

# Nye veje til at undersøge fysikstuderendes konceptuelle forståelse af klassisk mekanik



Sofie Birch Jensen, *Institut for Naturfagenes Didaktik, Københavns Universitet*



Lene Møller Madsen, *Institut for Naturfagenes Didaktik, Københavns Universitet*

**Abstract** I denne artikel undersøges det hvilket indblik *The Force Concept Inventory (FCI)* giver i fysikstuderendes konceptuelle forståelse af newtonsk mekanik. Et udvalg af fysikstuderende fra Københavns Universitet er blevet testet i FCI-spørgsmål i et traditionelt multiple choice-format og efterfølgende i et sociokulturelt evalueringsformat med henblik på at undersøge evalueringsformatets betydning for de studerendes besvarelser. Resultaterne af denne undersøgelse giver anledning til at diskutere behovet for en mere nuanceret læringsteoretisk forståelse af hvad det vil sige at have en konceptuel forståelse af newtonsk mekanik, hvor erkendelsen af at de studerendes newtonske tænkning ofte er kontekstafhængig, inkorporeres.

## Introduktion

Denne artikel udspringer af et kandidatspeciale skrevet på Institut for Naturfagenes Didaktik (Jensen, 2013). Udgangspunktet for specialet var en undersøgelse af overgangen fra ungdomsuddannelse til et universitetsstudie med overvægt af det ene køn. Valget faldt på fysikstudiet på Københavns Universitet der har en overvægt af mandlige studerende (de kvindelige studerende har de seneste år udgjort godt en fjerdedel af alle optagne studerende). Indgangsvinklen til at behandle dette brede problemfelt blev den såkaldte Force Concept Inventory-test (FCI) der tester de studerendes konceptuelle forståelse af mekanik, og som gennemføres med de nystartede studerende på Niels Bohr Institutet hvert år kort efter studiestart. I specialet er kønsforskelle i besvarelsen af FCI blandt de studerende undersøgt, og i den forbindelse er der indsamlet empiri i form af en gentestning af 12 nystartede fysikstuderende i 6 udvalgte FCI-spørgsmål i et andet evalueringsformat end det multiple choice-format FCI er udviklet og gennemføres i. Kønsforskellene skal ikke diskuteres nærmere her, men den indsamlede

empiri giver anledning til at diskutere to ting. For det første: Hvilken betydning har evalueringsformatet for hvilket billede vi får af de studerendes konceptuelle forståelse af mekanik? Og for det andet: Hvad vil det i det hele taget sige at have en konceptuel forståelse af mekanik? Disse to spørgsmål vil vi udfolde i det følgende.

## Force Concept Inventory

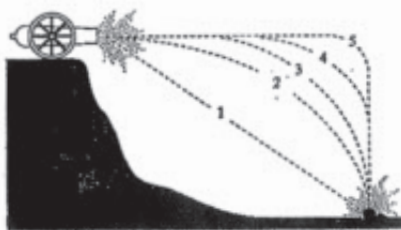
The Force Concept Inventory (FCI) er en test af studerendes konceptuelle forståelse af klassisk newtonsk mekanik. FCI er udformet som en multiple choice-test og består af 30 spørgsmål, hver med 5 forskellige svarmuligheder. Testen er udelukkende konceptuel, og der optræder altså hverken talværdier eller udregninger i den. Testen blev første gang publiceret i en artikel i *The Physics Teacher* i 1992 (Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992). FCI baserer sig på forfatterens arbejde med at undersøge og klassificere typiske såkaldte misopfattelser (misconceptions)<sup>1</sup>, altså fejlagtige forståelser af fysiske fænomener og begreber, inden for klassisk mekanik hos amerikanske collegestuderende. Disse misopfattelser er anvendt som forkerte svarmuligheder i FCI-testen. Rationalet er altså at alle forkerte svarmuligheder i et givent spørgsmål er faktiske misopfattelser som der er empirisk belæg for at tro eksisterer hos nogle fysikstuderende. FCI er blevet et ofte anvendt instrument til evaluering af fysikstuderendes konceptuelle forståelse af newtonsk mekanik hvilket både afspejles i dens store udbredelse på diverse uddannelsesinstitutioner og i de anseelige mængder litteratur der er publiceret om testen (se Rebsdorf (2006) for en oversigt samt en dansk uddybning af testens indhold og anvendelse).

I figur 1 ses to eksempler på spørgsmål fra FCI der begge omhandler en bevægelse i to dimensioner med konstant hastighed i den ene retning og konstant acceleration i den anden med en parabelbane til følge. Det korrekte svar på spørgsmål 12 er altså bane 2 og på spørgsmål 21 bane 5. De forkerte svar tager udgangspunkt i forskellige typiske misopfattelser som fx at rumskibets bevægelse efter at motoren tændes, bliver lineær som et kompromis mellem kraftens retning og den oprindelige bevægelsesretning.

---

1 Vi har valgt at oversætte det engelske "misconceptions" med ordet "misopfattelser".

12. En kanon affyres fra toppen af en klippe, som det fremgår af figuren. Sæt ring om den kurve, som du mener, bedst beskriver kanonkuglens bevægelse?



Et rumskib driver sidelæns i det ydre rum fra P til Q (se figuren). Rumskibet er ikke påvirket af ydre kræfter. I det rumskibet befinder sig i Q tændes raketmotoren, som skaber en konstant kraft vinkelret på linien PQ. Raketmotoren arbejder konstant indtil raketten når til R.



