



Fagdidaktiske formidlingsartikler om fysik

Undersøgelser i fag i Teoretisk Pædagogikum

Redigeret af Thomas Brun Kristensen

Redigeret af Thomas Brun Kristensen

Fagdidaktiske formidlingsartikler om fysik

Undersøgelser i fag i Teoretisk Pædagogikum

Fagdidaktiske formidlingsartikler om fysik - Undersøgelser i fag i Teoretisk Pædagogikum

Redigeret af Thomas Brun Kristensen.

© 2024, skribenter og redaktør.

1. udgave.

Skribenter: Thomas Brun Kristensen, Julie Hougaard Overgaard, Kasper Munch Pedersen, Christina Hahowitz Elling, Aske Graakjær Krosgaard, Bjarke Kofoed Reimann, Ida Marie H. Matras og Jesper Bruun.

Grafisk tilrettelæggelse: Thomas Schwartz Larsen.

Forsidefoto: Thomas Brun Kristensen.

Materialesamlingen er sat med Barlow og udgivet digitalt.

Hvor intet andet er angivet, er billeder og modeller skribenternes egne.

Udgivelsen er blevet til i et samarbejde mellem Børne- og Undervisningsministeriet og de fem universiteter, AAU, AU, SDU, RUC og KU, der i samarbejde udvikler Teoretisk Pædagogikum.

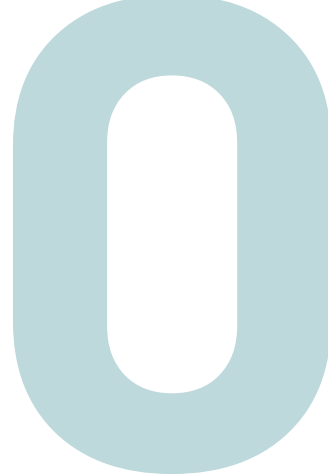
Materialet kan frit kopieres med angivelse af kilde.

Indhold



Forord	5
1. Introduktion Thomas Brun Kristensen	7
2. Hvem er læreren når der spilles et læringsspil i undervisningen? Julie Hougaard Overgaard	20
3. Forvirring og hverdagsforestillinger i fysik Kasper Munch Pedersen	36
4. Motivations- og læringsmæssige gevinster ved multimodale elevproduktioner Christina Hahowitz Elling	50
5. Bæredygtighed og handlekompetence Aske Graakjær Krogsgaard	64
6. Peerfeedback som forberedelse til skriftlig eksamen Bjarke Kofoed Reimann	78
7. Gamification og differentieret undervisning i fysik Ida Marie H. Matras	95
8. Fysikklasser som komplekse systemer Jesper Bruun	113

Forord



Denne udgivelse indeholder seks formidlende artikler, som er skrevet af pædagogikumkandidater i fysik. Artiklerne er udvalgt blandt mange spændende og lærerige opgaver i teoretisk pædagogikum, som kandidaterne har lavet som afslutning på deres uddannelse. Kandidaterne har formuleret og besvaret et relevant problem inden for et givet tema, som de har undersøgt med både almen og fagdidaktisk teori. De har også planlagt og gennemført en eller flere aktioner i deres undervisning, indsamlet data om effekten af deres tiltag og reflekteret over de udfordringer og dilemmaer, de har mødt som gymnasielærere i fysik.

Målet er at fremme og styrke den fagdidaktiske diskussion i fysikfaget, at inspirere andre fysiklærere til at udvikle deres fysikundervisning ved at afprøve og reflektere over forskellige temaer, samt at vise, hvor vigtigt det er at være undersøgende, eksperimenterende og reflekterende over for undervisningen af gymnasieelever i fysik. Fysiklærere på alle typer af gymnasiale uddannelser i Danmark opfordres derfor til at udforske artikelsamlingen.

I 2022 udkom den første udgivelse i serien, det var en samling af omskrevne afsluttende opgaver fra teoretisk pædagogikum i mediefag. Mediefags fagkonsulent, Mimi Olsen, står bag idéen og udviklingen af konceptet for skriftserien og bidrog også selv med første udgivelse. Tusind tak til Mimi Olsen for pionerarbejdet.

Skriftserien er et samarbejde mellem Teoretisk Pædagogikum, som har universiteterne SDU, RUC, Københavns Universitet, Aarhus Universitet og Aalborg Universitet bag sig, og Undervisningsministeriet, som er udbudsgiver og rekvirent af Teoretisk Pædagogikum. Tak til alle de institutionelle parter, der har muliggjort denne publikation. Et stort tak til Thomas Schwartz Larsen, der som grafiker står for layout og opsætning af udgivelsen.

I denne udgivelse har følgende seks fysiklærere bidraget med omskrevne udgaver af deres afsluttende opgaver i teoretisk pædagogikum: Bjarke Kofoed Reimann, Christina Hahowitz Elling, Kasper Munch Pedersen, Julie Hougaard Overgaard, Ida Marie Hindsholm Matras og Aske Graakjær Krogsgaard. En stor tak til alle seks forfattere for artiklerne og arbejdsindsatsen med at omskrive fra afleveret opgave til en formidlingsartikel.

Den afsluttende artikel er skrevet af Jesper Bruun, Lektor, Institut for

Naturfagernes Didaktik, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet på Københavns Universitet, tilknyttet den naturvidenskabelige faggruppe i Teoretisk Pædagogikum.

Thomas Brun Kristensen, fagkonsulent.

Marts 2024



Introduktion

Af Thomas Brun Kristensen

Fysik

Fysik er videnskaben om naturen. Med fysikken forsøger vi som mennesker at forstå, hvordan verden fungerer, ved at udvikle generelle beskrivelser, tolkninger, forklaringer og modeller af fænomener og processer. Fysikkens undersøgelsesområde er bredt og omfatter alt fra de mindste atomer og partikler til de største galakser. Fysik er også tæt forbundet med andre naturvidenskabelige discipliner, såsom kemi, biologi og astronomi. Fysik er således en central del af naturvidenskaben. Fysikkens viden benyttes blandt andet til at udvikle nye teknologier, der kan forbedre vores liv. Fysik er også vigtig for at forstå verden omkring os og for at træffe informerede beslutninger. Fysikken spænder lige fra principperne bag virkningen af en guitar til de fundamentale processer, som driver et atomkraftværk.

Fysikundervisningen i gymnasiet

Undervisningsfaget fysik hører nok til blandt de ældste naturvidenskabelige fag i det danske gymnasie med spor helt tilbage til 1850. Fra reformen "Lov om højere Almenskole" i 1903, hvor gymnasiet reelt indføres i Danmark, kan der stadig findes lærebøger (Gymnasiepædagogik 1903-1934, 2019), som i detaljer beskriver indholdet af fysikundervisningen i datidens gymnasium. En hurtig gennemgang af det historiske materiale viser, at meget af stoffet fra datiden stadig er en del af stoffet i fysikfaget i nutidens gymnasium. Fysik har siden da, konstant været en fast del af det danske gymnasie, mens andre naturvidenskabelige fag langsomt også er kommet til. Som videnskabsfag har fysik en meget længere historie, som fører tilbage til Demokrit og Aristoteles (ca. 400 - 300 fvt.), med deres forklaringer på, hvordan stof er opbygget og, hvordan bevægelse skabes. Fysikfagets historie er fyldt med de mennesker, som gennem tiderne har tegnet sig for nogle af de væsentligste opdagelser om natur og teknik. Nogle af de mere kendte danskere er fx Hans Henrik Ørsted, som opdager sammenhængen mellem elektricitet og magnetisme og som samtidig bidrager til at mange af de faglige begreber får et dansk ord og ikke bare en fordanskning af et engelsk eller tysk ord.

Fysik er bredt funderet i det nuværende danske gymnasium og findes som fag i alle de gymnasiale uddannelser på nær hhx. Fysik kan i gymnasiet fås på 3 niveauer, på stx er fysik C obligatorisk, mens fysik B

findes i de fleste naturvidenskabelige studieretninger på stx. På htx er fysik B obligatorisk. Der er ca. 30 eux-forløb, som har fysik B som en del af deres gymnasiale fagpakke, fysik B indgår derfor i langt hovedparten af de mulige eux-forløb. Fysik A findes som valgfag og studieretningsfag på både stx og htx.

Undervisningsfaget fysik i gymnasiet er nært forbundet med videnskabsfaget fysik. Videnskabsfaget eller universitetsfaget bidrager gennem både grundforskning og anvendt forskning til et verdensbillede, der udnytter naturvidenskabelige tankegange og metoder. Dertil kommer, at der ofte er en direkte eller indirekte sammenhæng mellem videnskabsfaget fysik og udviklingen af ny teknologi. Mange af disse træk genfindes i undervisningsfaget, men sigtet med faget fysik i gymnasiet er et andet end sigtet med videnskabsfaget, hvilket er særdeles vigtigt at være opmærksom på som fysik underviser i gymnasiet. Den naturvidenskabelige viden sættes i gymnasiet ind i en bredere almindelig ramme, som åbner faget mod livet uden for skolen, såvel som mod skolens andre fag og aktiviteter. Undervisningsfaget fysik i gymnasiet er således rammesat både indholdsmæssigt men også didaktisk, gennem en række læreplaner og vejledninger, udgivet af Børne- og Undervisningsministeriet (Læreplaner Fysik stx, 2017) (Læreplaner Fysik htx, 2017).

Fysikundervisning i gymnasiet er en afgørende del af elevernes uddannelse. Den giver dem en dybdegående forståelse af naturvidenskabelige metoder og synspunkter, som er nødvendig for at kunne forstå og fortolke verden omkring os. Fysikundervisningen bidrager til elevernes almindelige dannelse, fordi den giver dem en forståelse af, hvordan naturen fungerer. Den danner også et fagligt grundlag for videre studier inden for naturvidenskab, teknik, sundhed og andre fagområder, der bygger på modellering.

Gennem fysikundervisningen møder eleverne eksempler på aktuelle teknisk-naturvidenskabelige problemer, hvor fysik spiller en væsentlig rolle i løsningen. Ved at arbejde med eksperimenter og teoretiske modeller udvikler de kompetencer i at opstille og anvende fysiske modeller som et middel til at forklare fænomener og processer.

Fysikundervisningen giver også eleverne mulighed for at perspektivere faget og se, hvordan det kan anvendes i forskellige sammenhænge. De får indsigt i fysiske og teknologiske aspekter af bæredygtighed, og de lærer, hvordan de kan formidle naturvidenskab på en forståelig måde.

Denne brede vifte af kompetencer og indsigter understreger vigtigheden af fysik i uddannelsessystemet. Fysikundervisningen er med til at give eleverne de nødvendige redskaber til at forstå verden omkring dem og til at træffe velbegrundede beslutninger.

Undersøgelser af fysikundervisningen: En vej til forbedring

Fysikundervisning i gymnasiet er således vigtig for elevernes læring og fremtid. Den giver eleverne en grundlæggende forståelse af naturvidenskab, hjælper dem med at kvalificere sig til videre uddannelse og giver dem en bedre forståelse af verden omkring dem. Fysikundervisningen i gymnasiet er altså en vigtig faktor for elevernes læring og fremtid. Men hvordan kan vi sikre, at fysikundervisningen er så god som mulig, og hvordan kan vi forbedre fysikundervisningen og gøre den mere engagerende og effektiv for alle elever?

Denne udgivelse, som er skrevet af pædagogikumkandidater i fysik, prøver at besvare nogle af disse spørgsmål gennem en række af artikler. Artiklerne giver et unikt indblik i, hvordan man kan undervise i fysik på en engagerende og effektiv måde.

Artiklerne er udvalgt blandt mange spændende og lærerige opgaver i teoretisk pædagogikum, som kandidaterne har lavet som afslutning på deres uddannelse. Kandidaterne har arbejdet med en bred vifte af temaer. Kandidaterne har formuleret og besvaret et relevant problem inden for et givet tema, som de har undersøgt med både almen og fagdidaktisk teori. De har også planlagt og gennemført en eller flere aktioner i deres undervisning, indsamlet data om effekten af deres tiltag og reflekteret over de udfordringer og dilemmaer, de har mødt som gymnasielærere i fysik.

Målet med udgivelsen er at fremme og styrke den fagdidaktiske diskussion i fysikfaget. Artiklerne kan inspirere andre fysiklærere til at udvikle deres fysikundervisning ved at afprøve og reflektere over forskellige temaer. Artiklerne kan også vise, hvor vigtigt det er at være undersøgende, eksperimenterende og reflekterende over for undervisningen af gymnasieelever i fysik.

Udgivelsen er således en værdifuld ressource for alle, der er interesserede i at lære mere om, hvordan man kan undervise i fysik på en engagerende og effektiv måde. Artiklerne giver inspiration og konkrete ideer til, hvordan man kan gøre fysikundervisningen mere interessant og relevant for eleverne.

Udfordringer for fysikunderviserne i gymnasiet

Med udgangspunkt i ovenstående gennemgang af faget og dets placering i gymnasiet, kan der opstilles en række udfordringer for undervisningsfaget fysik. Hertil benyttes ligeledes statistik fra uddannelsesstatistik.dk og den tidligere undersøgelse "Faglighed i Gymnasiet - Fysik", som blev udarbejdet af SDU for Børne- og Undervisningsministeriet i 2020 (Lykkegaard, et al., 2020).

Motivationsudfordringen

Fysik er et vigtigt fag i gymnasiet. Men det er også et fag, der kan være udfordrende at motivere eleverne til at lære. Dette kan skyldes flere

faktorer, som fx at:

- Fysik er et abstrakt fag, der kan være svært at forstå. Eleverne skal ofte lære at arbejde med komplekse begreber og teorier, som de ikke har erfaring med fra hverdagen.
- Fysikundervisningen kan være for teoretisk og ensidigt fokuseret på opgaveløsning. Eleverne har brug for at se, hvordan fysik kan bruges til at forklare og forstå verden omkring dem.
- Fysikundervisningen kan være for traditionel og uengagerende. Eleverne har brug for at blive udfordret og engageret i undervisningen.

En vigtig faktor for at motivere eleverne til fysik er at gøre faget relevant for dem. Eleverne skal forstå, hvorfor de skal lære fysik, og hvordan de kan bruge det i deres liv. Eleverne kommer ligeledes med forskellige forudsætninger fra grundskolen. Nogle elever har haft en god fysikundervisning i grundskolen, mens andre har haft en mere sparsom eller utilstrækkelig undervisning. Dette kan betyde, at eleverne har forskellige forudsætninger for at forstå og lære fysik i gymnasiet. For at gøre fysik relevant for elever med forskellige forudsætninger er det vigtigt, at undervisningen er varieret og tilpasset de enkelte elevers behov. Dette kan gøres ved at bruge forskellige læringsmetoder, såsom projektarbejde, eksperimenter og diskussioner men også andre aktiverende undervisningsformer kan være relevante i fysikundervisningen. Her kan eksempelvis nævnes de erfaringer, som er samlet i forbindelse med udviklingsprojektet om "Mønsterbrydende Science" (Mønsterbrydende Science, 2021). I projektet lægges der stor vægt på, at elevernes sproglige færdigheder og forforståelse er en vigtig ressource for læring og som dermed kan bruges til at forstå og anvende fagligt stof. Dette giver eleverne mulighed for at være aktive i læringsprocessen, ved at lade dem bruge deres sprog til at kommunikere, samarbejde og reflektere over fagligt stof. Derved har eleverne mulighed for at lære på en meningsfuld måde, der er relevant for deres eget liv og interesser.

Motivationsudfordringen i fysikundervisningen er en kompleks udfordring, der kræver en indsats fra både lærere og elever. Ved at arbejde sammen kan vi skabe en fysikundervisning, der er relevant, engagerende og fagligt stærk.

Rekrutteringsudfordringen

Fysikfaget har både på stx og htx en rekrutteringsudfordring til faget på A-niveau, og til B-niveau på stx. Data fra Uddannelsesstatistik.dk viser, at der er en dalende tilslutning i både antal og specielt i andelen af elever som vælger fysik A og fysik B på stx. *En af begrundelserne for dette relativt lave optag er, at fysik opfattes som et svært valgfag.* Dette er et udsagn fra rapporten "Faglighed i gymnasiet – fysik" fra 2020 (Lykkegaard, et al., 2020) og det følges op med:

Elever, der vælger valgfag af strategiske årsager (opnå højt karakter-

gennemsnit eller gode optagemuligheder i videre uddannelse), vil derfor muligvis fravælge fysik.

En gennemgang af fysik A elevernes prøvekarakterer viser faktisk også, at fysik ikke kun skal opfattes som svært men rent faktisk er svært. Ved sommereksamen i 2018 fik fysik A eleverne ved den skriftlige fysik A eksamen 6,5 i snit, mens de samme elever fik 8,2 i snit ved matematik A skriftlig eksamen (Uddannelsesstatistik, 2019).

Som det konkluderes i rapporten (Lykkegaard, et al., 2020), er det ekspertgruppens samlede vurdering, at eksamenssættene synes at have et stabilt niveau på tværs af tidsperioden der blev undersøgt, det er dermed tydeligt, at det ikke bare er en pludseligt opstået problemstilling at fysik er "svært". Tilbageløb fra sektoren peger ligeledes på, at det har været en vedholdende problemstilling, som har givet udfordringer og potentielt har en negativ effekt til rekrutteringen til fysikfaget generelt og A-niveauet specifikt.

Aftagerinstitutioner har ligeledes som en 4-årig forsøgsordning fra 2021 til 2025, godkendt af UFM, fjernet fysik A som adgangsgivende til fysik og kemi uddannelserne på de danske universiteter. Denne ændring kan have flere potentielle konsekvenser for optaget af elever med fysik A i gymnasiet. Først og fremmest kan det betyde, at færre elever vælger at tage fysik A, da det ikke længere er nødvendigt for adgang til fysik og kemi uddannelserne på de danske universiteter. Dette kan potentielt føre til et yderligere fald i antallet af elever, der tager fysik A. Desuden kan det også have indflydelse på kvaliteten af de studerende, der optages på fysik og kemi uddannelserne, da de studerende ikke længere vil have den samme forberedelse fra gymnasiet som tidligere.


Det er dog vigtigt at bemærke, at disse er potentielle konsekvenser, og den faktiske effekt vil afhænge af en række faktorer, herunder hvordan ændringen implementeres og kommunikeres til eleverne, samt hvordan fysiklærerne tilpasser deres undervisning som reaktion på ændringerne.

Udfordringer og hvad så?

En kort analyse af fysikundervisningen i gymnasiet afslører betydelige udfordringer. Motivationsproblemer stammer fra fagets abstrakte natur, ensidig fokusering på teoretiske aspekter, og manglende relevans. Tilpasning til elevernes forskellige forudsætninger kræver varierede undervisningsmetoder som projektarbejde og eksperimenter mv.

Rekrutteringsmæssigt oplever fysik A-niveau en nedgang i tilslutning, primært grundet opfattelsen af faget som vanskeligt. Elever, der taktisk vælger fag, kan fravælge fysik og prøvekaraktererne bekræfter fagets sværhedsgrad. Fjernelsen af fysik A som adgangsgivende til universitetsuddannelser kan yderligere påvirke elevoptaget og kvaliteten af studerende.

Udfordringerne er komplekse, og der kræves samarbejde mellem læ-



rere og elever for at skabe en fysikundervisning, der er både stimulerende, relevant og fagligt stærk og dermed kan være med til at øge interessen for faget. Effekten af ændringer i undervisningen og didaktiske tiltag skal nøje afprøves og følges for at forstå deres reelle indvirkning. Aktionslæring er en metode til at udvikle pædagogisk praksis. Den går ud på at eksperimentere med små, konkrete prøvehandlinger i hverdagen, som kaldes aktioner. Efterfølgende reflekterer man over erfaringerne med disse aktioner. Aktionslæring bygger på den antagelse (Bech, 2019), at pædagogiske praktikere kan, ved systematisk at undersøge deres egen praksis, udvikle relevant og praksisnær viden om, hvad der virker. Denne viden kan deles med andre og bidrage til en positiv udvikling af pædagogisk praksis.


I det følgende afsnit vil jeg kort gennemgå og præsentere de forskellige bidrag til artikelsamlingen og beskrive kort, hvad man kan forvente at finde i de enkelte artikler. Dette omfatter emneområder, tilgange og hovedbudskaber.

Præsentation af de enkelte artikler

Julie Hougaard Overgaard beskriver i artiklen "Hvem er læreren når der spilles et læringsspil i undervisningen?" under temaet "Spil og Læring" med udgangspunkt i læringsspillet Marsbasen (Marsbasen.dk), hvilken rolle læreren må påtage sig, når der spilles et spil i timerne – den traditionelle lærerrolle rækker ikke. Spillet danner en scenariedidaktisk ramme om undervisningen, hvor eleverne skal etablere sig i en base på Mars – der opstår forskellige udfordringer undervejs som eleverne skal finde løsninger på og forholde sig til – men hvordan skal læreren spille Mission Control? I artiklen beskrives forløbet med Marsbasen, som adskiller sig fra "normale" forløb ved at dække hele pensummet for fysik på C-niveau. Det adskiller sig også fra traditionelle fysiklærebøger ved at være komplet didaktiseret med udgangspunkt i scenariedidaktikken og en undersøgelsesbaseret tilgang efter 6F modellen.

Som det fremgår af artiklen er formålet med spillet at øge motivation og mestring ved at skabe en meningsfuld og relevant kontekst. Julie Hougaard Overgaard skriver ligeledes at forskning indikerer, at elevernes motivation kan påvirke deres naturvidenskabelige dannelse, og Marsbasen sigter mod at styrke denne dannelse gennem meningsfulde og formålsfulde oplevelser. Motivationen understøttes gennem ydre, indre og situeret motivation, hvor elever deltager i quizzes, konkurrence og belønningssystemer.

Spillet integrerer således fagligt indhold med spilelementer og inddrager it-støttede læringsspil i undervisningen. Ved at "danse på kanten" af traditionelle undervisningsmetoder sikres, at det faglige forbliver centralt, og at læring sker gennem konstruktivistiske tilgange. Scenariedidaktik spiller en nøglerolle, hvor spils scenariet skaber sammenhæng mellem fagligt indhold og narrative elementer. Historien om Marsbasen udgør en ramme, der gør det lettere for eleverne at deltage og lærerfejl ses som en del af legen. Som det fremgår af artiklen skal både lærere og elever påtage sig nye roller i spils scenariet. Læreren



bliver en vejleder, der guider eleverne gennem faglige udfordringer, og eleverne påtager sig roller som besætning på en Marsbase. Rollernes forventninger forhandles og vurderes løbende, og det er afgørende for læringsspillet succes, at læreren og eleverne forstår og accepterer deres roller inden for den givne didaktiske kontrakt.

Kasper Munch Pedersen beskriver i artiklen "Forvirring og hverdagsforestillinger i fysik" under temaet "Faglige og sociale overgange", hvordan forvirring og fejl er fundamentale elementer af læring i fysikfaget og især i nedbrydningen af de ofte udtalte og ubevidste hverdagsforestillinger som eleverne har med sig ind i fysiklokalet. I artiklen undersøges nogle mulige veje at gå som underviser og elev på vejen mod at acceptere og inddrage forvirring og fejl i læreprocessen. Artiklen beskriver også, hvordan at jo længere i uddannelsessystemet en studerende når, desto mere selvstændighed og initiativ forventes og kræves af den studerende selv. Denne overgang mærkes markant ved overgangen fra grundskole til ungdomsuddannelse og kan forsinkes, når frygten for fejl og forvirring holder de studerende tilbage.

Det didaktiske omdrejningspunkt i artiklen er hvordan forvirring og fejl er en naturlig del af læringsprocessen. Læring sker ved at eleven møder en modstand, der udfordrer den eksisterende forståelse – hverdagsforestillingerne, som er en central udfordring inden for fysikdidaktikken. Denne modstand kan være i form af en uforklarlig observation, et problem eller en konflikt mellem forskellige perspektiver. For at komme videre i læringsprocessen er eleven nødt til at forlade den eksisterende forståelse og udvikle en ny. Dette synspunkt er i artiklen baseret på to grundlæggende læringsteoretiske perspektiver. Dels Deweys erfaringslærings syn, hvor læring sker gennem elevens egen handling og reflektive tænkning. For Dewey er forvirring en forudsætning for læring. Den er et tegn på, at elevens eksisterende forståelse ikke er tilstrækkelig til at forstå den nye information eller oplevelse. Dels Piagets kognitive udviklingsteori, hvor læring sker ved at elevens forståelsessystemer justeres eller fornyes. For Piaget er forvirring også en forudsætning for læring. Den er et tegn på, at elevens forståelsessystemer er i ubalance. For at komme i balance igen er eleven nødt til at justere eller forny sine forståelsessystemer. Eleven står over for et valg: enten at opgive den eksisterende forståelse og dermed risikere at føle sig usikker og sårbar, eller at fornægte eller fordreje den ydre oplevelse, der var ophav til forvirringen.

Der peges således i artiklen på, at for at hjælpe eleverne med at håndtere forvirringen og se den som en mulighed for læring, er det vigtigt at være åben om, at forvirring er en naturlig del af læringsprocessen. At man som underviser skaber et trygt og støttende miljø, hvor eleverne føler sig trygge ved at dele deres forvirring.

Christina Hahowitz Elling beskriver i artiklen "Motivations- og læringsmæssige gevinster ved multimodale elevproduktioner" under temaet "Multimodale elevproduktioner", hvordan der er flere motivationsmæssige og læringsmæssige gevinster ved at eleverne udarbejder multimodale produkter, hvor skrift ikke har forrang. I stedet får andre

modaliteter som eksempelvis figurer, billeder eller lyd lov til at dominere. De multimodale produkter kan f.eks. være i form af postere, der kan suppleres af videofremlæggelse eller mere kreative videoformater, i begge tilfælde produkter, hvor eleverne i høj grad træner mundtlighed og formidlingsbevidsthed. Særligt for eleverne med fysik på C-niveau er det artiklens konklusion, at tilgangen skaber større læringsudbytte og motivation. Som det beskrives i artiklen så er der i fysikfaget en indlejret multimodalitet. Her er det et krav, at elever skal kunne anvende og veksle mellem forskellige repræsentationsformer, og det er derfor almindeligt, at skriftlige produkter i fysik som f.eks. en journal eller en rapport udover skrift vil bestå af billeder, figurer, symboler og grafer.

Af artiklen fremgår det blandt andet, at multimodale elevprodukter, der integrerer kreativitet og forskellige modaliteter som video og poster, viser sig at have flere fordele. For det første øger det elevmotivationen og engagementet i læringsprocessen. Elever, der arbejder med multimodale produkter, rapporterer en positiv oplevelse, hvor de finder forløbet spændende, hyggeligt, lærerigt, udfordrende og sjovt. For det andet fremmer multimodalitet og kreativitet en varieret tilgang til formidling. Eleverne udtrykker glæde ved at producere videoer, da det tilbyder alternative formidlingsmuligheder i forhold til traditionelle rapporter. For det tredje styrker multimodale produkter formidlingsbevidsthed. Selvom der er omkostninger ved at producere digitale produkter, viser resultaterne, at multimodalitet er en værdifuld tilgang til at styrke elevprodukter og læringsoplevelsen. Det muliggør ikke kun kreativitet og forskellige formidlingsmetoder, men det forbereder også eleverne på at håndtere teknologi og udvikle digitale kompetencer, der er værdifulde i en digital tidsalder.

Christina Hahowitz Elling beskriver også i artiklen hvordan arbejdet med multimodale elevprodukter bidrager til et større læringsmæssigt udbytte på flere niveauer. Det beskrives blandt andet, at eleverne viser tegn på dyb forståelse og læring, når de selvstændigt sætter sig ind i nyt stof og formidler det med stor troværdighed. Ligeledes ses det, at eleverne, der arbejdede med videoer, rapporterer en forbedring af deres mundtlige formidlingskompetencer. Dette er afgørende, da en normal skriftlig rapport ikke ville have givet dem samme træning i at formidle fagligt indhold mundtligt. Videoformatet tilbyder således en alternativ tilgang til at udvikle disse kompetencer.

I artiklen fremkommer der også eksempler på, hvordan elever rapporterer, at de føler, de forstår emnet bedre ved at se videoer sammenlignet med at læse en rapport. Den multimodale tilgang, der inkluderer visuelle og auditive elementer, fremmer en dybere og mere alsidig forståelse af stoffet. Selvom der kan være udfordringer ved at arbejde med multimodale produkter som videoer, såsom krav om ekstra tid og tekniske færdigheder, betragter nogle elever udfordringen som positiv og lærerig. Dette kan motivere eleverne yderligere og styrke deres evner til at håndtere komplekse opgaver.

Aske Graakjær Krogsgaard beskriver i artiklen "Bæredygtighed og handlekompetence" under temaet "bæredygtighed og fag", at klimaudfordringer er en problemstilling, der fordrer noget af os alle. Det kan dog både som fysikelev og fysiklærer være svært at se sig selv som en aktiv del af løsningen på en så omfattende udfordring. I artiklen er det påstanden, at fysikundervisere i gymnasiet både har en mulighed og en pligt til at klæde eleverne på til at være en del af løsningen af klimaudfordringerne. *"Vi må altså i fysikundervisningen give eleverne en fysikers perspektiv på udfordringerne og give dem de nødvendige værktøjer fra fysik-værktøjskassen, som man skal bruge for at kunne imødegå klimaforandringerne."*

I Aske Graakjær Krogsgaards teopæd-projekt blev der undersøgt forskellige tilgange til undervisning i bæredygtighed. En hverdagsnær tilgang versus et større samfundsperspektiv, en induktiv versus en deduktiv tilgang samt balancegangen mellem at indgyde håb og samtidig ikke negligere situationens alvor. Undersøgelsen viste, at undervisning i bæredygtighed og grøn omstilling ofte bliver udført som en art projektarbejde af en overvejende induktiv karakter. Det er dog ikke nødvendigvis hensigtsmæssigt; undersøgelsen indikerer yderligere, at en hverdagsnær tilgang kan være lettere for eleverne at forholde sig til. Det er dog også ofte en tilgang, eleverne er stødt på før. Det større samfundsperspektiv kan derfor tilbyde noget nyt. Endelig understreger undersøgelsen vigtigheden af, at man som fysiklærer peger på løsninger og insisterer på håbet og mulighederne for løsninger i forbindelse med fysikundervisningen.

Der insisteres i artiklen på, at undervisningen i fysik bør være præget af et aktivt håb, hvor eleverne opfordres til at handle og skabe forandring. Håbet præsenteres som en kompleks følelse, der omfavner det ukendte og udfordrer både optimisme og pessimisme. Eleverne opfordres til at se bredt på perspektiver og specifikke muligheder, hvilket kan motivere dem til handling. Der lægges i artiklen også op til en bevidst beslutning om at inkludere følelser som en del af undervisningen. Undervisningen erkender og adresserer elevernes klimafrygt ved at hjælpe dem med at forstå og bære denne følelse. Det vurderes som vigtigt at undervise i, hvordan man kan omsætte bekymring og frygt til konstruktiv handling. Samlet set viser undervisningen en bevidsthed om betydningen af håb, aktiv handling og håndtering af klimarelaterede følelser.

Bjarke Kofoed Reimann beskriver i artiklen "Peerfeedback som forberedelse til skriftlig eksamen" under temaet "Læring gennem læremidler", hvordan peerfeedback er en metode til at give og modtage feedback fra ligestillede. I artiklen bliver metoden fremhævet som en mulig løsning på det dobbelte forventningspres, som lærere står over for i dag, hvor der på den ene side er et stigende krav til, at lærere giver konstruktiv og fremadrettet feedback, mens der på den anden side er nedskæringer i uddannelsessektoren, som presser lærerne til at effektivisere deres arbejde. Peerfeedback kan være med til at løse dette dobbelte forventningspres.

For det første kan det hjælpe lærere med at give mere feedback, da eleverne kan give hinanden feedback. For det andet kan peerfeedback hjælpe eleverne med at lære at give og modtage konstruktiv feedback.

En undersøgelse af peerfeedback i fysikundervisningen på stx, hvor den digitale platform Peergrade blev anvendt, viste, at der er både fordele og ulemper ved denne metode. Fordelene omfattede, at eleverne fik mulighed for at få feedback fra ligestillede, som kunne relatere sig til deres egne erfaringer og forudsætninger. Eleverne kunne også lære at give og modtage konstruktiv feedback, og peerfeedback kunne være med til at skabe en mere engagerende og motiverende læringsmiljø. Ulemperne omfattede, at eleverne kunne være usikre på, hvordan de skulle give konstruktiv feedback. Peerfeedback kunne også være subjektiv og kunne dermed føre til fejlvurderinger. Endvidere kunne peerfeedback være tidskrævende for eleverne.

Det teoretiske omdrejningspunkt i artiklen er, hvordan peerfeedback implementerer Vygotskys sociokulturelle syn på læring ved at udnytte viden, der er distribueret mellem eleverne. Dette indebærer brugen af sociale og kulturelle artefakter som en del af feedbackprocessen. Gennem peerfeedback bliver eleverne involveret i en aktiv dialog, hvor de deler viden og erfaringer med hinanden, hvilket reflekterer Vygotskys ide om læring gennem social interaktion og kulturel tilegnelse.

