

# Misopfattelser, delvise forståelser eller diskursive vanskeligheder?

FCI-testen og divergerende teorier om forståelse af mekanisk fysik



Michael May, *Institut for Naturfagenes Didaktik, Københavns Universitet*

*Kommentar til Jensen, S.B. & Madsen, L.M. (2014). Nye veje til at undersøge fysikstuderendes konceptuelle forståelse af klassisk mekanik. MONA, 2014(1), s. 44-58.*

Denne kommentar til *MONA*-artiklen om FCI (Force Concept Inventory) testen og dens anvendelse i fysikundervisning er bevidst "tangentielt" forstået på den måde at jeg her kun vil interessere mig for det centrale *fænomen* som artiklen bidrager til at afdække, nemlig *en mangel på stabilitet af de begrebslige misforståelser* hos fysikstuderende som FCI-testen ellers synes at dokumentere. Jensen og Madsen fokuserer i *MONA*-artiklen på FCI som et specifikt "evalueringsformat" og især på hvordan selve evalueringsformatet udtrykker og påvirker den viden der opnås om studerendes begrebslige forståelse. Det der interesserer mig, er dog ikke skiftet af "evalueringsparadigme" som forfatterne beskriver – fra et "traditionelt" til et "sociokulturelt" paradigme – men hvad det *fænomen* de påpeger, kan betyde for vores opfattelse af studerends fysikforståelse.

## Misopfattelser og "naiv fysik"

FCI er blot den første af en lang række standardiserede test der er blevet udviklet siden 1980'erne med henblik på at dokumentere studerendes læringsmæssige udbytte i forskellige naturvidenskabelige fag som fx mekanisk fysik, termodynamik og kemi, men disse test har desuden indgået i de teoretiske diskussioner omkring studerendes begrebslige vanskeligheder med at lære naturvidenskabelige emner. Med fremkomsten af den tværvidevidenskabelige kognitionsforskning i 1980'erne opstod der en interesse for hvordan elever og studerende egentlig opfatter og bearbejder forskellige fags begrebslige indhold, og især med fokus på de tilbagevendende og i den forstand typiske forståelsesproblemer som undervisere erfarer.

Der viste sig dog hurtigt en række forskellige kognitive tilgange til problemet. Nogle forskere som John Clement fremhævede betydningen af “pre-conceptions” og “misconceptions”, altså elevernes forudgående forståelse af fx bevægelsesfænomener, for elever og studerendes tilegnelse af begreber og modeller i indledende undervisning i mekanisk fysik (Clement, 1982). Clement fremhævede at observerede vanskeligheder ved at lære fysik ikke alene kan tilskrives fx problemer med matematiske færdigheder, men også det forhold at en række fysiske kernebegreber som kraft, masse og energi bliver udfordret af at elever og studerende allerede har en forudgående “intuitiv” forståelse af fysiske fænomener fra hverdagserfaringer, og at disse erfaringer og den forenkede begrebslige forståelse som de tilsyneladende giver anledning til, er i modstrid med den mekaniske fysik.

Et godt eksempel er forestillingen om at “bevægelse implicerer en kraft”. Clement viser fx hvordan nogle studerende tegner en kraft i tangenten til et penduls bevægelsesbane for at forklare et penduls bevægelse, og jeg har selv på DTU observeret hvordan mange ingeniørstuderende i den indledende fysikundervisning i en quiz svarede at en kasse der glider ned ad et skråplan, er påvirket af en kraft i bevægelsesretningen (foruden gravitationskraften og normalkraften).