21. Hvilken af de 5 kurver nedenfor beskriver bedst bevægelsen af rumskibet mellem punkterne Q og R? (Sæt ring om dit valg).



Figur 1. Spørgsmål 12 (kanon) og 21 (raket) fra FCI-testen i dansk oversættelse.

## Evalueringstyper og læringssyn

Forståelsen af hvad viden er, og hvordan vi tilegner os den, hænger ofte sammen med forståelsen af hvordan vi kan måle tilegnelsen af denne viden. Det betyder at forskellige læringsteorier med tilhørende epistemologier medfører forskellige syn på evaluering – hvad vi kan måle, og hvordan vi skal gøre det.

Ud fra et behavioristisk læringsteoretisk synspunkt (Winsløw, 2006) er viden noget der eksisterer i egen ret og som en fast, uforanderlig størrelse kan overføres fra lærer til elev. Det interessante for behavioristen er ikke læringsprocesserne hos eleven, men den ændring af adfærd som læringsprocessen resulterer i. Dette hænger tæt sammen med en opfattelse af at man objektivt kan måle i hvor høj grad denne overførsel er lykkedes. Idealet er naturvidenskabeligt, og man kan tale om at tilgangen til evaluering er psykometrisk.

Ud fra et konstruktivistisk og måske særligt socialkonstruktivistisk læringsteoretisk synspunkt er denne psykometriske tilgang til evaluering ikke meningsfuld. For konstruktivisten eksisterer viden ikke som en selvstændig størrelse, men konstrueres hos den enkelte elev (Angell et al., 2011). Processen hvorved viden tilegnes, kan ikke adskilles fra resultatet, den opnåede viden, og følgelig kan man ikke gøre sig forhåbninger om at kunne måle denne viden adskilt fra den kontekst som elevens videnskoning er situeret i. I den socialkonstruktivistiske læringsteori bliver den sociale kontekst særlig vigtig, og evaluering må derfor finde sted i samme kontekst som den viden man ønsker at evaluere, er blevet konstrueret i (Dolin & Krogh, 2011). Med til denne idé om at evalueringen må placeres i en kontekst med mulighed for socialt samspil, hører også idéen om at eleven i evalueringssituationen skal placeres i en stilladseret situation der giver mulighed for at eleven kan nå sine nærmeste udviklingszoner. Evalueringen skal således lede efter elevens "best performance" snarere end "typical performance" (Gipps, 1999: 375). Således hedder det i Dolin & Krogh (2011) at i et sociokulturelt evalueringssynspunkt *"er sigtet ikke at tilvejebringe objektiv og reproducerbar viden (hvilket anses for omsonst), men at skaffe valid information, som er meningsfuld og potentielt brugbar for de direkte aktører med kendskab til situationen"* (ibid., 2011: 29).

Man kan altså grundlæggende tale om to forskellige syn på evaluering, nemlig et traditionelt, positivistisk blik med et behavioristisk læringsteoretisk udgangspunkt og et sociokulturelt blik med rod i den socialkonstruktivistiske læringsteori (Dolin & Krogh, 2011). Skematisk kan dette illustreres ved hjælp af nogle modsætningspar der giver et billede af forskellen på de to blik på evalueringen, selvom disse modsætningspar naturligvis ikke udgør en udtømmende definition (se figur 2). Der er desuden ikke tale om en binær inddeling hvor evalueringen nødvendigvis falder i en af de to kategorier, men derimod snarere om yderpunkterne i et kontinuum. Forskellige evalueringsformater kan altså være mere eller mindre sociokulturelt eller traditionelt orienterede.

Traditionelt paradigme	Sociokulturelt paradigme
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ikke-interaktivt</li> <li>• ikke-kollaborativt</li> <li>• statisk</li> <li>• produktorienteret</li> <li>• begrænset brug af artefakter</li> <li>• løsrevet fra situeret og autentisk praksis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• interaktivt</li> <li>• kollaborativt</li> <li>• dynamisk</li> <li>• procesorienteret</li> <li>• udstrakt brug af artefakter</li> <li>• indlejret i situeret og autentisk praksis</li> </ul>

**Figur 2.** *Forskellige evalueringssynspunkter (Dolin & Krogh 2011)*

## FCI's lærings- og evalueringsforståelse

Den grundlæggende præmis for FCI-testen er at alle studerende møder klassisk mekanik som institutionaliseret fag i uddannelsesverdenen med en hverdagsforståelse der ofte, men ikke nødvendigvis, baserer sig på dagligdagserfaringer. Med Hestenes et al.s (1992) egne ord hedder det således (egen oversættelse): *“Alle studerende påbegynder fysikundervisningen med veletablerede forestillinger om hvordan den fysiske verden fungerer, der er baseret på almindelig sund fornuft og udviklet gennem års personlig erfaring. I løbet af det sidste årti har fysikdidaktisk forskning vist at disse forestillinger spiller en markant rolle i fysik på de indledende niveauer.”* Begrebet misopfattelser bruges til at karakterisere sådanne erfarede forestillinger der strider mod den etablerede forståelse. Et eksempel på en udbredt misopfattelse er at bevægelse altid kræver en kraft, hvilket som bekendt er i modstrid med Newtons 1. lov. Det pointeres hos Hestenes et al. (1992) at ordet misopfattelse (“misconception”) grundlæggende er uheldigt da det ikke nødvendigvis er let at indse at disse forståelser er forkerte. De kan sagtens være både plausible og fornuftige for den studerende. Dermed bliver en væsentlig pointe i FCI-regi at der hos mange studerende eksisterer et misforhold mellem den intuitive forståelse af hvordan ting opfører sig, og den newtonske forståelse.