Peerfeedback faciliterer Vygotskys idé om medieret læring ved at skabe en situation, hvor eleverne understøtter hinanden i at internalisere nye færdigheder og kompetencer. Dette sker gennem konkrete feedback og rettelser, der hjælper modtageren med at forbedre sin opgaveløsning. Zonen for nærmeste udvikling bliver adresseret, da peerfeedback skaber en ramme, hvor eleverne arbejder inden for et udviklingsområde. Retteren fungerer som en støtte inden for modtagerens nærmeste udviklingszone, hvilket er i overensstemmelse med Vygotskys tanker om, at læring ofte kræver hjælp fra andre.

Samlet set bliver peerfeedback brugt som et værktøj til at operationalisere Vygotskys teorier i praksis, hvor den sociale interaktion og brugen af artefakter understøtter elevernes læring og udvikling inden for fysikfaget.

Ida Marie H. Matras beskriver i artiklen "Gamification og differentieret undervisning i fysik" under temaet "Spil og læring", at gamification, spil og konkurrence kan være effektive metoder til at skabe motivation i undervisningen, da de giver anledning til fagligt samarbejde, konkrete succesoplevelser og en oplevelse af at lege sig til læring. Men gamification rummer også risikoen for demotivation, når eleverne oplever at fejle, sidde fast i spillet, eller tabe til andre i klassen. Dette problem kan være særligt udtalt i klasser med stor spredning i det faglige niveau, hvor de fagligt svageste vil have tendens til at opgive spil og konkurrencer på forhånd, mens de stærkeste hurtigt keder sig. Dette problem lægger op til en særlig didaktisk strategi, som kombinerer gamification med differentieret undervisning. Denne artikel præsenterer, afprøver og diskuterer fem principper for at bruge gamification i

sammenhæng med niveaudifferentieret undervisning i fysik.

Det fagdidaktiske omdrejningspunkt i artiklen er som det er beskrevet af Carl Angell de forskellige repræsentationsformer i fysik. Det er netop kendetegnende for fysik at eleverne skal kunne håndtere at den samme viden udtrykkes på forskellige måder, således, at de bliver i stand til hurtigt at oversætte mellem dem, hvilket er en stor udfordring for eleverne.

Artiklen beskriver et forløb hvor disse udfordringer imødekommes ved at flere af aktiviteterne i forløbet træner de forskellige repræsentationsformer gennem gamification. Der er således spilelementer som fokuserer på begreber, andre som fokuserer på matematisk repræsentation og andre som fokuserer på eksperimenter.

I artikel undersøges således, hvordan man kan udnytte de oplagte motivationsfordele ved gamification i undervisningen uden at havne i problemer med en meningsfuld forbindelse til det faglige indhold, ikke for overdrevet fokus på præstation og en god differentiering af aktiviteterne. Det undersøges altså hvilke strategier, der kan benyttes for at sandsynliggøre, at gamification og spilelementer i undervisningen giver øget motivation for deltagelse og læring i en klasse med meget stor spredning i det faglige niveau. Der er udviklet en række gamification-øvelser rettet mod undervisningsdifferentiering, som har været i brug i et undervisningsforløb på eget Fysik B-hold.

Jesper Bruun præsenterer i artiklen "Fysikklasser som komplekse systemer" et nyt perspektiv på fysikdidaktisk forskning: at se fysikklasser som komplekse systemer. Komplekse systemer, er systemer, som har mange sammenhængende komponenter, der interagerer på komplekse måder, og de kan ikke beskrives med enkle modeller.

Forholdet mellem undervisningsmetoder, elevers motivation og færdigheder er ikke-lineært og ændrer sig over tid og kan betragtes som et komplekst system, og netværksanalyse kan bruges til at kortlægge og forstå disse komplekse relationer, hvor både kvantitative og kvalitative data er nødvendige for at få et fuldt billede. Store datamængder er nødvendige for at modellere komplekse systemer, og indsamlingen og analysen kan med fordel automatiseres.

At se fysikklasser som komplekse systemer giver nye perspektiver på, hvordan vi kan forstå og forbedre undervisningen. Denne tilgang kan føre til nye indsigter og forbedringer i undervisningen, og argumentet kan udvides til andre dele af uddannelsessystemet. Fysikkens tankegange og metoder kan bruges til at forstå og modellere komplekse systemer i uddannelse, og at se uddannelse som komplekse systemer kan føre til nye perspektiver på, hvordan vi kan forbedre undervisningen.

Opsamling og opfordring til læsning

Denne artikelsamling kan være til stor gavn for fysiklærere og undervisere i gymnasiet på flere måder og de kan drage stor nytte af indsig-



terne præsenteret i artiklerne. Artiklen af Julie Hougaard Overgaard præsenterer en innovativ tilgang til undervisning ved hjælp af lærings-spil som Marsbasen. Fysiklærere kan lære om scenariedidaktik og undersøgelsesbaseret tilgang efter 6F-modellen. Dette åbner op for en anderledes undervisning, der dækker hele pensum på en engagerende måde. Kasper Munch Pedersens artikel understreger vigtigheden af at håndtere forvirring og fejl som naturlige elementer i fysikundervisningen. Fysiklærere kan lære at skabe et trygt miljø, hvor eleverne føler sig komfortable med at dele deres forvirring, hvilket kan føre til dybere læring og forståelse. Christina Hahowitz Ellings artikel fokuserer på fordelene ved multimodale elevprodukter. Fysiklærere kan tage dette i betragtning og opfordre eleverne til at skabe produkter, der bruger forskellige repræsentationsformer som video og poster. Dette øger ikke kun motivationen, men styrker også formidlingskompetencer og forståelse af fysik. Aske Graakjær Krogs gaards artikel adresserer klimaudfordringer og opfordrer fysiklærere til at give eleverne redskaber til at tackle disse udfordringer. Dette giver en praktisk tilgang til at integrere bæredygtighed i fysikundervisningen og skabe bevidsthed om handling og håb. Bjarke Kofoed Reimanns artikel introducerer peerfeedback som en metode til at lette det dobbelte forventningspres, som lærere står over for. Fysiklærere kan implementere denne tilgang for at skabe et mere interaktivt læringsmiljø og understøtte elevernes udvikling inden for fysikfaget. Ida Marie H. Matras' artikel præsenterer principper for at kombinere gamification med differentieret undervisning. Dette kan være værdifuldt for fysiklærere, især når de står over for en klasse med stor variation i det faglige niveau.

Jeg opfordrer således fysiklærere og undervisere til at udforske denne artikelsamling nøje. Ved at fordybe sig i en eller flere af disse artikler kan de opdage nye tilgange, metoder og ideer, der kan berige deres undervisningspraksis. Implementering af disse indsigter kan ikke kun forbedre elevernes læring og engagement, men også bidrage til den generelle udvikling af fysikundervisning i gymnasiet og forhåbentligt øve interessen for faget. Lad artiklerne inspirere dig til at skabe en mere dynamisk, engagerende og lærerig undervisningsoplevelse for dine elever.

* * *

Thomas Brun Kristensen er fagkonsulent i fysik.

Referencer

- Bech, Steen. 2019. *Didaktisk tænkning på arbejde*. s.l. : Frydenlund, 2019.
- Gymnasiepædagogik 1903-1934. 2019. Gymnasiepædagogik 1903-1934. *Gymarkiv.sdu.dk*. [Online] SDU, 20. 12 2019. [Citeret: 3. 1 2024.] [gymarkiv.sdu.dk/Gymnasiepaedagogik/1903-1934/Fysik%20og%20kemi%20\(naturl%C3%A6re\)/](https://gymarkiv.sdu.dk/Gymnasiepaedagogik/1903-1934/Fysik%20og%20kemi%20(naturl%C3%A6re)/)
- Lykkegaard, Eva og Qvortrup, Ane. 2020. Faglighed i gymnasiet - Fysik. *www.uvm.dk*. [Online] 2020. [Citeret: 3. 1 2024.] www.uvm.dk/publikationer/2020/200109-delrapport-3-fysik
- Læreplaner Fysik htx. 2017. Børne- og Undervisningsministeriet. *www.uvm.dk*. [Online] 2017. [Citeret: 3. 1 2024.]
- Læreplaner Fysik stx. 2017. Børne- og undervisningsministeriet. *www.uvm.dk*. [Online] 2017. [Citeret: 3. 1 2024.] www.uvm.dk/gymnasiale-uddannelser/fag-og-laereplaner/laereplaner-2017/stx-laereplaner-2017
- Mønsterbrydende Science. 2021. Mønsterbrydende Science. *mb-science.dk*. [Online] Frederiksberg Gymnasium, 2021. [Citeret: 3. 1 2024.] mb-science.dk/fag/emner/fysik
- Uddannelsesstatistik. 2019. Uddannelsesstatistik. *uddannelsesstatistik.dk*. [Online] Børne- og Undervisningsministeriet, 2019. uddannelsesstatistik.dk/Pages/Topics/5.aspx

Hvem er læreren når der spilles et læringsspil i undervisningen?

Af Julie Hougaard Overgaard

Med udgangspunkt i læringsspillet Marsbasen (Marsbasen.dk), undersøges det i denne artikel hvilken rolle læreren må påtage sig, når der spilles et spil i timerne – den traditionelle lærerrolle rækker ikke. Spillet danner en scenariedidaktisk ramme om undervisningen, hvor eleverne skal etablere sig i en base på Mars – der opstår forskellige udfordringer undervejs som eleverne skal finde løsninger på og forholde sig til – men hvordan skal læreren spille Mission Control?

Indledning

Vælger man, at spille et læringsspil som del af undervisningen, bliver lærerens rolle på mange måder genforhandlet. I denne artikel har jeg beskæftiget mig med min egen rolle som lærer i læringsspillet Marsbasen. Spillet dikterer de aktiviteter klassen skal igennem og læreren er en stedfortræder for Marsbasens Mission Control. Dermed udliciteres en af de vigtigste arbejdsopgaver man har som lærer: at didaktisere den viden som eleverne skal lære. Det særlige ved Marsbasen er, at det dækker hele pensum for fysik på c-niveau på STX. HELE PENSUM! Modul for modul, teori og eksperimentelt arbejde, øvelse for øvelse, mission for mission.

Typisk vil fysiklæreren planlægge alle forløb og alle moduler, finde på eksperimenter, lave arbejdsark, lave forsøgsvejledninger, overveje hvad der skal komme i hvilken rækkefølge, og hvor lang tid der skal bruges på hver sekvens. Hvis man arbejder med et læringsspil som Marsbasen, skal man ikke gøre noget af ovennævnte, det tager spillet sig af. Men hvad skal læreren så?

Her kommer nogle bud på hvad læreren så skal:

- Læreren skal få eleverne med på historien.
- Læreren skal være en slags spilmester, der søger for, at alle er kommet ind i spillet, på et team og har startet spilgangen.
- Læreren skal samle alle ender, både faglige og tekniske.
- Læreren skal være en flue på væggen, der lader eleverne komme langt ud ad tangenterne, i håbet om, at de til sidst kommer på rette spor.

2

- Læreren skal være den der siger "nu bliver det for fjollet – stop – det her skal handle om vands fordampningsvarme!".
- Læreren skal have det fulde overblik over de forskellige sekvenser som spillet lægger op til. Og helst inden modulet.
- Læreren skal være kritisk over for spillets valg.
- Spillet lægger op til et mere tværgående arbejde med pensum, som ikke er opdelt i emner. Derfor skal læreren svare på spørgsmål om, hvorfor vi har årstider, midt i arbejdet med energi og solceller.

Disse opgaver ligger faktisk langt fra de opgaver vi normalt forbinder med at undervise en klasse i fysik. Derfor har jeg skullet genforhandle og opdage min rolle som lærer. Nærværende artikel handler derfor om, at finde nogle svar på spørgsmålet:

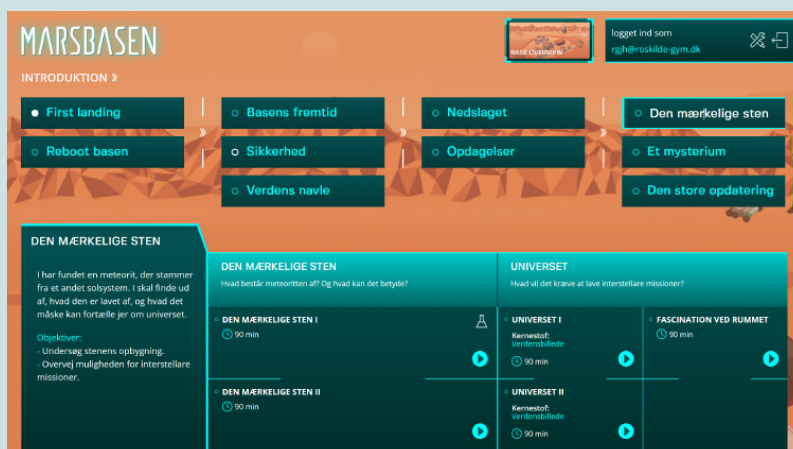
Hvilken rolle har læreren, når der bruges et læringsspil som Marsbasen i undervisningen?

Beskrivelse af Marsbasens struktur

Marsbasen løber over 38 spilgange. På vores skole er et Fysik C - hold på ca. 43 moduler. Dermed er der ikke mange moduler i overskud, hvis man spiller hele spillet. Marsbasen er inddelt i missioner. Alle missioner er inddelt i 3-7 spilgange. Hver spilgang er estimeret til at tage 90 min, og dermed et modul på vores skole. Hver mission udgør en sammenhængende historie og kredser om et eller flere problemer der er opstået på Marsbasen. Missioner udspænder ikke pensum efter emnerne, men trækker på forskellige dele fra de tre hovedemner der udgør kernepensum:

- Fysikkens bidrag til det naturvidenskabelige verdensbillede
- Energi
- Lyd og Lys

Derfor genbesøger man de forskellige emner når man spiller sig gennem flere missioner.



Figur 1: Oversigt over missioner og spilgange. Her er det missionen "Den mærkelige sten" der spilles over 5 spilgange.

Handlingen – helt kort

I det første modul lander eleverne på Mars. De lykønskes for at være med i et af de største projekter i Jordens historie: de er første hold, ud af mange, der skal kolonisere Mars. Tidligere forsøgte man også at kolonisere Mars, men for 40 år siden mistede man forbindelsen til en besætning på 51 mennesker. Hvad der skete med dem og hvorfor man mistede forbindelsen ved man ikke, men den gamle base står der endnu. Denne base er rammen for den nye besætning og flere dele skal repareres og tages i brug igen. Denne gang har besætningen bedre teknologi og det er derfor målet at skabe et stabilt selvforsynende samfund på Mars.

Sekvenser, spilelementer og arbejdsmetoder

Spillets elementer sekvenserer undervisningen og hver spilgang er ledsaget af en lektionsplan som læreren kan støtte sig til. Dermed er sekvenseringen af undervisningen forudbestemt af spillet. Næsten alle missioner løber over flere spilgange, således at flere øvelser, quizzer, forsøg og rapportering til Mission Control er inden for den samme historieramme. Alle spilgange starter med en ny besked fra Mission Control, som eleverne skal forholde sig til og som åbner spilgangen for eleverne. Efter beskeden er det forskelligt hvilke aktiviteter spillet lægger op til. De forskellige spilelementer er her kort beskrevet:

Quizzer

Eleverne skal svare på spørgsmål, koble begreber til en grafisk repræsentation ved at trække dem hen på de rigtige pladser eller udføre simple virtuelle simuleringer før de svarer. Undervejs får de hints hvis de svarer forkert og til sidst får de point.

Opstil hypotese

Eleverne skal ud fra en beskrivelse af et problem, eller en ny situation på basen, opstille en hypotese. Dette kan både være hypoteser der skal forklare en årsag til et opstået problem eller et forslag til hvordan problemet kan løses. Dette spilelement er bygget så læreren kan vise alle gruppernes inputs og man derefter kan udvælge hvilke hypoteser klassen skal arbejde videre med.

Ødelagt manual

Eleverne skal afkode en ødelagt besked eller manual. Her er der nogle ord der er ødelagt med mærkelige tegn i stedet.

Udfør forsøg

Eleverne skal udføre forsøg som enten er beskrevet af Mission Control eller ud fra deres egne opstillede hypoteser.

Choose your own adventure

I en enkelt spilgang skal eleverne prøve at få en rover med to astronauter hjem, i live. Eleverne får en masse oplysninger og skal, på baggrund af beregninger, vælge mellem forskellige ruter og planlægge hvornår roverens batterier skal lades op. Undervejs bliver elevernes valg re-

2

præsenteret ved tre forskellige grafer der viser hvor meget ilt der er tilbage i roveren, hvor langt der er til basen og hvor meget energi der er på roverens batterier. Man kan derfor efterfølgende diskutere deres valg og hvilke konsekvenser det fik ud fra graferne.

Historier

Gennem hele arbejdet bliver der beskrevet et handlingsforløb som både trækker tråde tilbage til den tidligere base, men også præsenterer aktuelle hændelser der sker "nutidigt" på basen.

Nogle spilelementer er aktiviteter der gøres i spillet og dermed på computeren, mens andre er oplæg til aktiviteter i klassen. Dermed varierer arbejdsmetoderne også. Eleverne arbejder hele tiden i grupper og de fleste forsøg og øvelser er opbygget induktivt: øvelsen starter med en oplevelse, f.eks. en besked fra Mission Control. Eleverne bliver herefter guidet gennem forskellige dele af Kolbs læringscirkel ved at skulle forholde sig til oplevelsen, komme med bud på forklaringer, opstiller hypoteser og sammenkæde begreber. I nogle spilgange er der en del der skal læses. Så kan læreren læse det højt for hele klassen og undervejs snakke med klassen om, hvad beskeden går ud på.



Figur 2: Grupperne arbejder fokuseret med Marsbasen.

I slutningen af hver spilgang kan læreren evaluere grupperne i en evalueringsmatrix. Her er det læreren der bestemmer evalueringskriterierne på de to akser, se figur 3, det kan f.eks. være: brug af formler og enheder, samarbejde i gruppen, opfindsomhed, brug af fagbegreber, afvigelse fra tabelværdi og udførelse af forsøg. Når man har spillet sig gennem alle spilgange i en mission, vil den gruppe med flest point få lov at navngive det sted på basen missionen har handlet om. I de spilgange hvor der er en quiz, tæller disse point også med.



Figur 3: Evalueringsmatrix hvor læreren kan trække de forskellige grupper til en placering i forhold til to evalueringskriterier.

Teoretiske overvejelser i relation til Marsbasen

Hvorfor overhovedet spille et læringsspil med sin klasse? I det følgende kommer der nogle begrundelser fra didaktiske teorier:

Motivation og mestring

Hvorfor i det hele taget udvikle et spil, som går ud på, at eleverne leger de er på Mars et helt skoleår? Her er hvad gruppen bag Marsbasen skriver som begrundelse (Jesper Bruun et al, 2022):

Forskning peger på, at en del af forklaringen kan være, at eleverne kan have svært ved at få øje på fagets relevans. Den manglende motivation kan have en væsentlig indflydelse på elevernes naturvidenskabelige dannelse og kompetencer (Bandura, 2012).

Dermed skal Marsbasen fungere som en relevant og meningsgivende kontekst der kan motivere eleverne til at ville det faglige og udvikle deres naturvidenskabelige dannelse og kompetencer. Oplevelser af mening, relevans og formål med det faglige stof, kan være en motivations-booster for eleverne (Beck, 2019).

Ret forsimplet kan motivation opdeles i tre former: ydre motivation, indre motivation og situeret motivation (Beck, 2019). Arbejdet med Marsbasen trækker på alle disse former og jeg vil her gennemgå på hvilken måde:

I gymnasiet er der altid en ydre motivation i, at få en god karakter og generelt klare sig godt. I arbejdet med Marsbasen kan eleverne gennem forskellige quizzes vinde retten til at navngive et sted på basen. Konkurrence skaber også en ydre motivation fordi man gerne vil vinde. Grupperne samler point i quizzes og bliver bedømt i en evalu-

erings-matrix af læreren, se figur 3. At få belønning for noget man har gjort godt, har sin rod i behavioristisk læringsteori. Belønningen bliver i denne teori fremsat, som et middel der skal resultere i en adfærdsmodifikation, hvor det man har lært, skal kunne ses i en ændret adfærd (Dolin et al, 2020). Ved at svare på spørgsmål i en quiz viser man gennem sine svar, om man har forstået emnet. Dermed viser man også læreren, at man fortjener den høje karakter, der motiverer en til at gøre en indsats.

Den indre motivation er koblet til elevernes indre liv. De tanker og følelser de oplever når de er i forskellige situationer. Den indre motivation kan beskrives ud fra begrebet meningsforhandling fra teorien om praksisfællesskaber (Wenger, og Etienne, 2008). Meningsforhandlingen er en vigtig del af alles deltagelse i et praksisfællesskab. Meningsforhandlingen kan både være i dialog med andre elever, eller med læreren, men det kan også være en indre dialog. Det er også vigtigt for elevernes indre motivation, at de oplever en høj grad af self-efficacy - en "faglig selvtilid" og udvikler en tro på at kunne mestre de opgaver der stilles (Bandura, 2012). Derfor skal eleverne mødes med de rette krav og de rigtige opgaver, så de oplever, at kunne faget.

Den situerede motivation knytter sig til specifikke situationer, sammenhænge eller samspillet i et fællesskab (Beck, 2019). Marsbasen som et scenarie, hvor eleverne spiller sig gennem hele pensum, udfolder netop den situerede motivation. I udviklingen af Marsbasen har det derfor været målet, at få gjort historien og problemerne troværdige (Jesper Bruun et al, 2022), så netop den motivation der knytter sig til den vilde oplevelse: at være sendt til Mars, fastholdes og bliver et bærende element.

Spil i undervisningen

Hvad er spil? Torkild Hanghøj kommer med sit bud på en definition i (Hanghøj, 2019):

Spil realiseres gennem sociale og legende aktiviteter, hvor det i høj grad er deltagerne, som selv er med til at definere, forhandle og omforme, hvad der tæller og ikke tæller som en del af spillets forståelsesramme.

Spil er dermed at lege i en social fælles forståelsesramme. Når man bruger spil i didaktiske situationer inddeler Hanghøj spil i fire kategorier: Lærings spil, kommercielle computerspil, gamification og design af spil. Jeg vil ikke gå i dybden med de tre sidste - da Marsbasen falder i kategorien it-støttede lærings spil. Lærings spil skal være designet til undervisning i specifikke faglige kompetencer. De spil der er it-støttede, faciliterer elevernes interaktion og dialog i det fysiske klasseværelse. Dermed er disse spil en slags hybride spil, hvor fysiske omgivelser i klasserummet skal tilpasses spillet således, at nogle spil-aktiviteter kan foregå her (Hanghøj, 2019).

Det er klart, at brugen af spil i undervisningen må have et fagligt sigte. Dermed bliver koblingen mellem spillet og det faglige også interessant. Når man gør noget anderledes siges det, at "man tænker ud af boksen", men Richter Hansen vil hellere kalde det, at man "danser på kanten af boksen". Hun skriver at: "Den pointe giver mig som underviser mulighed for at arbejde kreativt med eleverne i en faglig kontekst, hvor læringsmålene og faglige pointer i undervisningen ikke ofres i kreativitetens navn" (Richter Hansen, 2020).

Hun mener altså, at når man bliver på kanten af boksen, så er det faglige stadig det primære afsæt for aktiviteten. Når man danser på kanten, skal man kunne holde balancen. I et scenariebaseret læringsspil skal balancen findes mellem læreplaner og faglige mål på den ene side og spillets narrativ og aktiviteter på den anden. Marsbasen består af forskellige spilelementer, som beskrevet tidligere, med hver sin faglige kobling og begrundelse. Når man bruger spil i undervisningen bliver fagets indhold det eleverne gør i spillet (Misfelt og Hanghøj, 2016) og dermed er de fleste læringsspil designet ud fra et konstruktivistisk læringssyn (Erkman og Christensen, 2018) hvor læring opfattes som det der sker i en eksperimentel undersøgelsesproces.

Scenariedidaktik - narrativ og faglighed

I bogen "Hvad er scenariedidaktik?" skriver Thomas Illum Hansen, at den almene didaktik bør...

... tildele scenarier en central rolle, så didaktik ikke bliver reduceret til en rationalistisk teori om mål og midler, der savner en fænomenologisk kobling til konkrete situationer i skolens omverden (Bundsgaard et al, 2017).

Han mener altså, at der er brug for kobling mellem omverdenen og fagene eleverne møder. Denne kobling kan opstå i et spilsценarie hvor blandingen af spil, leg og faglighed udspiller sig i en simuleret kontekst. Her bliver det muligt at arbejde med temaer og problemstillinger fra nye vinkler, og eleverne kan, som del af scenariet, reflektere og være elever på andre præmisser end i den traditionelle undervisning (Bundsgaard et al, 2017). De nye præmisser er f.eks. aktualitet, leg, relaterbarhed og konkurrence.

Marsbasen er udviklet som en sammenhængende historie der udspiller sig i det samme scenarie hele skoleåret - på en base på Mars. Når man på denne måde sætter en scene og definerer et narrativ, giver man eleverne en kontekst til det faglige indhold og et alibi for at deltage (Bruun et al, 2022). Det er ikke så farligt at lave fejl da man også tit får et ekstra liv når man spiller (Lieberoth og Hanghøj, 2019). Det legende element kan også medvirke, at eleverne ikke oplever, at deres faglighed er til bedømmelse (Bruun et al, 2022).

Roller

Hvis undervisningen foregår i et spils-scenarie, så påtager både lærer og elever sig nye roller i relation til spillet. Men hvad er en rolle egentlig? – "Roller består af et sæt af forventninger, som den, der inddrager rollen må forholde sig til" (Zeuner et al, 2007). Dermed er lærerens rolle sammensat af forventninger til lærerens adfærd. Disse forventninger kommer mange steder fra, f.eks. eleverne, skolen som institution, politikere, læreplan, kolleger, læreren selv og i denne forbindelse også fra Marsbasen.

Marsbasen har ikke defineret hvilke forventninger der er til den lærer, der bruger spillet. Derfor bliver nogle af alle disse forventninger også sat op til forhandling og vurdering af den enkelte lærer. Det er dog ikke altid muligt, at indfri alle forventninger. Der kan opstå det der kaldes en rolle-konflikt, hvis springet mellem forventninger og virkelighed bliver for stort (Zeuner et al, 2017). Læreren må da genforhandle sin egen rolle - måske ved at bryde ind i elevernes arbejde og give dem et hint, selvom det ikke er en del af spillet.

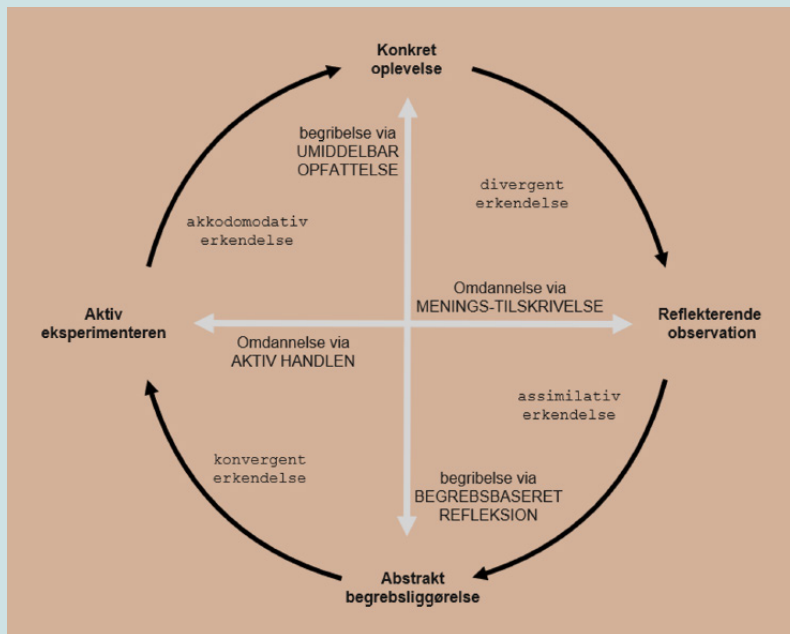
Den didaktiske kontrakt er også genforhandlet når man arbejder med et læringsspil. Læreren skal ikke være en dømmende lærer, men en vejleder, der guider eleverne gennem de faglige udfordringer de oplever i spillet. Læreren skal også bedømme elevernes faglighed. Når det sker, skal det være meget tydeligt for eleverne, at nu er det en ny situation - nu leger vi ikke, nu er det en anden didaktisk kontrakt og nogle andre roller vi indtager, ellers kan det ødelægge legen og elevernes fortolkning af elevrollen (Bruun et al, 2022).

Eleverne skal også indtage en rolle. De er ikke kun elever i et klasseværelse på en skole i Roskilde. De er også på en mission hvor de befolker planeten Mars som en stor gruppe. Der følger også et sæt forventninger med til den rolle. De skal være med på idéen, og indleve sig. De skal finde ud af, at arbejde sammen i grupper, de skal (helst) synes det er sjovt og være med på legen, og de skal (helst) også tage det seriøst. Det her er alvor - hvis vi ikke løser problemet har vi ikke mad nok! Omvendt skal eleverne heller ikke leve sig så meget ind i scenariet, at de nægter at lege med på den forsimplede scene Marsbasen har stillet op. F.eks. er gasfysik og tryk ikke en del af pensum på c-niveau, men væsentligt at have med i sine overvejelser når man forestiller sig at være på Mars. Dette er en indbygget svaghed i spillet, som fagligt er helt nødvendig, men for nogle elever bliver det useriøst, at vi ikke skal tale om tryk.

Undersøgelsesbaseret undervisning

Hvis man gerne vil bruge Marsbasen i sin undervisning kan man finde lektionsplaner til alle spilgange i de lærer-ressourcer man kan downloade på Marsbasen.dk. Alle disse planer er bygget op over 6F-modellen (Møller Madsen et al, 2020), som udspringer fra et konstruktivistisk læringssyn hvor det udforskende element er centralt for læring. I 6F-modellen opdeler man undervisningen i 6 forskellige faser: fang,

forudsætning, forsk, forklar, forlæng og feedback. Feedback er ikke en fase på samme måde som de andre og er tænkt som et kontinuert fokus gennem hele undervisningen.



Figur 4: Kolbs læringsmodel (Dolin et al, 2020).

Denne model er formuleret på det konkrete handlingsplan - hvad skal eleverne gøre og i hvilken rækkefølge. Kolbs læringsmodel kan beskrive et metaperspektiv på de forskellige faser som 6F-modellen løber over. Helt centralt er den konkrete oplevelse, se figur 4, som helst skal være en oplevelse der ikke umiddelbart lader sig forklare, men skaber en forstyrrelse, en undren. Dermed kan oplevelsen ikke assimileres, men starter en bevægelse rundt i Kolbs cirkel. Når man skal lære noget nyt, skal der skabes situationer hvor man oplever noget, har mulighed for at reflektere og anskue fra flere vinkler, beskrive oplevelsen med de begreber man har til rådighed og sidst, udfordre den forståelse man har opnået ved at eksperimentere ud fra den nye forståelse man har tilegnet sig (Dolin et al, 2020).

Beskrivelse i detalje af et modul med Marsbasen

Modulet eller spilgangen jeg vil zoom ind på hedder "Meteoritten" og er under missionen "Nedslaget".

Læreplanen og læringsmål for missionen og spilgangen

Spilgangen dækker følgende af læreplanens punkter for kernestof:

- Jorden som planet i solsystemet som grundlag for forklaring af umiddelbart observerbare naturfænomener
- Grundlæggende bølgeegenskaber: bølgelængde, frekvens og ud-

bredelsesfart

- Fysiske egenskaber ved lyd og lys

Spilgangen dækker følgende af læreplanens faglige mål:

1. kende og kunne anvende enkle modeller, som kvalitativt eller kvantitativt kan forklare forskellige fysiske fænomener eller kan føre til løsninger af problemstillinger, hvor faglige begreber og metoder anvendes
2. kunne beskrive og udføre enkle kvalitative og kvantitative fysiske eksperimenter, herunder opstille og teste enkle hypoteser
3. gennem eksempler kunne perspektivere fysikkens bidrag til såvel forståelse af naturfænomener som teknologi- og samfundsudvikling
4. kunne demonstrere viden om fagets identitet og metoder

Jeg vil i det følgende beskrive hvordan modulet forløb ved at bruge begreberne fra 6F-modellen og knytte en kommentar om lærerrollen i de forskellige sekvenser.

Fang Vi læser beskeden fra Mission Control fælles på klassen: Denne besked fra Mission Control er åbningen for hele modulet, men også for hele missionen og faktisk kom flere missioner til at handle om denne meteor, der styrtede ned tæt på basen. Da jeg havde læst beskeden højt, bad jeg klassen om at sætte sig ud i grupperne og gå ind i Marsbasen. Her en min rolle spilmester.