Det der især er en udfordring for fysikundervisning, er at sådanne forestillinger er *vedholdende* i den forstand at de ikke blot forsvinder fordi man modtager undervisning i klassisk mekanik, og at der er en fare for at de griber forstyrrende ind i modeller og ræsonnementer langt inde i de videregående naturvidenskabelige uddannelser. Men hvordan kan det nu være? Hvorfor opgiver elever ikke sådanne forestillinger allerede i skolen eller gymnasiet når de første gang lærer om bevægelser og kræfter? Det er her vi har brug for kognitionsforskningen til at forklare hvorfor og hvordan sådanne forestillinger vedvarer hos elever og studerende *på trods* af teoretisk viden og eksperimentelle erfaringer – hvis det vel at mærke er det der er det egentlige problem!

En første (kognitiv) begrundelse for “bevægelse implicerer en kraft”-*misopfattelsen* er at den faktisk *korrekt udtrykker en erfaring fra hverdagens aktørperspektiv på bevægelse*: Ting flytter sig fordi en aktør flytter dem – ellers bliver de stående. Det er hvad vi ofte vil se med vores egne øjne når vi ikke tænker dybere over tyngdekraft og gnidningsmodstand. I stedet for at undre sig over at sådanne forestillinger forekommer, kan vi tværtimod forklare hvorfor de er så udbredte, ved at analysere vores hverdagserfaringer.

Clement påpeger tillige hvordan studerendes misopfattelse af kraft og bevægelse svarer til tidligere opfattelser i fysikkens egen historie, så den forkerte intuition om bevægelse og kraft i hverdagen er ikke blot velbegrundet, men også så at sige lovlig undskyldt. Et andet godt eksempel er “det frie fald”: Vi lærer, som noget af det første vi støder på inden for mekanisk fysik i skolen, om “faldloven” og det forsøg i Pisa der sommetider tilskrives Galilei. Ikke desto mindre kan enhver ved selvsyn konstatere

at en kanonkugle vil falde hurtigere end en fjer. Det er der naturligvis gode grunde til, men det afgørende er at den mekaniske fysik i alle de nævnte tilfælde (pendulet, kassen på skråplanet, det frie fald) handler om vores *fysiske modeller* af verden under en række veldefinerede betingelser og ikke direkte om vores fænomenale erfaring.

Som påpeget af Jensen og Madsen har David Hestenes, der er FCI-testens ophavsmand, netop fokuseret på at formulere fysikundervisning med modellering og modelforståelse i centrum, og FCI-testens svarmuligheder er opstået ud fra erfaringer med en række typiske misopfattelser af centrale begreber i mekanisk fysik (Hestenes, Wells & Swackhamer, 1992). Hvis studerendes vanskeligheder med at lære mekanisk fysik således beror på en række *erfaringsmæssigt begrundede misopfattelser*, så har det den didaktiske konsekvens at fysikundervisning må forsøge systematisk at udfordre disse "misforståelser", "hverdagsforståelser" eller "alternative teorier". Dette kan ske gennem de *begrebslige konflikter* som studerende erfarer når deres forudgående opfattelser bliver *modsaet* gennem egne eksperimentelle erfaringer eller bliver *modsaet* af andre (medstuderende eller undervisere) i klassediskussioner eller gruppearbejde med modellering af fysiske fænomener.

## Delvise forståelser og fragmenteret forståelse

I stedet for misforståelser og alternative teorier har den *fænomenografiske* tilgang til læring og undervisning fokuseret på studerendes *delvise forståelser* og på den kontekstuelle forankring af læring der derfor kræver stor variation og mange eksempler for at lede studerende frem til begrebslig forståelse (Bowden et al., 1992). Delvise forståelser er her ikke det samme som "misforståelser". I et detaljeret studie af elevens opfattelse af molbegrebet i kemi påviste Ference Marton og hans kolleger hvordan elever i kemiundervisning opnår en række indbyrdes forskellige delvise forståelser hvor studerende kan redegøre for udvalgte relationer mellem mol og andre begreber som masse, atomvægt, og Avogadros tal (Lybeck, Marton, Strömdahl & Tullberg, 1988). Tilsammen kan alle relationer der hører med i det kemiske molbegreb, beskrives som et omfattende begrebskort hvoraf de individuelle forståelser så vil udgøre forskellige delmængder, men fordi de delvise forståelser allerede udtrykker væsentlige relationer i det fuldstændige kort, vil der være gode didaktiske muligheder for at udbygge de enkelte studerendes delvise forståelser. Eleverne mangler ofte relationer til nogle af de centrale begreber, men de har ikke nødvendigvis stabile "misforståelser".