Det læringsteoretiske standpunkt som det ses hos Hestenes et al. (1992), kan derfor kortes ned til at fysikstuderende potentielt har misopfattelser, ofte konstrueret ud fra hverdagserfaringer der skal konfronteres i undervisningen for at den studerende kan lære nyt. Dermed kan læringssynet bag FCI karakteriseres som konstruktivistisk da videnstilegnelse hos de studerende tager udgangspunkt i allerede eksisterende viden og forståelser, i den forstand at den vellykkede undervisning konfronterer de studerendes misopfattelser og erstatter dem med videnskabeligt korrekte forståelser.

FCI opererer med en oversigt over misopfattelser om hvilken det hedder at *“Det tyder på at misopfattelserne er til stede hvis det tilsvarende svar vælges i FCI”* (Hestenes et al., 1992, egen oversættelse). Rationalet er altså at hvis et forkert svar vælges i FCI, er den tilhørende misopfattelse antageligvis til stede – ikke kun i relation til denne specifikke kontekst, men også mere generelt. Dette indikerer en læringsteoretisk forståelse af at det newtonske verdensbillede hos den studerende udvikles i alle kontekster på samme tid, snarere end at et newtonsk verdensbillede anvendes i nogle kontekster og ikke i andre. Således er der hos FCI grundlæggende ikke en opfattelse af at forskellige forståelser kan eksistere samtidig, fx ved at den studerende tænker ikkenewtonsk i hverdagssituationer, men newtonsk i formelle læringsituationer. Dette ses blandt andet i følgende citat: *“FCI tester hver konceptuel dimension med flere spørgsmål med forskellige kontekster og synspunkter. Et falsk positivt svar på et af spørgsmålene kan dermed delvist opvejes af et ikkenewtonsk svar på et andet.”* (Hestenes & Halloun, 1995: 504, egen oversættelse). Besvares der newtonsk i én kontekst og ikkenewtonsk i en anden, er det i en FCI-forståelse altså ikke et spørgsmål

om at den studerende tænker newtonsk i nogle kontekster og ikke i andre, men en indikation af at den korrekte besvarelse er valgt ud fra ikkenewtonske overvejelser. Det påpeges at man i udgangspunktet ikke må lægge for stor vægt på spørgsmålene enkeltvis, da der kan forekomme falsk korrekte svar hvor det rigtige svar vælges ud fra forkerte bevæggrunde eller ved simpelt gætteri. Derimod understreges det at *“Kun en ægte newtonsk tænker giver et sammenhængende mønster af newtonske svar hvor der højst er enkelte afvigelse nu og da. Dermed er FCI i sin helhed et rigtig godt instrument til at afsløre newtonsk tænkning”* (Hestenes et al., 1992: 142, egen oversættelse). Det er altså muligt at opnå en højere score i FCI end ens newtonske tænkning burde berettigede til, mens det omvendte kun sjældent er tilfældet. Dermed bliver FCI-scoren en øvre grænse for i hvor høj grad testpersonen har tilegnet sig et newtonsk verdensbillede.

Det er forholdsvis ukontroversielt at karakterisere evalueringsformatet der anvendes i FCI, som tilhørende det traditionelle evalueringsparadigme i figur 2. Evalueringsformatet har en høj grad af pålidelighed (det er indiskutabelt hvilken score en given studerende har opnået i FCI), og evalueringen skal objektivt måle i hvor høj grad de studerende har tilegnet sig den etablerede newtonske tankegang. Evalueringen er altså produktorienteret snarere end procesorienteret. Formatet tillader ikke brug af andre artefakter end billederne der hører til testen, og evalueringen foretages løstrevet fra den situerede praksis læringsprocessen har fundet sted i. Der er ingen dialog eller interaktion med den studerende hvis forståelse skal evalueres, ligesom der heller ikke er mulighed for samarbejde mellem studerende.

### *Udvikling af et sociokulturelt evalueringsformat*

Til at teste de studerendes forståelse af mekanik med udgangspunkt i et sociokulturelt læringssyn er der udviklet en samtaletest (Jensen, 2013). Som inspiration til den metodisk ikke helt lette opgave med at udvikle et testformat der på den ene side er sociokulturelt orienteret, men på den anden side giver besvarelser der er lukkede nok til at være sammenlignelige med besvarelserne i FCI's oprindelige testformat, er der fundet inspiration i det sociokulturelle evalueringsformat (VAP) udviklet af Dolin og Krogh (2011) til validering af PISA. PISA (Programme for International Student Assessment) er OECD's testning af 15-årige inden for områderne læsning, matematik og naturfag og er i lighed med FCI en multiple choice-test.

I VAP-projektet er et udvalg af folkeskoleelever blevet testet i en sociokulturelt funderet samtale om opgaver der også er stillet i PISA-testen. Denne samtale tager udgangspunkt i et samtalskema baseret på en faglig analyse af opgaveindholdet i relation til PISA's scoringskriterier og inddrager forskellige medierende artefakter undervejs.