Forudsætning Da grupperne havde sat sig og var logget ind i spillet fik de 3 min til at genkalde sig hvad Keplers 1. og 2. lov går ud på. Derefter samlede jeg op på tavlen. Forskellige grupper beskrev de forsøg de havde lavet med Keplers 2. lov i modulet før. Her var min rolle at være ordstyrer og samle op på de forskellige pointer grupperne kom med.

Forklar Ud fra en grafisk fremstilling af meteorens bane inden den rammer Mars, skulle eleverne komme med deres bud på, hvorfor meteoren kunne være interessant at undersøge. I denne fase skulle eleverne trække på det de allerede vidste om Keplers love. Konklusionen var, at meteoren ikke kunne komme fra vores solsystem, og derfor var den spændende. Her var min rolle at være tilbagetrukket.

Forsk Hvor landede den? Eleverne fik en besked fra Mission Control om, at vi aldrig har haft mulighed for at undersøge en interstellar meteor før. Derfor var det meget vigtigt at finde ud af hvor den landede. Jeg havde printet både seismiske målinger og et kort over basen til alle grupper. Ud fra de seismiske målinger skulle eleverne finde en metode til at finde meteorittens placering. Midt i denne sekvens afbrød jeg grupperne fordi der kom et spørgsmål om, hvornår noget er en meteor og hvornår det er en meteorit. Det snakkede vi kort om. Grupperne skulle ud fra de seismiske målinger aflæse rejsetiden for bølgen og ved at kende bølgehastigheden, beregne en afstand. Der var tre seismiske målestationer og ved at kende deres placering skul-

le grupperne genopfinde princippet bag "triangulering". Denne opgave var lidt tricky og jeg afbrød igen klassen og sagde, at de ville få et hint. Men klassen protesterede - de ville ikke have et hint, de ville selv finde ud af det. Uden særlig meget hjælp lykkedes det alle grupper at finde meteorittens position. Min rolle var at hjælpe grupperne en lille smule i den rigtige retning.

Forklar En gruppe forklarede hvordan de fandt stedet hvor stenen landede. Aflæsningen og omregningen fra et tidsrum til en afstand blev gennemgået på tavlen med et eksempel af en af grupperne. Her stillede jeg spørgsmål til gruppen, som de besvarede.

Forlæng Grupperne var overraskende hurtige til at finde ud af hvordan de skulle løse opgaven - selv uden et hint. De havde haft lektier for om forskellige objekter i universet og derfor blev der brugt lidt ekstra tid på at snakke om solsystemets og universets opbygning og hvorfor meteoren var særlig spændende og hvad de troede den er lavet af. Her var min rolle at styre dialogen mellem eleverne og samle op og forklare når der var brug for det.

Dette modul var ret typisk for arbejdet med Marsbasen. Spørgsmål opstår undervejs, og arbejdet med Marsbasen afbrydes for at vende de spørgsmål i klassen. En vekslen mellem at være inde i spillet og ude af det. Det er også meget typisk for arbejdet med Marsbasen, at jeg ikke på forhånd kan regne ud, hvor lang tid eleverne vil bruge på de forskellige sekvenser.

Undersøgelsen

I undersøgelsen interviewede jeg en anden lærer der også underviste efter Marsbasen, jeg lavede fokusgruppeinterview med fire elever fra min egen klasse og som supplement til disse interviews, har jeg brugt mine egne refleksioner, som jeg har lavet løbende.

Fokus i begge interviews var, at få respondenter til at forholde sig til de roller de påtog sig i arbejdet med Marsbasen. I det følgende vil jeg kort præsentere dele fra undersøgelsen og de vigtigste pointer der kom frem.

Scenen som motivation og ramme for læring

Eleverne fremhævede, at Marsbasen gav en anledning til, at relatere det de lærer til noget virkeligt, at der er et formål med at lære. Det blev sagt, at når man arbejder med Marsbasen:

"så er det hele ikke så tungt, fordi det er spændende. Der er ikke så meget tavle og opgaver ... vi lærer på en sjov måde, hvor det er spændende og svært, men også sjovt".

Marsbasens narrativ bliver en del af elevernes repertoire når de skal genkalde sig hvad de har lært:

"Vi har haft om bølger - ja hvad var det lige det gik ud på? Nå, det var det der med, at noget eksploderede og der faldt en sten ned ved siden

af basen. . . ja nu kan jeg huske det.”.

Eleverne har oplevet historien i spillet som en ramme, hvor de faglige begreber blev hængt på situationer og problemer. Der har også været kontinuitet i arbejdsformerne – hvor den meget induktive tilgang har udviklet den måde en elev tænker fysik på:

“Alle de her ting vi har skullet gøre i Marsbasen – altså for mig har det ændret min måde at tænke på. Og det er sådan, de her historier, de opgaver vi har skullet finde ud af – uden jeg lægger mærke til det så begynder jeg at tænke meget fysisk og begynder at overveje alle de her ting. Så på en måde er det fysik, et opgaveark – men forklædt som et mordmysterie – det er en ret fed undervisningsmetode.”

Læreren beskriver hvordan historien i Marsbasen gav eleverne en indre motivation og lyst til at lære:

“Vi skal bruge det. Vi skal bruge viden om smeltevarme og potentiel energi fordi vi skal løfte is op fra det her krater og smelte det til noget vand. Det er noget helt konkret, som de rent faktisk kan forstå, jamen ok, vi skal skaffe noget drikkevand – det giver mening – og så bruger de fysikken til at finde ud af det. Det synes jeg er meget fedt, i stedet for – her er der smeltevarme – who cares? – is smelter til vand, ja det ved vi jo godt.”

Flere elever fremhævede, at de ikke helt følte sig som almindelige elever, men mere som efterskolelever, eller som nogle der er på ekskursion.

Lærerens rolle

Lærerens begejstring bliver fremhævet som en vigtig del af, at lykkes med Marsbasen. Både elever og lærer nævner, at engagement avler engagement, og her menes, at lærerens engagement avler elevernes. En elev nævner hvordan lærerens engagement kan være et udtryk for “at gide” eleverne, altså en måde at vise eleverne, at man vil dem:

“Jeg kan huske det første modul – I skal være klar til vi lander på Mars. Altså, og det der med, at du også er motiveret og er lige så motiveret for historien som vi er, det er et kæmpe signal til os om, at du gider os lige så meget som vi gider dig og jeg tror jeg har lært meget mere end hvis jeg havde en lærer der ikke levede sig så meget ind i det.”

Det kan være svært at være lige entusiastisk altid – læreren beskriver hvordan det nogle gange er svært, at stille med den samme grad af engagement og salgstaler til alle moduler. Det er udmattende.

På spørgsmålet om hvem læreren er, beskrev eleverne, at læreren er “Mission control-agtig”, “lommeregneren der har svaret” og “den alvidende fortæller”. Læreren opfattes altså, af eleverne, som en del af Marsbasens system og fortælling.

Derfor er det også nødvendigt at læreren har forberedt sig på alle dele af spilgangen og ikke bliver for overrasket over forskellige udfald og problemstillinger. Det er umuligt, at forberede sig på alle udfald når

undervisningen køres på en overvejende induktiv måde.

De overvejelser man normalt gør sig inden undervisningen, er udliciteret til et spil. Rækkefølgen af undervisningens sekvenser plejer at være nøje udvalgt og begrundet gennem en indre dialog, eller jongleret på stedet i klasselokalet af læreren. Nu bliver det en ekstra dimension af forberedelsen til de enkelte moduler, at stille skarpt på meningen med den måde spillet sekvenserer modulet på.

Spillet er på en måde en myndighed i klasseværelset. Spillet evaluerer eleverne i nogle opgaver, og spillet giver instruktioner til øvelser. Derfor har læreren ikke kun udliciteret sin rolle som den der planlægger modulets sekvenser, læreren har også givet noget af den myndighed, man normalt er alene om at forvalte, til et spil. Det er til tider frustrerende og forvirrende! Det kan dog forventes, at dette forhold vil skifte når det ikke er første gang man spiller spillet med en klasse - at det i højere grad bliver læreren der styrer spillet end spillet der styrer læreren.

Diskussion og refleksion

En udfordring med Fysik C - faget er, at det løber over forholdsvis kort tid på de skoler hvor man har Fysik C i 1g. Grundforløbet udgør ca. en fjerdedel af den tid man har, og derfor er der allerede fokus på eksamen når man starter et hold op efter grundforløbet. Dermed bliver elevernes meningsforhandling præget af en ydre motivation, der handler om at få en god karakter til eksamen. Det kan derfor være svært i et fag, som Fysik C, at få skabt en indre motivation hos eleverne. Undersøgelsen i denne opgave bekræfter at Marsbasen på flere måder lykkes med dette. Uden at lave en fuldstændig en-til-en analyse af alle begreber i CARTAGO-modellen (Dolin et al, 2020), vil jeg fremhæve nogle temaer hvor Marsbasens opbygning og principper lykkes med at stimulere elevernes motivation.

For det første er Marsbasen et spil, et spil hvor der er en vinder. Konkurrence-elementer kan give visse elevtyper denne ydre motivation - de vil gerne vinde. Et andet aspekt knytter sig til scenariedidaktik. Det handler om, at når vi spiller Marsbasen i alle fysik-timerne, så er elever måske mere nogle unge mennesker der spiller Marsbasen, og måske mindre nogle elever i gymnasiet der har fysik på c-niveau. De spiller en rolle, der åbner op for andre muligheder for handling. De beskriver, at arbejdet med Marsbasen føles som at være på ekskursion. Flere af de problemer eleverne skal løse på Marsbasen, er rigtige problemer, som videnskaben forsøger at finde gode løsninger på. Andre problemer handler netop om de teknologier der allerede kører rundt på Mars, som led i de missioner der foregår netop nu. Derfor bliver Marsbasen en fænomenologisk scene der kobler pensum i Fysik C til den konkrete verden eleverne befinder sig i.

Eleverne skal forestille sig, at de befinder sig på Mars, og netop den scene, så langt væk fra alt de kender, er et virkelig godt valg. Her er ingen spørgsmål dumme spørgsmål, fordi alt er utrolig anderledes.

Dette aspekt styrker elevernes nysgerrighed på verden og indre motivation for faget. Dermed bliver fokus på fysikken også forstærket, fordi vi kan bruge fysikken til at beskrive den anderledeshed der er på Mars i forhold til Jorden.

Marsbasen er opbygget i en problemløsningsbaseret ramme og derfor er undervisningen ikke (særlig tit) en tavlegennemgang. Dette medvirker til et miljø i klassen hvor alle elever er lige. Der bliver ikke brugt så meget tid på den situation, hvor nogle kan svare på et spørgsmål, og andre ikke kan – dermed er der et miljø hvor man ikke skal vise sig – men lære og forstå. Dette beskrives dog også som udfordrende for læreren, da der kan opstå mange uventede situationer. Derfor kræver det en vis portion mod fra lærerens side, at kaste sig ud i Marsbasen.

En modig lærer

Når man underviser efter et spil, bliver noget af den myndighed læreren normalt har i klassen, overdraget til spillet. Læreren er stadig i klassen og forvalter undervisningen, og bestemmer hvornår spillet tager over og hvornår noget skal fravælges. Dermed er det hele tiden læreren der er den øverste myndighed i undervisningen. Men i mange didaktiske situationer, er det spillet som undervisningen følger og spillet der bedømmer eleverne. Det er ikke en helt uvant opgave, at skulle sætte sig ind i andres tanker for, hvordan undervisningen skal didaktiseres. Det sker hele tiden når man vælger at bruge materiale man ikke selv er afsender på: bøger, elektroniske ressourcer og andet materiale som man bruger i undervisningen. Det der kræver mod når man vælger at undervise efter Marsbasen, er omfanget. Derfor kan man også vælge at springe missioner over, eller måske kun spille en enkelt.

Indlevelse og situeret mening

Når man bruger Marsbasen i undervisningen tilføjes et element af indlevelse i en faglig kontekst, som ikke findes i det traditionelle læringsrum. Når eleverne arbejder med Marsbasen, opstår en situeret mening, som bliver en ny rettesnor i læringsrummet. Denne form for transformation og nyfortolkning af læringsrummet nødvendiggør, at eleverne køber alibiet for spillet. De skal være med på den, kort sagt. De skal være med på, at lege, at de er kolonister på Mars. Læreren skal også være med på den og sælge historien og dramaet. Forhåbningen er, at eleverne vil bruge den situerede mening til, at tilegne sig fysikfaglige begreber og forstå fysikfaglige sammenhænge, fordi de skal løse problemer, som de forstår og relaterer til. I undersøgelsen blev det nævnt af en elev, at det faktisk er lykkedes i undervisningen med Marsbasen. Derfor kan det også tyde på, at arbejdet med Marsbasen, i en situeret kontekst, kan overkomme nogle af de transfer-problemer der normalt knytter sig til situeret læring. Det bliver dog understreget i (Erkman og Christensen, 2018) at elever har et tydeligt behov for hjælp og støtte når de skal gå fra egen udforskning til egen konstruktion. Marsbasen yder denne hjælp og støtte ved at bruge den naturvidenskabelige hypotese som et omdrejningspunkt for mange øvelser. Og også ved, at

2

bygge sekvenserne op over 6F - modellen, hvor forklar-fasen står for denne del af Kolbs læringscirkel. I denne fase arbejder eleverne med den konkrete oplevelse som konvergerer mod erkendelse og dermed viden, kompetencer, kendskab til begreber, kendskab til formler og sammenhænge, som elever kan bruge i en anden sammenhæng.

Men hvem er læreren?

Læreren skal derfor være modig og turde danse på kanten af boksen, læreren skal have tillid til eleverne og tro på, at de vil indleve sig i spillet og dermed faget. Læreren skal være spilmester og kende spillets syntaks og narrativ. Læreren skal have overblik over hvilke tangenter det er frugtbart, at gå ud af. Læreren skal være engageret og repræsentant for spillet. Læreren skal være garant for, at pensum nås, og endelig skal læreren sælge lidt ud af sin myndighed og vinde elevernes motivation.

Konklusion og perspektivering

I denne artikel beskrives det, at Marsbasen har gjort præcis det, den satte sig for:

At motivere eleverne. Spillet lykkes med at opsætte autentiske problemstillinger og oplevelser. Forskellige dele af spillet bliver beskrevet med høj indlevelse af eleverne.

I denne artikel har jeg undersøgt hvilken rolle læreren har, når der arbejdes med det scenariebaserede læringsspil Marsbasen. På baggrund af en lille undersøgelse, kan jeg konkludere at lærerens engagement for spillet er essentiel. Læreren bærer hermed et stort ansvar for elevernes indlevelse og tro på alibiet. Dette kræver, at læreren er med på hvilken vej spillet vil gå, og hvor det bliver både spændende i historien og svært rent fagligt for eleverne. Derfor er det en helt anden opgave at forberede sig til undervisningen end hvis det var en mere traditionel undervisning.

Når man vælger at spille et læringsspil giver man spillet en myndighed i undervisningen som er uvant for læreren, der kan opleve det som et tab af myndighed og tab af lærerrolle. Dermed sagt, så varetager læreren en anderledes lærerrolle. Denne rolle skal findes som en balance mellem forventninger fra læreplan, spillet og eleverne i klassen. Undersøgelsen peger på, at det ikke altid er lige let at finde denne balance. Så, Marsbasen er for de lærere der har mod på og lyst til, at danse på kanten af boksen.

* * *

Julie Hougard Overgaard underviser i fysik og matematik på Roskilde Gymnasium.

Litteratur

- A Bandura (2012), *Self-Efficacy: Kognition og Pædagogik*
- Steen Beck (2019), *Didaktisk tænkning på arbejde: en brugsbog til almenlitteratur på det gymnasiale pædagogikum*: Bogforlaget Frydenlund
- Jesper Bruun, Sanne Harder, Ida Viola Kalmark-Anders, Karen Alavi Voigt, og Viktor Holm-Janass (2022), *Marsbasen: Eksempler på alibi for undersøgelser i Fysik C i gymnasiet*: In press
- Jeppe Bundsgaard, Simon Skov Fougt, Thorkild Hanghøj, Vibeke Hetmar, og Morten Misfeldt (2017), *Hvad er scenariedidaktik?*: ISD LLC
- Jens Dolin, Gitte Ingerslev, og Hanne Sparholt Jørgensen (2020), *Gymnasiepædagogik: en grundbog. Vol. 4*: Hans Reitzels Forlag
- Malene Erkmann og Pernille Lomholt Christensen (2018), *Gamification: Læring gennem spil og konkurrence*: Samfundslitteratur
- Wenger Etienne (2008), *Praksisfællesskaber*: Hans Reitzels Forlag
- Thorkild Hanghøj (2019), *Digitale spil i undervisningen: Overblik over et broget landskab*: Læring og Medier (LOM) 21
- Anton E Lawson (2010), *Teaching inquiry science in middle and secondary Schools*: Sage
- Andreas Lieberoth og Thorkild Hanghøj (2019), *Digitale spil i undervisningen: fra hurtig motivation til meningsfuld læring*: Asterisk 90, pp. 18-21
- Lene Møller Madsen, Robert Evans, og Jesper Bruun (2020), *Undersøgelserbaseret undervisning: 6F-modellen-dens tilblivelse og udvikling i Danmark*: MONA-Matematik-og Naturfagsdidaktik, pp. 19-19
- Morten Misfeldt og Thorkild Hanghøj (2016), *Spildidaktik - når indhold og aktivitet smelter sammen*: Kvan-et tidsskrift for læreruddannelsen og folkeskolen 36.104, pp. 104-116
- Karen Richter Hansen (2020), *Ode til ungdommen*: Tidsskriftet Gymnasieskolen
- Lilli Zeuner (2007), Steen Beck, Lars Frode Frederiksen, og Michael Paulsen. *Lærerroller i praksis*: Institut for Filosofi, Pædagogik og Religionsstudier, Syddansk Universitet

Forvirring og hverdagsforestillinger i fysik

Af Kasper Munch Pedersen



Jo længere i uddannelsessystemet en studerende når, desto mere selvstændighed og initiativ forventes og kræves af den studerende selv. Denne overgang mærkes markant ved overgangen fra grundskole til ungdomsuddannelse og kan forsinkes når frygten for fejl og forvirring holder de studerende tilbage.

I denne artikel vil jeg vise hvordan forvirring og fejl er fundamentale aspekter af læring i fysikfaget og især i nedbrydningen af de ofte udtalte og ubevidste hverdagsforestillinger som eleverne har med sig ind i fysiklokalet. Jeg undersøger nogle mulige veje at gå som underviser og elev på vejen mod at acceptere og inddrage forvirring og fejl som en del af læreprocessen.

Introduktion

Artiklen baserer sig på erfaringer fra et to-årigt fysik B-hold i STX med klassen 1y. Eleverne udfyldte et anonymt spørgeskema, der gav anledning til at vise deres syn på faget, dem selv og deres forventninger til samme. Et spørgsmål af særlig interesse for denne artikel ses i figur 1.

4. Har du oplevet, at du holdt dig tilbage i en time, fordi du var bange for at begå fejl (foran læreren, foran kammerater fx)?
- 12/32 **A** Ja, ofte
 - 11/32 **B** Ja, af og til
 - 8/32 **C** Ja, men sjældent
 - 1/32 **D** Nej, aldrig

Figur 1.

Det fremgår, at alle på nær én i klassen har oplevet at holde igen i undervisningen og ca. 2/3 af klassen har oplevet det af og til eller ofte. Interessen for elevernes syn på fejl baserer sig på tidligere erfaringer fra min egen fysikundervisning, hvor jeg ofte har oplevet at mine ele-

ver ikke er glade for at være usikre og at lave fejl. De to ting går hånd i hånd – når vi er usikre er vi på kanten af hvad vi kan finde ud af og hvad vi ved, og det er derfor også her vi laver mange fejl. Listen af eksempler er lang, men det er særligt tydeligt ved mundtlige præsentationer, som elever ofte helst undgår og i hvert fald hurtigt vil væk fra. Uddybende spørgsmål fra lærerens side mødes ofte af "det ved jeg ikke!" uden antræk til omtanke eller nysgerrighed. Det samme kan jeg opleve i selvstændigt arbejde i undervisningen, hvor elever sommetider sidder hjælpeløst og venter på at læreren kommer med frelse eller i det mindste facit. Det synes at alene mødet med det svære – for nogle – er bremseklossen, der fortæller dem, at al handling herfra er forgæves. At læse forfra i kapitlet, finde andre eksempler på løsninger, læse gamle noter igennem, sidde og stirre på opgaven eller ud i den blå luft i håb om inspiration, synes meningsløst i mødet med udfordringen. Mødet med forvirringen. Ofte reagerer eleverne der ventede hjælpeløst eller flygtede fra tavlen med et udsagn i stil med "er det bare sådan?!", når de får et tip eller ser en løsning. Da står det klart for både dem og mig, at denne løsning ikke var så langt fra, eller endda indenfor, deres evners rækkevidde.

Det er tydeligt at elever og læreres ofte forskellige syn på betydningen af fejl og forvirring kan stå i vejen for læring og udvikling hos eleven. Der kan derfor også være stor forskel på, hvordan elever og lærere oplever samme undervisningssituation, og hvordan elever reagerer på det. Det er nødvendigt for læreren at sætte sig ind i elevernes synspunkt, og det er nødvendigt at sætte eleverne ind i lærerens synspunkt samt forskningen og erfaringerne inden for emnet.

I det følgende vil jeg uddybe argumentet for betydningen af fejl i fysikundervisningen. Herefter vil jeg præsentere og begrunde, hvordan vi arbejdede med perspektivet på fejl på vores fysikhold. Slutteligt vil jeg se på, hvilken effekt arbejdet resulterede i og diskutere betydninger og begrænsninger.

Forvirring og fejl er trædesten i fysikkens læreproces

Motivationen for denne artikel rækker ud over egne personlige erfaringer og mine elever. Katznelson & Louw fandt i sine undersøgelser, at hix- og stx-elever "har en overvejende strategisk og instrumentel tilgang til læring og undervisning" (2018, s. 126). Det giver en angst for at fejle af frygt for lærerens karaktergivning, som for mange elever altså er målet. Katznelson & Louw skriver dette ind i et større billede af en præstationskultur, som bl.a. har den bagside, at elever (ifølge eget udsagn) fokuserer mindre på dybdegående læring og mere på, hvad læreren vil have dem til at sige (2018, s. 139-141). Som led i at mindske presset og forbedre både læring og trivsel er det muligvis én vej at italesætte betydningen af ufuldkommenhed i skolen og give plads og mod til at fejle og dygtiggøre sig i fagene (Katznelson & Louw, 2018, s. 145). Iflg. Katznelson & Louw er det mest relevant i fag, der præges af at være såkaldte "facit-fag" (2018, s. 136) eller i hvert fald opfattes

således af eleverne. Fysikfaget falder i denne kategori hvilket muligvis er bidragende til at danske unge – som ellers er generelt glade for at gå i skole – er blandt dem der bryder sig allermindst om fysik i 15-årsalderen (Krogh & Andersen, 2016, s. 163-164). Selvom jeg og flere kolleger nok er uenige i denne kategorisering af fysik som et primært 'stoforienteret', lærerstyret fag domineret af såkaldt *konvergent læring*, ses den endnu blandt hoveddelen af fysiklærere i gymnasiet (Krogh & Andersen, 2016, s. 159) og også i moderne didaktisk litteratur (Beck, Kaspersen & Paulsen, 2014, side 311).

Men er det ikke okay, at man ikke vil lave fejl? Er det ikke i orden at man foretrækker klarhed frem for forvirring? Er klarhed i sidste ende ikke målet med undervisning? Jo, i højere grad end forvirring i hvert fald, vil de fleste nok være enige om. Men frygten for at begå fejl leder til elevstrategier om at holde igen, når man er usikker, og forsøge at afkode lærerens ønskede elevadfærd. Denne læringsstrategi er behavioristisk, hvor en forudbestemt adfærd skal overføres til den lærende. Læringen er fundet sted, når eleven udviser en bestemt adfærd som reaktion på bestemte stimuli, som fx at formulere Newtons love korrekt, når eleven spørges hertil. Men behavioristisk læring og de dertil hørende undervisningsformer har begrænset effekt og er nok bedst egnet til indlæring af fakta og simple procedurer (Beck, 2019, s. 280-281).

John Dewey er en af de læringsteoretikere der undsiger behaviorismens læringssyn. For Dewey er skolens opgave at skabe "handlekompetente mennesker" (Beck, Kaspersen & Paulsen, 2014, s. 293). Det indebærer en læringsproces, som ansøres og antændes af et problem, der giver anledning til "perpleksitet, forvirring og tvivl". Disse problemer skal løses og forstås gennem elevens egen handling og *refleksive tænkning*, som han under et betegner elevernes *erfaringslæring* (Beck, Kaspersen & Paulsen, 2014, s. 296-297). Her fremtoner betydningen af forvirring og den tilhørende usikkerhed i læringsprocesser. Piaget er en anden læringsteoretiker, der selv arbejdede naturvidenskabeligt, gjorde sine undersøgelser på naturvidenskabelig læring og (måske derfor) ofte anvendes til inspiration i naturvidenskabelig didaktik (Krogh & Andersen, 2016, s. 38). Hos Piaget er læring - og udvikling i det hele taget - en kontinuerlig ligevægtsproces, det vil sige individets aktive stræben efter en ligevægtstilstand (Piaget, 2012, s. 230-231). Det der bibringer uligevægten, er mødet mellem en indre verden - elevens forståelse - og oplevelsen af den ydre verden, der ikke passer sammen ved første øjekast. Her er der to muligheder, for det første kan det ydre tilpasses det indre, det vil sige, at oplevelsen af den ydre verden forklares ud fra eksisterende forståelsesstrukturer i elevens verden - assimilation. Den anden mulighed er, at de indre strukturer, elevens (delvise) verdensbillede, må forkastes og fornys for at begribe den ydre verden - akkommodation (Piaget, 2012, s. 231). Akkommodation er den førnævnte forvirrende oplevelse, en såkaldt *kognitiv konflikt*, hvor egentlig læring finder sted fordi den indre verden må revideres (Krogh & Andersen, 2016, s. 39). Denne tilstand af kognitiv konflikt er ikke rar at være i, og hos både Dewey (Beck, Kas-

persen & Paulsen, 2014, s. 298) og Piaget (Krogh & Andersen, 2016, s. 39 samt Piaget, 2012, s. 231) er netop ønsket om at finde frem til en ligevægtstilstand motivationen for elevens aktivitet. Som hos Dewey er det nemlig også centralt for Piaget, at den ydre forstyrrelse "kun kan udlignes ved hjælp af individets aktivitet. Til en maksimal ligevægt svarer altså ikke en hviletilstand, men tværtimod individets maksimale aktivitet" (Piaget, 2012, s. 229). Krogh & Andersen pointerer dog at mange senere motivationsforskere har betvivlet at oplevelsen af kognitiv konflikt er motiverende for de fleste elever (2016, s. 39). Selv har jeg også langt oftere set elever vige tilbage for en opgave snarere end at kaste sig over den, når den var forvirrende og frustrerende. Blandt de tvivlende skrev Lipson i 1990, ansat ved Harvard University, essayet *Learning – a momentary stay against confusion*, som i direkte tråd med Piaget underbygger, at forvirring er en hjørnesteen i læring, men også en ubehagelig tilstand at være i. Snarere end kognitiv konflikt bruger Lipson begrebet *kognitivt dilemma*. Dilemmaet består i, at eleven kan vælge at opgive den trygge havn, som den eksisterende forståelse er – eller slet og ret fornægte eller fordreje den ydre oplevelse, der var ophav til forvirringen (1990, s. 8-9). Lipson fremhæver dog samtidig en vej frem ved, at den blotte metabevisthed om læringsprocessens indbyggede forvirring er en trøst og motivation for den studerende til at vælge at stå fast i den ubehagelige følelse (1990, s. 11).

Hverdagsforestillinger

Selvom identificeringen og nedbrydningen af hverdagsforestillinger og -antagelser formodentlig spiller en rolle i al læring (Kolb, 2012, s. 320), er der en overvældende mængde didaktisk litteratur indenfor naturvidenskab og fysik især, der betoner dette som et kardinalpunkt for fysikundervisningen (bl.a. Krogh & Andersen, 2016; Muller, 2008; Angell, 2011 og Nielsen, 2014). Nielsen (2014) forklarer hvordan hverdagsforestillinger om fysiske forklaringer er sejlivede og svære at gøre op med. De repræsenterer Piagets indre strukturer hos eleven, og i naturvidenskab især synes det altså at være en særlig solid struktur fra hverdagserfaring, som gør at elever enten assimilerer nye oplevelser ind i denne hverdagsforståelse (og dermed misfortolker lærerens pointer) eller (mere eller mindre bevidst) *parallelindlærer* det nye faglige stof. Således kan en elev gengive lærerens eller bogens korrekte definitioner og sågar forklaringer, men bagefter komme til kort og falde tilbage på den oprindelige, forkerte hverdagsforestilling, når fagets viden skal bruges til at forklare og analysere virkelige begivenheder (Nielsen, 2014, s. 1-3 og 7).

Muller (2008) viste, hvordan en undervisningsvideo, der tog afsæt i typiske misforståelser omkring Newtons love gav bedre testresultater for førsteårs universitetsstuderende end en mere traditionel undervisningsvideo, der forklarede Newtons love i klare og pædagogiske vendinger. Den første gruppe, der fik videoen med misforståelserne, fandt den mere forvirrende

Hverdagsforestillinger i fysik kan sagtens gøre sig gældende, selv om fysikken arbejder med noget langt fra hverdagen. De kan fx stamme fra sammenligning med egne erfaringer i hverdagen:

"Det bliver sommer fordi vi kommer tættere på Solen"

De kan også komme fra udsagn, som vi ofte hører gentaget:

"Varme stiger op og kulde synker ned"

Film og bøger kan også give os forkerte forestillinger, om alt fra rekyll til rumfart:

"Der er ingen tyngdekraft uden for atmosfæren" eller "Hvis der går hul på et rumskib, vil ens blod koge og man enten eksploderer eller fryser ihjel på et øjeblik"

og mere *mentalt krævende* end den anden gruppe med den traditionelle undervisningsvideo. Og meget bemærkelsesværdigt, så rapporterede den første gruppe også selv det opfattede læringsudbytte som mindre, sammenlignet med det den anden gruppe rapporterede. Men gruppen med den mere krævende og forvirrende video klarede sig ikke desto mindre signifikant og væsentligt bedre end den anden gruppe i testen. Mullers undersøgelse viser at det er forvirrende og krævende, når hverdagsforestillinger udfordres og skal opgives. Og eleven kan ikke altid se meningen i eller udbyttet fra denne proces uden lærerens hjælp.

Den naturvidenskabelige metode

Jeg vil ikke her introducere den naturvidenskabelige metode i sin normale repræsentation, men kun fremhæve lidt af det supplement som bliver givet i teksten *How Science Works* fra The University of California Museum of Paleontology, Berkeley, og Regents of the University of California (2012). I teksten argumenteres for at naturvidenskabeligt arbejde i den virkelige verden foregår i en kontinuerligt reviderende proces mellem idé og eksperiment, afvejelser omkring arbejdets formål og interaktion med andre dele af det naturvidenskabelige miljø. Centralt i dette arbejde står villigheden til at kæmpe hårdt for sine idéer og stå igennem udfordringer *sammen* med villigheden til at begå og indrømme fejl. Endvidere understreges kreativitetens rolle i naturvidenskabeligt arbejde som skarp kontrast til den tidligere omtalte elev- og læreropfattelse af at naturvidenskab på behavioristisk vis handler om at afkode og udføre lærerens ønskede adfærd eller gentage et forsøg for at få et ønsket resultat. Denne måde hvorpå naturvidenskab *virkelig* foregår trænger ikke ind i klasselokalet, når eleven tror, at man *skal* nå frem til et vist resultat eller adfærd, og at forvirring og fejl er symptomer på, at man er på afveje snarere end på rette vej.

Intervention

I det foregående afsnit redegjorde jeg for at forvirring og fejl er en del af fundamentet for faglig udvikling i fysik. 1y og jeg gennemførte på denne baggrund en intervention, der havde som formål at vise eleverne netop dette syn på fejl. Præmissen var at sommetider er fejl ganske vist et uventet skridt i den rigtige retning (som når man ved en fejl gør en ny opdagelse) men langt størstedelen af tiden er fejl simpelthen bare fejl – et uønsket og uhensigtsmæssigt produkt af en proces, der havde et andet mål. Så vi kaldte en spade for en spade. Fejl findes, det ved vi alle og de er ikke sjove at begå. Fejl er noget vi med rette gør vores bedste for at undgå ved at gøre os umage – men på trods af det, er fejl ikke negative og de er også uundgåelige, hvis vi ønsker at dygtiggøre os og at udvikle os.