En anden teoretisk fortolkning er fremlagt af Andrea diSessa der hæfter sig ved den fragmentariske og opportunistiske karakter af studerendes forståelse. Ifølge diSessa er studerendes opfattelse af kraftbegrebet ikke stabil. Kræfter opfattes forskelligt i forskellige situationer i forhold til forskellige typer af problemer og i forhold til hvordan der spørges til denne forståelse. Dette passer således godt med Jensens & Madsens

observationer omkring effekten af forskellige evalueringsformater. Forklaringen på denne mangel på stabilitet er, ifølge diSessa, at studeredes fysiske viden skal ses som en fragmenteret “knowledge in pieces” baseret på “fænomenologiske primitiver”, det vil sige *erfaringsbaserede skemaer* med en vis general forklaringskraft, men uden større sammenhæng mellem forskellige skemaer. I en given situation kan en studerende benytte ét sådant skema der synes at beskrive eller forklare et fysisk fænomen, men i en anden situation kan et andet skema være mere nærliggende (diSessa, Gillespie & Esterly, 2004).

Jensen og Madsen vælger imidlertid selv at tolke deres empiri som udtryk for at forskellige opfattelser kan sameksistere, således at der fx kan være hvad forfatterne kalder “et Newtonsk verdensbillede” i formelle læringskontekster og et “ikke-Newtonsk verdensbillede” i hverdagsituationer. Dette rettes som en kritik mod Hestenes der forudsætter at studerende har sammenhængende misopfattelser på tværs af forskellige situationer. Imidlertid er det ikke givet at den variabilitet forfatterne åbner for, skal tolkes som alternative “verdensbilleder”. Hermed begår de (i det mindste på dette sted i artiklen) i princippet samme fejl som de tilskriver Hestenes, nemlig at antage *sammenhængende opfattelser* bag den forståelse der kommer til udtryk – nu blot to forskellige opfattelser.

Jensen og Madsen gør dog opmærksom på at fordelingen af “misopfattelser” ikke passer helt med vores forventninger i forhold til de traditionelle kognitive teorier om hverdagsforståelse. I deres eksempler med bevægelsesbaner for kanonkugler og rumskibe konstaterer forfatterne at det er “bemærkelsesværdigt at den situation der opleves som hverdagsagtig, faktisk er den der får studerende til at tænke og argumentere newtonsk, mens den mindre genkendelige rumskibsopgave giver anledning til at ikkenewtonske overvejelser kommer i spil” (Jensen & Madsen, 2014, s. 57). De konkluderer derfor at selve opdelingen af fysikforståelser i Newtonske og ikke-Newtonske opfattelser måske er for unuanceret, og at der er behov for “en mere nuanceret læringsteoretisk forståelse af hvad det vil sige af have en konceptuel forståelse af newtonsk mekanik” (Jensen & Madsen, 2014, s. 57), og netop en forståelse der tager højde for den omtalte kontekstafhængighed af studerendes tænkning.

Dette kunne pege i retning af diSessa og hans fragmenterede “fænomenologiske primitiver”, men kunne dog også pege i retning af *socialkonstruktivistisk læringsteori* der fokuserer på *sproget* som et “medierende artefakt”, det vil sige at studerende “populært sagt lærer fysik ved at lære at tale om det” (Jensen & Madsen 2014, s. 54). Forfatterne bruger naturligt nok dette perspektiv til at forklare skiftet i besvarelser som følge af skiftet i “evalueringsform” (fra FCI over mod en forståelse udviklet gennem samtale), men da denne kommentar ikke fokuserer på det metodiske spørgsmål om evalueringsformer, vil jeg her i stedet forfølge tanken om at studerendes læring af fysik er knyttet til deres arbejde med *at lære at tale om fysik og fysiske fænomener*.