I lighed med VAP er den udviklede sociokulturelle test centreret omkring en sam-

tale med brug af artefakter. Den vigtigste ændring i relation til FCI-testen har således været at gøre evalueringsformatet dialogorienteret i erkendelse af at sproget i den sociokulturelle forståelse af læring udgør et helt centralt artefakt. De studerende blev stillet udvalgte opgaver fra FCI-testen af interviewereren uden at få præsenteret de forskellige svarmuligheder, og interviewereren spurgte herefter med udgangspunkt i et samtaleskema ind til deres besvarelse. Samtalskemaet tog udgangspunkt i at afdække de studerendes bagvedliggende overvejelser og begrundelser for deres svar. Fx spørges der ved spørgsmål 21 om hvordan det kan lade sig gøre at rumskibet bevæger sig inden motoren tændes (og hvor det altså ikke er påvirket af nogen kræfter), og hvordan rumskibet havde bevæget sig hvis det havde været i hvile da motoren blev tændt. Ligeledes blev der spurgt til rumskibets hastighed og acceleration i de to retninger der defineres i opgaven, nemlig rumskibets oprindelige bevægelsesretning og en retning vinkelret på denne. Efter således at have fået afdækket sin forståelse blev den studerende bedt om at vælge mellem FCI-testens oprindelige 5 svarmuligheder. De studerende sættes således ikke kun i stand til at anvende sproget til at konstruere deres forståelse med. De får i det dialogorienterede format også mulighed for at mediere deres forståelse med det fysiske fagfællesskabs etablerede forståelse via interaktion med interviewereren der er fysiker og præsenterede sig som sådan for de interviewede studerende – et interaktivt element der karakteriserer det sociokulturelle evalueringsparadigme. Dette dialogorienterede format er ligeledes med til at præge gentestningen mod det sociokulturelt orienterede da evalueringen her er situeret i en kontekst der er autentisk i den forstand at samtale og interaktion efter al sandsynlighed har spillet en væsentlig rolle i den skolehverdag som opgavens fysikfaglige indhold er tillært i.

Alle disse træk ved designet er med til at karakterisere gentestningen som orienteret mod det sociokulturelle evalueringsparadigme efter parametrene opstillet i figur 2. Det er dog væsentligt at understrege at der snarere er tale om en sociokulturelt orienteret evaluering end en evaluering der er fuldstændig hjemmehørende i et sociokulturelt paradigme.

## Metode

For at belyse sammenhængen mellem to forskellige evalueringsformater og det billede de giver af de studerendes fysikforståelse, blev der i september 2012 afholdt interviews med 12 nystartede fysikstuderende fra Københavns Universitet der i forbindelse med den indledende laboratorieundervisning havde gennemført FCI-testen. De studerende blev, som det er praksis i forbindelse med gennemførelsen af FCI-testen på Niels Bohr Institutet, ikke efterfølgende præsenteret for de korrekte svar ligesom de heller ikke fik deres score at vide. Fokus for interviewene var en gentestning af 6 udvalgte FCI-



spørgsmål (opgave 13, 21, 22, 23, 24 og 30 i FCI-testen) i det sociokulturelt orienterede evalueringsformat beskrevet ovenfor. Gentestningen er sociokulturelt orienteret da den bygger på dialog og samtale, inkluderer artefakter, anvender sproget og er sat inden for rammerne af et fagfællesskab. Derudover blev de studerende i interviewene bedt om at reflektere over opgavernes sværhedsgrad og hvorvidt de kunne huske at have løst tilsvarende opgaver tidligere.

### *Udvælgelse af informanter og interviewafholdelse*

Baseret på Flyvbjerg (2006) var strategien ved udvælgelsen af informanter en informationsorienteret udvælgelse med maksimal variation af FCI-score, således at der blev udvalgt informanter med scorer der dækker hele spektret. Ligeledes var ønsket at udvælge lige mange mandlige og kvindelige studerende. Der blev indledningsvis afholdt et kort informationsoplæg om projektet til en forelæsning på fysik, hvilket resulterede i et udvalg af mulige informanter på 35 studerende. Ud af disse 35 studerende var 8 kvinder, og de resterende mænd. Af kvinderne var det ikke muligt at få arrangeret et interview med 2 inden for den afsatte tidsramme. De resterende 6 kvinder indgår i undersøgelsen. For mændenes vedkommende var det vigtigt at få fat i medlemmerne af samplet med lave FCI-scorer for at opnå maksimal variation – mændene i samplet havde generelt forholdsvis høje FCI-scorer. Disse havde dog kun i beskeden grad meldt sig som forsøgsdeltagere hvorfor de helt lavtscorende mænd ikke er helt så rigt repræsenteret i empirien som ønsket. De udvalgte informanter med scorer der fordeler sig mellem 37 % og 100 % korrekte svar i FCI, repræsenterer derfor en høj grad af variation i forhold til FCI-scorer, med det forbehold at der ikke optræder nogen af de studerende som har opnået de allerlaveste scorer (16 studerende ud af de 177 testede har i 2012 opnået en score på 30 % eller derunder). De i alt 12 interviews af omkring en halv times varighed tog udgangspunkt i det ovenfor beskrevne samtalskema der skulle sikre at interviewet kom omkring alle relevante dele af den studerendes forståelse. Der var samtidig mulighed for at forfølge aspekter af spørgsmålene som den studerende syntes var særlig interessante, vanskelige eller lignende. De studerende havde mulighed for at anvende forskellige artefakter til brug for deres forklaringer, fx en bold og en ketsjer. Interviewene blev efterfølgende transskriberet og analyseret. Alle navne er anonymiseret.