Interventionen tog afsæt et ganske andet sted end i fysikundervisningen, nemlig i baseball. Det skulle tjene som en neutral ramme, hvorfra eleverne havde færre erfaringer og forestillinger om dem selv og var mere åbne for budskabet. Samtidig er det mere spektakulært end at snakke om fejl i undervisningen. Med klassen som heppende publi-

Home runs og strikeouts i baseball

De 10 spillere der gennem tiden har slået flest home runs har slået mange flere strikeouts:

Spiller	Antal home runs	Antal strikeouts
Barry Bonds	762	1539
Hank Aaron	755	1383
Babe Ruth	714	1330
Alex Rodriguez*	696	2287
Willie Mays	660	1526
Albert Pujols	646	1246
Ken Griffey Jr.	630	1779
Jim Thorne*	612	2548
Sammy Sosa*	609	2306
Frank Robinson	586	1532

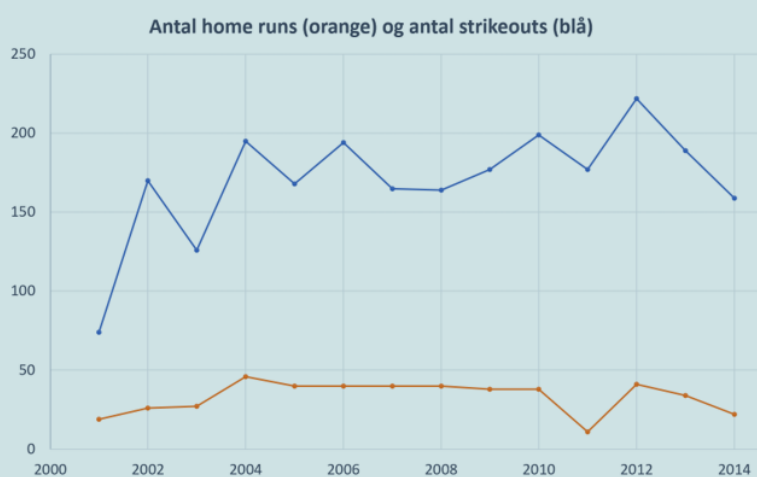
Så de meget succesfulde begår altså mange flere fejl end succeser. Så vidt så godt, men den modsatte top 10 er måske endnu mere interessant; de 10 spillere der gennem tiden har slået allerflest strikeouts:

Spiller	Antal strikeouts	Antal home runs (placering)
Reggie Jackson	2597	563 (#14)
Jim Thorne*	2548	612 (#8)
Adam Dunn	2379	462 (#37)
Sammy Sosa*	2306	609 (#9)
Alex Rodriguez*	2287	696 (#4)
Andrés Galarraga	2003	399 (#57)
José Canseco	1942	462 (#37)
Willie Stargell	1936	475 (#31)
Mike Cameron	1901	278 (#181)
Mike Schmidt	1883	548 (#16)

De mest fejlende battere gennem tiden er samtidig nogle af de mest succesfulde målt på home runs. Tre spillere (*) går igen på begge lister endda. Nu er der meget mere ved baseball end home runs, men de 10 strikeout-førere har alle en lang liste af yderligere imponerende meritter fra deres karrierer, som jeg har udeladt her.

Figur 2. Dataene er hentet i 2019.

Strikeouts og home runs igennem Adam Dunns karriere



Figur 3.

kum illustrerede jeg den berømte *home run*, da jeg med bat og bold lavede en *home run* i fysiklokalet. I den anden ende af spektret er der *strikeout*, når batteren misser bolden i alle sine tre forsøg (tre *strikes*), den mest graverende fejl man kan begå foran titusinder af brølende og betalende fans og måske millioner hjemme bag tv-skærmene. Der er ingen tvivl om, at enhver batter hader at lave strike endsi-ge *strikeout*! Men på trods af visheden om, at der vil komme flere *strikeouts* end *home runs* (figur 2) så bliver spillerne uforknytt ved.

Faktisk så er de mest succesfulde battere nogle af de mest fejl-lende og de mest fejlende battere er nogle af de mest succesfulde.

Fejlene bliver endda heller ikke færre med tiden, for dem som vil blive ved med at være i toppen af spillet (figur 3).

Efter dette forlod vi sportens verden og tog udgangspunkt i eksempler fra naturvidenskaben, særligt historien bag Thomas Edisons (og kol-legers) succés med den kommercielt anvendelige elektriske glødepæ-re. Den var et resultat af talløse eksperimenter, som slog fejl. Thomas Edisons syn på de mange fejlslagne forsøg er indkapslet i dette citat:

I have not failed. I've just found 10,000 ways that won't work.

Selvom forskellige kilder er uenige om det faktiske antal fejlslagne forsøg, der gik forud for deres endelige udgave af glødepæren, så er de fleste enige om, at tallet tælles i tusinder. Men det vigtige her er synet på fejl. Fejl er blot tilgange, der ikke virker, og vi ved ikke om de virker, før vi har forsøgt. Vores egen Niels Bohr citeres li-geledes ofte for at sige at "*en ekspert er en person, som har begået alle de fejl, som det er muligt at begå inden for et begrænset område*". Med et syn på fejl som det Edison og Bohr advokerer, vil det tossede ikke være at begå fejl – det tossede vil være ikke straks at komme i gang med at lave fejlene, så vi til sidst kan være sikre på, hvad der vir-ker.

I forlængelse af interventionen startede vi et nyt forløb om kræfter og Newtons love. Emnet var valgt for at give mulighed for at lave mange fejl, da det er et emne, der er præget af mange sanseligt funderede hverdagsopfattelser, som er forkerte fra et fysisk synspunkt (Krogh & Andersen, 2016, s. 50). Det viste sig at stemme i ly også, som det bl.a. fremgår af figur 4, der var en del af en quiz i undervisningen. Elever-ne skulle også optage en video af dem selv, hvor de skulle diskutere typiske misforståelser inden for emnet. Den opgave var netop valgt fordi mange elever giver udtryk for at det kan være lidt skræmmende og svært at lave en videooptagelse af sig selv især når emnet er svært. Det skulle give dem mulighed for netop at risikere fejl og møde ubeha-gelige følelser som forvirring og frustration og anvende interventio-nens pointer som hjælp i situationen.

4. Amanda kaster en basketball mod kurven. Efter hun har sluppet den er den samlede kraft på bolden...
- 0/16 **A** konstant og nedadrettet
 - 0/16 **B** konstant og opadrettet
 - 10/16 **C** Opadrettet indtil bolden når sin tophøjde og derefter nedadrettet
 - 0/16 **D** Nul
 - 0/16 **E** Der er ingen kræfter
 - 2/16 **F** Nedadrettet og voksende
 - 2/16 **G** Nedadrettet og aftagende
 - 2/16 **H** Konstant i boldens bevægelsesretning

Figur 4. Eleverne diskuterede og svarede i par og det korrekte svar er 'A' markeret med grønt. Spørgsmålet er inspireret af den test, som Muller (2008) brugte i sit tidligere omtalte forsøg.

Forløbet gav desuden rig mulighed for at fejle både ved tavlen foran klassen, i par og i eksperimentelle forsøg. Når det skete, sagde vi "nu er jeg et skridt/en fejl tættere på at ... forstå Newtons 1. lov/kunne vurdere fejlkilder i dette forsøg/kunne løse ligninger hvor x står i nævneren osv.", som er en omskrivning af disse ord fra Babe Ruth, en af de mest berømte baseballspillere og nummer 3 på listen over flest home runs nogensinde:

Every strike brings me closer to the next homerun.

Ca. en uge inde i forløbet havde vi en opfølgning på og uddybning af præsentationens pointer. Herefter gav eleverne feedback på interventionen med fokus på deres oplevelse af både interventionen og den efterfølgende undervisning. Feedback blev givet i et anonymt spørgeskema.

Elevfeedback

Elevcitater er i kursiv og uden afsender, da hverken navn eller køn er kendt. Citaterne er bevaret i deres originale form og stavning.

74% af eleverne svarede, at det havde ændret deres syn på at lave fejl i en positiv retning. Af de resterende 26% svarede de fleste, at de allerede havde samme syn på fejl. Ingen fandt interventionen negativ eller som tidsspilde, men en enkelt elev syntes, at det havde fyldt for meget.

Ja, det har det [ændret synet på fejl]. Ikke bare i fysik men også i andre fag, er jeg begyndt at udnytte fejl til min fordel. Jeg synes det

har været en fed måde at få lært accept omkring det at lære fejl, fordi det er noget vi alle sammen gør, og det burde ikke være noget, man er bange for at lave.

Eleven har kunnet bruge interventionen positivt ved, at fejl er blevet en mere accepteret del af arbejdet i skolefagene. Dette går igen hos flere af eleverne, mens nogle også påpeger, at det har hjulpet lige nu, men at de nok skal have det genopfrisket jævnligt for at holde modet oppe. De konkrete eksempler fra interventionen samt lærerens udklædning og indlevelse i interventionen fremhæves af flere. Det ses fx i disse citater:

Jeg synes det var sygt hyggeligt. Det er et vigtigt budskab jeg i hvertfald her det meget svært ved, så det hjalp en del. Jeg kunne godt lide engagementet i at klæde dig lidt ud i forhold til baseball, men det gav også en lidt sjov og hyggelig stemning så det ikke var så svært at snakke om og gjorde ligesom rummet mere åbent og sikkert, da der kommer denne positive og lidt fjollede stemning.

Det har bestemt ændret mit syn på det at lave fejl, fordi jeg altid bare har fået afvide at "det okay at lave fejl" men aldrig fået konkrete eksempler på hvor man rent faktisk kan se at det giver mening.

Udsagn som disse viser at skiftet i syn på fejl kan være afhængigt af at inspirationen er troværdig og konkret. Der er således forskel på 'lommelilosofiske' udsagn som 'det er okay at lave fejl' og så konkrete eksempler fra fx sport eller virkelige videnskabsfolk, der illustrerer sammenhængen mellem succes og fejl. Samtidig kan det gøre en positiv forskel, at læreren gør det med humor og ved at udlevere sig selv lidt i mens, for at skabe en åben og sikker stemning omkring den svære snak. For flere elever var det væsentlige i interventionen i det hele taget, at den kom fra deres lærer. Vi ser det her hos en elev, der turde lave flere fejl i fysik, men ikke i andre fag fordi eleven ikke mente, at andre lærere havde samme syn på sagen.

... jeg turde lave mere fejl i fysik [efter interventionen], dog ikke i andre fag da jeg ikke tror de andre lærer ser det på samme måde som dig...

Det bekræfter, som f.eks. Katznelson & Louw (2018) også fandt, at frygten for at fejle både kan være knyttet til specifikke fag men også specifikke lærere.

Vi burde lave det til et kursus som alle elever på Øregård og lærerne gik igennem. Jeg synes det er meget vigtigt at udbredde da det skaber et bedre læringsmiljø.

Udsagn som disse repræsenterer den entusiasme, der skinner igennem mange af besvarelserne. Der er her tale om et emne, som ligger eleverne på sinde og betyder meget. Men det er samtidig klart, at selv om de fleste af mine kolleger (i hvert fald alle, som jeg har diskuteret det med) deler synet på fejl som en nødvendig og vigtig komponent i læring, så tror eleverne ikke altid at lærerne tænker sådan. Det understreger nødvendigheden af at give lyd til både elever og læreres syn

på fejl for at skabe en frugtbar fejlkultur, som ikke bremser det gode læringsmiljø.

Begejstring eller ej, så er spørgsmålet nu om en sådan snak er *nok*? Ovenfor beskrev jeg at flere elever ikke vurderede at de ville kunne bruge det varigt, men noget tyder på at en sådan intervention kan være en start – 67% af eleverne sagde, at de havde anvendt det i praksis i løbet af den uge, som interventionen varede, de fleste i fysik, men nogle rapporterede også at have brugt det uden for fysik:

Jeg udnyttede teorien i dansk, da jeg ikke er så god til at stove, så i stedet for bare at give op, accepterede jeg at jeg lavede fejl, og så lærte jeg af mine fejltagelser.

Jeg føler at jeg har mere lyst til at række hånden op i timerne og svare på forskellige spørgsmål, med en bagtanke om at det er okay hvis jeg ikke svarer rigtigt. Jeg har generelt haft et 'blødere' syn på det at lave fejl.

Slutteligt konkluderer flere elever dog samtidig at denne intervention ikke var nogen magisk løsning, der permanent ændrede deres modvilje mod at fejle:

Jeg prøver at tænke på det når jeg sidder med svære opgaver, men jeg tror at det, i hvertfald for mig, desværre er meget lettere sagt end gjort.

... jeg har en tendens til at glemme videoernes pointer, når man skal lave en tidskrævende opgave. Alt i alt slog videoernes pointer igennem, men desværre kun i en kort periode.

Opsummering af elevernes feedback på interventionerne

En klar overvægt af elever oplevede, at det skubbede dem i en positiv retning ift. at håndtere frygten for fejl og forvirring. Mange uddybede, at de kunne eller allerede havde anvendt interventionernes budskaber i praksis. Samtidig var det ofte væsentligt, at det var læreren i det pågældende fag, der spredte budskabet, og at det blev gjort på en autentisk og illustrativ måde for at undgå floskler som eleverne har hørt mange gange før, men ikke tager til sig. Selv om interventionens budskab blev taget godt imod var det også klart, at det er noget som skal gentages og praktiseres igen og igen, da elever ellers langsomt mister motivationen og modet til at begå fejl.

Diskussion og perspektivering af undersøgelsens fund

Affektiv self-efficacy

Self-efficacy er troen på at man kan klare den udfordring som man står over for (Bandura, 2012, s. 207). Men faktisk har målet i denne intervention ikke været at give eleverne "passende udfordringer", hvilket ellers også er et vigtigt redskab i en god undervisning (Krogh & Andersen, 2017, s. 259). Målet har derimod været at netop udfordre eleverne lidt

over evne, der hvor de er udfordrede og laver mange fejl, men samtidig lære dem at mestre den følelsesmæssige side af dette. At blive i denne oplevelse af umiddelbar utilstrækkelighed. At håndtere den udfordring og frustration der følger. Med en tro på at man *med tiden* kan lære at klare den udfordring man står over for, vel vidende at det måske ikke bliver i dette modul eller endda i denne uge. Dette kalder Bandura også self-efficacy, men af de affektive processer: "Oplevet evne til at kontrollere tankeprocesser er en central faktor i forbindelse med reguleringen af tanker fremkaldt af stress og depression" (Bandura, 2012, s. 212). Jeg mener dog man skal være varsom med at tolke det som et mål at *kontrollere* følelserne selv, men snarere kontrollere *sig selv* i mødet med følelserne. Dette var netop et af fokuspunkterne i interventionen; at ubehagelige følelser ikke er negative og ikke som sådan skal tøjles eller håndteres, men snarere accepteres og bruges. Vi bør ikke indgyde et mekanisk fokus og syn på følelser og deres rolle, men anerkende at følelser har en vildskab i sig, der netop "skaber vitalitet og engagement: lidenskab, begæret, lysten og i sidste ende læringsmotivet" (Beck, 2017, s. 213). Med denne bevidsthed kan vi som undervisere hjælpe eleverne til ikke at ignorere, undertvinge eller frygte svære og ubehagelige følelser, men at anerkende dem som uundgåelige følgesvende, så længe vi vover forvirringen, vover det kognitive dilemma, vover at fejle.

Det sociale perspektiv og lærerens fejl

Denne undersøgelse og dens intervention har været rettet mod individets indre håndtering af omverdenen og sig selv. I psykoanalysens objektrelationsteoretiske syn er det vigtigste netop at arbejde med "elevers evne til at tåle modstand, konflikt og frustration uden at ty til paranoid-skizofrene forsvarsmekanismer" (Beck, 2017, s. 213). Det er dog vigtigt at dette ikke bliver det eneste fokus i arbejdet med faglig udvikling. Det kan i værste tilfælde ende med at eleven klandrer sig selv mere over ikke at lære fordi "jeg burde have et andet syn på fejl end jeg har". Det er ikke min mening at få hverken elev eller lærer til at påtage sig ansvaret for læring. Ansvaret for begge ligger i at gå ind i processen. Eleven har en opgave i at anerkende, acceptere og arbejde med sin indre proces, mens læreren i den grad har en opgave i at arbejde med etablering af et godt læringsmiljø, som elevernes feedback også viser. Men derfra må begge parter have *tillid* til den i grunden magiske proces som læring er. Den kan ikke gennemtvinges, og man kan ikke tage ansvar for den. Men den store indflydelse lærerens ord og handlinger har på elevernes opfattelse af dem selv og processen, minder os om at læring også er en social proces. Frygt for at blive vurderet i sociale sammenhænge er meget virkelig og ses også blandt elevernes svar som værende betydningsfuld. Endnu en faldgrube i *kun* at betone elevens indre verden i læringsprocessen er at eleven kan miste blik for de nuancer og den inspiration som klassekammerater giver. Lev Vygotsky er en af de betydningsfulde socialkonstruktivistiske læringssteoretikere, der fremhæver både sprog og praksis i den *sociale* kontekst som en afgørende brik for menneskelig udvikling (Haase, 2013). Vi bør også arbejde med og eksplicite fordelene af læring i et socialt

perspektiv sammen med eleverne. Tønnesvang understreger behovet for "samhørighed med ligesindede" og inklusion som et centralt psykologisk behov (Beck, 2017, s. 217). Ligesindede i denne artikels optik er f.eks. andre personer, der også fejler, som gør det nemmere for en selv at gøre det samme. En lærer kan bl.a. bidrage til følelsen af at læringsrummet er for ligesindede ved ikke at fremstå som ufejlbarlig selv. Det er også svært for lærere at indrømme og vise fejl men gevinsten kan være stor.

Læreren mod og elevernes motivation

Det kræver én form for mod af en lærer at være åben omkring sine egne fejl inden for det fag, hvor læreren betragtes som autoriteten af sine elever. Men det kræver en anden form for mod af læreren at kaste sine elever ud på forvirringens og frustrationens dybe vande for så at lade dem flyde der. Vi lærere ønsker ofte i bedste mening at hjælpe vores elever hurtigt, når de bliver frustrerede over en opgave. Ligeledes gør vi ofte vores bedste for at give klare, tydelige forklaringer eller opgaver, fordi det virker som det umiddelbart mest pædagogiske. Jeg har i denne artikel forsøgt at vise, at dette ofte er en illusion. At den klareste og mest "pædagogiske" forklaring faktisk ikke giver den dybeste læring – modsat hvad eleverne ofte selv vil sige. Denne viden kan hjælpe os lærere til en oplevelse af *self-efficacy*, selv når vores opgave sommetider kan være at skabe frustration. For det giver ikke altid glade elever og heller ikke altid god evaluering (diskrepansen mellem studerendes evaluering af et fag og dem selv på den ene side og deres faktiske præstation på den anden side har fyldig forskning bag sig og fortjener sin helt egen artikel). Men hvis vi kan fastholde eleverne og hjælpe dem til at komme igennem deres kognitive konflikter, så kan vi ikke kun skabe akkomodation og dybere læring i fysik. Vi kan også være med til at ændre elevens syn på fysikfaget og vi kan være med til at forme handlekompetente mennesker, der opsøger udfordring snarere end at afsky den.

Naturligvis skal der være tale om en balancegang, ikke al undervisning skal være krævende kognitivt, der skal ikke kun være forvirring og eleverne skal ikke kun fejle. Det vil tage modet fra enhver. Men det har sin uundgåelige plads i undervisningen, og derfor vil det være en gave for os alle, at vi sammen bliver bedre til at omfavne det. Og i flere af svarene fra 1.y var det netop en kilde til motivation i sig selv at turde lave flere fejl, og at sidde længere tid med ubehaget ved en udfordrende opgave, og "bare gøre det så godt man kan". At dette skaber motivation, går i tråd med tidligere motivationsforskning, se fx Krogh & Andersen (2017, s. 260-261) og Dolin & Kaspersen (2017, s. 184-185).

Fejl er stadig uønskede

Fejl er ikke sjove at begå, og artiklens budskab må ikke misforstås. Hensigten er ikke at glæde sig over fejl eller sjuske bevidst, fordi det er godt at fejle. Babe Ruth og Adam Dunn gjorde alt hvad de kunne for at vinde. De nød med garanti ikke deres strikes eller tabte kampe. Edison dansede næppe af glæde, når endnu en glødepære mislykkedes. Målet

er at lykkes, ikke at fejle. Men når vi gør alt hvad vi kan for at lykkes, for at lære, så bevæger vi os på kanten af vores evner og forståelse. Der skal fejlene nok komme helt af sig selv, og når de gør, er det op til os om vi vil lære af dem.

Konklusion

I denne artikel har jeg forsøgt at vise, hvorledes fejl og forvirring er hjørnesten i arbejdet med fysik, hvor den naturvidenskabelige metode drives frem af villigheden til at begå fejl og revidere sin viden på baggrund heraf. Fysikfaget er ydermere præget af en høj grad af hverdagsforestillinger hos eleverne, som kan være svære at nedbryde. Når disse forestillinger vakler i klasselokalet kan det være en forvirrende og ubehagelig oplevelse for eleven, der mere eller mindre bevidst kan assimilere den nye viden i en form for parallellæring frem for at akkommodere sin virkelighedsopfattelse.

At eksplicitere fejlenes baggrund og betydning med konkrete eksempler og afprøvning kan være en begyndelse til at hjælpe elever med at acceptere de fejl, som de begår og også lære af dem. Forståelsen af at fejl er en nødvendig og effektiv del af fysikkens læreproces gør dem meningsfulde og mere tålelige. Effekten kan være på tværs af fag, men effekten er også flygtig – nok fordi mange elever har haft et andet syn på fejl det meste af deres liv – og det er nødvendigt med en vedholdende indsats. Budskabet skal samtidig helst komme fra fagets egen lærer og på autentisk vis, for at eleverne tør tro på det fuldt.

* * *

Kasper Munch Pedersen underviser i fysik og idræt ved Øregård Gymnasium (STX).

Litteraturliste

- Angell, C. (2011). *Fysikdidaktikk*. Høyskoleforlaget.
- Bandura, A. (2012). *Self-Efficacy*. I: Kompendium til Teoretisk Pædagogikum 2020, Forår, SDU. Side 206-226.
- Beck, Kaspersen & Paulsen. (2014). *John Dewey – læring gennem erfaring*. I: Kompendium til Teoretisk Pædagogikum 2020, Forår. SDU. Side 292-311.
- Beck, S. (2017). *Læring og psykodynamik*. I: Gymnasiepædagogik – en grundbog. Dolin, J. , Ingerslev, G. , Jørgensen, H. Hanz Reitzels forlag. 3. udgave, København. Side 209-228.
- Beck, S. (2019). *Didaktisk tænkning på arbejde*. 1. udgave. Forlaget Frydenlund, Frederiksberg.
- Dolin, J. & Kaspersen, P. (2017). *Læringsteorier*. I: Gymnasiepædagogik – en grundbog. Dolin, J. , Ingerslev, G. , Jørgensen, H. Hanz Reitzels forlag. 3. udgave, København. Side 156-208.

- Haase, C. (2013). Vygotskys sociokulturelle læringsteori. I: Kompendium til Teoretisk Pædagogikum 2020, Forår. SDU. Side 259-278.
- Katznelson, N. & Louw, A. V. (2018). 'Præstationskulturens konsekvenser i for læringsrummet' og 'Anbefalinger' I Karakterbogen, læring og elevstrategier i en præstationskultur. I: Kompendium til Teoretisk Pædagogikum 2020, Forår. SDU. Side 125-145.
- Kolb, D. (2012). *Erfaringslæring - processen og det strukturelle grundlag*. I: Kompendium til Teoretisk Pædagogikum 2020, Forår. SDU. Side 313-328.
- Krogh, L. B. & Andersen, H. M. (2016). *Fagdidaktik i naturfag*. 1. udgave. Forlaget Frydenlund, Frederiksberg.
- Krogh, L.B & Andersen, H. B. (2017). *Motivation*. I: Gymnasiepædagogik - en grundbog. Dolin, J. , Ingerselv, G. , Jørgensen, H. Hanz Reitzels forlag. 3. udgave, København. Side 250-267.
- Lipson, A. (1990). *Learning - a momentary stay against confusion*. Harvard University. Lokaliseret 30. november 2023 på: commons.und.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1077&context=tl-nirp-journal
- Muller, D. A. (2008). *Designing Effective Multimedia for Physics Education*. Lokaliseret 30. november 2023 på: citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=aaa8151d0026f10291a7e6aea33ea9ed4d9a4209
- Nielsen, B.L. (2014). *Hverdagsforestillinger og naturfagsundervisning*. Lokaliseret 30. november 2023 på: www.ucviden.dk/da/publications/hverdagsforestillinger-og-naturfagsundervisning-2
- Piaget, J. (2012). *Ligevægtsbegrebets rolle i psykologien*. I: Kompendium til Teoretisk Pædagogikum 2020, Forår. SDU. Side 228-232.
- The University of California Museum of Paleontology, Berkeley, og Regents of the University of California. (2012). *How Science Works*. Lokaliseret 30. november 2023 på: undsci.berkeley.edu/understanding-science-101/how-science-works/

Motivations- og læringsmæssige gevinster ved multimodale elevproduktioner



Af Christina Hahowitz Elling

Jeg har udarbejdet denne artikel på baggrund af min teoretiske pædagogikumopgave fra 2021. Artiklen finder, at der er flere motivationsmæssige og læringsmæssige gevinster ved at eleverne udarbejder multimodale produkter, hvor skrift ikke har forrang. I stedet får andre modaliteter som eksempelvis figurer, billeder eller lyd lov til at dominere. De multimodale produkter kan f.eks. være i form af postere, der kan suppleres af videofremlæggelse eller mere kreative videoformater – i begge tilfælde produkter hvor eleverne i høj grad træner mundtlighed og formidlingsbevidsthed. Særligt for eleverne med fysik på C-niveau er det artiklens konklusion, at tilgangen skaber større læringsudbytte og motivation.

Introduktion

Fysik handler om virkeligheden og om verdenen omkring os. En nysgerrighed omkring naturfænomener og forklaring af disse har for en fysiker en selvfølgelighed over sig. Men for en gymnasieelev så er virkeligheden en lidt anden. Reformen fra 2017 har fået flere elever til at vælge naturvidenskabelige fag på B- og A-niveau. Hvor langt flere elever nu skal have fysik på C-niveau, så er der ikke entydig fremgang for antallet af elever, der vælger fysik på B- og A-niveau (Danske Gymnasier, 2021). Der har været og er stadig nogle motivationsmæssige udfordringer ved naturfagene og i særdeleshed ved fysik, der på trods af, at det beskæftiger sig med verdenen omkring sig, opleves som værende abstrakt og svært af eleverne (Krogh & Andersen, 2019: 163). For selvom videnskabsfaget beskriver fænomener i den fysiske virkelighed, så sker beskrivelsen med matematiske modeller og abstrakte begreber. Og *"Gjennem slike abstrakte generaliseringer fjerner vi oss paradoksalt nok fra de konkrete fenomenene vi beskriver i fysikken"* (Angell, 2011: 147). Derfor kræver det en indsats som lærer at sikre at elevens forståelse ikke forsvinder grundet abstraktionsniveauet, og at de er motiveret til at deltage i undervisningen. Det er da også et didaktisk princip i læreplanen, at *"Undervisningen tilrettelægges, så formålet med undervisningen er tydeligt for eleverne, og så eleverne motiveres til at arbejde med faget samtidig med, at deres nysgerrighed og kreativitet stimuleres."* (UVM, 2017b: 2).

Spørgsmålet er så, hvordan man efterlever de didaktiske principper i praksis. Hvordan man motiverer eleverne og stimulerer nysgerrighed, når en del elever ikke møder faget med en indre motivation og er en del af en præstationsorienteret ungdomskultur. I praksis er der måske nok en tendens til, at lærerne forfalder til, at eksperimenter gennemføres med afsæt i en vejledning, der reducerer eleverne til at følge en opskrift som bearbejdes med den klassiske fysikrapport - eller med lightudgaven i form af en journal.

Til opgaven i mit teoretiske pædagogikum valgte jeg derfor at undersøge, hvilke udfordringer og gevinster, der kunne være ved at udskifte den klassiske fysikrapport med andre multimodale elevprodukter.

Hvad er multimodalitet?

En modalitet er en udtryksform som f.eks. tekst, lyd, billede mv. (van Leeuwen, 2005: 281). Med multimodal forstås: "Multimodalitet er den sammenvævede, samspillende betydningsdannelse skabt af to eller flere modaliteter i en kommunikativ kontekst." (oversættelse af Elf, 2009: 105, l: Hansen, 2019: 16)

Det er altså ikke betydningen af den enkelte modalitet i sig selv, men den betydning der skabes, når modaliteter kombineres, der er væsentlig - og denne bliver til i en kommunikativ kontekst, dvs. en situation der indeholder en afsender og en modtager.

Multimodale produkter og det at udtrykke sig multimodalt er ikke en ny ting, da det at skabe produkter med mere end en modalitet til stede er typisk for f.eks. en planche eller en PowerPoint-præsentation. Med de øgede digitale og teknologiske muligheder er det også blevet langt nemmere at gå til. Siden 2017 har det været et krav, at elever i dansk lærer at 'udtrykke sig multimodalt' (UVM, 2017a: 1), men man finder ikke kravet i nogen andre fag. Men man kan alligevel sige, at i fysikfaget er der en indlejret multimodalitet. Her er det et krav, at elever skal kunne anvende og veksle mellem forskellige repræsentationsformer, og det er derfor almindeligt, at skriftlige produkter i fysik som f.eks. en journal eller en rapport udover skrift vil bestå af billeder, figurer, symboler og grafer. Skrift vil dog her være den dominerende modalitet, og derfor gik min undersøgelse på at undersøge udbyttet af eleveres multimodale produkter, hvor skrift ikke havde forrang. Dette er også helt problemfrit, når man orienterer sig i læreplanen for stx (afsnit 3.2), da der siden 2017 ikke har været eksplicit krav om skriftlighed og fordybelsestid ender ud i de traditionelle produktformer som journaler og rapporter (UVM, 2017b).

Klasserne og didaktisk design

Undersøgelsen fandt sted i en naturvidenskabelig 2g-klasse, der havde fysik på B-niveau som en del af deres studieretning og i en samfundsvidenskabelig 1g-klasse med fysik på C-niveau. Forløbene blev gennemført som virtuel undervisning grundet corona.

I 1g gennemførte jeg et undervisningsforløb om kosmologi, mens ele-

Produktkrav 2g

I skal lave en videnskabelig reportage som en video, hvor jeres projekt præsenteres.

Videoen skal have varighed af 7-14min. (afhængig af antal personer i gruppen)

I videoen skal I præsentere formål, teori, materialer, fremgangsmåde, resultater og diskussion af resultaterne - ligesom I kender det fra en fysikrapport. Men I skal være kreative i jeres formidling og tænke i flere kommunikative virkemidler (tekst, billeder, lyd, animation, formler, grafer, film etc.).

I skal være formidlingsbevidste og overveje, hvad der er det *særligt* vigtige i jeres projekt. Det skal være interessant for de andre at se jeres video.

Målgruppen er andre elever, der har fysik på B-niveau. I kan altså godt forvente, at de kan en del fysik, men de er selvfølgelig ikke eksperter på jeres område.

Bedømmelseskrav:

- Demonstrere at I kan planlægge og gennemføre et fysikfagligt projekt.
- At I kan formidle jeres projekt på en hensigtsmæssig måde i forhold til målgruppen.
- Det er et krav, at videoen indeholder levende billeder, dvs. at det ikke er OK blot at lave en screen cast af en PowerPoint.

verne i 2g havde et projektforsøg om et selvvalgt emne på 16 moduler á 55min., hvoraf de 14 af dem var virtuelle. Forsøget blev gennemført i foråret 2021. Projektforsøget kan beskrives ved tre faser; 1) Idegenerering, 2) Arbejde med valgt projekt med løbende vejledninger 3) Fremvisning og feedback.

I anden fase skulle grupper udover at sætte sig ind i relevant teori og planlægge og gennemføre et forsøg også arbejde med videoformat, der skulle have et kreativt isæt. Produktkravet er givet i tekstboksen. De enkelte elementer, der indgik i forløbet, var velkendte for eleverne, men graden af selvstændighed var ny. Dertil kom et nyt produktkrav, da kreativ videoformidlingen af et fysikforsøg ikke var noget klassen havde prøvet før. Videoen gav grobund for at træne den mundtlige formidling og tale med et fysikfagligt sprog, der i væsentlig grad adskiller sig fra hverdagsprog (Krogh & Andersen, 2019: 111), og desuden det at kunne "kunne formidle et emne med et fysikfagligt indhold til en valgt målgruppe" (UVM, 2017b: 1), der i dette forløb var andre elever med fysik på B-niveau. Med videoformatet så kommer man ikke udenom, at der bliver tale om et multimodalt produkt, da der typisk



vil indgå levende billeder, stilbilleder/figurer mv., lyd (tale og evt. underlægningsmusik). På den måde bliver elevernes læring fremstillet som en tegnskabende aktivitet, som Selander & Kress nævner som et tidstypisk fænomen for den digitale tidsalder (Selander & Kress, 2012: 18). Videoproduktet har dog også et dannelsesmæssige potentiale, da eleverne arbejder med produktive kompetencer, som udgør en del af den af digital dannelse. Med produktionskompetence menes, "hvordan elever bliver (kreative) producenter af indhold og udtryk i flere digitale genrer og medieformater." (Caviglia & Dalsgaard, 2020: 35).