## Sprogets rolle i studerendes fysikforståelse

Dette er netop udgangspunkt for et nyere forsøg på at bygge bro mellem modstridende kognitive teorier om studerendes misopfattelser inden for fx mekanisk fysik. David T. Brookes og Eugenia Etkina har i en række detaljerede undersøgelser (Brookes & Etkina, 2007, 2009) vist hvordan man kan overvinde den teoretiske såvel som empiriske modsætning mellem de mere eller mindre *kohærente og vedvarende misopfattelser* som nogle forskere finder, og de *fragmenterede og kontekstafhængige videns-elementer* som andre forskere finder. Det der mangler for at bygge bro mellem disse modstridende opfattelser af studerendes forståelse, er netop en erkendelse af sprogets rolle. Fælles for de to modstridende opfattelser er desuden at *de begge ser det primære problem som knyttet til hverdagserfaringer* (som kilde til enten "naiv fysik" eller "fænomenlogiske primitiver"), og at *de begge anser studerendes tænkning for ikke at være logisk sammenhængende*. I modsætning hertil finder Brookes & Etkina at studerende – fra et epistemologisk og historisk perspektiv – kæmper med nogle af de samme problemer som fysikken selv historisk har kæmpet med at formulere. Studerendes formuleringer omkring kraftbegrebet svarer til forskellige versioner af begrebet hos fx Galilei, Kepler, Da Vinci, Newton og Leibniz (Brookes & Etkina, 2009). Dette er dog ikke i sig selv nyt og ikke den centrale pointe her. Det nye ved deres teori er påvisningen af at studerendes vanskeligheder med fx kraftbegrebet ikke er rent konceptuelle og ikke alene et udtryk for hverdagserfaringer, men derimod bør ses som udtryk for at de kæmper med at forstå de mange *repræsentationsformer* i "fysikkens sprog" ved at *fortolke de ligninger, grafer, diagrammer, analogier og sproglige metaforer de møder i fysikundervisningen*, samtidig med at de prøver at *afkode en sammenhængende ontologi* bag disse som kan *fastlægge præcise betydninger af begreber* som "kraft", "masse", "moment" og "energi". Dette er et meget omfattende og komplekst begrebsligt arbejde bl.a. fordi naturlige sprog allerede har komplekse grammatiske konstruktioner for kausale sammenhænge, jævnfør fx Leon Talmys analyser af kausalkonstruktioner på engelsk og hans skematisering af "kraft-dynamik"-skemaer i vores begrebslige og metaforiske forståelse på tværs af forskellige (sociale og fysiske) domæner (Talmy, 2000). I fysikkens sprog udtrykkes kraftbegrebet også på metaforiske måder, og dette leder studerende i retning af forskellige opfattelser af *kraft som en agent, kraft som iboende tilbøjelighed, kraft som et passivt medium for interaktion* eller *kraft som en egenskab ved objekter* (Brookes & Etkina, 2009).

Studerendes problemer med kraftbegrebet beror derfor ikke primært på faste ikke-Newtonske misopfattelser, men snarere på *vanskeligheder med at formulere den præcise betydning af begrebet* i mekanisk fysik i forhold til hverdagssproget og i forhold til andre begreber (som i eksemplet med den fænomenografiske kortlægning af molbegrebet) og især at *finde en entydig og sammenhængende ontologi* der kan forankre de fysiske begreber ("ontological disambiguation", Brookes & Etkina, 2009).

