskt försvarbart. Den ifrågasättande argumentationen är till stor del grundad i försiktighetsprincipen (formulerades av UN General Assembly, 1982), medan den positiva grundas i ett förtroende för att det är genom forskning som miljöproblem och energifrågor kan finna sin lösning. Eleverna uttryckte i presentationer av sina teman samt i riskbedömning och debatt att de tillgodogett sig en allmänbildning (en scientific literacy och nanoliteracy) av vad NVT handlar om, risk och nytta inom olika tematiska områden. Att använda riskbedömning i undervisningen kom att fungera som en länk mellan det naturvetenskapliga innehållet och elevens egna erfarenheter och liv. Att vi använder risk och nytta med NVT, implicerar att riskbedömningen inte stannar vid det tekniska, utan kommer att innefatta personliga värderingar och ställningstaganden.

Med den andra forskningsfrågan ville studien lyfta fram viktiga designprinciper för NVT och riskbedömning för undervisning inom fysikämnet på gymnasiet. Vi startade studien med tre startprinciper som vi diskuterade med lärarna avseende NVT-innehåll, risk-och nytta. Dessa startprinciper utvecklades under studien, och de slutliga designprinciper studien mynnade ut i (se van Akker, 1999) är:

Designprincip 1: Om syftet är att fördjupa fysikaspekterna av NVT som kunskapsområde, behöver läraren erbjudas ett undervisningsmaterial som utgångspunkt, vilket står fast från vår startprincip. Vidare gäller det att söka kontakt med autentiska miljöer, i detta fallet universitet med nanovetenskaplig inriktning för att kunna fördjupa sig i mikroskoperingen på nano-nivå, som blir grundläggande för den fysikaliska förståelsen. Det krävs ett stort eget engagemang av läraren för att ta in alla Big Ideas of Nano i gymnasiekursen, men att integrera t ex storleksordning, area/volymförhållandets påverkan på hur reaktivt materialet blir, mikroskoperingens funktion och att det är huvudsakligen elektriska krafter som verkar, kan inkluderas i befintliga kurser.

Designprincip 2: Om syftet är att ge eleverna träning i ställningstagande och att studera fysik med bedömningar av risk och nytta, bör riskbedömningen innehålla en jämförelse av risk och nytta och en argumentformulering baserad på information och understödjande motiveringar (startprincip 2). Aktiviteten *Small Sciences – Big Decisions* är funktionell, och kan genomföras som grupparbeten, korta muntliga presentationer och debatt med argumentation och riskbedömning (se Planerad intervention lektion 1 och 5). De teoretiska argument vi anför är att baserat på en sociokulturell syn på lärande, ger arbetssättet möjlighet för en breddning av den undervisningskultur fysikundervisningen på gymnasiet baseras på i Sverige, och ger de enskilda eleverna möjlighet att ta ställning och argumentera från både egna erfarenheter, och funderingar i samtal med andra, samtidigt som de fördjupar sin nanoliteracy. De empiriska argumenten kommer ur våra två iterationer som visar att eleverna är engagerade, intresserade och har väl avvägda synpunkter på sina tematiska arbeten och sina riskbedömningar och visar nanoliteracy i diskussioner.

Designprincip 3: Vår startprincip var att eleverna måste erbjudas talutrymme, diskussioner och samtal för att kunna utveckla ett motiverat ställningstagande. Vi hänvisar till behovet för lärare att kunna växla mellan olika typer av interaktiva och non-interaktiva kommunikativa förhållningssätt (Mortimer & Scott, 2003). Detta är en viktig färdighet för att som lärare känna säkerhet i undervisningssituationer när det inte alltid finns ett rätt svar utan samtalen måste bli sonderande och dialogiska.

Den designbaserade forskningsansatsen, där vi utgick från principer vi diskuterade med lärarna, har underlättat implementeringen av lektionssekvensen i undervisningen. Lärarna har kunnat sätta sig in i ett nytt område som är intresseväckande och motiverande för elever, och de har kunnat förlägga detta till antingen kurs där kursinnehållet är mindre styrt eller mindre omfattande (Naturvetenskaplig fördjupning) eller så har delar av lektionssekvensen valts bort för att tiden valts andra aktiviteter inom fysikkursen (fysik 3).