Tredje og sidste fase handlede om, at eleverne skulle fremvise deres produkter, give feedback til andre og reflektere over eget produkt. Eleverne skulle parvis se to andre gruppers videoer og give feedback via kommentarspor til videoen. På den ene video skulle de give feedback ift. formidlingen og på den anden video skulle de give feedback ift. den faglige fremstilling. Alle grupper fik således feedback på begge elementer. Her blev der arbejdet med den digitale færdighed; deltagelseskompetence, da peerfeedbacken kan være med til at forstærke en samarbejdskultur (Caviglia & Dalsgaard, 2020: 23). Hernæst mødtes eleverne i deres grupper igen og læste feedbacken fra de andre grupper, som de så skulle kommentere på. Ved at give andre feedback med udgangspunkt i fastsatte kriterier, så er der potentiale for, at eleverne styrker deres metakognition, da de hermed bliver mere bevidste omkring kvalitetskriterier (Krogh & Andersen, 2019: 58). Herefter er det forventningen, at eleven nemmere kan vurdere eget produkt ift. de opstillede mål. Efterfølgende modtog de lærerfaglig feedback, hvor fokus var på, om de i videoen demonstrerede, at de kunne planlægge og gennemføre et fysikfagligt eksperiment og om formidlingen var klar ift. målgruppen.

I 1g var der ligeledes tale om et multimodalt elevprodukt. Her var det som afslutning på et forløb om kosmologi. I grupper skulle eleverne generere en poster, hvor omdrejningspunktet var et ballonforsøg til at illustrere universets udvidelse og Hubbles lov. Desuden skulle eleverne inddrage viden om kosmologiske principper, og hvad de ellers fandt relevant i forhold til forløbets udformning. Den individuelle præsentation krævede, at man havde sat sig ind i hele gruppens arbejde, og at man ikke kun kunne en mindre del. Igen var mundtlig formidling et fokus.

Krav til poster og videofremlæggelse 1g

- I får inddraget fysikfaglige begreber (bliv evt. inspireret af begrebsbiblioteket).
- At I taler frit (dvs. ikke oplæsning), og man kan se jer på skærmen
- At I kan formidle jeres forsøg og viden om kosmologi på en hensigtsmæssig måde i forhold til målgruppen, der er andre elever med fysik på C-niveau.
- At der er en rød tråd i præsentationen, så I får lavet en tydelig kobling mellem teori, forsøg og perspektivering til kosmologi.



Udfordringer og gevinster

Min analyse af elevprodukter præsenteres her i to analysetemaer; *Kreativitet og multimodalitet* samt *læringsmæssigt udbytte*. De to temaer blev fastsat blandt andet på baggrund af interview med eleverne og anonyme spørgeskemabesvarelser i begge klasser.

Overordnet så arbejdede eleverne i 2g godt i forløbet, og der kom gode produkter ud af det. I spørgeskemaet skulle eleverne angive, hvilke ord der passede på forløbet. Her satte 70-80 % af eleverne alle ordene: *spændende, hyggeligt, lærerigt, udfordrende og sjovt* på forløbet. Selvom kun 42 % direkte sætter ordet 'motiverende' på forløbet, så ligger der alligevel en positiv oplevelse, og pilen peger alligevel i retningen ad, at en lang række elever har været motiveret for at arbejde med deres projekter og de tilhørende videoprodukter.

Kreativitet og multimodalitet

I dette afsnit vil jeg inddrage to 2g's gruppers video og en 1g-poster.

Hos eleverne i 2g var der delte meninger om videoproduktionen. Et eksempel på en elev, der var glad for formatet, skrev i evalueringen:

"Det var fedt at producere en video, fordi det var anderledes end en normal rapport. Det gav også nogle andre muligheder ift. formidling, hvilket både var sjovt men også lidt udfordrende, fordi det er noget man ikke er vant til."

Det var dog vidt forskelligt, hvordan grupperne greb det an. En del grupper havde lavet screencast-optagelser, mens andre havde været mere kreative i udformningen. Et eksempel på dette var en gruppe med Fie, Liva og Stine, hvis projekt handlede om regnbuer. Gruppen havde valgt, at rammen om deres program skulle være et naturvidenskabeligt program, og derfor startede de videoen med "Velkommen til Fysikkens fænomener, der i dag handler om regnbuer". Pigerne forklarede under interview valget på følgende måde:

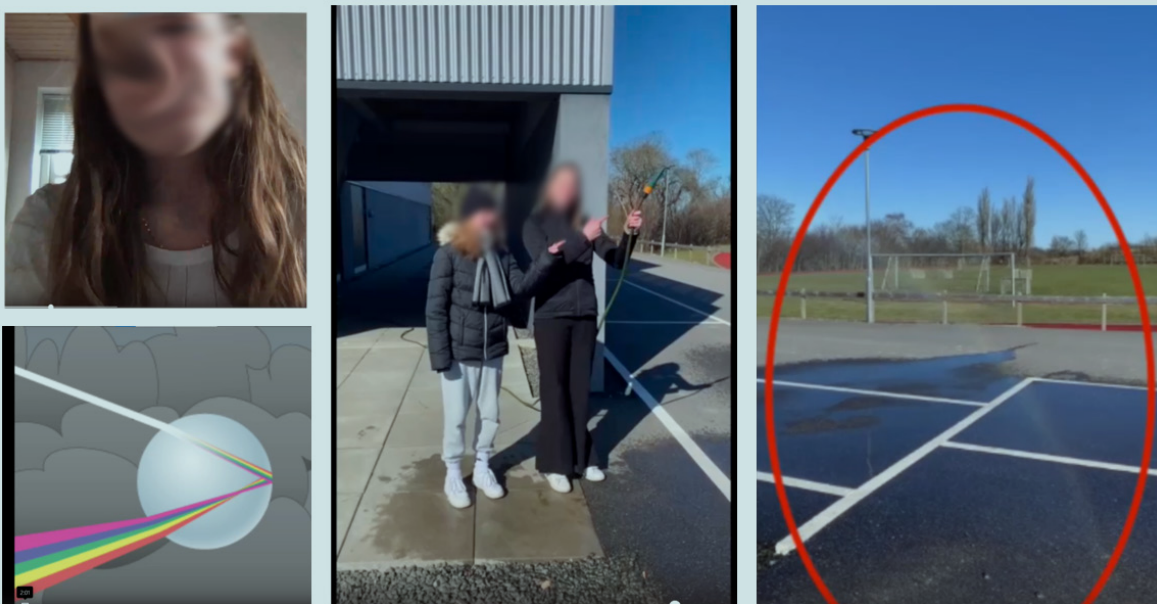
Fie: *Vi tænkte på at løse det på ikke at lave en PowerPoint, men at lave noget andet. Og så selvfølgelig inddrage en masse relevant teori og fysik der gav mening i forhold til det.*

Liva: *Også fordi der stod i opgaveformuleringen, at det godt måtte være kreativt og sådan noget, og så var vi sådan lidt, så kom Fie på den idé, at man kunne lave lidt et showagtigt dokumentar eller et eller andet. I historie der har vi lige lavet sådan en podcastepisode, hvor man så skulle forklare noget teori, og det hjalp os faktisk lidt, så havde vi prøvet at lave en video, der skulle være lidt mere kreativ i fremgangsmåden i stedet for bare at læse op fra et Power Point.*

CHE: *Ja. Var det så derfor, at I valgte at lave den her ramme omkring 'Velkommen til ...'*

Fie: *Fysikkens fænomener, ja.*

Det har altså været et aktivt valg for gruppen, at de gerne ville udenom den klassiske PowerPoint, og derimod lave noget mere kreativt. Her har de kunne trække på erfaringer fra andre fag, og på den måde gøre projektet mere til deres eget. Udover velkomstintroduktionen så rundede de ligeledes deres program af med: "Se med i næste uge, hvor (...)". Udover rammen omkring videoen, så havde gruppen de klassiske fysikrapportelementer med. I teorigennemgangen talte de tre piger på skift til kameraet, og der kom billeder af figurer op, der understøttede dét de talte om. Figur 1 viser nogle screenshots fra gruppens video, hvor der f.eks. var en illustration af lysets brydning i regndråbe på skærmen.



Figur 1: Screenshots fra gruppens video.

Udover teorigennemgangen så udførte pigerne forsøget live, hvor der var en eksplicit forklaring og udførelse af forsøg. I redigeringsfasen har de så valgt at fryse billedet og indsætte den røde markering til at hjælpe seeren til at se, hvor i billedet regnbuer kommer. Dette viser stor formidlingsbevidsthed.

En drengegruppe gik til opgaven på en lidt anden måde. Deres projekt handlede om stød. Da jeg i interviewet spurgte, hvordan de greb opgaven an, så svarer de følgende:

Jakob: *Jeg tænkte meget på det som en rapport, bare sådan en normal rapport. Gjorde vi ikke?*

Hjalte: *Jo. Altså vi skrev de afsnit som vi normalt ville gøre i en rapport. Og så basere vores formidling ud fra det. F.eks. skrive teori som*

vi ville gøre det i en rapport og så ligesom formidle det mundtligt. Og så gøre det lidt mere talesprog, end det man ville skrive.

CHE: Betyder det så, at I nærmest har skrevet en fuld rapport?

Hjalte: Ja. Altså vi har ikke sat det op på nogen måde, det er lidt spredt udover nogle dokumenter, men vi har skrevet det meste af det.

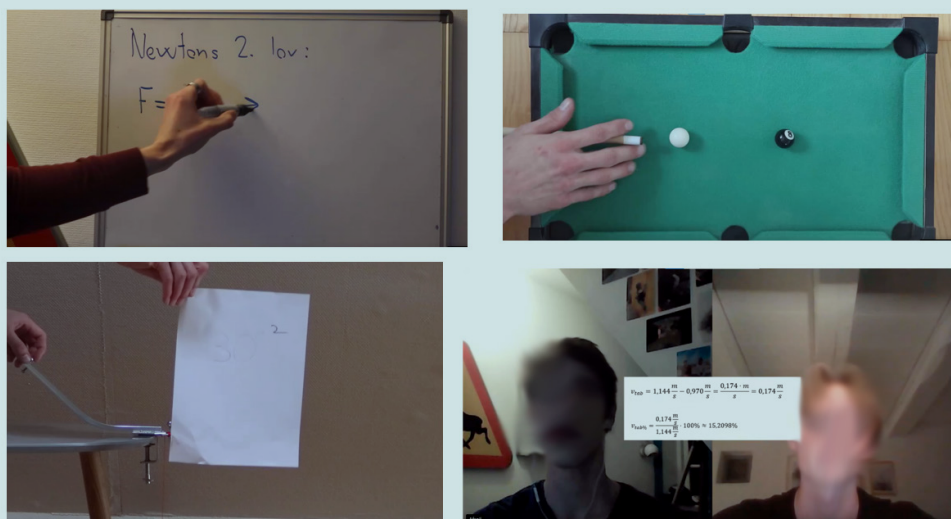
Drengene har altså sat sig ned og skrevet de enkelte rapportelementer, og så først bagefter overvejet formidlingen af dette. Det er dog ikke enslydende med, at de ikke har været formidlingsbevidste i videoen, hvor de har en bred vifte af modaliteter i spil. Ligesom pigerne så ønskede de ikke en klassisk PowerPoint-præsentation, så de valgte i stedet at lave teorigennemgangen ved at skrive og tegne på et whiteboard. I interviewet spurgte jeg ind til dette valg:

CHE: Hvilken fordel er der ved, at man ser det blive skrevet?

Jakob: Det ved jeg ikke. Jeg tror bare, at der sker noget, så der er hele tiden noget at kigge på, i stedet for 'orv, der var det, så gider jeg ikke rigtigt at høre mere'.

Hjalte: Og det giver nok også en lidt mere tid til at tænke over, hvad det egentlig er der står, i stedet for at det bare popper op som et billede, så kan det godt være lidt sådan wow, og så når man ikke lige at læse det ordentligt. Men når det bliver skrevet, så det lidt nemmere at følge med

Drengene har altså her for øje, at det for deres modtager er nyt stof, og det er derfor vigtigt, at tempoet bliver sat ned, så modtageren kan følge med. Figur 2 viser nogle screenshots fra gruppens video, og der er altså et eksempel på, hvordan der skrives på whiteboard, hvilket blev suppleret af en mundtlig forklaring. Derudover havde de også klip med til at illustrere teorien, f.eks. da et billardbord benyttes til at illustrere stød i henholdsvis én og to dimensioner.



Figur 2: Screenshots fra gruppens video.



Gruppens forsøg var et stød i en kuglebane, som ligeledes blev vist i videoen. Databehandling foregik ved, at de to drenge talte til kameraet, og de udregninger, de præsenterede, løbende kom op på skærmen, så seeren både kunne se og høre det. De modtog også positiv feedback for deres formidlingsbevidsthed. En elev skrev i peerfeedbacken:

"I teoriafsnittet fungerede det godt, at I tegnede på et whiteboard. Derudover var det fedt, at jeres beregninger kom op på skærmen, fordi billederne understøtter det I siger. Det var let at forstå på grund af at formlerne og beregningerne blev vist."

De er således lykkedes med deres formidling, og det samme gjorde sig gældende for pigerne. Holmboe fremhæver fordelene ved at inddrage visuelt orienterede faglige produkter, for da *"udvides tekstens rum til også at indeholde velovervejede kreative, ikke-skriftlige og multimodale dimensioner"* (Holmboe, 2018). Dette kan i høj grad være med til at styrke formidlingsbevidstheden, og derudover håndtere og forstå teknologi som er en efterspurgt kompetence i en digital tidsalder.

Det er dog ikke uden omkostninger, når der produceres digitale produkter. For selvom eleverne er digitalt indfødte, så er det ikke ensbetydende med, at de digitale kompetencer følger med (Olesen, 2018: 345). Det at planlægge, optage og redigere en video kræver således nogle digitale færdigheder. Hos pigerne havde de nytte af, at en i gruppen havde haft mediefag, og således var i stand til at redigere, hvor drengene havde fundet et gratis Windows-program til formålet, som de måtte lære at bruge i processen. Hos andre gruppe gav videodelen en del frustrationer, hvilket der vil blive givet eksempler på senere.

I 1g var de overvejende begejstret for den kreative formidling, også selvom det gav nogle tekniske udfordringer. En elev skriver f.eks. i evalueringen *"Jeg synes det har været godt vi har skulle formidle vores viden kreativt ved at lave en poster."*, hvor der netop fokuseret på, at det at arbejde kreativt har været noget positivt.

Større læringsmæssigt udbytte

Det kan være vanskeligt at måle et læringsudbytte, men man vil kunne finde nogle tegn på læring ved at se på, hvad eleven siger og skriver – og fortolke på dette (Beck, 2016: 111). Udover det elever siger og skriver, så kan det også være en fortolkning af andre produkter, som de producerer. For de to grupper gjorde det sig gældende, at de på egen hånd (med vejledning) satte sig ind i nyt stof og formidlede det med stor troværdighed og med kun enkelte misforståelse. Dette kan man afgørende se som et tegn på læring. Klassens andre grupper producerede videoer af blandet kvalitet, der overordnet passer til det niveau som klassen ville vise i andre skriftlige produkter. Man kan dog også spørge eleverne til, hvad de selv mener om deres læringsudbytte. Dette gjorde jeg i spørgeskemaet, hvor svarene gik på en fysikfaglig læring inden for emnet, men også en del der fremhævede den mundtlige formidling, og det at planlægge og gennemføre et projektførløb. Når det kommer til læringsudbytte ved videoproduktion, så var de ikke



entydigt begejstret i 2g. Her mente 37,5 % af eleverne, at de havde lært (meget) mere ved at lave video, end hvis de havde skulle lave en rapport, 50% mente hverken/eller og 12,5 % vurderede, at de havde lært mindre, end hvis de havde lavet en rapport. En elev skriver f.eks. i evalueringen om videoproduktionen.

“Det fyldte meget og tog lige så lang tid som resten af projektet. Det fjernede fokus fra fysiklæringen hvilket jeg var mindre begejstret over. Udover det var det sjovt at lave noget andet end en rapport selvom jeg mener at en klassisk rapport er bedst til at tillære sig viden og demonstrere den viden man har.”

Der kan selvfølgelig være en tryghed i det velkendte, men samtidigt så kommer man ikke udenom, at det er tidskrævende at producere og redigere video - særligt hvis man ikke er trænet i dette. Det er da også en faldgrube når man arbejder med produktionskompetencen, at der kan komme fokus på “produkt i stedet for ny viden” (Caviglia & Dalsgaard, 2020: 52). Derfor er det også afgørende, at der afsættes noget ekstra tid til produktionsarbejdet, så eleverne har tid til at få lavet et godt produkt uden at gå på kompromis med den fysikfaglige viden. Elevkommentaren er også et godt eksempel på den klasserumskultur, som der er i klassen i 2g, hvor klassen har en motivation for fysikfaget, og der derfor kan være elever, som opfatter det som en forstyrrende faktor, at der bliver lagt fokus på noget andet. Hos drengegruppen, der mere eller mindre havde skrevet en rapport forud for videooptagelse, vurderede de ikke, at der var et større læringsudbytte ved videoformatet. Men der var dog en væsentlig forskel:

Jakob: *Men alligevel så synes jeg stadigvæk, at jeg er blevet bedre til at formidle fysik mundtligt. Hvilket en normal rapport slet ikke ville gøre.*

Og netop det at træne den mundtlige formidling var et væsentligt aspekt i dette forløb, hvor der i særligt høj grad bliver øvet at tale med brug af fysikfagligt sprog, som er et væsentligt aspekt hos Krogh og Andersen. Dette giver også øget læringsmæssige muligheder, for de elever der enten er dårlige læsere eller skrivere. En gevinst ved formatet kom til udtryk i interviewet med pigegruppen:

Liva: *Men på en eller anden måde, så føler jeg også, at man forstår det bedre. End hvis man laver en rapport, så kan man godt have tre i gruppen, hvor der så er en der skriver noget af teorien, og så er der en anden, der skriver noget andet. Det vil sige at man kommer ikke rigtig ind på det, som de andre har skrevet, hvor når det er i en video, så hører man dem ligesom. Vi sad jo og så videoen igennem og så hører man det ligesom igen, og så forstår man det måske også lidt bedre. Så der synes jeg, at man følte man var med på alt, og at man ikke kun sad og delte tingene i mellem sig.*

CHE: *Ja. Så du synes, at du fik noget ud af at se Fie og Stines gennemgang?*

Liva: *ja.*

(...)

Stine: *Ja. Jeg synes også, at vi var meget mere fælles om det i forhold til, hvis man skriver en rapport.*

Liva beskriver her, hvordan samarbejdet har været tættere, end det er i det normale arbejde med journaler eller rapporter, og hun bakkes op af Stine. Dette sikrer en større grad af stilladsering i grupper, og at praksisfællesskabet i højere grad udnyttes. Liva beskriver samtidigt situationen, hvor vi som lærer har planlagt, at eksempelvis et journalarbejde skal være et produkt af læringssamarbejde, men i praksis kan det ske, at der er tale om tre elevers alene-læring. Men i dette projektforsøg med videoproduktet, så har der været tale om læring sker *med andre* i den fælles løsning af en opgave (Beck & Paulsen, 2011: 35). I forløbet var det tilsigtet, at eleverne kunne hjælpe hinanden i processen, men jeg havde ikke overvejet det læringsudbytte eleverne ville kunne opleve ved at se hinandens dele af videoen. I forhold til pigerens faglige niveau, så vil jeg vurdere, at Stine og Fie placerer sig pænt over middel, hvorimod Liva niveaumæssigt er under middel. Derfor var det også positivt at opdage, at Liva oplevede at stort læringsmæssigt udbytte ved at se de elementer, som de andre i gruppen havde produceret, og at hun derigennem kunne flyttes til sin zone for nærmeste udvikling. Holmboe skriver:

”Det multimodale gør ikke nødvendigvis afkodning af budskaber nemmere, men ved aktivt at arbejde med det, ved at lære eleverne at udtrykke sig multimodalt, så kan det potentielt være med til at give en dybere og mere alsidig læring” (Holmboe, 2018)

Interviewet viser netop, at der har været tale om en mere alsidig læring, hvor Liva bruger andres videoproduktioner til selv at forstå emnet bedre. Pigerne har formentlig også talt sammen om emnet undervejs, men her har dele af det måske gået for stærkt for Liva. I videoformatet er der derimod en kærkommen mulighed for at sætte tempoet ned, som de svagere elever kan nyde godt af, såfremt de udnytter den mulighed. Udover at det kan give en mere alsidig læring, så fremhæver Holmboe desuden, at multimodale produktioner ”kvalificere med kompetencer, som bliver og er efterspurgt allerede.” (Holmboe, 2018). Udover den fagfaglige læring, så kan man altså bruge økonomiargumentet, da multimodale tekstkompetencer er efterspurgt på arbejdsmarkedet.

Hvor det i 2g var 37,5 % af eleverne, der vurderede at de havde lært (meget) mere ved video end ved en klassisk rapport, så var dette tal i 1g hele 75 %. Herudover svarede 32% hverken/eller og 10,7% svarede, at de havde lært mindre. Der kan være flere grunde til dette, men en årsag skal måske findes i, at der i klassen er helt anden klasserumskultur, hvor den faglige interesse og arbejdsindsats overordnet er mindre. Dertil kommer, at de ikke alle har en naturlig interesse i faget, og de måske derfor finder det motiverende, at aflevere mere kreative produkter, da de oplever dette som værende sjovere.

Klassen havde tidligere lavet en poster om et forsøg om dopplereffekt,



hvor gruppen lavede en fælles videofremlæggelse. Dette gav dog ikke ret meget taletid til den enkelte elev, og derfor valgte jeg, at de i kosmologiforløbet skulle optage en individuel video med udgangspunkt i gruppens poster. I evalueringen skrev et par elever, at de hellere vil lave videoen i grupper, men andre elever var glade for den individuelle mulighed:

”Det var rart at den var individuelle, da man ikke skulle tage højde for hvornår de andre havde tid til at filme. Fordi man skulle gøre det individuelt så var man tvunget til at kunne det hele, hvilket var rigtig rart.”

Eleverne arbejdede synkront i modulerne, men da afleveringsfrist på produktet lå et par dage senere, så havde de mulighed for at lægge eksempelvis optagetidspunkt på et andet tidspunkt, hvilket kunne skabe lidt luft i deres virtuelle arbejdsdage. Desuden var eleverne nødsaget til at sætte sig ind i hele stofområdet, hvormed læringsudbytte var større, og det fungerede samtidig som et produkt, jeg kunne bruge til evaluering af elevernes faglige niveau.

Et par elever skriver i evalueringen, at de hellere ville have skrevet en journal, men over en tredjedel af eleverne fremhæver uafhængigt at hinanden det som en positiv ting i forløbet, at der blev lavet poster og video. En elev skriver f.eks.

”Det at det forgår mundtligt, betyder at man får bedre forståelse for det. Det er nemlig lettere at skrive en journal om noget man ikke har fuld forståelse for vs. at skulle lave en mundtlig video om noget man ikke har fuld forståelse for. Det skal forstås på den måde, at jeg bliver mere udfordret ved en video, men jeg lærer også mere af at lave en video.”

Ligesom eleverne i 2g så beskriver eleven altså her den udfordring, som der har været, som en positiv og lærerig faktor. Samtidig er det også værd at fremhæve betydning af mundtlighed, da ifølge Vygotsky, så gør sprog os i stand til at tænke og forstå (Beck, 2019: 291) og på den måde bliver sprog et middel til læring, da meningsskabelse sker i sproget. Det mundtlige produkt kan desuden tænkes at være en rar afveksling i den meget skriftlige gymnasieskole – særligt for eksempelvis ordblinde elever eller svage skrivere.

Vurdering

Om end der blot er tale om to forskellige forløb i to klasser, og at der er nogle tilbagemeldinger, der stritter i forskellige retninger, så vil jeg alligevel tillade mig at fremhæve nogle perspektiver – med vished om at hvis de samme forløb blev gennemført i andre klasser, at der ikke nødvendigvis ville være samme udbytte.

Det var få elever i hver klasse, der vurderede, at de multimodale produkter gav et ringere læringsudbytte, så der er afgørende nogle læringsmæssige gevinster ved videoformatet som produkt. Dette gjorde sig i nogen grad gældende på fysik B, men i høj grad på fysik C. Derfor har jeg også siden mit teoretiske pædagogikum på mine C-niveaus-



hold suppleret journaler og rapporter med posterne suppleret af individuelle videoaflevering og mundtlige minifremlæggelser. Posterne er ligeledes blevet en del af afleveringer i NV på mit gymnasium. Hermed bliver der skabt variation i undervisningen, som er faktor for, om eleverne oplever et fag som interessant (Ulriksen, Murning & Ebbensgaard, 2012: 40). Samtidig giver det en mulighed for at arbejde mere aktivt med den mundtlige del af fysikfaget, som i sidste ende også er det, eleverne evalueres på, når de står til en eventuel eksamen.

Man kan desuden også diskutere, om der er noget demokratiserende i produktformen. Indtil 1960'erne var det få, der tog en gymnasial uddannelse, men herefter har tallet været voksende og i dag er det ca. 75% af en ungdomsårgang, der gennemfører en gymnasial uddannelse (Haue, 2020: 55). Det betyder også, at den elevgruppe der i dag går i gymnasiet er langt mere broget og også består af en del uddannelsesfremmede elever. Man kunne forestille sig, at der blandt disse svagere elever også er en del dårlige skrivere, så ved at lave produkter, hvor andre modaliteter bringes i spil, så kan flere eleverne opnå følelsen af at mestre. Det er dog ikke kun de uddannelsesfremmede eller svage elever, der kan have gavn af formatet. For selvom elever på f.eks. B-niveau typisk vil have en indre nysgerrighed og interesse i faget, så er der stadig en del af eleverne, der lægger vægt på det er sjovt at lave noget anderledes og kreativt. Det kreative udtryk i en digital tid giver desuden mulighed for digitale færdigheder, som er en væsentlig del af den digitale dannelse.

Når man ser på makroniveau, så er det væsentlige aspekt, at multimodale produkter giver mulighed for digital dannelse, og dermed er med til at danne eleverne til at begå sig kompetent i den digitale virkelighed og hverdag, som vi alle sammen er en del af. Fysikfaget bør på linje med andre fag være med til at understøtte den mere skabende del af den digitale dannelse, som er en efterspurgt kompetence i samfundet (Holmboe, 2018). Sideeffekten af multimodale produktioner og mere kreativt arbejde i fysik kunne måske være, at flere elever bliver motiveret til at arbejde med de naturvidenskabelige fag, og det således kunne blive et led til at flere elever vælger en videregående uddannelse indenfor de naturvidenskabelige fag, som er ønskværdigt for samfundet og det private erhvervsliv (Lind & Jensen, 2019: 1).

I en tid hvor skærme diskuteres meget, så er det dog også værd at bemærke, at en poster selvfølgelig ikke behøver at være digital produceret, men lige så vel kan produceres i hånden. Dermed flyttes fokus fuldstændig væk fra de digitale kompetencer og de eventuelle frustrationer, der kan være knyttet til disse. Når en poster i stedet fremstilles fysisk, så eleverne i højere grad arbejder mere taktilt, så betyder det samtidigt, at de får en kærkommen pause fra skærmen (og dens forstyrrelser) i løbet af undervisningsdagen (Ågård, 2022).

* * *

Christina Hahowitz Elling underviser i fysik og dansk på Stenhus Gymnasium og HF (stx og hf).



Litteratur

- Angell, Carl mfl. (2011). *Fysikdidaktikk*. Høyskoleforlaget.
- Ågård, Dorte (2022). *Lær eleverne at koncentrere sig*. Gymnasieskolen.dk. Tilgået 30.09.23: gymnasieskolen.dk/articles/laer-eleverne-at-koncentrere-sig
- Beck, Steen & Michael Paulsen (2011). "Hvad er lærings samarbejde?", I: *Gymnasiepædagogik nr. 86*.
- Beck, Steen (2019). *Didaktisk tænkning på arbejde - en brugsbog til almen didaktik på det gymnasiale pædagogikum*. Frydenlund, 1. udg.
- Caviglia, Francesco & Christian Dalsgaard (2020). *Introduktion til digitale kompetenceområder*. Center for Undervisningsudvikling og Digitale Medier, Aarhus Universitet. Digital udgave. Tilgået 30.09.23: pure.au.dk/portal/files/176497918/II._Introduktion_til_digitale_kompetenceomra_der_2020_published_web.pdf
- Danske Gymnasier (2021). *Analysenotat for studieretningsundersøgelse 2021*. Tilgået 20.05.21: www.danskegymnasier.dk/wp-content/uploads/PUBLISERET-Analysenotat-studieretningsunders%C3%B8gelsen-2021.pdf
- Elf, Nikolaj (2009). *Towards Semiocy? Exploring a New Rationale for Teaching Modes and Media of Hans Christian Andersen Fairytales in Four Commercial Upper-Secondary "Danish" Classes. A Design-Based Educational Intervention*. PhD Dissertation, University of Southern Denmark, 2nd. Ed.
- Hansen, Christina Hahowitz (2019). *Multimodale elevproduktioner i gymnasiets danskundervisning*. Speciale i dansk, Københavns Universitet.
- Haue, Harry (2020). *Gymnasiets transformation, I: Gymnasiepædagogik - en grundbog*, red. Jens Dolin mfl. Hans Reitzels Forlag, 4. udg.
- Holmboe, Peter (2018). *Teknolog og modaliteter - til besvær og begejstring*. På Læremiddel.dk. Tilgået 30.09.23: laeremiddel.dk/viden-og-vaerktoejer/til-praktikere/multimodalitet/teknologi-og-modaliteter-til-besvaer-og-begejstring-2/
- Krogh, Lars Brian & Hanne Møller Andersen (2019). *Fagdidaktik i naturfag*. Frydenlund, 1. udg, 3. oplag.
- Lind, Bjarke & Mette Juul Jensen. *Danmark halter bagefter på STEM-uddannede*. Dansk Industri analyse. Tilgået 20.05.21: www.danskindustri.dk/arkiv/analyser/2019/9/danmark-halter-bagefter-pa-stem-uddannede/
- Olesen, Mogens (2018). "Mediedidaktik", I: *Medieteori*, red. Palle Schantz Lauridsen mfl. Samfundslitteratur, 1. udg.
- Selander, Staffan & Gunther Kress (2012). *Læringsdesign - i et mul-*

timodalt perspektiv. Frydenlund, 1.udg.

- UVM, Undervisningsministeriet (2017a). *Læreplan Dansk A – stx, august 2017*
- UVM(2017b). *Læreplan Fysik B – stx, august 2017*.
- Van Leeuwen, Theo (2005). *Introducing Social Semiotics*. Routledge, 1.udg.



Bæredygtighed og handlekompetence

Af Aske Graakjær Krogsgaard



Klimaudfordringer er en problemstilling som fordrer noget af os alle. Det kan dog være svært at se sig selv som en aktiv del af løsningen på en så omfattende udfordring. Vi har som undervisere en mulighed og en pligt til klæde vores elever på til at kunne være en del af løsningen. I mit teopæd-projekt undersøgte jeg forskellige tilgange til undervisning i bæredygtighed – en hverdagsnær tilgang versus et større samfundsperspektiv, en induktiv versus en deduktiv tilgang samt balancegangen mellem at indgyde håb og samtidig ikke negligere situationens alvor. Jeg erfarede gennem min undersøgelse, at undervisning i bæredygtighed og grøn omstilling ofte bliver udført som en art projektarbejde af en overvejende induktiv karakter. Jeg vil argumentere for, at dette ikke nødvendigvis er hensigtsmæssigt. Min undersøgelse indikerer yderligere, at en hverdagsnær tilgang kan være lettere for eleverne at forholde sig til, men det er også ofte en tilgang, de er stødt på før, og netop derfor kan det større samfundsperspektiv tilbyde noget nyt. Til sidst understreger min undersøgelse vigtigheden af at pege på løsningerne og insistere på håbet og mulighederne.

