

Fysikdidaktik på amerikansk. En beretning om forskningens rolle og rationaler



Bjørn Friis Johannsen,
Institut for Naturfagenes
Didaktik, Københavns
Universitet



Lærke Bang Jacobsen,
IMFUFA, Roskilde
Universitetscenter

Abstract Denne artikel er baseret på vores oplevelse fra vintermødet i Chicago for den amerikanske fysiklærerforening (AAPT). Første del er en præsentation af nogle af de forskningsprojekter vi fik indsigt i gennem foredrag og workshops under mødet. Disse er: "Understanding by Design", "Investigative Science Learning Environment", "Physics by Inquiry and Tutorials", "Science Education for New Civic Engagement and Responsibilities" og "Clicker Questions and Peer Instruction". Anden del er vores egne refleksioner over forskellene mellem amerikanernes og danskernes måde at bedrive forskning inden for fysikdidaktik på. Vi vurderer at amerikanerne primært fokuserer på løsninger, mens vi mest fokuserer på at forstå problemerne. Vi afslutter med et oplæg til diskussion af fysikdidaktikkens rolle og rationaler.

Introduktion

Vi er to ph.d.-studerende i fysikdidaktik der i februar 2009 deltog i vintermødet i Chicago for den amerikanske fysiklærerforening (AAPT – American Association of Physics Teachers). Inden vi tog af sted, vidste vi godt at amerikansk fysikdidaktik ikke er identisk med fysikdidaktik i Danmark. Men de forskelle vi oplevede, satte alligevel gang i nogle uventede tanker hos os, som vi gerne vil viderebringe her i MONA som en debatterende analyse. For ligesom MONA danner en ramme for mødet mellem undervisere og undervisningsforskere, er også AAPT's halvårlige møder et forum for mødet mellem forskere og undervisere.

Analysen er opdelt i to hovedsektioner. Den første er en gennemgang af udvalgte emner som blev præsenteret på mødet. Den anden sektion er dels vores kritiske reaktion på dette møde, dels vores forsøg på at bruge denne reaktion til fremadrettet

diskussion af den danske forskningspraksis som vi er i gang med at blive en del af. Som introduktion til den amerikanske fysikdidaktik vil vi indledningsvis – afledt af vores amerikanske indtryk – give en noget firkantet beskrivelse af forskellen mellem amerikanske og danske forskningsrationaler.

Som udgangspunkt har danskere og amerikanere samme rationale for at bedrive forskning i fysikdidaktik: Vi vil alle identificere og forstå de problemer elever/studerende har med at tilegne sig fysik, og gennem disse indsigter hjælpe med at udvikle en mere optimal undervisningspraksis. Men vores oplevelse er at danskere lægger mest vægt på første del, og amerikanere fremhæver den anden. Firkantet set vil danskerne forstå hvorfor problemerne opstår, og amerikanerne vil løse dem. Dermed deler vi ikke kriterier for at bedømme forskning inden for fysikdidaktik. Vi fokuserer på at overbevise vores tilhørere om at der bør kunne findes en løsning på alle de problemer vi har detekteret. De fokuserer på at overbevise tilhørerne om at der ingen problemer er med deres løsning.

I Chicago oplevede vi en lang række fysikdidaktikere der fremviste løsninger. Og det gibbede i os. Vi følte at det vi lyttede til, var salgstaler. Oplæggene var opbygget for at få tilhørerne til at købe varen, altså at tage det til sig og benytte det. Og det gjorde de sørme, tilhørerne. Vi syntes de blot åd det hele – specielt når manden på podiet var fra et fint universitet, og når han kunne finde opbakning til alt hvad han sagde, i store statistiske undersøgelser der viste signifikant fremgang i diverse test hvis eleverne blev undervist efter denne nye metode. Så syntes tilhørerne – i hvert fald dem vi talte med på gangen efter oplæggene – at løsningen var god, og at de glædede sig til at komme hjem på deres skole og implementere alle de nye, gode idéer.

Og vi sad og var lidt paffe. Nogle gange også ret sure. For vi syntes ikke det var overbevisende nok. De havde ikke snakket om problemer de havde forstået, men bare om problemer de havde løst. Og så påstod de endda at problemerne var løst i universel forstand: "Du skal bare gøre sådan her, så virker det."

Men vi var også imponerede, for det lykkedes dem at formidle resultaterne af deres forskning så undervisere ønskede at implementere deres idéer i egen praksis. Vi følte at det eneste vi gør herhjemme, er at identificere og forstå problemer. Vi følte os som passive kritikere og kunne pludselig godt forstå hvis lærere ikke forstår hvad fysikdidaktikere som os kan bruges til. Så i nærværende analyse vil vi gerne være lidt konstruktive. Det er klart at vi ikke vil kopiere amerikanerne rent, men det kunne måske godt være værd at overveje hvad vi kan lære af dem.

2009 AAPT Winter Meeting

I det følgende afsnit bringer vi genfortællinger af de præsentationer der satte størst aftryk hos os. Fortællingerne er baseret på konferencemateriale, noter og tilgængelig

litteratur. I flere tilfælde har vi dog kontaktet forskerne bag projekterne for yderligere informationer. Vi vil råde den interesserede læser til at gå til de angivne kilder, ikke mindst fordi det er begrænset hvor meget af den fulde historie vi har kunnet få plads til her. Vi introducerer hvert emne med en kommentar om relevansen i en dansk kontekst. Ligeledes afrunder vi emnerne med en kort diskussion. Vores egentlige forbehold og diskussion har vi gemt til det sidste afsnit: *Refleksioner over amerikansk fysikdidaktik*. Så i dette afsnit forsøger vi så vidt muligt at være tro mod forfatterne egne præsentationer af resultatet af deres arbejde.