Det fördjupade faktainnehållet har problematiserats i forskningslitteraturen. Blonder och Mamlok-Naaman (2014) hävdar att genom att införa NVT kan undervisningen påverkas mot en mer elevcentrerad undervisning om lärare efter fortbildningsinsatser ökat sitt självförtroende för att undervisa NVT. Vår erfarenhet efter denna studie är att lärare som samarbetar i en designstudie om NVT uppfattar området som intresseväckande, och genom detta hittar olika vägar att integrera kunskapsinnehållet i sin undervisning och har olika idéer om att gå vidare för att öka inslagen även till andra delar av sina kurser. Det innebär att genom att bearbeta detta förslag till undervisningsinnehåll som finns tillgängligt redan idag, sker en fortbildning här, som också ger en önskan om ytterligare fördjupning. Samarbetet i forskning- och utvecklingsprojektet påverkar lärares undervisning, och det blir lärarens egen syn på och val av delar av det föreslagna undervisningssekvensen som påverkar det slutliga genomförandet och resultatet. Egentligen medför interventionen tre olika förändringar: 1) dels införs NVT, 2) dels riskbedömning och 3) dels inbjuds till ett elevcentrerat arbetssätt, eftersom NVT som sociovetenskapliga dilemman inte kan undervisas som om det finns ett rätt svar, det krävs samtal och argumentation. Den enskilde läraren har olika erfarenhet, intresse och säkerhet i att välja sin ingång i detta, och utfallet kommer att variera med den undervisande lärarens syften med undervisningen.

När det gäller det nya kunskapsinnehållet NVT, valde den första läraren in detta både som ett kunskapsinnehåll, en risk-nytta bedömning och ett varierat arbetssätt. Tidsaspekten gjorde att lektionssekvensen förlades till en kurs i naturvetenskaplig fördjupning. Den andra iterationen planerades in i kurs fysik 3, och fick ett fokus mot nano som SSI, en samhällsfråga med ett naturvetenskapligt innehåll. Skillnaden i design i dessa iterationer baserades på lärarens kontextuella förutsättningar i de olika kurserna, och designen ändrades inte mellan cyklerna, utan kontexten ändrades. Sociovetenskapliga dilemman ger elever möjlighet att diskutera intressanta samhällsfrågor inom en naturvetenskaplig diskurs, och när eleverna får komma till tals om sina funderingar kring risk och NVT ger detta elever träning i argumentation. Kolstø (2006) hävdade att ett argument alltid innehåller både fakta och värderingar. Vi anser att om det är tillåtet att uttrycka sina värderingar i ett fysikklassrum leder det till en personlig mognad, och till möjligheter att reflektera över naturvetenskap som en grund att stå på också för att hävda sina tankar om ny teknik och framtiden. Intressanta samtal uppstod i båda cyklerna, medan tiden var väl kort tilltagen vid båda tillfällena. Processen med budgetfördelningen skulle kunna flyttas till en egen lektionstid, så att den finns med som förberedelse för debatten men att mer utrymme ges till det reflekterande samtalet. Riskbedömningen vill vi lyfta fram än mer, eftersom den förfinar och preciserar elevernas diskussion. Genom att interventionerna gjorts med stöd av resultat från tidigare forskning, och de empiriska resultaten genom två iterationer med två olika lärare, hävdar vi att undervisningen av NVT som SSI är möjligt att genomföra, och då förväntas kunna uppvisa en case - to - case generaliserbarhet genom anpassning till den egna praktiken (McKenney & Reeves, 2012, pp. 21-22).

Slutsatser och implikationer

Studien visar att den föreslagna lektionssekvensen kan modifieras utefter lärarens syften med undervisningen, och att arbetsättet ger möjlighet för en breddning av den undervisningskultur fysikundervisningen på gymnasiet baseras på i Sverige, och ger de enskilda eleverna möjlighet att ta ställning och argumentera från både egna erfarenheter, och funderingar i samtal med andra, samtidigt som de fördjupar sin nanoliteracy. Sekvensen kan förfinas och riktas in mot de olika kurserna med fokus mer mot riskbedömning och NVT som sociovetenskapligt dilemma eller mer mot *Big Ideas of Nano in Science* beroende på lärarens syften. Ur forskningssynpunkt vore det optimala för oss att få möjlighet att följa båda dessa spår vidare.

AVSLUTANDE TACKORD

Vi vill tacka lärare, elever och forskare som engagerat sig i denna studie. Ett särskilt till Karlstads universitet som presenterat sitt forskningslaboratorium i nanovetenskap, samt till doktorand Jan Andersson och Dr Clare Christensen för värdefulla synpunkter. Vi tackar två av tidskriftens granskare för mycket värdefull hjälp att revidera en tidigare version av artikeln.