Introduktion

Klimaudfordringen er om noget vor tids store udfordring. Det er en udfordring, der kræver forståelse af komplekse og sammensatte problemstillinger, som involverer mange forskellige fagligheder. En vis forståelse af skalaer og størrelsesforhold er nødvendig – hvor meget energi bruger vi egentligt på vores forskellige hverdagsgøremål, i samfundet som helhed, og hvor kommer den energi fra, hvordan har vi alle individuelt og i fællesskab en indvirkning på udfordringerne gennem vores vaner, valg og adfærd? Belysning af disse spørgsmål er en essentiel dannelsesopgave, og med Wolfgang Klafki (Klafki, W. 2002) vil jeg sige, at hvis vi vil løfte den opgave, skal vi udover at *”belyse fysiske aspekter af bæredygtig udvikling”*, som det hedder i læreplanerne (Læreplan for fysik C STX), også indstille i eleverne en beredvillighed til at handle og engagere sig i løsninger af problemet. Det er selvsagt lettere sagt end gjort, og der er også her som i virkeligheden flere veje til Rom.

Et kriterie for handlevillighed er, at man kan se, at der er et problem,

der skal løses. En klassisk tilgang både i undervisningen og i folkeoplysningen er da også at understrege situationens alvor - vise konsekvenserne (både de allerede realiserede og de kommende) af vores klimaforandringer. Faren ved dette er, at man kan falde i fatalismens sump og kan miste modet overfor sådanne udfordringer. Man kan også forsøge at undgå at kigge direkte på problemet men derimod rette fokus mod potentielle løsninger. Dette kan gøres på flere forskellige måder. En vej man kan gå ned ad, er at pege på det, eleverne selv har mulighed for at ændre på. En stor udfordring for nok de fleste af os i forhold til klimaudfordringerne er en manglende følelse af agens - hvad kan jeg gøre? En måde at give eleverne en følelse af, at de kan gøre noget, er helt lavpraktisk at pege på alle de små, nære ting, som de selv kan gøre i deres hverdag. En anden vej, man kan gå ned ad, er at kigge på de store fælles løsninger. Hvordan fungerer vores energiforsyning, hvad er strukturerne på samfundsniveau? Vi skal alle som borgere forholde os til spørgsmål om energipolitik, klimapolitik, miljøpolitik - spørgsmål, som ikke nødvendigvis direkte og mærkbart griber ind i vores egen hverdag, men som har indvirkning på fællesskabet. Spørgsmål om f.eks. energipolitik er komplekse og kan være svære at forholde sig til uden den rette påklædning.

To veje til Rom

I forbindelse med mit pædagogikum gennemførte jeg et forløb med en klasse, hvor vi gik ned ad den første vej, og et forløb med en anden klasse, hvor vi gik ned ad den anden vej. De to forløb blev udover deres faglige indhold også didaktisk forskellige. Det nære forløb om vores allesammens hverdagsklimasynder blev udført med et mere induktivt fokus; en undersøgende tilgang, hvor vores vaner og daglige adfærd granskes for potentielle forbedringsmuligheder. Vi undersøgte, hvor meget energi, et varmt brusebad bruger, hvad nyttevirkningen er af at fyre med træpiller, hvor meget vand man kan koge for, at det energimæssigt svarer til at binge en serie på Netflix og så videre. Alt sammen med udgangspunkt i 6F-modellen (Madsen, Evans og Bruun 2020) for undersøgelsesbaseret undervisning.

Forløbet blev udført i klassen 1c og bestod af ti moduler. Alt stoffet blev tematiseret under tilgangen "hvad kan vi selv gøre i vores hverdag for at afhjælpe klimaudfordringerne?". I første modul blev emnet og forløbet rammesat, efterfulgt af en brainstorm på potentielle steder, hvor vi kunne mindske vores CO₂-udledninger i vores hverdag. Denne brainstorm danner grundlaget for resten af modulerne, hvor enkelte ideer undersøges nærmere på en delvist induktiv måde. Forløbet munder ud i en aflevering bestående i en oplysningsartikel med forklaringer til lægmænd om energiforbrug i hverdagen samt tips og tricks til, hvordan dette kan mindskes.

Det andet forløb havde en mere klassisk deduktiv struktur, men med stor vægt på diskussion, hvor eleverne kunne give deres holdninger til kende. Det overordnede tema for dette forløb var kernekraft. Forløbet blev udført i klassen 2y og fungerer i en vis forstand som didaktisk

kontrapunkt til forløbet i 1c. I 1c var fokus på elevernes hverdag, mens forløbet i 2y handlede om større samfundsstrukturer; konkret vores energiproduktion og endnu mere konkret atomkraft som potentiel (i Danmark og nogle steder i udlandet aktuel) energikilde. Eleverne vil naturligvis ikke selv kunne tage handling i deres hverdag på baggrund af undervisning i atomkraft, men en vigtig pointe i forhold til denne problematik konkret og dannelse generelt er jo også, at vi skal forstå, at vi er individer i et fællesskab, og det at vi som individer ikke kan træffe beslutninger på fællesskabets vegne ikke betyder, at vi er magtesløse. En vigtig del af energiundervisningen i gymnasiet er også at give eleverne den basale viden nødvendig for at kunne forholde sig til energipolitiske spørgsmål i den offentlige debat. Konkret har atomkraft fyldt meget ved valget i november 2022, og fordi det er et emne i den politiske diskurs, er det relevant at vide, hvordan det fungerer. Forløbet bestod af fire moduler af en mere deduktiv karakter (men også her med induktive elementer) med fokus på, at vi skal sætte os ind i fysikken for at kunne danne os en holdning til emnet.

1g versus 2g

Der var stor forskel på de to klasser. 1c er en klasse på 31 elever. Det er en papegøjeklasse bestående af ni elever med musik og enten engelsk eller matematik som studieretning og de resterende 22 elever med samfundsfag og engelsk som studieretning. Der er et stort fagligt spænd. Den håndfuld elever med musik og matematik som studieretning har helt tydeligt mere flair for naturvidenskab og fanger meget hurtigere de formler og den matematik, som fysikfaget jo også indeholder. Der er en god midte af elever, som prøver og som gerne vil, men som også har lidt sværere ved det end matematik-A-eleverne, og til sidst er der en relativt tung bund, som har meget svært ved formler og matematik.

2y er også et c-niveau hold. De er dog en markant anderledes klasse end 1c. Det er ikke en papegøjeklasse, men alle elever har biologi A og kemi B som studieretning. De er en fagligt meget homogen klasse. Enkelte har svært ved det, men bunden er ikke nær så tung som i 1c. De svage elever kan stadigvæk sagtens følge med og er primært svage set relativt til resten af klassen, som har et rigtigt højt fagligt niveau.

Udover forskelle relateret til studieretning og elevtyper, så er den åbenlyse forskel på de to klasser jo at 2y er et år ældre end 1c. Det mærkes tydeligt i det konkrete tilfælde ved at de nemmere kan håndtere abstrakte emner og snakke der rækker ud over deres hverdag. Det er derudover også min påstand, at det ikke blot er en forskel, der er begrænset til det konkrete tilfælde. Denne forskel er selvfølgelig af betydning for hvor godt en bestemt tematisering vil lande og bør tages med i betragtningerne under planlægningen af forløbet. Nogle ting vil nok bare fungere bedre i 2g end i 1g.

Der er altså tre overordnede akser i undersøgelsen - alvorsformaninger versus håb og inspiration, det nære versus det fjerne og en induktiv versus en deduktiv tilgang. Disse tre temaer vil blive behandlet nedenfor i hver deres afsnit startende i omvendt rækkefølge.

Er man sin egen videns smed?

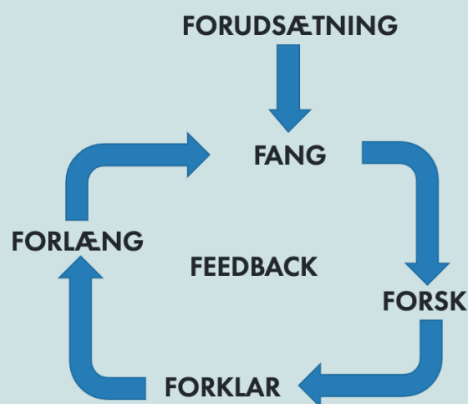
"What I cannot create, I do not understand."

- Richard Feynman

Undersøgelserbaseret undervisning (UBNU) er en undervisningsmetode, der blev udviklet og populariseret i 60'erne, og er i dag især udbredt i undervisningen af de naturvidenskabelige fag (Matthews 1997). Tilgangen baserer sig dog på filosofisk arbejde, der rækker længere tilbage, af blandt andre John Dewey i starten af 1900-tallet. Dewey er mest kendt for det mundrette slogan "learning by doing". Han mener, at eleverne skal erfare faget for at kunne tilegne sig det. Han formulerede i *How We Think*, det han kalder "a complete act of thought". En komplet tanke består af fem trin:

"(i) a felt difficulty; (ii) its location and definition; (iii) suggestion of possible solution; (iv) development by reasoning of the bearings of this suggestion; (v) further observation and experiment leading to its acceptance or rejection; that is, the conclusion of belief or disbelief." (Dewey 1910)

Det er tydeligt i dette citat at se inspirationen til det, der senere er blevet formaliseret som 5E-modellen internationalt (Bybee et al. 2006) eller i den danske udgave 6F-modellen (Madsen, Evans og Bruun 2020). På figuren nedenfor ses en skematisk repræsentation af 6F-modellen. Der tages udgangspunkt i elevernes forudsætninger, elevernes interesse fænges, eleverne sættes til at (ud)forske emnet på egen hånd, eleverne forklarer deres "forskningsresultater", og læreren konsoliderer den tilsigtede viden, eleverne forlænger deres viden ved at bruge den i en ny kontekst. Under hele processen indsamles feedback fra eleverne.



Figur 3: Skematisk illustration af 6F-modellen. (Madsen, Evans og Bruun 2020).

Undervisningen i det "nære"-forløb er inspireret af 6F-modellen, men jeg har valgt at lægge en ekstra "fase" ind mellem fang og forsk, eller måske kan man også se det som, at fang-fasen udvides til også at indeholde noget mere deduktiv undervisning, der klæder eleverne på til at kunne indgå i forsk-fasen. Forudsætningsfasen i 6F-modellen har til formål at give læreren en viden om elevernes forudsætninger, og ikke at give eleverne de nødvendige forudsætninger for det arbejde, de skal udføre. Ofte vil det dog være nødvendigt at støbe et fælles fundament, vi alle kan stå på, inden eleverne selv skal prøve at bygge ovenpå på egen hånd. Som nogle af udviklerne af 6F-modellen skriver, er "6F-forløb som oftest placeret i midten af et kontinuum spændende fra demonstrationsforsøg til helt åbne elevstyrede forløb" (Madsen, Evans og Bruun 2020). Det er vigtigt at overveje, hvor i dette kontinuum, man vil placere sig som underviser. Erfaringen viser, at bliver undervisningen for åben og elevstyret, falder både elevernes læring og deres motivation (Kirschner, Sweller og Clark 2007; Breslow 2010 om TEAL initiativet på MIT). Men det kan også være tilfældet, hvis undervisningen bliver for "lukket".

Faldgruber ved UBNU

UBNU bygger på en konstruktivistisk opfattelse af læring. Konstruktivismen repræsenterer et aktivt læringssyn - viden er noget, den lærende konstruerer selv. Det er ikke noget, der bare kan fyldes på. Eleverne er ikke en tabula rasa, der skal udfyldes af læreren. Eleverne integrerer ny viden med deres eksisterende viden i en aktiv proces - f.eks. igennem Piagets assimilation og akkomodation (Piaget 1969). Denne ide om den aktive læring kan nemt lede til en ide om aktiv undervisning. Flere konstruktivistiske didaktikere som Piaget og Vygotsky understreger da også vigtigheden af leg i læring, og aktiv undervisning synes at understøtte dette. Vi skal som undervisere blot være os for at falde i fælden at sætte lighedstegn mellem aktiv adfærd og aktiv læring hos eleverne. Vi kan tilrettelægge undervisning, som i høj grad sætter eleverne i gang - hvor de *gør* en masse ting, men hvor de ikke nødvendigvis *lærer* en masse. Den nødvendige aktivitet for at lære i et konstruktivistisk perspektiv er *kognitiv* aktivitet - ikke *fysisk* aktivitet. Richard Mayer påpeger dette med det, han kalder *the constructivist teaching fallacy*, som er at tro, at vi kun kan inducere kognitiv aktivitet ved fysisk aktivitet (Mayer 2004). Det er nemt at falde i denne fælde, og man kan nemt komme til at bruge proxyer for læring, som i virkeligheden ikke repræsenterer læring særligt godt såsom aktivitet, engagement og interesse (Coe et al. 2014). Disse faldgruber betyder ikke, at det konstruktivistiske læringssyn er *forkert*, men blot at det er nemt gennem analogi fejlagtigt at konkludere, at aktiv læring kræver aktiv undervisning.

Eleverne fortæller selv i interviews, at ofte, når man støder på bæredygtighed i undervisningen både i gymnasiet og i folkeskolen, er det i form af projektarbejde i grupper, hvor eleverne i høj grad selv skal undersøge emnet. Det resulterer måske nok i en masse aktivitet og måske endda også engagement, men det resulterer ikke nødvendigvis

i en masse læring (Coe et al. 2014). Eleverne fortæller, at de hellere vil have noget mere deduktivt end den helt åbne undersøgelsesbaserede tilgang, jævnfør nedenstående uddrag af min samtale med 3 elever.

[...]

Aske: *Så der savnede I faktisk mere noget, hvor læreren tog styringen?*

Elev 1: *Ja, det var meget sådan noget med "så skal I selv lave en præsentation om, hvad solenergi er" og så der i 7. klasse og så bare ind og søge på alle mulige hjemmesider og bikse noget sammen, det blev ikke sådan...*

[...]

Aske: *Så nu siger I det der med gruppearbejde. Så nu f.eks. da vi lavede det her med kernekraft, der fik I jo også en gruppeopgave, hvor I selv skulle undersøge og sådan noget. Hvad synes I om det?*

Elev 2: *Altså jeg synes, det var fedt, fordi der havde man allerede en forudsætning. Der havde vi jo snakket om det grundlæggende på klassen, og vi havde alle sådan samme grundlag for det, og så kunne man så læse videre på det med nogle tekster og sådan noget.*

Elev 3: *Og vi havde set den der video, om hvad det egentligt var, så vi kom ind med det samme viden, vi havde det der grundlag, som når vi skulle fremlægge det, så behøves man ikke gå ned sådan i de ting, men man kunne gå mere i dybden med, hvad det faktisk var.*

Aske: *Det er mest det der med bare at blive smidt ud i den dybe ende, der er træls, hører jeg jer sige?*

Elev 2: *Ja, hvis man har baggrundsviden, så er det godt at lave gruppearbejde, men hvis det bare er sådan "hvad er solenergi i 4. klasse" - aner det ikke.*

Eleverne peger her altså også på, at det er vigtigt at holde stilladsering for øje, også (og især) når man designer undersøgelsesbaserede undervisningsforløb.

Der er også flere konstruktivistiske tænkere, der lægger op til både en høj grad af stilladsering i det undersøgelsesbaserede arbejde og også til mere deduktive arbejdsformer. Vygotsky understreger meget tydeligt lærerens og instruktionens vigtighed i hans begreb Zonen for Nærmeste Udvikling (ZNU) (Beck 2019). Proponenter for den helt åbne undersøgelsesbaserede undervisning laver den fejlslutning, at der som udgangspunkt ikke er nogen begrænsning for elevernes kognitive evner. Det er der, og det er det, som Vygotsky påpeger med ZNU. Eleverne har som alle andre mennesker kognitive begrænsninger, som afhænger af blandt andet deres alder og deres erfaringer. Disse begrænsninger må vi acceptere og forsøge at definere, så vi kan hjælpe dem med at udvikle sig.

Der er derudover en anden fejlslutning i den helt åbne undersøgelses-

sesbaserede tilgang. At lade eleverne selv arbejde med stoffet uden forudgående instruktion eller forelæsning forsøger at lade eleverne gå til opgaven så fordomsfrit som muligt, men det er aldrig muligt. Som Albert Bandura skriver:

"Perceptions are guided by preconceptions. Observers' cognitive competencies and perceptual sets dispose them to look for some things but not others. Their expectations not only channel what they look for but partly affect what features they extract from observations and how they interpret what they see and hear. By giving coherence and meaning to available information, cognition is very much involved in perception." (Bandura 1986, p.53)

Vi frarøver altså ikke eleverne mulighed for åbent og fordomsfrit at gå til en opgave ved at undervise i emnet, inden de selv skal arbejde med det. Men vi giver dem muligheden for at gå til opgaven med mere hensigtsmæssige fordomme end dem, de allerede bærer med sig. Bandura skriver yderligere:

"If knowledge could be acquired only through the effects of one's own actions, the process of cognitive and social development would be greatly retarded, not to mention exceedingly tedious"

Opgaven med undersøgelsesbaseret undervisning er ikke at lade eleverne opdage stoffet på egen hånd. Dette ville læreplanernes indhold taget i betragtning også være en urimelig forventning til elevernes evner. Stof, der i dag er gymnasiepensum, blev jo opdaget af nogle af de største tænkere i historien. Derimod er opgaven med undersøgelsesbaseret undervisning (i Deweys ånd) at lade eleverne *erfare* stoffet på en måde, der opleves som havende formål og mening. I NRC-rapporten *How People Learn* skriver forfatterne:

"An alternative to simply progressing through a series of exercises that derive from a scope and sequence chart is to expose students to the major patterns of a subject domain as they arise naturally in problem situations. Activities can be structured so that students are able to explore, explain, extend, and evaluate their progress. Ideas are best introduced when students see a need or a reason for their use—this helps them see relevant uses of the knowledge to make sense of what they are learning." (NRC *How People Learn* p. 127)

Citatet og rapporten peger på elevernes motivation som et af de stærke argumenter for UBNU. Man skal i den sammenhæng blot holde sig for øje, som Bandura påpeger, at en af de stærkeste motivationsfaktorer er, om man forstår, det man skal lære - altså om man får succesoplevelser. Der er altså et spektrum fra helt åben undersøgelsesbaseret undervisning til helt styret deduktiv kogebooksundervisning, hvor motivationen kan stige grundet den undersøgelsesbaserede tilgang, samtidig med at den aftager grundet mangel på stilladsering og derfor for få succesoplevelser.

6F-ophavsmændene mener, at 6F-undervisning ofte findes i midten af dette spektrum. Jeg vil personligt mene, at den gode undervisning

ikke finder sted lige i midten af spektret men med mere stilladsering og højere grad af deduktiv undervisning.

Håb i mørket

"When day comes we step out of the shade, aflame and unafraid, the new dawn blooms as we free it. For there is always light, if only we're brave enough to see it. If only we're brave enough to be it."

- Amanda Gorman

Det har været udgangspunktet for undervisningen i begge forløb, at vi på to forskellige måder skulle kigge på, hvad vi kan gøre ved problemerne, og se at vi rent faktisk *kan* gøre noget, og at der stadig er håb. For som Kristian Leth skriver i forordet til HÅB: Et forsvar for fremtiden:

"De skal - og med skal mener jeg gudhjælpemig "skal"! - gå til verden med modet og visheden om, at de kan skabe deres egen verden. At de kan leve i den virkelighed, der er, og at der er en grund til at være her og nu." (Leth 2018)

Og med Kristian Leth vil jeg mene, at det er vores pligt som de voksne og i særdeleshed os, der har det privilegerede hverv som lærere, hvor vi har direkte adgang til ungdommen og mulighed for at tale direkte til dem og præge dem, at vi må insistere på, at vi *kan* gøre noget, og at der er håb! Og her mener jeg ikke håb i den passive forstand, hvor vi læner os tilbage og tænker, at alt nok skal gå fint, men i den aktive forstand som både Leth, Klafki og den amerikanske forfatter Rebecca Solnit er proponenter for. Håb som visheden om, at det er værd at prøve. Rebecca Solnit skriver:

"At håbe er at omfavne det ukendte og det, vi ikke kan vide. Det er et alternativ til visheden hos både optimisten og pessimister... Det håb, som interesserer mig, ligger i de brede perspektiver med specifikke muligheder, som inviterer os til at handle" (Solnit 2016)

Følelser eller fakta - eller begge dele

Det er missionen - hvordan skal den virkeliggøres? Den løsning, som synes at ligge lige for, og som vi senere vil se, at eleverne også selv peger på, er netop at vi i undervisningen, efter vi har peget på problemet, peger på løsningerne. Men der er også en risiko forbundet med dette. Vi skal huske, at vi underviser i *emnet* bæredygtighed i *faget* fysik. Det fagfaglige indhold skal altså være styrende. Glemmer man faget er der, som Torben Spanget Christensen minder os om, rig mulighed for, at undervisningen blot bliver moraliserende eller aktivistisk, men ikke hjælper eleverne til at tackle problemet (Christensen 2011). Vi må altså i fysikundervisningen give eleverne en fysikers perspektiv på udfordringerne og give dem de nødvendige værktøjer fra fysik-værktøjs-

kassen, som man skal bruge for at kunne imødegå klimaforandringerne. Omvendt er der også et argument for den aktivistiske undervisning eller i hvert fald for ikke at rense undervisningen for emotionelt indhold, for Klafkis beredvillighed er ikke nok. Som vi alle ved er vejen til helvede brolagt med gode intentioner. Man kan være nok så beredvillig til handling, men hvis man ikke ved hvordan – hvis man ikke har kompetencerne til handling – så strandede projektet tidligt på sin færd. Öhman og Sund har argumenteret for, at ægte handlekompetence fostres af undervisning, der beror på både det intellektuelle, det praktiske og det emotionelle aspekt af bæredygtighed (Öhman og Sund 2021). I oplægget til emnet bæredygtighed til teopæd-opgaven i skoleåret 22/23 citeres tidligere undervisningsminister Merete Riisager for at have sagt:

”Verdensmål og klimakamp fylder mere i skolen. Men er det undervisning eller indoktrinering? Hvordan kan vi få de børn, der er optaget af bæredygtighed, til at agere i forhold til klimakrisen? Det kan nogle gange være ved at tie stille om den del og i stedet bare lære dem noget om kemi, så de ved, hvordan tingene fungerer” (Pedersen 2022)

Jeg vil tillade mig at være uenig med ministeren i dette og derimod mene med Öhman og Sund, at følelser kan og skal ikke holdes ude af undervisningen i bæredygtighed. Vi vil alle sammen gerne, at eleverne har følelsen: håb i forhold til klimaudfordringerne og til deres fremtid. Da vi som undervisere har en privilegeret mulighed for at forsøge at give dem et sådant håb, har vi også en pligt til at forsøge på dette. Yderligere er der flere elever, der allerede har følelsen: frygt. Den frygt må vi også se i øjnene og som voksne mennesker hjælpe dem med at finde ud af, hvordan de skal bære den.

Klimaangst og skræmmekampagner

Klimaudfordringer opleves tydeligt alvorligt af eleverne. I 1c svarede 54.6% af eleverne, at de oplevede klimaudfordringerne som alvorlige eller meget alvorlige. I 2y var det tal på 77.3%. Flere elever gav da også udtryk for bekymring for fremtiden, eller at de var eller havde været decideret bange. En elev skriver i et spørgeskemasvar:

”Jeg tænker ikke som sådan om klimaet i min hverdag men kan godt være nervøs for fremtiden”

En anden elev fortalte også i interview, at vedkommende havde i en periode været meget bange for klimaudfordringerne i en sådan grad, at det fyldte alt for meget i vedkommendes bevidsthed og liv:

”Jeg var rigtig rigtig bange for det på et tidspunkt. Det var alle steder, jeg fulgte det alle steder på alle sociale medier og sådan noget. Det var bare hver dag, blev jeg bare bombet med, og så ser det sådan her ud i dag, og i dag er der døde så mange isbjørne og alt sådan noget, jeg blev virkeligt, virkeligt bange over det og tænkte over det hele tiden og begyndte at tænke over alt, hvad jeg gjorde, men nu tror jeg også bare, at man har indset, at ja det hjælper, at alle gør noget, men det hjælper heller ikke bare at gå panik over det hele tiden.”

Disse citater peger på en faldgrube, man skal være sig for ikke at falde i som underviser. De unge mennesker skal hjælpes til at handle, og nervøsitet for fremtiden kan både fungere som en drivkraft til dette, men bliver den for voldsom, er der en risiko for, at den kan virke handlingsslammende og demoraliserende. I fokusgruppeinterview gav eleverne dog udtryk for, at "skræmmehistorien" om situationens alvor primært fungerede som motivationsfaktor og ikke omvendt, som man godt kunne frygte. Flere af eleverne gav udtryk for, at energikrisen f.eks. har været medvirkende til ændringer i deres adfærd og deres bevidsthed om udfordringerne. Eleverne i begge klasser gav dog også udtryk for, at skræmmehistorien er en historie, de havde hørt mange gange før f.eks. i folkeskolen. Som med drengen, der råbte ulv, er der her en risiko for, at situationens alvor blot bliver en floskel. Vi skal altså finde en balance, og eleverne gav da også udtryk for, at en blanding af at understrege situationens alvor (skræmmebillederne) og en pegen på løsninger er nødvendig. Som en elev koncist formulerede det:

"Sådan lige gøre opmærksom på, hvad det egentligt er, vi arbejder for, og så hvad kan man gøre."

Det er altså vigtigt at påpege situationens alvor, men vi skal altså ikke dvæle for længe ved, hvor galt det kan gå. Derimod skal vi kigge på hvilke potentielle løsninger, der kan findes. Når vi underviser i fysik er det oplagt at tænke potentielle løsninger som teknologiske løsninger, men det er vigtigt at pointere her at tage kortere brusebade eller på anden måde mindske sit energiforbrug er også fysikfagligt funderede løsninger. Vi har i fysikfaget en særlig mulighed for at pege på løsninger for eleverne, fordi fysikfaget er det fag, der direkte beskæftiger sig med sagens kerne - energi.

Hvorfor snakker vi ikke om mig?

"Jeg interesserer mig egentlig kun for mig selv, (...) og så - ja, det interesserer mig, hvorledes jeg får en objektiv verden bygget op, en virkelighed."

- Ole Jastrau (fra Hærværk af Tom Kristensen)

De to forløb tog to forskellige perspektiver på bæredygtighedsproblematikken - det nære hverdagsperspektiv og det brede samfundsperspektiv. Forløbene repræsenterer også to forskellige perspektiver på, hvad handlekompetence indebærer. I hverdagsperspektivet drejer det sig konkret om at handle, at gøre noget konkret - at tage kortere bade, at slukke for elektriske apparater, der ikke bruges og så videre. I samfundsperspektivet er handlekompetence ikke nødvendigvis bundet op på en konkret handling men nærmere evnen til at kunne danne sig en holdning og tage et standpunkt. Det er ikke en konkret handling i forstanden en fysisk indgriben i verden, men det er ikke desto mindre en handling eller i hvert fald en nødvendig forudsætning for meningsfuld

handling.

Som Thomas Ziehe påpeger, er der er en udfordring i ungdomsgenerationens store fokus på selververdenen (Ziehe 2014). Det er ifølge Ziehe vores opgave som undervisere at præsentere eleverne for det, han kalder god anderledeshed. Vi skal:

"... undgå at opløse ethvert emne, så det passer til elevernes horisont"
(Ziehe 2004)

Og han fortsætter videre:

"En god lærers opgave bliver at ødelægge eller i det mindste ryste det, de unge opfatter som selvfølgeligheder. Han må ryste vishederne. Læring og undervisning betyder ikke at starte med emnets fremmedhed overfor eleverne og ende med, at det er blevet meget velkendt for dem. Læring i dag betyder at provokere eleverne ved at ryste deres visheder."

I det hverdagsnære forløb forsøgte jeg at ryste elevernes visheder ved at vise dem, at der er masser af steder i vores hverdag, hvor vi bruger meget mere energi, end vi regner med, og også "usynlige" ting som internettet bruger energi. Samtidig forsøgte jeg at bruge de unges fokus på selververdenen som løftestang ved at placere undervisningen tematisk i deres egen hverdag. Selvom eleverne gav udtryk for, at den hverdagsnære tilgang var noget, flere af dem havde været igennem før, gav de også udtryk for, at det i gymnasiekonteksten fik et løft af at være mere kvantitativt. Hvor man i grundskolen måske behandler emnet mere kvalitativt, kan vi i kraft af det lidt højere niveau i gymnasial sammenhæng rent faktisk regne på tingene og vise eleverne nogle meget konkrete sammenhænge. Det kan være øjenåbnende at få tal på bordet - bruger det SÅ meget energi? Koster det SÅ meget? Men selvom det i grundskolen selvfølgelig har været på et lavere fagligt niveau, hvis eleverne allerede har været igennem møllen en gang før, er det ikke sikkert at den tematisering bringer lige så stor gevinst med sig som ønsket.

Det var dog alligevel overraskende for mig, at det ikke nødvendigvis er den hverdagsnære tilgang til emnet, som har den største klangbund. Det viste sig derimod, at i dette konkrete forsøg med de her to konkrete klasser var der større klangbund for samfundsperspektivet. Her er det opløftende at se, at eleverne oplever en relativt abstrakt størrelse som energipolitik som relevant for dem. Tematisering af undervisningen skal naturligvis afhænge af klassen. Som nævnt tidligere er det vigtigt at tage med i betragtning hvilket klassetrin klassen er på. I en 1.g-klasse ville den politiske tematisering ikke nødvendigvis fange dem i lige så høj grad, som den gjorde i 2y, der allerede havde haft deres første erfaringer med at deltage aktivt i demokratiet. Det er derfor nok en god idé, at holde sig til noget mere konkret og håndgribeligt i 1g, og i 2g kan man åbne op for nogle af de mere abstrakte emner i takt med, at eleverne er mere modne til det.

Konklusion

At få de unge til aktivt at engagere sig i løsningen af klimaudfordringerne er en stor opgave at stille sig selv som underviser, men en nødvendig opgave. Der er derfor givetvis heller ikke nogen hverken nem eller entydig løsning på denne udfordring. Det indikerer litteraturen på området også. I dette projekt har jeg identificeret tre (ud af rigtig mange) faktorer, som jeg mener er relevante for succesfuld bæredygtighedsundervisning:

1. Peg på løsninger - hold håbet i live.
2. Undervisning i bæredygtighed er ikke ensbetydende med projektarbejde.
3. Fornuftig tematisering af undervisningen gør det mere relevant for eleverne.

Disse tre pointer er som udgangspunkt af almendidaktisk karakter og ikke begrænset til at gælde fysikundervisningen. Jeg vil dog mene, at vi som fysiklærere har en særlig gunstig position i forhold til punkt 1. Vi kan, i det vi løser vores fagfaglige kerneopgave, konkret arbejde med fordele og ulemper ved forskellige energikilder, forskellig energiadfærd og lignende og derved være med til at kvalificere elevernes holdninger. Vi skal naturligvis ikke være politisk eller moralsk formående, men vi kan vise eleverne konkrete fakta, som eleverne selv kan forholde sig til og for eksempel diskutere indbyrdes.

I forlængelse af punkt 2 mener jeg dog, at den langsigtede løsning er at inkorporere bæredygtighed løbende i undervisningen i stedet for i særskilte projekter eller som et særskilt emne. Hvordan vi kan leve grønnere, er jo noget, vi alle sammen skal tænke over hele tiden i vores hverdag. Derfor vil det også give mest mening, hvis vi kontinuerligt tænker over det i vores hverdag som undervisere. Som eleverne pointerede i interview, er der måske en effekt, lige når man bliver mindet om problemet, men så aftager effekten. Hvis vi ser bæredygtighed som en særskilt ting fra vores dagligdagsundervisning og altid behandler det selvstændigt, får vi ikke en langvarende effekt. Hvis vi, så snart vi kan, inddrager eksempler og små udregninger og forsøg i undervisningen omhandlende bæredygtighed, kan vi minde eleverne mere kontinuerligt om udfordringerne og også om løsningerne og måske derved få en større effekt.

* * *

Aske Graakjær Krogsgaard underviser i fysik og matematik på Rødkilde Gymnasium.