Designet til forståelse

Fra vores perspektiv sker der for tiden en opblomstring af begreber som didaktisk design. Hjemme følger vi p.t. et ph.d.-kursus i europæisk didaktik med vægt på at betragte didaktik som designvidenskab – et perspektiv der er specielt relevant for didaktikere der ønsker at designe og konstruere undervisning i henhold til resultaterne af didaktisk forskning. Derfor meldte vi os til en workshop om at skabe forståelse gennem design. Det viste sig at organisationen der stod for afholdelsen af workshoppen, uafhængigt af europæiske didaktiktraditioner har udviklet deres eget designbegreb, der har mange ligheder med det franske.

Workshoppen indledtes med en diskussion mellem deltagerne og kursusholderen af hvad forståelse er: "Hvornår forstår man noget?" Det blev klart at forståelse ikke lader sig definere uden for kontekst. Således motiveredes vi for at afdække undervisningsprincippet *Understanding by Design* (Wiggins & McTighe, 2005).

Understanding by Design kan finde anvendelse i alle fag. Det er et forskningsbaseret værktøj som i særdeleshed er velegnet til at gentænke og gendesigne eksisterende undervisningsforløb med ud fra følgende tre faser:

1. Identificér det ønskede udbytte af undervisningen (*The Big Ideas*).
2. Beslut hvordan det kan vurderes om de studerende har fået det ønskede udbytte.
3. Planlæg hvordan undervisningen skal tilrettelægges for at de studerende bedst muligt kan få det ønskede udbytte af den.

Fase 1 afklarer hvad de ønskede mål er fra officiel side (i læreplaner eller pensum), og hvilke forståelser eleverne skal opnå som resultat af forløbet, men desuden lægges der også vægt på "det essentielle spørgsmål" som ideelt set berammer essensen af undervisningsforløbet og tænder elevernes nysgerrighed og motivation. Endelig vil en velgennemarbejdet fase 1 resultere i et overblik over hvad eleverne ideelt set ved og er i stand til at gøre efter forløbet.

Fase 2 omhandler overvejelser over evalueringen. Den skal gerne bestå af både en alternativ evalueringsform der understøtter formålet med kurset, og en mere traditio-

nel evalueringsform som kan genkendes af eleverne som en formel. Desuden er der et fokus på at eleverne skal foretage en form for selvevaluering af deres læringsudbytte. De alternative evalueringsformer skal forstås bredt og kan for eksempel udgøres af projektarbejde, modelbygning, præsentationer, optræden eller deltagelse i konkurrencer.

Endelig, i fase 3, skal der udformes en læreplan for forløbet. Her foreslås *WHERE TO*-princippet bestående af syv elementer – et for hvert bogstav – der samlet set garanterer læreren en gennemarbejdet læreplan. Fx *Where the course is headed*, hvor læreren bl.a. skal beskrive hvordan de studerende løbende gives mulighed for at forstå hvor forløbet er på vej hen, og hvilke forventninger der er til deres deltagelse; *Hold their attention*, hvor læreren skal forholde sig til hvordan man sørger for at de studerende føler at forløbet har personlig relevans for dem; *Equip students*, hvor læreren specifikt overvejer hvordan forløbet klæder de studerende på til at kunne løse den opgave kurset stiller dem. Og så videre: *Rethink big ideas*; *Evaluate progress*; *Tailor the design to reflect individual needs and talents*; *Optimize for deep understanding*.

På trods af at princippet er så simpelt at fremgangsmåden kan holdes i hovedet, opdagede vi hurtigt at det slet ikke var så let som så. Man skulle virkelig tænke sig om, og ofte blev det klart at det overhovedet ikke var nok at tænke sig om. Man skulle, for at kunne udfylde skemaerne fornuftigt, faktisk have næsten geniale indfald. Et eksempel vi mødte, var da en lærer spurgte hvordan man mon kunne gentænke essensen af Gauss' lov og formulere en *Big Idea* som kunne blive spændende og motiverende for studerende? Det nåede ingen af os at komme i tanker om i løbet af den eftermiddag. Lærerne der deltog i workshoppen, blev en smule frustrerede – og med rette. Konklusionen var at kursusplanlægning efter *Understanding by Design* er en lang proces, og at det mest fornuftige er at starte med at revidere forløbet omkring enkelte emner i stedet for at revolutionere hele kurser.

Laboratoriemiljøet der beforder en kritisk, undersøgende læringsstil

I USA er det ikke usædvanligt på universitetsniveau at undervise i fysik for studerende der hverken har valgt fysik som hoved- eller sidefag, men har tænkt sig et specialiseringsområde inden for en anden af naturvidenskabens grene. Dette skaber et problem i forhold til at tilrettelægge fysikundervisningen så den er vedkommende for studerende der ikke nødvendigvis er specielt interesserede i fysik. Dagligt må danske gymnasielærere også være stillet over for samme problem.

I deres introkursus til fysik for ikke-fysikstuderende har Eugenia Etkina og hendes kollegaer fra Rutgers University besluttet at deres studerende ud fra et fysikperspektiv hovedsagelig skal blive fortrolige med måden hvorpå naturvidenskabens udøvere opnår viden. De skal tillige undervises i kernestof, og de skal klare sig godt i standard-test, men det de virkelig skal tage med sig fra undervisningen, er

naturvidenskabelige færdigheder – 48 forskellige, for at være helt præcis. Dette undervisningsprincip kalder de ISLE: Investigative Science Learning Environment (Etkina & Van Heuvelen, 2007).