REFERENSER

- Adams, J. (1995). *RISK*. London and New York: Routledge
- Albe, V. (2007). When scientific knowledge, daily life experience, epistemological and social considerations intersect: students' argumentation in group discussions on a socio-scientific issue. *Research in Science Education* 38: 67–90
- Angell, C., Guttersrud, Ø., Henriksen, E.K., & Isnes, A. (2004) Physics: Frightful, But Fun Pupils' and Teachers' Views of Physics and Physics Teaching. *Science Education* 88(5):683 - 706
- Beck, U. (1992). *Risk society. Towards a new modernity*. London: Sage Publications.
- Blonder, R. & Mamlok-Naaman, R. (2014) Learning about teaching the extracurricular topic of nanotechnology as a vehicle for achieving a sustainable change in science education *International Journal of Science and Mathematics Education* 14 (3), 345-372
- Christenson, N., Chang Rundgren, S-N, & Höglund, H. (2011). Using the SEE-SEP Model to Analyze Upper Secondary students' use of Supporting Reasons in Arguing Socioscientific Issues. *Journal of Science Education and Technology* 21:342-352
- Christensen, C. (2009). Risk and school science education *Studies in Science Education*, 45, (2), 205-223
- Design-Based Research Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8, 35-37.
- Dewey, J. (1938/1963). *Experience and education*. NY: Touchstone, Simon and Schuster.
- Enghag, M., Karlsson, C., Schenk, L., & Wester, M. (2013). Talking about “nano” – can undergraduate students' talk-patterns be used to model science teaching in school? *The 10th Conference of the European Science Education Research Association (ESERA), Nicosia, Cyprus, 2013, 7-13 September*. Oral paper presentation.
- Enghag, M., & Schenk, L. (2016). Students' arguments of risks and benefits in a debate about nanotechnology as a socioscientific issue included in a teaching sequence in secondary school. In J. Lavonen, K. Juuti, J. Lampiselkä, A. Uitto & K. Hahl (Eds.), *Electronic Proceedings of the ESERA 2015 Conference. Science education research: Engaging learners for a sustainable future*, Part 8 (co-ed.) Jan Alexis Nielsen & Miriam Ossevoort, (pp. 1191-1198). Helsinki, Finland: University of Helsinki.
- Ekborg, M., Ottander, C., Silfver, E., & Simon, S. (2013). Teachers' experience of working with socio-scientific issues: a large scale and in depth study. *Research in Science Education*, (43)2, 599-617
- Firestone, W.A. (1993). Alternative arguments for generalizing from data as applied to qualitative research. *Educational Researcher* 22 (4), 16-23
- Gardner, G., Jones, G., Taylor, A., Forrester, J. & Robertson, L. (2010). Students' Risk Perceptions of Nanotechnology Applications: Implications for science education. *International Journal of Science Education*, 32:14, 1951-1969
- Hart, C., Mulhall, P., Berry, A., Loughran, J., & Gunstone, R. (2000). What is the purpose of this experiment? Or can students learn something from doing experiments? *Journal of Research in Science Teaching*, 37(7), 655-675.
- Hingant, B. & Albe, V. (2010). Nanosciences and nanotechnologies learning and teaching in secondary education: a review of literature. *Studies in Science Education*, 46 (2), 121- 152
- Jones, A.R., Anderson, A.A., Yeo, S.K., Greenberg, A.E., Brossard, D., & Moore, J.W. (2014). Using a Deliberative Exercise To Foster Public Engagement in Nanotechnology. *J. Chem. Educ.*, 2014, 91 (2), 179–187
- Karlsson, C., Enghag, M., Schenk, L., & Wester, M. (2014). Undergraduate Students' Risk Perception and Argumentation Concerning Nanomaterials in Consumer Products. *Journal of Nano Education* 6(1):50-62.
- Kolstø, S.D. (2001). Scientific literacy for citizenship: Tools for dealing with the science dimension of controversial socioscientific issues. *Science Education*, 85, 291-310.
- Kolstø, S.D. (2006). Patterns in students' argumentation confronted with a risk-focused socioscientific issue. *Science Education*, 28, 1689-1716.