Referencer

- Bandura, A., & National Inst of Mental Health. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Prentice-Hall, Inc.
- Beck, S., 2019. Didaktisk tænkning på arbejde - en brugsbog til almen didaktik på det gymnasiale pædagogikum. 1. udgave red. s.l.:Frydenlund.
- Breslow, L. (2010). *Wrestling with Pedagogical Change: The TEAL Initiative at MIT*. *Change: The Magazine of Higher Learning*, 42(5), 23-29. doi:10.1080/00091383.2010.5031
- Bybee, R.W., Taylor, J.A., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J.C., Westbrook, A. & Landes, N. (2006). The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness. Colorado Springs: BSCS
- Coe, R., Aloisi, C., Higgins, S. and Elliot Major, L. (2014) 'What makes great teaching? Review of the underpinning research'. Sutton Trust, October 2014.
- www.suttontrust.com/research-paper/great-teaching
- Christensen, T. S. (2011:172). Formål og ambitionsniveau i sammenlignende fagdidaktik. *Cursiv*, (7), 169 - 174.
- Dewey, J. (1910). *How we think*. D C Heath. doi.org/10.1037/10903-000
- Kirschner, Poul A., Sweller, J. & Clark, Richard E. (2006) Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching, *Educational Psychologist*, 41:2, 75-86, DOI: [10.1207/s15326985ep4102_1](https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1)
- Klafki, W. (2002): 'Grundbestemmelser for et nyt almindelseskoncept' i *Dannelsesteori og didaktik - nye studier*. Forlaget Klim. Siderne 65-87
- Leth, K. (2018): *Håb: et forsvar for fremtiden*, People's Press
- Madsen, L. M., Evans, R., & Bruun, J. (2020). Undersøgelsesbaseret undervisning: 6F-modellen - dens tilblivelse og udvikling i Danmark. *MONA - Matematik- Og Naturfagsdidaktik*, 2020(1), 19. Hentet fra tidsskrift.dk/mona/article/view/118890
- Matthews, M.R. (1997). Introductory Comments on Philosophy and Constructivism in Science Education. *Science & Education* 6, 5-14 doi.org/10.1023/A:1008650823980
- Mayer RE. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction. *Am Psychol*. 2004 Jan;59(1):14-9. doi: 10.1037/0003-066X.59.1.14. PMID: 14736316.
- National Research Council. (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School: Expanded Edition*. Washington, DC: The



National Academies Press. doi.org/10.17226/9853.

- Öhman, J., & Sund, L. (2021). A Didactic Model of Sustainability Commitment. *Sustainability*, 13(6), 3083. MDPI AG. Retrieved from dx.doi.org/10.3390/su13063083
- Pedersen, E (2022, 4. april): Verdensmål og klimakamp fylder mere i skolen. Men er det undervisning eller indoktrinering? Kristeligt Dagblad
- Piaget, J. (1969): *Barnets psykiske udvikling, kapitel 4 Ligevejtsbegrebets rolle i psykologien*. København: Hans Reitzels Forlag. 34 sider.
- Solnit, R. (2016). *Hope in the dark: untold histories, wild possibilities*. Third edition, with a new foreword and afterword. Chicago, Illinois, Haymarket Books.
- Ziehe, Thomas (2014): 'Betydningen af orienteringen mod selvverden' i Knud Illeris (2014): "Læring i konkurrencestaten. Kapløb eller bæredygtighed". Samfundslitteratur. Siderne 105-116.
- Ziehe, Thomas (2004): *Øer af intensitet i et hav af rutine*. Viborg: Forlaget Politisk Revy.

Peerfeedback som forberedelse til skriftlig eksamen

Af Bjarke Kofoed Reimann



Peerfeedback fremhæves som en løsning til det dobbelte forventningspres, hvor nedskæringer kræver, at lærere effektiviserer deres arbejde, samtidig med at kravene til at feedback er konstruktiv og fremadrettet forøges. I artiklen overvejes fordelene og ulemperne ved peerfeedback, baseret på didaktisk teori og elevempiri fra et forløb op mod STX Fysik A eksamen. Undervejs holdes mundtlig og skriftlig peerfeedback, medieret via programmet Peergrade, op mod hinanden.

Introduktion

Nedskæringer i forberedelsestid og højere krav til formativ feedback, har lagt lærere under et dobbelt forventningspres, der virker umuligt at opfylde. Peerfeedback er blevet fremhævet, som en løsning på dilemmaet, der samtidig kan give eleverne et højere fagligt udbytte, men det kræver en meget bevidst stilladsering af læreren.

Programmet Peergrade kan bruges til at planlægge, strukturere og stilladsere peerfeedback. Her sammenlignes det med mundtlig peerfeedback op til en skriftlig fysik A eksamen.

Motivation

Med et øget fokus på formativ evaluering fra gymnasireformen 2017, samt løbende nedskæringer som følge af omprioriteringsbidraget fra 2015, udsættes lærere for et dobbelt forventningspres: På den ene side er målet, at feedbacken skal gå væk fra den klassiske feedback med (Hellisen, Lærere: Vi mangler tid til konstruktiv feedback, 2017):

[...] feedback på en lidt gammeldags måde, hvor fejlene bliver rettet, og der suppleres med et par kommentarer og en karakter.

og i stedet bliver fremadrettet og konstruktivt, med mindre fokus på karaktergivning. Tidligere uddannelsesminister Merete Riisager udtrykte det (Himmelstrup, 2017):

Eleverne skal have en karakter, men de skal også have feedback og evaluering, fordi det er vigtigt for den enkeltes udvikling både i forhold til faglighed og dannelse.

Samtidig giver nedskæringerne et øget arbejdspress på den enkelte lærer. Gymnasieskolen estimerer at i 2019 var der (Rasmussen, 2019):

[...] omkring 1.200 færre lærere sammenlignet med i 2015.

I samme periode har antallet af elever været nogenlunde konstant (Børne- og undervisningsministeriet, 2020). Det betyder, at mange lærere rapporterer manglende tid til at give grundig formativ feedback.

Peerfeedback kan være en mulig løsning på dette dilemma. Ved peerfeedback giver eleverne hinanden feedback på deres arbejde. Konceptet er lignende fagfællebedømmelse i den videnskabelige tradition, i og med, at det er "peers" som bedømmer hinanden. Bedømmelsen adskiller sig altså fra klassisk lærerbedømmelse, ved at have en mere symmetrisk magtrelation.

Der findes programmer, som for eksempel Peergrade, der faciliterer peerfeedbacken og derved fjerner en del af tiden læreren ellers skulle bruge på at forberede den. Når først kriterierne for feedback til en aflevering er opstillet, kan de også genbruges i samme aflevering på et andet hold, næsten uden yderligere brug af tid. Dette kan frigøre tid, som kan bruges bedre på andre indsatsområder. Samtidig kan peerfeedback kan gøre opgaveretningen en mindre ensformig og uinteressant arbejdsbyrde for læreren. Den kan bruges i klasserumsundervisningen, hvilket giver mulighed for at give feedback på skriftlige arbejder uden brug af fordybelsestid, hvilket er specielt relevant for fag som har en skriftlig dimension, men ikke afsat nogen fordybelsestid.

Et af hovedargumenterne for brug af peerfeedback er, at selve det at give feedback også indeholder et enormt læringsmæssigt potentiale for eleverne (Hellisen, Elev-til-elev feedback er på vej frem, 2017):

"Forskningen viser, at den elev, der giver feedback, kan få mindst lige så meget ud af feedbacken, som den elev, der modtager det," forklarer Jens Dolin.

Det er netop i mødet med de krav en god aflevering eller opgave skal opfylde, og med de andre elevers måde at løse samme opgave på, at der er mulighed for læring. Det sker ved at eleven tydeligt ser de ekspliciterede krav og aktivt arbejder med dem, og samtidig lader sig inspirere af alternative løsninger (eller græmmes over dem).

Der er også negative sider. Man kan frygte, at læreren mister overblikket over elevens faglige arbejder og progression. Hvis læreren ikke ser elevernes skriftlige arbejder, er det klart, at det bliver umuligt at følge og hjælpe i deres udvikling, og i sidste ende bedømme dem. Det er derfor vigtigt, at læreren ikke er fuldstændigt udenfor, men engagerer sig aktivt i processen. Her er også et potentiale i at læreren kan få indblik i elevens faglige forståelse, ved at se på elevens feedback (Holm, 2019).

Eleverne vil typisk protestere, at de stoler mindre på andre elevers rettelser end på lærerens, da deres kammerater ikke har de samme faglige kompetencer. Dette kan til dels modvirkes ved at opstille klare

krav og parametre eleverne skal følge. I sidste ende kan de også få en lærer involveret for at løse en faglig tvist, men det indeholder en fare i sig selv, da man derved risikerer at underminere feedbackgiverens faglige autoritet.



Eksempler på krav fra Fysik A

- Enheder i formler og mellemregninger
- Afrunding med betydende cifre
- Løsninger forklares med sammenhængende tekst
- Opgaver afsluttes med en tydelig konklusion

Det er også vigtigt, at eleverne holder en sober og faglig tone, og kun kritiserer materialet og ikke personen. Man skal derfor tænke over hvilken klasse man bruger det i.

Introduktion til Peergrade

Peergrade var et program til facilitering af peerfeedback. I programmet opretter læreren afleveringer i de forskellige klasser, med en "rubrik", der indeholder en række spørgsmål eleverne skal besvare. Spørgsmålene er fordelt på tre kategorier: Ja/nej, gradvise og fri tekst, hvor det er muligt at sætte krav til et mindste antal ord. Alle tre typer kan gøres obligatoriske eller frivillige.

Programmet fordelte automatisk elevernes indsendte besvarelser mellem dem, og de udfylder så rubrikken for hver besvarelse de skal rette. Til sidst kan eleverne se den feedback de har modtaget på deres egen besvarelse. Eleverne giver til sidst feedback på den feedback de har modtaget.

Forløbet:

- Eleverne fik fire skriftlige eksamensopgaver de skulle løse
- Først arbejdede de med to opgaver
- De gav hinanden feedback på opgaverne
- De skrev en kort refleksion over feedbacken
- Det blev gentaget for de sidste to opgaver
- Lektionen blev udført to gange. Én gang med anonym skriftlig feedback via Peergrade, én gang med mundtlig feedback.

Feedbacken skulle gives ud fra en tredelt rubrik:

Del 1: Formelle krav, bestod af ja/nej spørgsmål.

Q5 - Scale
Bliver løsninger forklaret med sammenhængende tekst?

Response

Nej

Delvist

Ja

Edit

Q6 - Scale
Er der korrekt brug af enheder og betydende cifre?

Response

Nej

Delvist

Ja

Edit

Figur 1: Eksempel på spørgsmål angående formelle krav.

Del 2: Vurderingernes kvalitet i vurderingsopgaven.

Q9 - Yes / No
Er antagelserne i vurderingsopgaven gode?

Response

Nej

Ja

Edit

Q10 - Text
Forklar hvilke antagelser du selv gjorde.

Response

Write your response here

Edit

Figur 2: Eksempel på spørgsmål angående vurderingsopgaven.

Del 3: Overordnet feedback og et videre fokuspunkt.

Q12 · Text
Prøv at nævne 3 ting som var gode ved opgavebesvarelsen.

Response

Write your response here

Edit

Q13 · Text
Giv personen et fokuspunkt han skal arbejde med i de næste to opgaver. Forklar hvorfor.

Response

Write your response here

Edit

Figur 2: Eksempel på spørgsmål angående vurderingsopgaven.

Teori og analyse

At stille opgaver

For at få peerfeedback til at fungere, er det essentielt at stille brugbare kriterier eleverne kan arbejde med. Nogle kriterier for god opgavestilling skitseres af Slot, Bremholm, og Hansen i deres opgavedidaktiske model fra (Slot, Bremholm, & Hansen, Elevopgaver og elevproduktion i det 21. århundrede: opgavedidaktisk model, 2016).

Her er der fokus på, at en del af en god opgavestilling er at opstille tydelige krav og kriterier, som skal være funderet i læreplanen og vejledningen. Dette kan minde om Hatties synlig læring, hvor der også er et stærkt fokus på, at eleven ved hvad der forventes af vedkommende (Wack, 2018)

Slot m.fl. argumenterer for, at der skal være både feedback og feedforward, altså kritik af den nuværende opgave, samt noget eleven kan arbejde med fremadrettet. Dette er vigtigt at medtænke når man som lærer opstiller feedbackkriterier.

Igen inddeler de feedback/feedforward i struktureret og situeret stilladsering. Den strukturerede stilladsering er planlagt ind i forløbet, og forekommer i høj grad i Peergrade. Den situerede stilladsering er momentan, altså for eksempel hvis en elev spørger en lærer eller fe-

edbackgiver om et stykke arbejde, og personen giver en umiddelbar respons derpå, og forekommer mere i mundtlig feedback.

Definition på læremiddel

Thomas Illum Hansen definerer læremidler som "midler, som har elevens læring som mål" (Slot, 2016). Her rykkes fokus altså væk fra undervisning og over på læring, hvilket har sine helt egne problemer (Biesta, 2009). Jens Jørgen Hansen har en lignende definition (Hansen, 2010, s. 43):

[Læremidler] er midler, der bringes ind i undervisningen med elevens læring som mål.

Denne definition er mindre problematisk, da den, på trods af sit eksplicite fokus på elevens læring, også gør det klart at læremidler er noget som indgår i undervisningen. Senere inkluderer han også direkte kommunikationsmedier og software, som er fokuspunktet for denne opgave.

Kategorisering af læremidler

Kategoriseringen bygger hovedsagligt på bogen Læremiddellandskabet (Hansen, 2010), hvor Jens Jørgen Hansen inddeler læremidler i tre overordnede kategorier.

Bemærk, at læremidlets kategori er kontekstafhængig, og defineres ud fra lærerens didaktisering. Samme læremiddel kan også didaktiseres på forskellige måder af samme lærer i én undervisningssammenhæng, og kan derfor have flere samtidige kategoriseringer.

Semantiske læremidler

Semantiske læremidler er som udgangspunkt ikke skabt til at indgå i undervisningen. Det er først gennem lærerens didaktisering af læremidlet, at det overhovedet bliver til et læremiddel. Disse er specielt vigtige for at sætte undervisningen i kontekst, relatere den til virkeligheden, og kontekstualisere viden ud af klasseværelset.

Peergrade kan have en funktion som semantisk læringsmiddel, hvis man bruger retteparametrene illustrativt. Dette kræver en bestemt didaktisering, hvor rubrikken laves på en form, så eleverne kan bruge den til at lære hvilke krav en bestemt opgavetype skal opfylde.

I skriftlig fysik er der nogle bestemte krav, som for eksempel at have enheder undervejs i mellemregninger, afslutte med en konkluderende sætning, afrunde med betydende cifre og lignende. Fra STX A vejledningen (Børne- og undervisningsministeriet, 2023):

I arbejdet med udregninger og i brugen af formler skal vigtigheden af brugen af enheder og af passende afrunding betones.

Og fra STX A læreplanen (Børne- og undervisningsministeriet, 2017):

Ved den skriftlige prøve lægges der vægt på, at eksaminanden: [...] kan analysere et fysikfagligt problem, løse det gennem brug af en rel-

evant model og formidle analyse og løsning klart og præcist

Disse krav er ofte underforståede, og i værste tilfælde stifter eleverne kun bekendtskab med dem gennem rettelser på mangler i deres afleveringer – altså kun gennem negativ, kritiserende og tilbagerettet feedback, som ikke er særligt effektiv eller motiverende for læring. I stedet kan man opstille klare parametre som skal være opfyldt. En måde at gøre det på, er ved at tydeliggøre dem i feedbackkriterierne til peerfeedback, og lade eleverne arbejde med om de er opfyldt på hinandens afleveringer.

Funktionelle læremidler

Jens Jørgen Hansen definerer funktionelle læremidler som (Hansen, 2010, s. 67):

[...] redskaber, der støtter og faciliterer elevers læreprocesser.

Funktionelle læremidler defineres ud fra deres funktion (Ibid.):

Funktionelle læremidler er dermed læremidler, der medierer elevens proces i at opleve, forstå eller gøre noget.

Han fortsætter med:

Fokus er flyttet fra læremidler til at lære i, til læremidler til at lære med [...]

De funktionelle læremidler er altså noget man bruger til at understøtte elevens læring. Dette står i modsætningen til de semantiske og didaktiske læremidler, hvor det nærmere er læremidlet selv, som er det, der skal forstås, eller sættes i en kontekst. De funktionelle læremidler hjælper derimod eleven til at forstå eksempelvis et semantisk læremiddel.

Skrivning som læremiddel

Vygotsky om skrivning

For Vygotsky har den skriftlige formulering en speciel status, da den tvinger eleven til at arbejde på et højere kognitivt niveau, eftersom eleven selv skal forestille sig modtagerne, og formuleringen skal være mere præcis og derfor kræver en højere grad af bevidsthed (Beck, 2019, s. 188).

Når vi beder eleverne give skriftlig feedback til hinanden, sker der altså noget andet end når de giver mundtlig feedback. Eleven har tid til at formulere sig præcist, og kan skrive og omskrive sine sætninger så de får netop den ønskede betydning. Det er i selve processen med skrivningen og omskrivningen, at feedbacken bliver forandret og forbedret, fordi elevens skriftlige udtryk er ikke bare et udtryk for hans tanker, men er med til at konstruere dem i gensidig udveksling.

Dette kan lede til, at feedbacken bliver mere præcis, og mere klart formuleret.

Omvendt kan man forestille sig, at de højere krav der stilles til elevens

kognitive egenskaber i forbindelse med skrivning, simpelthen gør det for svært eller kunstigt for nogle elever at udtrykke sig. Det er især manglen på den spontane dialog, der også nævnes af Vygotsky, som eleverne føler er den største ulempe ved brug af Peergrade.

Vygotsky om internalisering og zonen for nærmeste udvikling

For Vygotsky er læring en sociokulturel proces. Når eleven lærer, internaliseres omgivelsernes kultur. Her er det vigtigt at forstå kulturen som et mere bredt begreb. Det er nemlig gennem kulturelt tilegnede elementer, såsom sprog, stavning, matematisk symbolmanipulation og lignende, at eleven bliver i stand til at tænke på et højere abstrakt niveau.

I STX A læreplanen indeholder de faglige mål formuleringer som: at eleverne skal kunne anvende kvalitative og kvantitative modeller, bruge dem til at analysere data, og demonstrere viden om fagets identitet og metoder. Heri ligger mere generelt at kunne bruge korrekt symbolsprog, kunne begå sig med enheder, grafer, afrundinger osv. (Børne- og undervisningsministeriet, 2017).

Steen Beck beskriver Vygotskys teori om læring som (Beck, 2019, s. 292):

Læring hos Vygotsky er medieret. Tilegnelsen af en ny evne eller kompetence kræver derfor altid to trin. Først opstår kompetencen som socialt distribueret, altså som interpsykologisk funktion, og herefter begynder den at kunne mestres af individet, og bliver altså intrapsykiske.

Når vi bruger peerfeedback, er det under en forestilling om, at der er viden distribueret mellem klassens medlemmer. Vores opgave som lærer er at facilitere at denne viden flyttes fra det interpsykologiske til det intrapsykiske hos eleverne. For Vygotsky sker denne overflytning ved elevens internalisering. Dolin og Kaspersen udtrykker det som (Dolin & Pedersen, 2017, s. 187):

Internaliseringsprocessen er inderliggørelsen af de sociale og kulturelle former.

Og:

Internaliseringsprocessen foregår gennem mediering. [...] I Vygotskys tilgang sker det altid via et såkaldt artefakt.

Vi må altså forsøge at identificere de artefakter som har potentiale til at facilitere denne mediering. Her skelnes igen mellem materielle og symbolske artefakter. Et symbolsk artefakt kunne for eksempel være et sprog, hvorimod et materielt artefakt er noget der eksisterer uafhængigt af brugeren. Peergrade er altså et materielt artefakt, der hjælper medieringen mellem eleverne, og derved faciliterer deres internaliseringsprocesser.

For Vygotsky har læreren en central rolle i denne mediering. Det er læreren som skal facilitere elevens internaliseringsproces. Beck ud-

trykker det som (Beck, 2019, s. 292-293):

Vygotsky tillægger således læreren en meget stor betydning som et medierende led mellem elev og fag [...] Ifølge Vygotsky er det lærerens opgave i læringssituationer, hvor der arbejdes i udviklingsrummet mellem det, eleven kan, og det, han eller hun endnu ikke kan, og som derfor kræver hjælp fra andre, dvs. fagligt stærkere elever eller læreren. Han kalder dette udviklingsområde [...] for zonen for nærmeste udvikling.

Igen bemærker vi, at selvom det er læreren som skal etablere en situation, hvor eleven placeres i sin zone for nærmeste udvikling, kan det godt være de andre elever som faciliterer internaliseringsprocessen.

Med den korrekte stilladsering i feedbackrubrikken, vil det være muligt for elever på mange forskellige faglige niveauer at bidrage. Man må også huske, at faglig kompetence ikke er en endimensionel størrelse, og en elev kan godt være mere kompetent end en anden på ét punkt, men ikke på et andet.

Vygotsky definerer zonen for nærmeste udvikling som (Dolin & Pedersen, 2017, s. 190):

[...] afstanden mellem det aktuelle udviklingsniveau, som det kan afgøres gennem selvstændig problemløsning, og det potentielle udviklingsniveau, som det kan afgøres gennem problemløsning med hjælp af en voksen eller dygtigere kammerater.

Når eleverne retter hinandens opgaver, vil de nærmest per automatik befinde sig i deres zoner for nærmeste udvikling. Retteren vil kun rette ting, som ligger inden for hans faglige niveau, og vil komme med konkrete rettelser til modtageren, som er en forbedring på dennes opgave, og dermed rettet specifikt mod modtageren.

Fra et Vygotsky-inspireret synspunkt, er der fordele og ulemper ved de to måder lektionerne var indrettet på. Den mere åbne, spontane dialog i den mundtlige feedback, giver bedre muligheder for at eleverne kan diskutere med hinanden. Dolin og Pedersen siger at: (Ibid.)

Helt overordnet vil en Vygotskyinspireret pædagogik tilrettelægge sociale situationer, hvor den lærende kan anvende og reflektere over anvendelsen af kulturens artefakter. Man lærer et fags sprog ved at blive tvunget til at tale det og diskutere med andre. Man lærer at tolke grafer ved at diskutere forskellige tolkninger [...]

Her er der et stort fokus på diskussionen. Selvom Peergrade gav mulighed for en skriftlig diskussion, var der meget få elever som gjorde brug af den, og generelt er den langsommere og mindre spontan end den mundtlige. I den anden lektion foregik der derimod livlige diskussioner om de korrekte måder at løse opgaver, og tolke de givne informationer.

Her var den sidste opgave i anden lektion værd at fremhæve, da det var en åben opgave, Opgave 7 eksamenssættet juni 2018, hvor man skulle

bruge Arkimedes' lov til at udregne hvor meget en kanalrundfartsbåd ville hæve sig op af vandet hvis alle passagererne forlod den. I opgaven fik man kun et billede af båden, taget skråt forfra, og måtte bedømme sig frem til resten.

Dette ledte naturligt til mange diskussioner mellem eleverne, der havde forskellige idéer til at bedømme bådens dimensioner, og holdninger til, hvordan man bedst løste den. For Vygotsky, ville dette altså være en situation med stort læringspotentiale, da eleverne talte med hinanden, sammenlignede deres tolkninger, og diskuterede dem i fællesskab. Sådant en situation opstår ikke lige så naturligt og spontant med Peergrade.

Stilladsering

Omvendt er det også vigtigt at komme ind på stilladsering, når man diskuterer Vygotsky. Stilladsering beskriver processen, hvor eleven får progressivt mindre og mindre hjælp til at udføre et stykke arbejde, for til sidst at kunne stå på egne ben. Dette er nødvendigt, da elevens zone for nærmeste udvikling rykker sig i takt med at han udvikler sine kompetencer.

Stilladsering er vigtigt at medtænke, når man udvikler en rubrik til peerfeedback. Alt efter hvor eleven er i sin progression, må man være mere eller mindre eksPLICIT om feedbackparametrene. Samtidig kan man indtænke det i den enkelte rubrik, der kan starte med simple ja/nej eller gradbøjningsspørgsmål, og senere indeholde mere åbne spørgsmål, der kræver en højere grad af selvstændig tænkning og kognitive egenskaber. På den måde ledes eleven mere nænsomt ind i processen.

Kognitive læremidler

Jens Jørgen Hansen laver igen en underinddeling af de funktionelle læremidler i kognitive, kommunikative og kompenserende.

Kognitive læremidler er læremidler elever bruger til at lære. Jens Jørgen Hansen nævner som eksempel en stilladserende skabelon (Hansen, 2010). Her kan rubrikken i Peergrade, og i det dokument eleverne fik udleveret til peerfeedbacken i anden lektion, begge kan være eksempler på kognitive læremidler.

Et andet kognitivt læremiddel der blev brugt i forløbet, er elevernes skriftlige refleksion over deres feedback og fokuspunkter.

Når man får eleverne til at udføre refleksioner på skrift, tvinges de til at forholde sig aktivt og kritisk til hvad de har lært. Ved at skulle reformulere deres feedback skriftligt, tages den op igen, og får lov til at fæstne sig mentalt. Det giver derefter mulighed for at de senere vender tilbage til deres refleksioner igen, og ser hvad de har skullet arbejde med.

Hvis de har udviklet sig og opnået de mål feedbacken satte, er det motiverende, da det giver en følelse af kompetence. Hvis de endnu ikke har implementeret feedbacken, minder det dem om den, og giver dem

mulighed for at arbejde med den igen.

Kommunikative læremidler

Som navnet antyder, bruges kommunikative læremidler til kommunikation. Tidligere har klasserummet udgjort rammen for de kommunikative læremidler. Men her referer Jens Jørgen Hansen til Stig Hjarvards virtualisering af samfundets institutioner (Hjarvard, 2008, s. 58). Han skriver at (Hansen, 2010, s. 74):

Hvor kommunikation i skolen traditionelt har klasserummet som det privilegerede rum for undervisning, læring, viden, samtale, beskeder og socialt liv, bliver dette rum nu mikset med virtuelle konferencer og kommunikationsplatforme [...] Med udviklingen af nye kommunikative læremidler kan eleven nu tage del i undervisningen uafhængigt af det fysiske klasserum.

Vi kan altså forstå Peergrade som kommunikativt læremiddel, da det giver eleverne nye muligheder for at kommunikere feedback om et uploadet produkt, og eventuelt diskutere feedbacken. Kommunikationen foregår altid asynkront.

Typer af undervisningsrum

Netop det synkrone og asynkrone aspekt af kommunikationen er vigtigt at hæfte sig ved. Jens Jørgen Hansen laver en yderligere inddeling af synkrone og asynkrone kommunikative læremidler, der foregår i samme eller forskellige rum. Det lader os inddele dem i et skema:

	Synkrone	Asynkrone
Samme rum	Traditionelt	Virtuelt
Forskellige rum	Virtuelt	Personligt

Tabel 1: Typer af undervisningsrum.

De læringsrum der foregår synkront og kræver at alle er til stede i samme rum, er dem som kaldes de traditionelle. Det er for eksempel klassisk klasserumsundervisning. Når det både foregår i forskellige rum og er asynkront, er det det personlige læringsrum. For en elev kan det være brug af en personlig portfolio eller elevens søgning efter information på nettet.

Når eleverne taler sammen om deres opgaver, gør de altså brug af det traditionelle undervisningsrum. Det talte sprog udgør deres kommunikative læremiddel, og understøttes af henvisninger til den skrevne opgave.

De virtuelle læringsrum udmærker sig ved både at kunne være synkrone og i forskellige rum, eller asynkrone og i samme rum. For eksempel kan elever og lærere kommunikere synkront over en virtuel platform, uden at de behøver være til stede fysisk. Når de kan være asynkrone og i samme rum menes for eksempel platforme til deling af materialer, såsom elevens hjemmeopgaver eller klassens kollektive noter.

I det beskrevne undervisningsforløb blev der gjort brug af alle fire læringsrum. Undervisningen foregik i et klasselokale på skolen, og gjorde derved brug af det traditionelle undervisningsrum, hvor alle var til stede samtidig. Eleverne skulle arbejde med deres personlige refleksioner i et personligt læringsrum. De gav asynkron feedback i Peergade, og gav synkron mundtlig feedback.

Perspektiver til undervisningsrum

Brugen af Peergade er et eksempel på hvordan virtuelle teknologier både kan bruges til forbedring af den klassiske undervisning, ved at enten gøre det nemmere at opnå et mål gennem teknologi eller give helt nye muligheder for nye undervisningsformer, eller kan fungere som et alternativ til den etablerede undervisningsform.

Ved det første menes, hvordan Peergade kan give mulighed for at eleverne giver hinanden feedback i et asynkront virtuelt rum. Denne feedback ville også være mulig med mere konventionelle læremidler, for eksempel ved at eleverne fik en anden elevs opgaver udleveret af læreren og et retteark de skulle give feedback ud fra. Peergade har ikke på den måde åbnet op for en radikalt ny undervisningsform. Men det ville være meget besværligt og et stort arbejde at indsamle, fordele og genindsamle opgaver, og indsamle og fordele feedbacken. Ved at gøre det gennem et virtuelt program sparer man tid og arbejde.

Data fra elevfeedback

Ærlighed

Flere elever mener, at man er mindre ærlig når man giver mundtlig feedback end når man benytter sig af Peergade. Eksempelvis sammenligner en elev:

“Man er mere tilbageholdende (mindre ærlig) med sin respons [når man giver mundtlig feedback], da der er direkte kontakt til den person man giver feedback”

og en anden siger om mundtlig feedback:

“...pga. den manglende anonymitet har jeg på fornemmelsen at folk holder igen”

Troværdighed og kvalitet

Der er selvfølgelig også til et troværdighedsproblem. Hvorfor skulle man stole på den feedback man har modtaget?

En elev siger:

“jeg føler ikke programmet [Peergade] er effektivt ift. at rette opgaver, da man lægger ansvaret hos nogle, som ikke er “eksperter”, og derfor risikerer at fejlvurdere eller overse mangler.”

Og en anden reflekterer:

“man bliver jo dømt af en anden elev så ville kvaliteten af responsen ikke varierer helt vildt?”

Det er en typisk frygt for elever hvad angår peerfeedback (Hellisen, Elev-til-elev feedback er på vej frem, 2017). Fra en elevs synspunkt kan det virke meget suspekt at få kritik af en anden elev, da der er ingen garanti for elevens faglige kundskaber.

Fra en lærers synspunkt er det dog ikke lige så bekymrende, da et af hovedargumenterne for peerfeedback er, at størstedelen af udbyttet sker når eleven selv giver feedback (Holm, 2019). Den modtagne feedback kan næsten ses som sekundær, idet det, ud fra en konstruktivistisk syn på læring, er under elevens eget arbejde med at forholde sig kritisk til en opgave, og de parametre den skal opfylde, at eleven også mest aktivt tilegner sig stoffet.

En elev siger:

“Det er virkelig godt at man skal begynde at tænke kritisk over for andres opgave så man måske selv ved hvad man skal holde øje med til næste gang man skal aflevere noget eller er til en evt. eksamen.”

Her er det altså især i det, at de forholder sig til en andens opgave, at de rykker sig fagligt.

Fordele ved skriftlig feedback

En anden fordel ved brug af Peergrade, og skriftlig feedback generelt, er at feedbacken bliver mere fokuseret. I anden lektion endte diskussionerne i stedet ofte med at omhandle den specifikke løsning til opgaverne, på trods af at de var blevet advaret mod dette på forhånd.

En elev giver udtryk for samme holdning:

“Det endte ud i at blive en snak om resultater og meget overfladisk gennemgang af hvad man havde gjort. I Peergrade fik man en mere direkte respons som holdte sig mere objektivt til de fokuspunkter der var givet.”

En anden elev virker til at være enig:

“Oplevelsen med mundtlig “løs” feedback var ikke den bedste, man vidste ikke hvor man skulle starte og det hele blev lidt vagt. Det var langt bedre med Peergrade da det var fast hvad man skulle svare på og undersøge ved det hele”

Dette passer med Vygotskys syn på skriftlighed. Ved at udtrykke sig på skrift, bliver eleverne tvunget til at være mere præcise i deres formuleringer.

Fordele ved mundtlig feedback

Der er dog en klar fordel ved den mundtlige respons: Der er bedre mulighed for løbende dialog parterne imellem, og det er muligt for modtageren at spørge ind til, og få præciseret, sin feedback.

Dette er en af de mest gennemgående tilbagemeldinger fra eleverne, og nævnes bl.a. fra en elev:

“Det var nemmere at forstå hvad der helt nøjagtigt var ment med kritikken, da man bare kan snakke sammen.”

Og elev 3:

“Live er klart bedre i forhold til når andre retter ens opgave, her kan man spørge ind til hvorfor man har lavet en fejl, og dermed få det forklaret i dybden og på den måde få bedre indsigt.”

Et af problemerne ved den mundtlige feedback, er manglen på et skriftligt produkt eleven kan bruge senere. Dette kan for eksempel lede til at eleven ikke i samme grad gemmer sin feedback over en længere periode (Danmarks Evalueringsinstitut, 2018). Den skriftlige feedback har derimod en kontinuitet, der giver eleven mulighed for at vende tilbage og reflektere over det lærte.

Elev 17 eksemplificerer netop denne pointe:

“Ved Peergrade får man dog det hele på tekst, hvilket gør at man nemmere kan sammenligne sin feedback over tid samt vende tilbage til feedbacken.”

Den skriftlige feedback, og den data Peergrade generer om eleven, giver også læreren mulighed for at følge elevens progression, så man kan rette sin indsats netop der hvor den enkelte elev, eller klassen som helhed, har brug for det, samt bruge det til summativ evaluering.