## Resultater

I det følgende gives først en oversigt over forskelle i de studerendes besvarelser i FCI-testen og det udviklede sociokulturelle testformat. Dernæst diskuteres eksempler på hvordan ændringerne kan forstås, og endelig vises hvad evalueringen i det sociokulturelle testformat kan give af indsigter i hvordan de studerende lærer klassisk mekanik.



### Sammenligning af besvarelser i de to testformater

For at undersøge hvilken betydning evalueringsformatet har for de svar de studerende giver, er besvarelserne i de to evalueringsformater sammenlignet i figur 3. For at legitimere sammenligningen med det oprindelige testformat er ændringen beskrevet som ubestemt hvis informanten ikke har lagt sig entydigt fast på et svar, eller hvis svaret er fremkommet efter et vist mål af stilladsering i løbet af samtalen. Således må de observerede ændringer anses for at være et konservativt bud på hvilke forskelle der ses på de studerendes tankegang som den kommer til udtryk i de to evalueringsformater.

	Nr. 13	Nr. 21	Nr. 22	Nr. 23	Nr. 24	Nr. 30	FCI score
Anna	Grøn	Grøn	Grøn	Grøn	Grøn	Grøn	100%
Søren	Gul	Grøn	Grøn	Grøn	Grøn	Gul	80%
Mette	Grøn	Grøn	Grøn	Grøn	Grøn	Grøn	77%
Martin	Grøn	Grå	Grøn	Grøn	Grøn	Gul	67%
Tobias	Gul	Grå	Gul	Grøn	Grøn	Grøn	67%
Lars	Grøn	Gul	Gul	Grøn	Grøn	Gul	63%
Peter	Grå	Gul	Grøn	Grøn	Grøn	Gul	57%
Nina	Rød	Gul	Gul	Grøn	Gul	Gul	53%
Jacob	Rød	Grå	Grøn	Gul	Grøn	Rød	43%
Signe	Grå	Grå	Gul	Grøn	Gul	Gul	40%
Karoline	Grå	Grå	Gul	Gul	Grøn	Grå	37%
Sarah	Gul	Gul	Gul	Gul	Grøn	Gul	37%

**Figur 3.** Forskelle i besvarelser i de to testformater. Grøn = korrekt svar i begge formater, rød = forkert svar i begge formater, gul = forskelligt svar i de to formater, grå = ubestemt svar i samtaletesten.

Vi ser i figur 3 at der i de i alt 72 stillede spørgsmål sker en ændring i 25 af tilfældene (svarende til 35 %), ingen ændring i 38 tilfælde (53 %) mens ændringen ikke er entydigt bestemt i de sidste 9 tilfælde (13 %). Af de 25 ændrede svar ændres 18 fra et forkert svar til det korrekte, 5 fra et blankt svar til det korrekte, og 2 fra et forkert svar til et andet forkert svar. Af de 38 uændrede svar er 35 uændret korrekte mens kun 3 er uændret forkerte.

Helt overordnet kan vi altså konkludere at ændringen af evalueringsformatet be-

tyder noget for hvilke svar de studerende giver på spørgsmålene – vi får adgang til andre aspekter af deres viden ved at ændre på testformatet. Dette er ikke nødvendigvis ensbetydende med et forbedret testresultat, men alene det at der svares så forskelligt i de to formater, er interessant. Det er desuden interessant at bemærke at de eneste to informanter der svarer uændret på alle spørgsmålene, er Anna og Mette der har besvaret alle 6 spørgsmål korrekt i FCI. Samtidig ses ikke et eneste tilfælde af at et korrekt svar i FCI ændres til et forkert i samtaletesten. Dette peger i retning af at de korrekte svar i multiple choice-formatet afspejler en forståelse der er grundlæggende nok for den studerende til ikke at ændres på trods af ændringen af evalueringsformen. I alle ændringerne er der således tale om enten et blankt eller et forkert svar der ændres til et korrekt, eller om et forkert svar der ændres til et andet forkert svar. Dette antyder altså at et forkert svar i FCI-testen ikke nødvendigvis er udtryk for et rationelt og konsistent ikkewtonsk verdensbillede hos den studerende siden de så relativt ofte ændres ved en ændring af testformatet.

Der ses en del eksempler på at studerende ændrer deres forkerte besvarelser i FCI-testen til korrekte besvarelser i gentestningen. Placeret i en anden evalueringssituation er disse studerende altså i stand til at argumentere newtonsk i relation til spørgsmål de har besvaret forkert i FCI-testen. Det format man anvender til at evaluere de studerendes konceptuelle forståelse med, har tilsyneladende en betydning for hvilket billede man får af deres forståelse. Disse resultater ligger i forlængelse af resultaterne fra Dolin & Krogh (2011) hvor en ændring af testformatet mod det sociokulturelt orienterede også gav et ændret billede af de testede elevers naturfaglige forståelse.