- Kvale, S. (1997). *Den kvalitativa forskningsintervjun*. Lund: Studentlitteratur
- Laherto, A. (2010). An analysis of educational significance of nanoscience and nanotechnology in scientific and technological literacy. *Science Education International* 21(3):160-175
- Laherto, A. (2011). Incorporating nanoscale science and technology into secondary school curriculum: Views of nano-trained science teachers. *Nordic Studies in Science Education* 7(2): 126-139
- Levinson, R. Kent, P., Pratt, D., Kapadia, R. & Yogui, C. (2011). Developing a pedagogy of risk in socio-scientific issues. *Journal of Biological Education*, 45:3, 136-142
- Maxwell, J.A. (2004). Causal Explanation, Qualitative Research, and Scientific Inquiry in Education. *Educational Researcher*, 33(2), 3-11
- Mayring, P. (2000). Qualitative Content Analysis [28 paragraphs]. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research*, 1(2), Art. 20, Tillgänglig via: <http://nbnresolving.de/urn:nbn:de:0114-fqs0002204>.
- McKenney, S. & Reeves, T.C. (2012). *Conducting Educational Design Research*. US and Canada: Routledge
- Mercer, N. (2000). *Words and minds: How we use language to think together*. London: Psychology Press.
- Millar, R. (2006). Twenty First Century Science: Insights from the design and implementation of a scientific literacy approach in school science. *International Journal of Science Education*, 28(13), 1499-1521.
- Mortimer, E. F., & Scott, P. (2003). *Meaning Making in Secondary Science Classrooms*. Buckingham: McGraw-Hill Education.
- Murcia K. (2013). Secondary school students' attitudes to nanotechnology: What are the implications for science curriculum development? *Teachingscience*, (59) 3, 15-21
- Naturvårdsverket (2015). *Mål i sikte – Analys och bedömning av de 16 miljökvalitetsmålen i fördjupad utvärdering 2015 – volym 1*, Rapport 6662, 225 sidor
- Nye, Greenberg & Jones (2013). Small Sciences – Big Decisions. Outreach webb activity Tillgänglig via: <http://ice.chem.wisc.edu/NanoDecisions/index.html>
- Sadler, T. D. (2009). Socioscientific issues in science education: labels, reasoning, and transfer. *Cultural Studies of Science Education*, 4, 697-703.
- Sayer, A. (2000). *Realism and Social Science*. London: Sage Publications Ltd
- Schwarz, M. & Thompson, M. (1990). *Divided We Stand: Redefining Politics, Technology and Social Choice*. US: University of Pennsylvania Press
- Simon, S. (2008). Using Toulmin's argument pattern in the evaluation of argumentation in school science. *International Journal of Research & Method in Education*, 31(3), 277- 289.
- Simonneaux, L., Panissal, N., & Brossais, E. (2013). Students' Perception of Risk About Nanotechnology after an SAQ teaching strategy, *International Journal of Science Education*, 35:14, 2376-2406
- Shea, C., Grinde, R., & Elmslie, B. (2011). Nanotechnology as general-purpose technology: empirical evidence and implications. *Techn. Analysis & Strat. Manag.* 23(2):175-192
- Statens medicinsk-etiska råd. (2010). *Skrivelse: Etiska aspekter på nanoteknik. Datum: 2010-10-12, Dnr 25/10*. Tillgänglig via: <http://www.smer.se/skrivelser/skrivelse-etiska-aspekter-pa-nanoteknik/>
- Stevens, S.Y., Sutherland, L.M., & Krajcik, J.S. (2009). *The Big Ideas of Nanoscale In Science and Engineering*. US: NSTApress
- Rao, C.N.R. (2011). *Nanovärlden*. Översättning och bearbetning Ingrid Ohlen. Lund: Ingrid Ohlén och Studentlitteratur.
- Roco, M. (2003). Converging science and technology at the nanoscale: opportunities for education and training. *Nature Biotechnology*. 2, 1247- 1249.

- Schwarzer, S., Akaygun, S., Sagun-Gokoz, B. Anderson, S., & Blonder, R. (2015). Using Atomic Force Microscopy in Out-of-School Settings-Two Case Studies Investigating the Knowledge and Understanding of High School Students *Journal of Nano Education*, 7, 10-27
- van den Akker (1999). Principles and methods of development research. In J. van den Akker, R. Branch, K. Gustafson, N. Nieveen, & T. Plomp (Eds.) *Design approaches and Tools in Education and Training* (pp. 1-15). Dordrecht: Kluwer Academic Publishes.
- van den Akker, J., Gravemeijer, K., McKenney, S., & Nienke Nieveen, N. (2006). *Educational Design Research*. NY: Routledge
- Vygotsky, L.S. (1978). *Mind in Society: The development of Higher Psychological Processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press