I præsentationen af deres forskning på AAPT-mødet fokuserede Etkina på fire af de færdigheder de havde opdaget var sværest for de studerende at forholde sig til i laboratoriet: (1) at identificere og evaluere usikkerheder, (2) at identificere antagelser, (3) at forholde sig til hvordan antagelserne havde indflydelse på deres resultater af eksperimentet, og (4) at revidere eksperimentet i henhold til de usikkerheder og antagelser der havde indflydelse på resultaterne (se også tabel 1 om *rubrics* senere i denne artikel). Det interessante ved deres forskningsaktivitet er at den tager udgangspunkt i at udvikle undervisningen, og dernæst at denne aktivitet åbner et unikt vindue til indsigt som kan udnyttes i forskningsøjemed. Deres udgangspunkt er idéen om *scaffolding for self-assessment* som kan oversættes til noget i stil med *stilladsering der understøtter selv-evaluering*, dvs. at eksplicite en læringsunderstøttende struktur i undervisningen som direkte evalueres gennem de studerendes udbytte af hver laboratorieøvelse. Er de studerendes udbytte ikke tilfredsstillende, er det forskerens rolle at tage stilling til hvilke læringsintentioner der kan understøttes bedre og hvordan, og så efterfølgende lade de studerendes demonstration af specifikke færdigheder diktere forbedringen i de følgende laboratorieøvelser.

Som illustrerende eksempel fortæller Etkina at de studerende da de begyndte deres projekt i 2004, slet ikke kunne finde ud af at identificere de antagelser der lå implicit gemt i forsøgsopstillingen. Året efter, i 2005, inkluderede gruppen målrettede beskrivelser af hvordan man identificerer antagelser. Det hjalp, men alligevel savnede de originalitet i de studerendes beskrivelser af antagelserne. Ofte fremstod de som uengagerede genskrivninger af laboratorieøvelsens tekst og blev ikke brugt til at revidere eksperimentet med. I 2006, på tredjeåret, forsøgte de at fjerne de specifikke eksempler på antagelser der fulgte hver beskrivelse af øvelsesgangen. Resultatet var at alle studerende mod slutningen af kurset var i stand til at identificere antagelser på en tilfredsstillende måde. Bemærk at det først var ved slutningen af kurset at alle studerende kunne hvad de skulle. De 48 færdigheder er ikke færdigheder der skal tilegnes et par stykker ad gangen, men er at betragte som nøgleelementer i den naturvidenskabelige videnskabsproduktion. Udelukkende at beskæftige sig med at identificere fejkilder to uger i træk får øvelserne til at miste autenticitet; de bliver blot træningsøvelser. I stedet er Etkinas forslag at alle elementer er til stede i alle øvelser, men at man efter behov kan lægge større eller mindre vægt på de enkelte elementer. Derfor er det nødvendigt at man accepterer at de studerende ikke klarer de første øvelser ret godt, men at de færdighedsmæssigt bliver dygtigere og dygtigere. Som en sidepointe skal nævnes at de studerende efter endt kursusgang var lige så dygtige til kernestoffet som studerende der fulgte andre kurser i samme emne.

Øvelserne understøttede indholdsmæssigt forelæsningserne således at man arbejdede med kernestoffet, men samtidig var laboratoriearbejdets fokus lagt så de studerende udviklede fysikvidenskabelige færdigheder (dvs. lærte at identificere antagelser osv.). For yderligere information se Etkina et al. (2008), Etkina et al. (in review) eller www.islephysics.net.

McDermotts undersøgelsesfysik og arbejdsark

Undersøgelsesfysik (Physics by Inquiry) og arbejdsark (Tutorials) er gennemprøvede undervisningskoncepter for hhv. gymnasie- og universitetsfysik tænkt som supplement til forelæsninger, opgaveregning og lærebogslæsning. Undervisningskoncepterne er udviklet af Lillian McDermott og hendes gruppe ved University of Washington

McDermott påpegede at gruppen på baggrund af mere end 20 års arbejde inden for forskning og undervisning har identificeret og adresseret en række af de problemer elever og studerende oplever når de skal tilegne sig fysik. Dog var disse problemer ikke i fokus, ej heller hvordan denne indsigt var benyttet til udviklingen af undervisningskoncepterne. Fokus er kun på selve løsningsforslagene. Disse er baseret på arbejdsark som de studerende skal arbejde med i grupper. Arbejdsarkene indeholder en række opgaver af konceptuel karakter. Det er tanken at arbejdsarkene udvikler en forståelse af en givet fysisk model hos de studerende.

Undervisningskoncepterne er udviklet gennem en længere periode hvor opgaveark er designet og derefter testet og modificeret et antal gange. Arbejdet hviler på forskning inden for fysiklæring, læreplansudvikling og udvikling af lærerinstruktioner. Der findes arbejdsark inden for de fleste emner i indledende universitetsfysik såsom elektromagnetisme, klassisk mekanik og bølger. Arbejdsarkene for gymnasieelever dækker bl.a. tilstandsformer, varme, elektriske kredsløb og magneter.

Test af de studerendes læring som funktion af arbejdsarkene er blevet en drivende faktor for gruppens arbejde, og hovedargumentet for værdien af koncepterne ligger for gruppen i det store datasæt der viser at studerende der er undervist efter principperne, klarer sig bedre i regionale og nationale test på trods af at de studerende bruger en anseelig del af den undervisningstid der ellers ville være brugt på traditionel opgaveregning eller forelæsning, på at arbejde med arbejdsarkene.

Som deltagere i workshoppen blev vi selv "udsat" for disse arbejdsark for både gymnasie- og universitetsfysik, og det var sjovt, og det var svært. Vi bringer i figur 1 et uddrag af et arbejdsark for gymnasieelever inden for elektriske kredsløb:

Del 1: Kredsløb med én elpære

Vi begynder vores studie af elektriske kredsløb med at tilslutte et batteri og en elpære og observerer hvad der sker. Vi undersøger de betingelser under hvilke elpærerne lyser klart, svagt og slet ikke.