Der kan være flere forklaringer på at informanternes besvarelser ændres så grundlæggende ved en ændring af evalueringsformatet. Nogle af disse er mere pragmatiske og handler fx om at informanterne i det sociokulturelle testformat har haft bedre tid til at gennemtænke deres besvarelse af spørgsmålene (FCI-testen med 30 spørgsmål gennemføres på 30 minutter mens de gennemførte samtaler der tester 6 spørgsmål, alt i alt ligeledes varede omkring 30 minutter) ligesom dette format er mere inkluderende over for studerende med læsevanskeligheder. Andre forklaringer relaterer sig i højere grad til den socialkonstruktivistiske forståelse af hvordan læring finder sted, og de sociokulturelt orienterede træk der er inkorporeret i det nye evalueringsdesign.

En væsentlig forskel på de to evalueringsformater er at den sociokulturelt funderede samtale i gentestningen bliver mere autentisk, i den forstand at den søger at spejle den sociale kontekst som de studerendes viden er konstrueret i, gennem samtale og dialog. Ud fra et socialkonstruktivistisk synspunkt er det lærte uadskilleligt fra den proces og den kontekst det er lært i. Derfor vil en evalueringsform hvor den studerende har mulighed for at spejle sin forståelse i det fysikfaglige praksisfællesskab, give et andet indblik i den studerendes kompetencer, og det er altså med dette udgangspunkt ikke

overraskende at de studerende svarer anderledes i en evalueringsform der er tættere på de læringssituationer deres viden er konstrueret i.

Helt centralt i den socialkonstruktivistiske læringsteori står desuden forståelsen af at sproget er et medierende artefakt – populært sagt lærer man i denne forståelse fysik ved at lære at tale om det. Dermed giver gentestningen i det sociokulturelle format de studerende mulighed for selv at konstruere mening og forståelse undervejs i interviewet gennem sproget, hvilket kan være en medvirkende årsag til de ændrede svar i det nye testformat. Desuden giver anvendelsen af sproget som et meningskonstruerende artefakt informanterne mulighed for at udtrykke tvivl om deres forståelse og ikke endegyldigt at lægge sig fast på en forklaringsmodel. Dette betyder at vi i gentestningen muligvis får et bredere indblik i deres forståelse når de også udtrykker de dele af den hvor de ikke er helt overbeviste om korrektheden af deres udsagn. Dette ses fx når Tobias selv angiver rumskibets bane og siger om bevægelsen at det er *“Altså sådan, på en eller anden måde-agtigt”*, og dermed får mulighed for at lade denne viden være et første udspil i forståelsen af rumskibets bane. Sproget giver således mulighed for at informanten kan afprøve idéer og tilpasse sin forståelse undervejs i samtalen.

Resultaterne viser at der sker en tydelig ændring af besvarelsenerne fra det ene evalueringsformat til det andet, og giver anledning til at sætte spørgsmålstejn ved i hvor høj grad FCI kan bruges som en entydig vurdering af om de studerende tænker newtonsk eller ej.

### *Hvordan lærer studerende klassisk mekanik?*

I det følgende giver vi eksempler på hvordan evalueringen i et sociokulturelt format af et af FCI-testens spørgsmål (spørgsmål 21 vist i figur 1) kan give et indblik i de studerendes tankegang der kan anvendes til at kvalificere vores forståelse af hvordan de lærer klassisk mekanik. Grundlæggende må vi anse de to situationer i figur 1 (spørgsmål 12 og 21) som forskellige kontekstuelle repræsentationer af samme bagvedlæggende fysik, nemlig en bevægelse i to dimensioner med konstant acceleration i y-retningen og konstant hastighed i x-retningen. I den sociokulturelle samtale blev de studerende ikke som udgangspunkt stillet spørgsmålet om kanonen, men hvis de havde vanskeligt ved at bestemme eller argumentere for det korrekte svar (bane 5) i spørgsmålet om rumskibet, blev de bedt om at tegne den bane kanonkuglen bevæger sig i, som udgangspunkt for en videre samtale.

Af de 12 gentestede studerende er 7 så tøvende i deres besvarelse af spørgsmål 21 at de stilles spørgsmålet om kanonen. Disse 7 studerende er alle i stand til uden nærmere overvejelser at tegne den korrekte bane (bane 2) for kanonkuglen. Af disse 7 er 4 af dem i stand til at besvare spørgsmålet om kanonen både korrekt og tilfredsstillende uddybet selvom de ikke var i stand til at besvare spørgsmålet om rumskibet korrekt. Desuden er yderligere 2 studerende i stand til at besvare spørgsmålet om kanonen

korrekt, men ikke tilfredsstillende uddybet. Den sidste studerende tegner en korrekt bane, men opfordres ikke af interviewereren til at argumentere for besvarelsen.

Spørgsmålet om kanonen forekommer markant lettere at besvare og argumentere fysikfagligt for for de studerende. Dette peger i retning af at misopfattelser for den studerende ikke nødvendigvis eksisterer i alle sammenhænge, men at den studerendes forståelse derimod er afhængig af spørgsmålets kontekst. At en skarp opdeling af studerendes tænkning i enten ikkenewtonsk eller newtonsk (som er rationalet bag FCI-testen) er unuanceret, udbygges i det følgende.