I modsætning til mange tidligere undersøgelser fandt de ved detaljerede analyser af samtaler med fysikstuderende *ikke* evidens for en udbredt (ikke-Newtonsk) forestilling om at "bevægelse implicerer en kraft". Det der kan fremtræde som inkonsistente, fragmenterede og kontekstafhængige formuleringer, er måske hverken udtryk for "misopfattelser" eller "fænomenologiske primitiver", men fornuftige forsøg på at finde en sammenhængende betydning af de fysiske begreber. Det er i den forstand måske en art "scientific literacy"-problem – et spørgsmål om hvordan studerende langsomt tilegner sig fysikken som *faglig diskurs* hvor forskellige "facetter af viden" kan sammenfattes når de studerende kan beherske fysikkens forskellige repræsentationsformer og den præcise betydning af dens faglige begreber og modeller (Linder, 2009).

Hvis vi derfor afslutningsvis vender tilbage til mit eksempel fra DTU hvor en del studerende ved en "clicker"-afstemning i klassen svarede at der var en "kraft" i bevægelsesretningen for kassen der glider ned ad et skråplan, kan det være at de slet ikke havde den forestilling (misopfattelse) som vi umiddelbart tillægger dem. Deres svarmuligheder var en række af kraftdiagrammer hvor ét af de forkerte svar viste de korrekte kræfter plus en "ekstra" kraft i bevægelsesretningen. Hvis vi følger (Brooks & Etkina, 2009), kan det være at det konceptuelle problem her snarere var at *de endnu ikke kunne skelne klart mellem "kraft" (masse gange acceleration) og "bevægelsesmængde" (masse gange hastighed)*, og dette vil ikke fremgå af deres svar på quizspørgsmålet, men derimod ved *en samtale omkring deres forståelse af situationen* med kassen på skråplanet. Så dermed er vi tilbage til den (socialkonstruktivistiske) pointe som fremføres af Jensen & Madsen!

## Referencer

- Clement, J.B. (1982). Students Preconceptions in Introductory Mechanics. *American Journal of Physics*, 50(1), s. 66-70.
- Bowden, J., Dall'Alba, G., Martin, E., Laurillard, D., Marton, F., Master, G., Ramsden, P., Stephanau, A. & Walsh, E. (1992). Displacement, Velocity, and Frames of Reference: Phenomenographic Studies of Students' Understanding and Some Implications for Teaching and Assessment. *American Journal of Physics*, 60(3), s. 262-269.
- Brookes, D.T. & Etkina, E. (2007). Using Conceptual Metaphor and Functional Grammar to Explore How Language Used in Physics Affects Student Learning. *Physical Review – Physics Education Research*, 3, 010105, s. 1-18. APS.
- Brookes, D.T. & Etkina, E. (2009). "Force", Ontology, and Language. *Physical Review – Physics Education Research*, 5, 010110, s. 1-13. APS.
- diSessa, A.A., Gillespie, N.M & Esterly, J.B. (2004). Coherence Versus Fragmentation in the Development of the Concept of Force. *Cognitive Science*, 28, s. 843-900.

- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30(March), s. 141-158.
- Jensen, S.B. & Madsen, L.M. (2014). Nye veje til at undersøge fysikstuderendes konceptuelle forståelse af klassisk mekanik. *MONA*, 2014 (1), s. 44-58.
- Linder, C. (2009). Teaching Johansen and Learning Science: Disciplinary Knowledge and Representation. I: A. Bilsel & M.U. Garip (red.), *Proceedings of the Frontiers in Science Education Conference*, 22-24 March 2009, Farmagusta, North Cyprus. Eastern Mediterranean University Press.
- Lybeck, L., Marton, F., Strömdahl, H. & Tullberg, A. (1988). The Phenomenography of 'the mole concept' in Chemistry. I: P. Ramsden (red), *Improving learning – new perspectives* (s. 81-108). London: Kegan Paul.
- Talmy, L. (2000). *Towards a Cognitive Semantics*. MIT Press.