Eksperiment 1.1

1. Skaf et batteri, en elpære og en ledning. Tilslut disse på så mange forskellige måder som muligt. Skitser de forskellige konfigurationer i din notesbog, delt i de konfigurationer der får elpæren til at lyse, og dem der ikke lyser.
2. Du skal skitsere mindst fire forskellige konfigurationer som får pæren til at lyse. Hvilke ligheder og forskelle er der?
3. Forklar hvilke betingelser der kræves for at få pæren til at lyse.

En konfiguration af en elpære, et batteri og en ledning som får pæren til at lyse, kaldes et *lukket elektrisk kredsløb*.

Opgave 1.2

Hvorfor er ordet *kredsløb* et særligt godt ord for en konfiguration af en pære, et batteri og en ledning hvor pæren lyser?

Eksperiment 1.3

Undersøg en lommelygte. Lav en skitse af lommelygten hvor man kan se det kredsløb der får pæren til at lyse. Hvor mange ledninger er der brugt for at lave dette kredsløb?

Opgave 1.4

Opskriv en brugbar definition af et elektrisk kredsløb. Diskuter din definition med en lærer.

Eksperiment 1.5

Opsæt et elektrisk kredsløb med en pære, et batteri og to ledninger hvor pæren lyser. Betyder det noget hvilken del af pæren der er tilsluttet til den del af batteriet hvor der er markeret et plus?

[...]

Figur 1. Uddrag af et arbejdsark for gymnasieelever omhandlende elektriske kredsløb (McDermott et al., 1996a, s. 383, egen oversættelse).

Efter at have udviklet begrebet elektrisk kredsløb fortsætter arbejdsarket med at arbejde med begreber som intensitet, ledere og isolatorer, strøm, serie- og parallelforbindelser osv. og ender med væskemodellen for elektriske kredsløb.

Grundtanken bag undersøgelsesfysik og arbejdsark er at de studerende skal tilegne sig konceptuel fysik. Dvs. at eleverne og de studerende primært skal forstå fysik på et begrebsligt niveau der hviler på intuition, forståelse og argumentationsteknik i forbindelse med fysiske modeller. At kunne regne kommer i anden række. Fokus i McDermott og hendes gruppes bøger er dog stadig holdt på kernestoffet i den traditionelle fysikundervisning og ikke, som beskrevet tidligere i ISLE-projektet, på at arbejde med fysikfaglige færdigheder, fx i laboratoriet.

Gruppen der afholdt workshoppen, samt flere af de andre deltagere fortalte at dette var en metode der i meget høj grad var blevet implementeret fuldstændigt på mange skoler og universiteter rundt omkring i USA. McDermott afleverede konceptet til deltagerne i helt færdige versioner i form af lærebøger og læreplaner som de kunne tage med hjem og umiddelbart bruge. Spørgsmålet vi stiller os selv, er om ikke det kan blive nødvendigt for de enkelte lærere at tage forbehold for lokale behov? Og hvis dette bliver nødvendigt, må læreren der søger at tage sådanne forbehold, da også have brug for at kende mere til baggrunden for at McDermott og hendes gruppe kunne udforme undersøgelsesfysikken som de gjorde. Den viden bliver dog aldrig stillet til rådighed, og det mener vi at man (dvs. lærere og forskere) burde beklage. Fx vil vi være tøvende over for at anbefale at man ukritisk tager McDermotts lærebogssystem i brug i Danmark.

Naturfagsundervisning i samfundets tjeneste

Som et led i en national strategi for at forbedre naturfagsundervisningen på de indledende år på universiteterne søsattes SENCER-projektet i 2001 (Science Education for New Civic Engagement and Responsibilities. Se www.sencer.net). Det er meningen at projektet skal bidrage til at øge interessen for at lære naturvidenskab, herunder matematik samt ingeniør- og teknologifag. Projektet er interessant for os i Danmark, fx i forhold til studieretningsprojekter og almen studieforberedelse, fordi målsætningen er at lave naturfagsundervisning der kobler naturfagene med andre fag.

SENCER er organiseret omkring et stort netværk af uddannelsesinstitutioner og lærere, der opfordres til at dele deres idéer til undervisningsudvikling og erfaringer med konkrete kurser der er designet i henhold til SENCER's målsætning. Hvert år udvælges en række af disse kurser og offentliggøres i hjemmesidens katalog over forbilledlige kurser. Som appetitvækker vil vi her kort beskrive et par af disse kurser (kursusbeskrivelserne i fuld længde findes på www.sencer.net/resources/models.cfm).

Kurset *Introductory Statistics* er designet ud fra en betragtning om at vi dagligt, som almindelige samfundsborgere, skal kunne tage stilling til politiske, sundhedsmæssige,

økonomiske og fx uddannelsespolitiske analyser der begrundes statistisk. Derfor skal man undervises i statistik, og derfor kan man lige så godt indrette undervisningen i statistik så den har dette mål for øje – at lære den studerende at forholde sig til, og selv foretage, statistiske analyser af virkeligheden. Som udgangspunkt bliver de studerende før kursets start udstyret med et web-abonnement på New York Times, som de opfordres til at besøge dagligt. Hvis de falder over en interessant artikel der benytter sig af statistik som argumentationsmiddel, må de meget gerne bringe den med sig til næste time hvor indholdet vil blive diskuteret. Således bliver social bevidsthed efter sigende en integreret del af den daglige undervisning i statistik allerede fra begyndelsen samtidig med at de studerende udstyrer sig med den viden der er nødvendig for at de ret hurtigt inde i kurset kan vælge et projekt de vil arbejde videre med gennem resten af forløbet. Sådanne projekter kunne omhandle andelen af offentlige midler brugt på uddannelse i Minnesota, offentlig finansiering af baseball-stadioner eller kviksvovlkoncentrationer i søer – afhængigt af hvad de enkelte studerende syntes var interessant. Desuden havde læreren udvalgt en række diskussionsemner, som blev introduceret hver gang et nyt statistik-emne var præsenteret for klassen. Resultat af før og efter-test viste blandt andet at de studerende blev mere sikre i deres egen evne til at forholde sig vidende til statistiske analyser, men også at de fik større selvsikkerhed i forhold til at forstå statistiske begreber. I øvrigt benytter kurset sig af en evalueringsform der inddrager de studerende i karaktergivningen – både af sig selv, men også af hinanden.