I interviewene ses der eksempler på studerende der var i stand til at vælge det korrekte newtonske svar på et spørgsmål uden at kunne give en fyldestgørende newtonsk forklaring på hvorfor svaret er korrekt, altså det Hestenes et al. (1992) kalder falsk positive svar. Dette ses fx når Peter ud fra en intuitiv forståelse vælger det korrekte svar på spørgsmål 21, men begrundet det således: *“Altså den vil gerne bevæge sig begge veje samtidig, kan man sige. (...) Det er lidt ligesom når man sender en bold afsted – så laver den også den der parabel. Måske det er fordi ... altså, ting bare bevæger sig i parabler. Det ved jeg ikke ... Det må jeg indrømme.”* Peters tankegang her er netop ikke ikkenewtonsk. Han har en forståelse af hvad det korrekte svar er, og giver ikke udtryk for ikkenewtonske misopfattelser af bevægelsen. Der er altså snarere tale om en intuitivt baseret og ikke formaliseret udfoldet newtonsk tankegang end om en ikkenewtonsk tankegang.

Det ses desuden at forkerte svar der i FCI-testen opfattes som et udtryk for ikkenewtonsk tænkning, i interviewene viser sig snarere at handle om at informanterne gør sig nogle overvejelser om hvordan rumskibet virker, der influerer deres svar. Fx overvejer flere af de studerende hvorvidt motoren faktisk vil yde den konstante kraft med det samme den tændes, eller om den har brug for tid til at varme op. Eksempelvis siger Nina at hun i spørgsmål 21 vil vælge den korrekte bane 5, *“medmindre at den var meget langsom om at starte, men så tæller det vel ikke”*, ligesom Jakob siger at *“Altså, det kan ikke være den der [peger på bane 3], for den skal have tid til at reagere også, vel”*.

Ligeledes svarer Tobias i relation til et spørgsmål om rumskibets hastighed når det påvirkes af en konstant kraft, at *“du ville nok bare sådan power den op til en eller anden fart, og så ville den bare flyve med konstant hastighed”*. Når det understreges at motoren ikke slukkes, men bliver ved med at yde en konstant kraft, svarer han derimod at *“Så vil du vel køre med konstant acceleration såfremt at du holder den samme kraft”*. Dette indikerer at hans forståelsesproblemer ikke i så høj grad handler om en manglende evne til at anvende Newtons 2. lov som en skepsis over for at acceptere at et rumskib ikke stopper sin acceleration når det når den ønskede hastighed. Dette influerer hans valg af bevægelseskurve. Tobias vakler i interviewet mellem banerne 3 og 5, men lægger sig fast på det korrekte svar efter at interviewereren understreger at rumskibets acceleration vil være konstant efter at motoren tændes. Han siger så at *“Hvis du kører med konstant acceleration, så er jeg sikker på at det vil være denne der*

[bane 5], *fordi så stiger du langsomt den vej [vinkelret på den oprindelige bevægelse] i starten, og så begynder det mere og mere*" (se figur 1). Her er der måske ikke så meget tale om misopfattelser af parabelbaner hos Tobias som der er tale om en manglende evne til at gennemskue konteksten og formå at anvende formelle fysiske ræsonnementer på en situation der forstås gennem en hverdagsoptik.

Karoline er i udpræget grad ikke i stand til at aflæse den kontekst som spørgsmål 21 foregår i. Hun tolker det at opgaven foregår i det ydre rum, som afgørende for hvilket svar der er det korrekte, og svarer umiddelbart at det korrekte svar er bane 2. Hendes ræsonnement kan aflæses af følgende interviewuddrag:

*Karoline: (...) så tænkte jeg at det er jo ude i rummet, og måske kan man bare flyve sådan nogle retvinklede kurver i rummet.*

*Interviewer: Okay, fordi det godt kan være at tingene opfører sig anderledes i rummet end vi er vant til hernede på jorden?*

*Karoline: Ja, men hvis det ... altså hvis de opfører sig på samme måde, så burde den også flyve sådan [bevæger rumskibet i en parabelbane] ... ja, i sådan en kurve.*

Hun er efterfølgende i stand til at give en nogenlunde tilfredsstillende forklaring på hvordan parabelbanen er et resultat af en konstant hastighed og en konstant acceleration vinkelret på denne. I den forstand har Karoline ikke som sådan misopfattelser relateret til parabelbaner. Til gengæld er hun ikke i stand til at dekontekstualisere rumskibetsopgaven og dermed gennemskue hvilke fysiske koncepter hun skal anvende for at løse opgaven tilfredsstillende, hvorfor hun alligevel svarer forkert.

Hos Tobias og Karoline er det altså ikke så interessant at tale om hvorvidt de formår at anvende deres viden om kanonkuglens bane til at forstå rumskibets bane, al den stund at det der forhindrer dem i at vælge den korrekte bane, ikke er deres forståelse af parabelbaner, men derimod en manglende evne til at gennemskue at det er denne viden der skal bringes i spil i disse situationer. Konteksten, for Karoline at opgaven foregår i rummet, og for Tobias at der er tale om et fysisk rumskib der må formodes at have en tophastighed, har en betydning for hvordan de er i stand til at gennemskue hvilken fysik der er relevant at anvende. Dette understreges af at de begge uden tøven er i stand til at begrunde kanonkuglens parabelbane med korrekte newtonske argumenter.