Chemistry and Policy er et "to bliver til ét"-kursus. Det vil sige at man på den ene side afholder et kursus i kemisk instrumentel analyse og på den anden et kursus i urbane studier. De studerende på hver deres kursus arbejder med aspekter af blyforgiftning, men mødes til sidst for at samarbejde om at formulere politiske eller lovgivningsmæssige anbefalinger. De studerende lærer, ud over tilføjelser til deres egen faglighed, om styrken ved at samarbejde på tværs af videnskabelige discipliner. De lærer også om værdien af deres egen faglighed i sammenhænge der favner bredere end man umiddelbart bliver klar over når man står i laboratoriet eller sidder til fagfaglige forelæsninger.

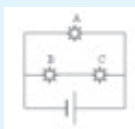
Til dato er der offentliggjort næsten 40 forskellige SENCER-kurser. Der er masser af inspiration at hente, men beskrivelserne er ikke fuldstændigt fyldestgørende og præsenteres altså ikke som færdige kursuspakker man som lærer blot skal hente ned og begynde at undervise efter. Nogle af beskrivelserne afsluttes med resultater af præ- og post-test, men de studerendes udbytte af disse typer kurser er langt fra dokumenterede. Det er tydeligt at SENCER har relevans i forhold til at implementere sammenhængende, tværfaglige forløb i gymnasiet og på universitetet. Det vil dog stadig kræve en del af læreren at sikre at kernefaglige mål efterleves. Til gengæld er der ingen tvivl om at sådanne idéer til undervisning uden videre kan forenes med det danske almindelsesideal.

Klikkere og kammeratlæring

Kammeratlæringsprincippet er indført af Eric Mazur fra Harvard for små 20 år siden for at kunne etablere en form for interaktion mellem forelæsere og studerende i de store forelæsningsale (se fx Crouch & Mazur, 1991). Senere, for at understøtte princippet, opfandt Mazur klikkeren. Systemet er ganske simpelt: Hver studerende får en fjernbetjening med nummertaster på, og når læreren stiller et spørgsmål med en række svarmuligheder, får hele salen mulighed for at svare samtidig. Svarfordelingen vises omgående på lærredet. Hvis svaret er tvetydigt, er idéen at underviseren beder de studerende om sammen med de omkringsiddende at diskutere deres svar: Var de forskellige? Hvilket var mon det rigtige? Hvorfor? Derefter omvoteres der, og underviseren får nu mulighed for at vurdere om de studerende har fået det ud af den umiddelbare undervisning som var tiltænkt. Hvis et flertal af de studerende svarer forkert, må underviseren forklare igen. Hvis et flertal svarer rigtigt, kan underviseren gå videre med undervisningen. Det er meningen at disse klikker-spørgsmål inddrages i forelæsningerne med cirka ti minutters mellemrum. Vi bringer her et eksempel fra Harvards ConcepTest (dvs. klikker-spørgsmål designet af Harvard-gruppen. URL gives senere i afsnittet):

De tre elpærer i kredsløbet herunder har alle den samme modstand. Eftersom lysstyrken er proportional med den effekt der afsættes, er den samlede lysstyrke fra B og C sammenlignet med lysstyrken fra A:

1. den dobbelte.
2. den samme.
3. den halve.



SVAR: Spændingsfaldet over pære B og C i serie er lig med spændingsfaldet over pære A. Eftersom energien brugt i en modstand R er V^2/R , hvor V er spændingsfaldet over modstanden, er effekten der afsættes i seriekombinationen, det halve af energien der afsættes i modstand (pære) A.

Figur 2. Eksempel på et klikker-spørgsmål fra Mazurs gruppe.

Eksemplet her skal forstås således at de studerende ser billedet, spørgsmålet og de tre svarmuligheder. Svaret giver forelæseren først når de studerende er blevet nogenlunde enige om at svarmulighed 3 er det rigtige svar. Skulle de studerende blive enige om et forkert svar, må læreren forklare det stof der skulle have været grundlag for at kunne besvare ovenstående eksempel rigtigt, på en lidt anden måde.

Klikkeren er blevet en succes verden over. Også på Københavns Universitet er der installeret klikkere. Men det er ikke klikkeren der er det store nummer, prædikede Mazur og Lasry på mødet. Man kan fx lige så vel uddele nummerlapper til alle de studerende som de kan bruge ved håndsoprækning til at tilkendegive deres mening. Nej, det er idéen om *Peer Instruction* (kammeratlæring) man skal bide mærke i (se fx Lasry, 2008), og naturligvis valget af spørgsmål der bruges under forelæsningerne. Disse spørgsmål skal være designet så de afslører de studerendes problemer med stoffet, og så de giver de studerende en mulighed for at udforske vigtige begreber; de skal ikke teste snedighed eller hukommelse. Derfor skal forkerte svarmuligheder være plausible og, hvis muligt, være baseret på typiske misforståelser” (Crouch et al., 2007, s. 9, egen oversættelse). Mazurs gruppe har arbejdet med kammeratlæring i fysik de sidste 20 år, og en stor del af deres materiale er stillet frit til rådighed på www.seas.harvard.edu/galileo: “alt hvad der er brug for, er en samling ConcepTests og viljen til at bruge noget af undervisningstiden på at lade de studerende diskutere” (egen oversættelse).

For yderligere at understrege denne pointe fortalte Nathaniel Lasry om tre mindre forsøg han havde foretaget (resultaterne heraf vil blive publiceret senere). I stedet for at lade de studerende tale sammen i pausen mellem to kammeratlæringsvoteringer lod han i det første forsøg blot de studerende se resultaterne hvorefter de fik lov at revidere deres svar. Resultatet var som forventet noget tilfældigt. I andet forsøg viste han de studerende en vittighedstegning som de kunne se på mens de overvejede deres svar. Heller ikke her var resultatet opsigtsvækkende. Kun da han i tredje forsøgsrunde, med den samme flok studerende, lod dem tale sammen i pausen mellem voteringerne viste kammeratlæringsprincippet sig at have en effekt.

Lasry påpeger her en anden pointe omkring kammeratlæringsprincippet. Nemlig den at selv om aktiviteten primært handler om at sikre at de studerende aktiveres i undervisningen, og at de aktiveres på en måde så de får overvejet de begreber den umiddelbare undervisning handler om, så handler kammeratlæringen også om at lære de studerende en mere frugtbar måde hvorpå man også kan engagere sig i egen læring. En måde der på den ene side handler om at kunne tale med hinanden om hvad man tænker og tror, men på den anden side også handler om at overveje de mange måder et emne eller et problem kan begribes på. Det som Lasrys lille forsøg viser, er derfor også at studerende ikke ankommer til universitetet udstyret til at lære på denne måde. De klarer i hvert fald ikke at gennemgå denne proces uden at aktiviteten eksplicit påtvinges dem.

Ved Universitetet i Boulder, Colorado har man implementeret kammeratlæringsprincippet i næsten al fysikundervisning på første og andet år (Pollock & Finkelstein, 2008). Inden for de seneste år er de også begyndt at reformere de videregående fysikkurser (se fx Chasteen & Pollock, 2008), men er stødt på en del modstand fra både

studerende og lærere. Kammeratlæringsprincippet er nemlig, som beskrevet ovenfor, et pædagogisk princip der blandt andet har til formål at lære de studerende hvordan man lærer fysik. Spørgsmålet der rejses (blandt lærere og studerende), er så om man ikke snart kan antage at de studerende har lært det og i stedet kan bruge mere af deres tid på at modtage undervisning (i stedet for dogmatisk stadig at blive tvunget til at deltage i undervisningen)? Svaret er naturligvis nej: Tredjearsstuderende der oplevede kammeratlæring i Elektromagnetisme I, men blev undervist konventionelt i Elektromagnetisme II, savnede klikkerne. Studerende der kun havde oplevet dem på første og andet år, samt studerende der udelukkende havde brugt klikkere under hele deres universitetsforløb, var en lille smule mere tøvende over for kammeratlæringens værdi i videregående fysikkurser (Katherine Perkins er ved at forberede publikationen). Moralen må være at man, som med så meget andet, ikke ved hvad man har ført det er borte. Derfor forklarer fysiklærerne på Boulder, Colorado, igen og igen for de studerende hvad idéen med klikkerne faktisk er (se mere på <http://www.cwsei.ubc.ca/resources/clickers.htm>).

Refleksioner over amerikansk fysikdidaktik

Undervejs i konferencen, mellem workshops og oplæg, diskuterede og reflekterede vi over det vi så og hørte. Vi talte meget om hvilket billede vi fik af amerikansk fysikdidaktik, og hvordan det billede afveg fra den fysikdidaktik vi er i gang med at blive opdraget med her i Danmark. Af de forskelle vi identificerede, ønsker vi specielt at uddybe fire i det følgende: *Konferencen som markedsplads*, *Karaktergivning og bevis for læring*, *Nødvendigheden af lærerrefleksioner* og *Brobygningen mellem forskning og undervisningspraksis*. Disse refleksioner over forskelle har deres ophav i måden hvorpå vi selv syntes vi reagerede på forskningspræsentationerne, sammenlignet med måden hvorpå de amerikanske gymnasielærere og andre tilhørere reagerede. Vi var kritiske, og de var begejstrede. Derfor er nedenstående mere et resultat af vores fornemmelser af at der var ting der ikke blev sagt, men som vi syntes burde have været sagt. Og netop dette forhold synes vi er en kilde til selvindsigt. Denne diskussion er altså på ingen måde tænkt som værende objektiv selv om vi nogle steder underbygger vores tanker med relevant litteratur.

Konferencen som markedsplads

Omtrent halvvejs inde i konferencen indså vi at vi var ankommet til en markedsplads for fysikundervisning. Mange af præsentationerne var baseret på, eller henviste til, varer der kunne købes i møde-butikken: lærebøger og lærerbøger, lærerinstruktioner, undervisningsgadgets, læringskoncepter osv. Og så fik vi pludselig lyst til at løbe vores vej. En af grundene til at mødet kunne opfattes som en markedsplads, er at det faktisk

er tilstræbt at være netop det. AAPT er ikke en sammenslutning af fysikdidaktikere, men en sammenslutning af fysiklærere, og det var nok det som vi ikke helt havde erkendt indledningsvis.

Selv om det ikke er rimeligt at opfatte præsentationerne på AAPT-mødet som eksemplariske eller repræsentative for amerikansk fysikdidaktisk forskning, så mener vi stadig at præsentationerne kan tjene som gode indikatorer. Amerikansk fysikdidaktisk forskning fokuserer i så fald på løsninger, tips og tricks hvis værd bevises først gennem kvantitative undersøgelser og dernæst på graden af løsningernes udbredelse på skoler og universiteter. Dermed bliver forskerens rolle primært at finde på noget som virker, og derpå sælge idéen.

Det samme perspektiv har Frank Lester (2005) på matematikdidaktisk forskning i USA, som han mener finansieres på basis af "what works". Således fokuseres god didaktisk forskning på de løsninger der finder evidens i store, kvantitative undersøgelser med kontrolgruppeeksperimenter. Disse løsninger forventes så at kunne overdrages relativt ukompliceret til lærerstanden, der så kan implementere disse løsninger i deres undervisning uden nødvendigvis at være afklarede omkring det teoretiske ståsted og de refleksioner der ligger forud for udviklingen af løsningerne. Vi oplevede under AAPT-mødet at fysikdidaktisk forskning er nærvædet identisk med Lesters beskrivelse af amerikansk matematikdidaktisk forskning. Med et sådant finansieringsrationale kan det ikke overraske at konferencen bliver en markedsplads.