## Konklusion

Formålet med denne artikel har været at anvende forskellige evalueringsformer som adgang til at diskutere fysikstuderendes konceptuelle forståelse af klassisk mekanik og

hvordan vi kan undersøge den. Baseret på vores empiriske analyse af samtaler med et udvalgt antal studerende på fysikuddannelsens første år på Københavns Universitet kan vi konstatere at vores måde at teste deres forståelse af klassisk mekanik på har betydning for vores billede af denne forståelse. Vi får adgang til andre aspekter af deres viden ved at ændre testformatet fra et multiple choice-format (FCI-testen) til et sociokulturelt orienteret testformat. Især betydningen af opgavens kontekst viste sig at være central.

Baseret på vores analyse må det konkluderes at resultaterne af en gentestning af de studerendes forståelse i et sociokulturelt testformat stemmer dårligt overens med en opfattelse af at et korrekt newtonsk verdensbillede tilegnes i alle kontekstuelle repræsentationer inden for samme konceptuelle områder på én gang. Snarere finder vi at nogle af de studerende har misopfattelser der er kontekstafhængige – nogle kontekster får dem til at anvende en newtonsk tankegang, og andre gør ikke. Det er interessant at overveje hvordan forståelsen af at de studerendes misopfattelser bundes i hverdagsforståelser, relaterer sig til det observerede. Der er næppe nogen af de to situationer (opgave 12 og 21) der kan siges at have en direkte forbindelse til hverdagen for de studerende – trods alt er hverken kanoner eller rumskibe noget man møder særlig tit. Snarere kan man måske tale om at kanonspørgsmålet har en lille kontekstuel afstand til andre situationer der kendes fra hverdagen (fx kast med bolde), hvilket gør at det opleves som mere genkendeligt ud fra en hverdagsforståelse. Dette nævnes da også fx af Lars der siger at *“det her [kanonen] er jo sådan intuitivt fordi man kender fra hverdagen at når man kaster noget, at det bevæger sig sådan der, ikke”*. I forhold til forståelsen af at misopfattelser bundes i hverdagsforståelser og dagligdags erfaringer, er det derfor bemærkelsesværdigt at den situation der opleves som hverdagsagtig, faktisk er den der får de studerende til at tænke og argumentere newtonsk, mens den mindre genkendelige rumskibsopgave giver anledning til at ikkenewtonske overvejelser kommer i spil.

Afslutningsvis kan vi altså på baggrund af ovenstående analyse konkludere at der sker en ændring af de studerendes svar når evalueringen foregår i et sociokulturelt testformat i stedet for i et multiple choice-format. Samtidig sker der noget med vores blik på de studerendes forståelse af klassisk mekanik når vi tester i et sociokulturelt evalueringsformat. Noget kunne tyde på at en forståelse af studerendes konceptuelle forståelse af klassisk mekanik som at de enten er newtonsk eller ikkenewtonsk tænkende, i bedste fald er unuanceret. Der er således behov for en diskussion af en mere nuanceret læringsteoretisk forståelse af hvad det vil sige at have en konceptuel forståelse af newtonsk mekanik, hvor erkendelsen af at de studerendes newtonske tænkning ofte er kontekstafhængig, inkorporeres.

## Referencer

- Angell, C., Bungum, B., Henriksen, E.K., Kolstø, S.D., Persson, J. & Renstrøm, R. (2011). *Fysikkdidaktikk*. Oslo: Høgskoleforlaget.
- Dolin, J. & Krogh, L.B. (2011). *PISA 2006 science testen og danske elevers naturfaglige formåen*. Rapport nummer tre fra Validering af PISA-projektet, lokaliseret 10. januar 2014 på [www.ind.ku.dk/publikationer/inds\\_skriftserie/vap3/](http://www.ind.ku.dk/publikationer/inds_skriftserie/vap3/).
- Flyvbjerg, B. (2006). Five Misunderstandings About Case-Study Research. *Qualitative Inquiry*, 12(2), s. 219-245.
- Gipps, C. (1999). Chapter 10: Socio-Cultural Aspects of Assessment. *Review of Research in Education*, 24(1), s. 355-391
- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, s. 141-158.
- Hestenes, D. & Halloun, I. (1995). Interpreting the Force Concept Inventory. A response to Huffman and Heller. *The Physics Teacher*, 33(8), s. 502-506.
- Jensen, S.B. (2013). *Køn, evaluering og The Force Concept Inventory*. IND's studenterserie nr. 30. Specialerapport.
- Rebsdorf, S.O. (2006). Test af studerendes begrebsforståelse. *Dansk Universitetspædagogisk Tidsskrift*, 1(1), s. 26-30.
- Winsløw, C. (2006). *Didaktiske Elementer. En indføring i matematikkens og naturfagenes didaktik* (1. udgave). Forlaget Biofolia.

### Engelsk abstract

*This article investigates what The Force Concept Inventory (FCI) tells us about students' conceptual understanding of Newtonian mechanics. First year physics students from The University of Copenhagen were tested in classical mechanics questions using both the FCI multiple choice test and a socio-culturally inspired test developed for this purpose. The results show that by using different assessment forms different aspects of students' conceptual understanding can be observed. The paper argues for a more nuanced approach to the understanding of what it means to have a conceptual understanding of Newtonian mechanics. Including considerations of the importance of context is vital in such a nuanced approach.*