Karaktergivning og bevis for læring

Vi har netop identificeret at der er et behov inden for amerikansk fysikdidaktik for at bevise at "det virker". Disse beviser er naturligvis sat i system, og et sådant system er *grading rubrics*, i daglig tale "rubrics". Rubrics er skemaer som enhver lærer bruger i sin evalueringspraksis. Skemaerne er designet til at understøtte en ensartet og konsekvent evaluering af elevernes konkrete færdigheder og konceptuelle viden. Disse rubrics bruges af læreren, men kan også bruges til at understøtte de studerende i kammeratevaluering og selvevaluering. Vi giver et eksempel på et uddrag af en rubric her. Eksemplet er hentet fra Etkinas ISLE Physics-projekt:

Tabel 1. *Eksempler på et uddrag af en rubric fra ISLE Physics omhandlende videnskabelige færdigheder (Etkina et al., in review).*

Videnskabelig færdighed	Manglende (0)	Utilstrækkelig (1)	Kræver forbedringer (2)	Tilstrækkelig (3)
Er i stand til at evaluere specifikt hvordan eksperimentelle usikkerheder kan påvirke data.	Intet forsøg er gjort på at evaluere eksperimentelle usikkerheder.	Et forsøg er gjort på at evaluere eksperimentelle usikkerheder, men med store mangler, beskrevet vagt eller ukorrekt.	De fleste eksperimentelle usikkerheder er evalueret korrekt, men stadig med få mindre fejl, modstrid eller udeladelser.	Alle eksperimentelle usikkerheder er evalueret korrekt, og slutresultatet er skrevet med procentvis afvigelse.
Er i stand til at identificere de antagelser der danner basis for den matematiske model.	Intet forsøg er gjort på at identificere antagelser.	Et forsøg er gjort på at identificere antagelser, men med store mangler, beskrevet vagt eller ukorrekt.	De fleste relevante antagelser er identificeret.	Alle relevante antagelser er identificeret.

Rubric'en er tilgængelig for de studerende og giver dem derfor mulighed for konkret at få indblik i hvad der forventes af dem. Ikke blot i forhold til læringsmål over et helt forløb, men også i forhold til de forventninger der er til en skriftlig opgave, et oplæg osv. Deri har rubrics deres fulde berettigelse.

Selv om det er interessant at få artikuleret målene for enhver undervisningssituation og udvikle værktøjer til at teste om sådanne mål er nået, er vi stadig kritiske. I den rubric der benyttes i SENCER-projektet om statistik, som kort blev beskrevet tidligere, vægtede man med samme pointtal antallet af stavfejl, hvorvidt der er fremvist de relevante grafer for data, og om eleverne er i stand til at bruge statistik. At lære statistik var ellers det udtalte mål der adresseredes i undervisningen.

Det er tydeligt at lærerne bruger meget tid på at udvikle disse rubrics og efterfølgende udfylde dem, fx ved karaktergivning. De lærere vi mødte, var stolte af deres rubrics og havde dem med sig i print så vi kunne se dem og bruge dem selv. De havde til gengæld ikke print af deres læreplaner – for de var alligevel statsligt givet. På den måde følte vi at evalueringen kom til at stå over selve undervisningen.

Desuden efterlader sådanne rubrics et temmelig mekanisk indtryk af hvad det vil sige at lære fysik. Hvis blot man fx har skrevet sit eksperimentelle resultat med

procentvis afvigelse, så behøver eleverne ikke at reflektere over om det er den bedste måde at fremvise resultater på. For det er det pr. definition ifølge lærerens rubric. Denne evalueringsform vækker minder om idéen om at der findes én naturvidenskabelig metode, som eleverne skal lære. Videnskabsteoretikere har siden 60'erne været optaget af at vise hvordan den naturvidenskabelige praksis varierer som resultat af personer og forskningsemner; at der ikke findes én naturvidenskabelig metode, men lige så mange metoder som der findes praktikere. Med en dogmatisk rubric der giver point i udtrykkeligt definerede kategorier, fratager man eleverne muligheden for at lære fx fysik på deres egne præmisser, endsige tage kritisk stilling til måden læringsaktiviteten kan gribes an på.

Nødvendigheden af lærerrefleksioner

Denne kritik af det amerikanske forskningsfelt inden for fysikdidaktik har fået os til at tænke over vores egen praksis. Men hvad er det så vi gør (eller bilder os ind at vi gør) i Danmark som er anderledes end i USA? Vi oplever at vi i Danmark forholder os i højere grad til det teoretiske og filosofiske ståsted for vores forskning, samt at vi mere kritisk reflekterer over formålet og processen for vores forskning. Dette resulterer i at forskningen kan beskrives som at vi undersøger og reflekterer over hvad der sker i undervisningsrummet, i højere grad end vi finder på nye, spændende løsninger¹. Dermed bliver dansk forskning – i forhold til den amerikanske – kritisk, bagudsynet og svær at anvende for undervisere.

Vi oplever at det danske fysikdidaktiske felt har store problemer med at få bygget bro mellem forskningen og fysikundervisningen. En af de oplagte årsager er at forskningen ikke vil ind og "overtage" undervisningen. Vi vil ikke fortælle lærere præcis hvad de skal gøre, for de har ret til, og det er essentielt for deres lyst og evne til at være gode lærere, ikke at blive dikteret oppefra.

Fysikdidaktisk forskning inddrages primært i uddannelse og videreuddannelse af lærere som invitationer til refleksioner over egen undervisningspraksis, men man vil ikke så gerne ned og pille direkte i lærernes undervisning. Man håber at lærerne kan overtage forskernes refleksioner så de på en eller anden måde kan implementere disse indsigter i undervisningen. Selv om det lægger et stort ansvar på lærerne, er vores indtryk at lærere også opfatter det som deres job, og at de er rustet til at påtage sig dette ansvar. Måske er problemet bare at forskere ikke er gode nok til at få lærerne i tale?

1 Selv om vores undervisere på kurset om didaktik som designvidenskab nok ikke er helt enige.

Brobygning mellem undervisning og forskning

I USA har de ikke problemer med at bygge bro mellem forskning og undervisning på samme måde som vi har. Her handler det om for forskerne – baseret på tanker og observationer – at opbygge et undervisningskoncept som kan sælges til så mange lærere som muligt. Disse undervisningskoncepter lader man diktere undervisningen helt ned på mikroniveau. Koncepterne er designede så de instruerer lærerne i en detaljegrad så de véd hvad der skal foregå i time 3 i emne F. Lærerne stejler ikke, men tager taknemmeligt imod værktøjet, som selvfølgelig er designet til at være nemt at implementere. Lærerne behøver sådan set ikke at reflektere over hvorfor de gør det de gør, når blot de følger konceptet. For det er de blevet overbevist om at der er nogle andre der har gjort for dem. Tallene fra de kvantitative undersøgelser viser at undervisningskoncepterne virker, målt på fx elevernes eksamensresultater fra et stort antal uddannelsesinstitutioner.

På en måde var vi meget imponerede over hvad vi så. Resultatet er jo at utrolig meget anvendt undervisningsmateriale er “forskningsbaseret”. Til gengæld bryder vi os ikke om at det fratager lærerne behovet for eller lysten til at reflektere over deres egen undervisning. Vi bryder os heller ikke om hvis forskerens eneste rolle skal være at opfinde nye koncepter hvis succesrate dels måles på kontrolgruppeeksperimenter, dels på hvor mange lærere man har fået til at købe konceptet. Vi savner en forståelse af det problem som det nye løser, og en anerkendelse af at elever og studerende er forskellige mennesker, der alt efter tid, sted og kontekst kan have meget forskellige behov. På den anden side anerkender vi at vi i Danmark har en udfordring i at blive bedre til at bygge bro mellem forskning og praksis. En udfordring der nu står strålende klart for os efter vores besøg i Chicago. Derfor vil vi gerne afslutte denne beretning med at opfordre til at vi herhjemme tager debatten: Hvordan kan vi afdække de problemer der trods alt er med vores uddannelser, uden at drukne i kompleksitet? Hvordan får vi broen mellem forskning i uddannelse og uddannelsespraksis til at blive en levende, gensidigt konstruktiv kritisk dialog?

Efter vores tur til USA har vi indset at man sagtens kan gøre tingene meget anderledes end vi oplever dem herhjemme. Vi er endnu nye i feltet, og som ph.d.-studerende er vi naturligvis optagede af hvad der er bedst at gøre – og hvad vi selv skal gøre. Vi opfordrer hermed både undervisere, formidlere og forskere til at give deres indspark til debatten.

Referencer

- Chasteen, S.V. & Pollock, S.J. (2008). Transforming Upper-Division Electricity and Magnetism. *AIP Conference Proceedings*, 1064, s. 91-94.

- Crouch, C. & Mazur, E. (1991). Peer Instruction: Ten Years of Experience and Results. *American Journal of Physics*, 69(9), s. 970-977.
- Crouch, C., Watkins, J., Fagen, A. & Mazur, E. (2007). Peer Instruction: Engaging students one-on-one, all at once. I: E.F. Redish & P. Cooney (Eds.), *Research-Based Reform of University Physics*, 1(1). Lokaliseret den 17. marts 2009 på: <http://www.compadre.org/PER/items/detail.cfm?ID=4990>.
- Etkina, E., Karelina, A., Murthy, S. & Ruibal-Villasenor, M. (In review). Research and Instruction paradigms switched: Using action research to improve learning and formative assessment to conduct research.
- Etkina, E., Karelina A. & Ruibal-Villasenor, M. (2008). How long does it take? A study of student acquisition of scientific abilities. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 4(2): s. 020108-1 – 020108-15.
- Etkina, E. & Van Heuvelen, A. (2007). Investigative Science Learning Environment – A Science Process Approach to Learning Physics. I: E.F. Redish & P. Cooney (Eds.), *Research-Based Reform of University Physics*, 1(1). Lokaliseret den 17. marts 2009 på: http://www.compadre.org/per/per_reviews/volume1.cfm.
- Lasry, N. (2008). Clickers or Flashcards: Is There Really a Difference? *The Physics Teacher*, 46(4), s. 242-244.
- Lester, F.K. (2005). On the theoretical, conceptual, and philosophical foundations for research in mathematics education. *ZMD*, 37, s. 457-467.
- McDermott, L.C. and the Physics Education Group at the University of Washington. (1996). *Physics by Inquiry*, Volume I and II. John Wiley & Sons, Inc.
- McDermott, L.C., Shaffer, P.S. and the Physics Education Group. (2003a). *Tutorials in Introductory Physics*, Volume I and II. Prentice Hall.
- McDermott, L.C., Shaffer, P.S. and the Physics Education Group. (2003b). *Instructor's Guide to Tutorials in Introductory Physics*. Prentice Hall.
- Pollock, S.J. & Finkelstein, N.D., (2008). Sustaining Educational Reforms in Introductory Physics. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 4(1): s. 010110-1 – 010110-8.
- Wiggins, G. & McTighe, J. (2005). *Understanding by Design*. Expanded 2nd Edition. ASCD (Association for supervision and Curriculum Development, Alexandria, Virginia, USA).