Diskussion

Generelt var eleverne positivt stemt for brug af peerfeedback til at øve mod den skriftlige eksamen i fysik A. Det er dog vigtigt for eleverne, at supplere med feedback fra læreren, samt veksle mellem skriftlig og mundtlig peerfeedback, for at få fordelene fra begge metoder. Læringspotentialet ligger først og fremmest i at give feedback, men da variationen hurtigt bliver begrænset, er det vigtigt at holde peerfeedback til små sekvenser, hvor eleverne giver feedback til 2-3 andre elever. Til skriftlig peerfeedback fungerer programmer som Peergrade godt til at implementere og stilladsere sessionerne, samt eksplicitere kravene til eleverne. Man skal dog kun tænke peerfeedback som et supplement til den klassiske undervisning og lærerfeedback, hvilket begrænser dets potentiale som løsning til det dobbelte forventningspres.

Stilladsering og feedbackparametre

Bekymringen for at få feedback af lav kvalitet, kan modarbejdes ved at give eleverne klare kriterier til at give feedback ud fra, og en høj grad af stilladsering. Det betyder, at de ikke overser nogle parametre at give feedback ud fra, og at feedbacken bliver ensrettet på tværs af eleverne.

At give god feedback er noget man lærer over tid, og en stilladsering

kan være med til at hjælpe eleverne med at lære, hvad man skal fokusere på. Dette fokus overføres derefter forhåbentlig på deres egne opgaver. Hvis man bruger peerfeedback over et længere tidsrum, vil de forhåbentlig blive bedre gennem forløbet, og man kan afstilles indtil de til sidst selvstændigt er i stand til at udvælge kriterierne.

Man kan også forsøge at modvirke denne bekymring ved at kræve at eleverne giver feedback til to eller tre afleveringer. Dette minimerer risikoen for, at de ikke får nogen brugbar feedback, og også (måske endda vigtigere) risikoen for, at de ikke selv får mulighed for at give feedback på en brugbar aflevering. Dog skal man passe på, da det tager lang tid, og eleverne bliver hurtigt trætte af det ensformige arbejde.

Da Peergrade giver både afleveringerne og feedbacken en score, baseret på hvor "god" den var, kan man også som lærer opdage og forsøge at tage hånd om elever, som giver konsekvent lavt rated feedback. Samtidig giver det en mulighed for at identificere og hjælpe elever som ikke har modtaget brugbar feedback.

Forløbet var relativt kort, men det er ikke nødvendigvis en god idé at udvide det. Eleverne virkede til at være enige om, at peerfeedback var brugbart, men at de hurtigt blev trætte af at arbejde med feedbacken, og ikke syntes der var store forbedringer til sidst. Dette skyldes nok til dels at feedbacken i stor grad omhandlede meget konkrete tiltag, som eleverne havde implementeret hen mod slutningen af forløbet. Den mere overordnede feedback er sværere for eleverne at give hinanden, da den formentlig kræver et større fagligt overskud.

Konklusion

Vi finder altså at der er et potentiale ved brugen af peerfeedback for at træne eleverne mod den skriftlige eksamen i fysik. Peerfeedback frigør tid og ressourcer som læreren kan bruge andre steder, og selve processen med at rette har et stort læringspotentiale. Samtidig er der udfordringer i og med at eleverne ser feedbacken som mindre troværdig og ikke får den implementeret på tværs af sessioner, så den kan ikke fuldstændigt erstatte lærerfeedback.

Brugen af digitale læremidler som Peergrade kan facilitere processen og samtidig genere brugbare data til evaluering. Derfor kan vi se Peergrade som et hovedsageligt funktionelt kommunikativt læremiddel, men det har også potentiale for at blive didaktiseret og indgå som semantisk læremiddel.

Den skrevne feedback har særegne potentialer, og gennem Vygotskys syn på skrivning og elevernes tilbagemeldinger ser vi, at den kræver at eleverne arbejder på et kognitivt højere niveau og bliver mere præcise. Dette kan understøttes ved brug af skriftlig refleksion, der kan fungere som kognitivt læremiddel og hjælpe eleverne til at fastholde feedbacken. På den anden side har mundtlig feedback større potentiale for dialog. Denne kan både foregå i et klassisk undervisningsrum, eller gennem et digitalt undervisningsrum ved brug af kommunikative læremidler.

* * *

Bjarke Kofoed Reimann underviser i fysik og matematik på Silkeborg Gymnasium.

Litteraturliste

- Beck, S. (2019). *Didaktisk tænkning på arbejde*. Frederiksberg: Frydenlund.
- Biesta, G. (2009). *Hvad er uddannelse til for?* Klim.
- Black, P., & William, D. (1998). *Assessment and Classroom Learning. Assessment in Education: Principles, Policy & Practice, Volume 5*.
- Bruner, J. (1972). *Bidrag til en undervisningsteori*. Gyldendal.
- Børne- og undervisningsministeriet. (August 2017). Læreplan Fysik A, stx.
- Børne- og undervisningsministeriet. (2.. April 2020). UVM. Hentet 23. Maj 2020 fra www.uvm.dk/statistik/gymnasiale-uddannelser/elever/elevtal-for-de-gymnasiale-uddannelser
- Børne- og undervisningsministeriet. (Juni 2023). Vejledning til Fysik A, stx.
- Danmarks Evalueringsinstitut. (2018). *Digitalisering i gymnasiet set fra elevernes perspektiv: Brug af teknologi i forbindelse med evaluering og feedback*. Danmarks Evalueringsinstitut.
- Dolin, J., & Pedersen, K. (2017). 3.2 Læringsteorier. I G. H. Jens Dolin, *Gymnasiepædagogik - En grundbog* (s. 156-208). København: Hans Reitzels forlag.
- Hansen, J. J. (2010). *Læremiddellandskabet - Fra læremiddel til undervisning*. København: Akademisk forlag.
- Hattie, J., Masters, D., & Birch, K. (2015). *Visible Learning Into Action*. Routledge, Taylor & Francis Group.
- Hellisen, H. (23. Februar 2017). Elev-til-elev feedback er på vej frem. *Gymnasieskolen*.
- Hellisen, H. (11. Januar 2017). Lærere: Vi mangler tid til konstruktiv feedback. *Gymnasieskolen*.
- Himmelstrup, N. B. (21. Marts 2017). UVM. Hentet fra Børne- og undervisningsministeriet: www.uvm.dk/aktuelt/nyheder/uvm/udd/gym/2017/marts/170321-feedback-til-eleverne-skal-gentaenkes
- Hjarvard, S. (December 2008). En verden af medier: Medialiseringen af politik, sprog, religion og leg. *MedieKultur: Journal of media and communication research*.
- Holm, E. F. (September 2019). Peer feedback: Alle skal acceptere deres nye rolle. *Gymnasieforskning nr. 17*, s. 28-29.

- Kamp, M. (2017). Faget er afgørende for evalueringen. *Gymnasieforskning nr. 12*, s. 5-11.
- Klange, A. B. (2017). 7.5 Team som element i skoleudvikling. I J. Dolin, G. H. Ingerslev, & H. S. Jørgensen, *Gymnasiepædagogik - En grundbog* (s. 726-744). København: Hans Reitzels forlag.
- Paulsen, M., & Tække, J. (2017). Undervisning og de tre digitale bølger – Distraction, koncentration og engagement. *Læring & Medier nr. 18*.
- Rasmussen, J. (26. Februar 2019). Overblikket: Så meget har nedskæringer kostet indtil nu. *Gymnasieskolen*.
- Slot, M. F. (2017). 4.11 Læremidler. I G. H. Jens Dolin, *Gymnasiepædagogik - En grundbog* (3. udg., s. 410-429). København: Hans Reitzels forlag.
- Slot, M. F., Bremholm, J., & Hansen, R. (2016). *Elevopgaver og elevproduktion i det 21. århundrede: opgavedidaktisk model*. Odense: læremiddel.dk.
- Vygotsky, L. S. (1971). *Tænkning og sprog*. Hans Reitzel.
- Wack, S. (28. Marts 2018). *visible-learning*. Hentet fra Visible Learning: visible-learning.org/hattie-ranking-influences-effect-sizes-learning-achievement/

Gamification og differentieret undervisning i fysik

Af Ida Marie H. Matras


Gamification, spil og konkurrence kan være effektive metoder til at skabe motivation i undervisningen, da de giver anledning til fagligt samarbejde, konkrete succesoplevelser og en oplevelse af at lege sig til læring. Men gamification rummer også risikoen for demotivation, når eleverne oplever at fejle, sidde fast i spillet eller tabe til andre i klassen. Dette problem kan være særligt udtalt i klasser med stor spredning i det faglige niveau, hvor de fagligt svage vil have tendens til at opgive spil og konkurrencer på forhånd, mens de stærkeste hurtigt keder sig. Dette problem lægger op til en særlig didaktisk strategi, som kombinerer gamification med differentieret undervisning. Denne artikel præsenterer, afprøver og diskuterer fem principper for at bruge gamification i sammenhæng med niveaudifferentieret undervisning i fysik.

Introduktion

De fleste lærere kender til, at man i kortere eller længere perioder kæmper med mangel på motivation hos eleverne, og mange søger derfor efter metoder til at engagere eleverne i de faglige aktiviteter i undervisningen. Her kan det at lege, spille og konkurrere være en oplagt vej til at skabe nogle "motivationsboostere", såsom positive relationer i klassen, målorientering og oplevelsen af at en opgave er sjov. Det at konkurrere har jo i sig selv en indbygget motivation for mange, da det at løse en opgave bedre eller hurtigere giver en oplevelse af mestring, selvtillid og succes.

Samtidig skal man være opmærksom på, at der kan være ret væsentlige udfordringer ved denne form for motivation. En af de væsentligste er at sørge for, at spilelementerne kan forbindes til det faglige indhold på en meningsfuld måde, da man jo ellers risikerer at øge elevernes motivation for deltagelse i noget, som ikke reelt skaber læring indenfor fagets faglige mål eller kernestof. En del af problemet kan her være, at aktiviteterne ofte kommer til at have stort fokus på at gennemføre eller vinde. Dette kan være med til at hindre læring, fordi eleverne kommer til at fokusere på gennemførelsen af spillet fremfor den læring, som spillet faktisk skulle skabe.

En anden central udfordring ved spilelementer er, at aktiviteterne fak-



tisk har en indbygget risiko for at være decideret demotiverende. Som beskrevet i Steen Becks *Didaktisk tænkning på arbejde* (2019), er fokus på præstation fremfor forståelse i sig selv demotiverende, og dette er en klar faldgrube ved spillet som læringsstrategi, for hvis man oplever at man taber spillet (eller bare sjældent vinder), giver det jo i spillets natur en oplevelse af nederlag, og at man ikke mestrede stoffet, hvilket fjerner fokus fra læring. Dette må antages at være særligt sandsynligt, hvis eleverne oplever konkurrencen som urimelig eller unfair.

Dette problem kan være særligt stort i klasser, hvor der er stor spredning i det faglige niveau. I min egen undervisning og gennem samtaler med kolleger har jeg konstateret, at stor spredning i det faglige niveau generelt er en udfordring som kræver en særlig didaktisk indsats i planlægningen af de faglige aktiviteter, så alle elever får noget ud af undervisningen. Der er altid stor risiko for, at enten de fagligt mest udfordrede ikke kan udføre opgaven (og dermed ingen læring opnår), eller at de fagligt stærkeste bliver lynhurtigt færdige, og ikke lærer noget, fordi de stort set allerede havde opnået læringsmålet før de gik i gang. Begge grupper bliver demotiverede af dette og i værste fald er det kun midtergruppen som får læring ud af aktiviteten.

Der findes en del forskellige strategier til at afhjælpe denne type problemer vha. differentieret undervisning. Men min oplevelse er, at mange aktiviteter med spil og gamification nærmere forstærker problemet, da konkurrence-elementer kan være med til at understrege uligheden i klassen, og det bliver ekstra tydeligt for de udfordrede elever, at de ikke er i stand til at gennemføre aktiviteten, mens de stærkeste elever i endnu højere grad får incitament til at skøjte gennem opgaven. Særligt i naturvidenskabelige fag, hvor det ofte er meget tydeligt om en opgave er færdigløst, kan der være en tendens til, at konkurrence-elementer skaber en negativ stemning og udstiller de svageste.

Denne artikel undersøger, hvordan man kan udnytte de oplagte motivations-fordele ved gamification i undervisningen uden at havne i de omtalte problemer. **Det undersøges altså hvilke strategier, der kan benyttes for at sandsynliggøre, at gamification og spilelementer i undervisningen giver øget motivation for deltagelse og læring i en klasse med meget stor spredning i det faglige niveau.** Jeg har i den forbindelse udviklet en række gamification-øvelser rettet mod undervisningsdifferentiering, som jeg har haft i brug i et undervisningsforløb på mit eget Fysik B-hold.

Teori og metode

Den overordnede metode til er at implementere forskellige gamification-aktiviteter i løbet af et forløb på 6 moduler i en 2.g-klasse med stor spredning i det faglige niveau og derefter observere og spørge til aktiviteternes påvirkning på elevernes deltagelse og motivation.

Begrebsafklaring af relevante begreber

Da min undersøgelse fokuserer på de motiverende aspekter af gami-

fication, er det relevant at afklare, hvordan jeg benytter begrebet "motivation". Dorte Ågård (Ågård 2016) definerer motivation som "de forestillinger og følelser, der former elevens selvopfattelse som elever og påvirker deres adfærd og vedholdenhed (...) engagement forstås som manifestationen af motivation i aktivt arbejde". Samtidig understreger hun at motivation er et dynamisk fænomen, der ændrer sig ofte og dermed aktivt kan udvikles. Derudover anvender jeg CARTAGO-modellen for motivation som udgangspunkt for forståelsen af motivation. Denne model præsenterer seks centrale motivationsfaktorer, hvoraf spil og gamification har mulighed for at påvirke flere.

Motivationsfaktor	Beskrivelse
Competence (kompetencedrivkræfter)	Oplevelse af eller forventning om at mestre situationen eller problemet. Som fx at gennemføre en gamification-øvelse uden fejl.
Autonomy (autonomi)	Oplevelse af at have kontrol over eller indflydelse på indhold i undervisningen. Fx at få lov at bestemme reglerne i et spil.
Relatedness (Tilhørsforhold)	Oplevelse af at have værdsatte relationer til andre og være en del af fællesskabet. Fx at være en del af et hold der kæmper for et fælles mål.
Task-value (Opgave-værdi)	Oplevelse af at en opgave har indbygget værdi idet den er nyttig, spændende, underholdende osv. Som spil og leg generelt opleves af mange.
Attributions (Udfalds-tilskrivning)	Årsager som giver oplevelsen af succes eller fiasko.
Goal-orientations (Mål-orientering)	Ønsket om at opnå et bestemt mål. Fx at mestre en konkret færdighed, opnå en bestemt karakter eller at være den bedste til noget.

Gamification som begreb er defineret (med udgangspunkt i Deterding et al 2011) som brugen af mindre spilelementer i ikke-spil kontekster, hvor formålet ikke i sig selv er spil og leg. Deterding et al beskriver gamification som et motivationsværktøj, fordi spil i udgangspunktet er designet til at underholde. Samtidig trækkes en grænse mellem gamification og leg generelt ("play"), og det understreges at gamification altid vil have et element af regler, som skal opfyldes (og eventuelt forhandles).

Fordelene ved at benytte gamification fremfor store læringsspil over flere moduler er, at der kan være tale om små varierede spil-elementer, som er lette at implementere i den eksisterende undervisning, og som kan varieres og tilpasses i det uendelige. Det har givet mulighed for at afprøve forskellige spil-elementers effekter på motivationen i et enkelt forløb, og dermed få en bedre fornemmelse for de eventuelle fordele og ulemper. Samtidig betyder det, at mine idéer og resultater fra denne artikel relativt let kan tilpasses andre klasser, emner og endda fag.

Klasseportræt

2.x er en stamklasse med 28 elever og studieretningen Matematik A,

Fysik B, Kemi B. Det er en klasse som generelt viser rimelig stor motivation for fysik, og der er generelt en høj arbejdsmoral på den måde, at stort set alle i klassen er indstillet på, at undervisningen kræver et arbejde fra dem, som de har forpligtet sig til at udføre og sjældent brokker sig over.

Det der kan være en didaktisk udfordring i 2.x ligger således ikke så meget i tilgangen til undervisningen, men i spredningen i det faglige niveau, hvilket også påvirker motivationen negativt. Klassen rummer både ca. 5 ekstremt fagligt afventende elever, som kæmper med de simpleste matematiske repræsentationer (fx ligefrem proportionalitet) og ca. 5 elever som kan udføre beregninger og forsøg på A-niveau uden hjælp fra mig. Imellem disse to yderpunkter er alle faglige niveauer repræsenteret stort set ligeligt. Dette giver typisk udfordringer i gruppearbejde, hvor en enkelt elev hurtigt kan "løbe afsted" med opgaven uden at resten egentlig er involveret i løsningen. Motivationen for at deltage i gruppearbejde falder altså markant for de fagligt udfordrede elever, når der ofte er en langt stærkere elev, som hurtigt kan løse opgaven selv. Desuden har jeg ofte problemer med at finde og designe opgaver og øvelser, som ikke er alt for lette til de stærkeste elever. Hvis opgaverne er for lette, har jeg ofte observeret at flere af de fagligt stærkeste elever helt dropper at lave opgaverne eller blot laver dem overfladisk og derefter går videre til andre aktiviteter, som ofte er helt urelaterede til undervisningen og endda forstyrrer eleverne i midtergruppen.

I min undervisning af klassen benytter jeg en differentieringsstrategi, som jeg kalder Grøn – gul – rød, med inspiration fra Karin Svejgaard (2010). Denne metode til at differentiere præsenteres kort her:

Grøn – gul – rød-metoden

- Eleverne arbejder i grupper hvori alle er på ca. samme faglige niveau, og hver gruppe arbejder med en opgave som passer til deres niveau. Enten vælger grupperne selv opgave eller også har jeg på forhånd bestemt, hvem der skal arbejde med hvilken opgave.
- Der er tre opgaver i tre sværhedsgrader, hvilket eleverne er oplyst om. Alle tre opgaver handler om samme emne og træner til dels de samme repræsentationsformer:
 1. Den grønne opgave træner eleverne i basale færdigheder med klar stilladsering
 2. Den gule inddrager kombination af flere repræsentationsformer og metoder i én opgave (men stadig med stilladsering)
 3. Den røde stiller mere induktive spørgsmål med minimal stilladsering.
- Man kan enten lade grupperne selv bestemme, hvilken opgave de gerne vil arbejde med, eller man kan bestemme det for dem på forhånd.

Et eksempel på konkret anvendelse af metoden ses til slut i næste afsnit (Konkret anvendelse af Gamification-øvelser i forløbet).

Fagdidaktiske overvejelser

Carl Angell et al har i deres bog *Fysikdidaktikk* redegjort for en række af de særligt fagdidaktiske udfordringer som ligger i fysikfaget. Ifølge dem er det kendetegnende for fysik at eleverne skal kunne håndtere at den samme viden udtrykkes på fem forskellige måder:

- Fænomenologisk
- Eksperimentelt
- Grafisk
- Matematisk-symbolsk
- Begrebsligt.


Ofte er det en stor udfordring for eleverne ikke blot at kende alle disse former, men også at kunne skifte hurtigt mellem dem fra øvelse til øvelse. Dette kræver træning og en særlig opmærksomhed i undervisningen på de forskellige skift. I mit valgte forløb har jeg forsøgt at imødekomme denne udfordring ved at flere af aktiviteterne træner de forskellige repræsentationsformer gennem gamification. Der er således spilelementer som fokuserer på begreber, andre som fokuserer på matematisk repræsentation og andre som fokuserer på eksperimenter. Dette gøres for at sikre at gamification-elementerne fører til reel faglig læring og ikke blot deltagelse i spil.

Forløbet som danner udgangspunkt for min undersøgelse handler om det elektromagnetiske spektrum og spektroskopi. Dette er et emne som har mange repræsentationsformer af samme fænomen i spil, og hvor særligt de forskellige modeller udfordrer elevernes for forståelse. Det elektromagnetiske spektrum og spektroskopi lægger især op til begrebslig, matematisk og visuel repræsentation, mens anvendelsen i forståelsen af universets udvidelse er en meget abstrakt model, som kræver et stort mentalt arbejde af eleverne. I mit gamification-design vil jeg forsøge at imødekomme disse udfordringer ved at tænke dem ind i aktiviteterne.

5 principper for gamification i differentieret undervisning

I et forsøg på at løse problemet med gamification i klasser med stor spredning i det faglige niveau, har jeg opstillet fem principper for design af øvelser. De lyder som følger:

1. **Fokuser på motivation for læring.** Hver aktivitet skal have mindst én motivationsfaktor indbygget og motivationen skal føre til deltagelse i arbejdet med det faglige indhold.
2. **Benyt hierarkisk differentiering og faste grupper.** Herunder fx grøn – gul – rød-metoden. Læringssamarbejde er vigtigt for læring på alle faglige niveauer, og den hierarkiske differentiering sikrer, at alle får opgaver som ligger i zonen for nærmeste udvikling. De 7 faste grupper er sammensat af mig ud fra min vurdering af, hvilke elever der er på samme faglige niveau.

- 
3. **Undgå konkurrence mellem grupper, og lad eleverne interagere primært inden for den enkelte gruppe.** En konsekvens af den hierarkiske inddeling er, at konkurrence mellem grupperne bliver åbenlyst ulige. Dette kunne til dels løses med differentierede opgaver, men også dette vil hurtigt få konkurrencen til at fremstå uigennemskuelig og unfair, da jeg jo ikke kan garantere lighed i udfordringsgraden. Visse aktiviteter har derfor intet konkurrence-element, andre har konkurrence indenfor gruppen.
 4. **Aktiviteterne skal træne forskellige repræsentationsformer.** Det faglige indhold skal fokusere på Angell et al's forskellige fremstillingsformer (beskrevet ovenfor), da dette er en central udfordring i fysikkens didaktik, som er relevant i næsten ethvert forløb.
 5. **Hold aktiviteterne relativt simple,** så de er lette at gå til i undervisningsplanlægningen og kan tilpasses andre forløb.

Sammenhæng med læreplanen i Fysik B

Selvom jeg ikke har formuleret et eksplicit princip om det, er det selvfølgelig tanken, at de gamification-øvelser, jeg udvikler på baggrund af principperne, skal passer godt ind i læreplanen for fysik B; herunder særligt ift. faglige mål og didaktiske principper.

Dette har til dels en sammenhæng med repræsentationsformerne i princip nr. 4, som jo sikrer et fokus på det fysikfaglige indhold og de udfordringer eleverne møder her. I læreplanens afsnit 2.1 om faglige mål nævnes repræsentationsformerne indirekte, da der står at eleverne skal "kende og kunne opstille og anvende modeller til en kvalitativ eller kvantitativ forklaring af fysiske fænomener og sammenhænge", "kunne foretage beregninger af fysiske størrelser [baseret på modellerne]" og "ud fra en given problemstilling kunne tilrettelægge, beskrive og udføre fysiske eksperimenter med givet udstyr og præsentere resultaterne hensigtsmæssigt". Disse tre centrale mål beskriver jo at eleverne ved fagets afslutning skal kunne navigere i både grafiske, matematisk-symbolske og eksperimentelle fremstillinger af fysikfaglig viden, hvilket jo er det jeg ønsker at træne med gamification-øvelser jf. princip 4.

Derudover står der i læreplanens afsnit 3.1 om didaktiske principper: "Undervisningen tager udgangspunkt i et fagligt niveau svarende til elevernes niveau fra grundskolen. Undervisningen tilrettelægges [...] så eleverne motiveres til at arbejde med faget samtidig med, at deres nysgerrighed og kreativitet stimuleres." Dette passer både godt sammen med mit 2. princip om hierarkisk differentiering, som skal sikre at eleverne arbejder med opgaver i et passende niveau (zonen for nærmeste udvikling) og med mit 1. princip, om at øvelserne skal fokusere på forskellige motivationsfaktorer.

Konkrete gamification-øvelser i forløbet

Jeg har i forløbet om lys og spektroskopi implementeret fem forskellige analoge gamification-elementer fordelt på seks moduler.

For at skabe et overblik over øvelserne har jeg analyseret hver enkelt ved brug af FIMME-modellen. Dvs. at jeg opstiller en kort beskrivelse af hver øvelse og derefter gennemgår følgende fem punkter:

FIMME-modellen

- **Formål:** Øvelsens læringsmål eller didaktisk formål. Baseret på CARTAGO-modellen.
- **Indhold:** Øvelsens faglige indhold og deres repræsentationsformer.
- **Materiale:** Det fysiske materiale som øvelsen kræver, fx papir og saks eller konkret undervisningsmateriale
- **Metode:** De didaktiske overvejelser om udformningen af denne øvelse
- **Evaluering:** Min evaluering af øvelsen fra lærer-perspektiv baseret på observationer i undervisningen.

I analysen gør jeg desuden brug af Becks læringscirkel som er kort forklaret i denne faktaboks:



Steen Becks læringscirkel fra *Didaktisk tænkning på arbejde*. 1. akse angiver et spektrum fra stor afstand mellem lærer og elev til stor nærhed, og 2. akse angiver et spektrum fra de mest kaotiske, induktive øvelser til de mest styrede deduktive øvelser. Dermed opstår fire læringsrum som alle har deres berettigelse i undervisning.

Under FIMME-analyserne findes eksempler på, hvordan øvelsesark til eleverne var udformet. Disse bestod næsten altid af opgaver formuleret i punktform på papir. Evt. med en lille illustration. Nogle af dem indeholdt instruktioner til brugen af eksperimentelt udstyr, mens andre var rent teoretiske.

Fælles for alle øvelser var at de blev løst i grupper, som var inddelt efter fagligt niveau med grøn-gul-rød-metoden. Nogle opgaver blev så differentieret naturligt gennem gruppens egen løsning (se øvelse 1), mens andre opgaver var formuleret i tre udgaver: én til hvert niveau (se øvelse 5).

Aktivitet 1

På baggrund af teori læst i grundbogen skal hver gruppe lave et antal simple spørgsmål/svar-kort. Derefter skal gruppen selv opfinde et spil som involverer spørgsmålene og spille det med hinanden.

- **Formål:** At starte samarbejdet i de faste grupper med en høj grad af motivation gennem oplevelse *Autonomi* og *Relatedness*. Øvelsen har desuden *Task-value* i form af sit kreative element og er med til at træne basale begreber og redegørelse indenfor emnet.
- **Indhold:** Et overblik over det elektromagnetiske spektrums kategorier og disses basale egenskaber. Det faglige indhold træder i denne øvelse i baggrunden for det kreative lærings samarbejde. Træner begrebslig repræsentation af emnet
- **Materiale:** Grundbogens beskrivelse af kategorierne i det elektromagnetiske spektrum. Desuden karton, papir, tuscher og saks.
- **Metode:** Denne aktivitet har en høj grad af frihed og befinder sig på kanten mellem rum 2 og 3 i Becks læringscirkel. Jeg har rammesat opgavens faglige indhold, men selve spildesignet er givet frit til eleverne. Differentiering opstår alene på baggrund af gruppeinddeling. Tid: ca. 60 minutter
- **Evaluerig:** Stort engagement i at udvikle spillet i alle grupper. Høj deltagelse og selvstændighed. Min umiddelbare observation er at de grupper som består af fagligt stærke elever, også udvikler mere fagligt krævende spil, og dette bekræftes ved nærmere undersøgelse af spillene og spørgsmålene efter timen.

Aktivitet 2

Quiz-spil med "Stiger og Slinger". En spilleplade og et sæt spørgsmål (udviklet af læreren) udleveres til hver gruppe. Gruppen opfordres til selv at justere på reglerne.

- **Formål:** At skabe motivation gennem oplevelse af *Competence* og *Goal-orientations* (at vinde over de andre i gruppen). At træne redegørende viden og matematisk beskrivelse af fotoner.
- **Indhold:** Begrebslig, grafisk og matematisk-symbolsk repræsentation af fotoner. Forskellige enheder for energi.

- **Materiale:** En spilleplade med tilhørende regler og spørgsmål indenfor emnet fotoner. Tilhørende svar-ark med korrekte svar til quizzen. Udviklet af mig selv i samarbejde med pædagogikumsvejleder.
- **Metode:** Eleverne arbejder sammen i par og spiller mod hinanden 2 og 2 indenfor grupperne. På grund af princippet for gruppeinddeling spiller alle mod nogen på ca. samme niveau. Opgaverne er relativt simple og vi er i rum 2 i Becks læringscirkel. Tid: Ca. 40 minutter.
- **Evaluering:** Høj grad af deltagelse i alle grupper. I nogle grupper (mest de fagligt svageste) gribes der alt for hurtigt og ofte til svar-arket, så faglig diskussion udebliver. I nogle grupper intens stemning på kanten til konflikt over hvem der vinder.

Aktivitet 3

Samarbejdende rollespil. Eleverne agerer hhv. stjerne, gassky og to observatører. Ærteposerne repræsenterer fotoner i forskellige farver, som udsendes fra stjernen og derefter enten absorberes af gasskyen eller registreres af observatør.

- **Formål:** At skabe motivation og læring gennem fysisk leg og bevægelse, samt oplevelsen af *Competence og Relatedness* (når "spillet" og dermed samarbejdet kører gnidningsfrit). At skabe rumlig/fysisk forståelse for hvordan et spektrum opstår.
- **Indhold:** Fysisk/rumlig forståelse for model over observationer af hhv. emissions- og absorptionsspektrum.
- **Materiale:** Viden om opståen og observation af hhv. emissions- og absorptionsspektre. De fysiske materialer er farvede ærteposer og eleverne selv, som agerer hhv. lyskilde, elektron og to observatører.
- **Metode:** En form for rollespil, hvor eleverne udgør forskellige funktioner i observationen af et spektrum. Ærteposer repræsenterer lyset, og når spillet fungerer, opstår et flow, hvor de kastes mellem deltagerne i et bestemt system. Oplagt mulighed for læringssamarbejde og peer-to-peer-læring. Tid: Ca. 30 minutter.
- **Evaluering:** En del grupper lykkes aldrig med at få flow i øvelsen og giver op ret hurtigt. Kræver detaljeret instruktion fra min side, hvilket giver ventetid for flere grupper. I andre grupper opstår reelt læringssamarbejde, når en elev har knækket koden til løsningen og nu må give denne viden videre til de andre, hvis spillet skal lykkes.

Aktivitet 4

Break-in-box med præmie. En række af faglige opgaver, hvor hver opgave fører den næste med sig som i et escaperoom. Målet er at finde nøglen som låser kassen med præmien op.

- **Formål:** At skabe motivation gennem oplevelse af *Competence og Goal-orientations* (at løse opgaven korrekt og dermed nå frem til

præmien). At observere forskellige spektre eksperimentelt og træne brug af gitter-formlen.

- **Indhold:** Eksperimentel repræsentation af spektre. Anvendelse af goniometer med gitter til at identificere spektrallamper ud fra deres spektrum. Gitter-formlen.
- **Materiale:** Spektrometer med gitter, spektrallamper, data-bog. Skriftlig forsøgs-vejledning som læner sig op ad kogeboogsmodellen.
- **Metode:** Eleverne arbejder eksperimentelt i læringscirkelens 2. rum. Forsøget er meget stilladseret grundet det for eleverne nye og relativt komplicerede udstyr. Til gengæld tilføjes et element af mysterium og opklaring gennem gamification, hvor eleverne efter at have identificeret den "hemmelige" lampe korrekt, kan udregne koden til en kodelåst boks med en præmie i. Læring gennem praktisk erfaring og samarbejde er her i fokus. Tid: Ca. 45 minutter
- **Evaluerig:** Som det ofte ses ved eksperimentelle øvelser, er eleverne udfordret af en del praktiske forhindringer, som ender med at skabe et tidspres, der har negativ effekt på motivationen. Ikke alle grupper når frem til en korrekt løsning, som kan åbne den kodelåste boks, hvilket fører til både frustration og apati i flere grupper.

Aktivitet 5

Ballon-analogi med præmie. Hver gruppe guides gennem et antal trin til at anskueliggøre universets udvidelse og Hubbles lov. Når opgaven er korrekt løst, skal den godkendes af læreren som udleverer en præmie

- **Formål:** At skabe motivation gennem oplevelse af *Competence*, *Task-value* (oplevelse af leg pga. analogien) og *Goal-orientations* (at løse opgaven korrekt og dermed nå frem til præmien). At træne forskellige enheder for afstande og hastighed på meget store skalaer
- **Indhold:** Matematisk-symbolsk og grafisk repræsentation af universets udvidelse og Hubbles Lov. Øvelsen er kvantitativ og involverer en lineær model for Hubbles lov.
- **Materiale:** Balloner, tuscher, vejledninger efter grøn-gul-rød-metoden, grafisk fremstilling af lineært datasæt i Excel.
- **Metode:** Grøn-gul-rød-metoden, hvor jeg har bestemt hvilken opgave hver gruppe skal løse, skal sikre at alle arbejder i zonen for nærmeste udvikling. Træning af model og analogi ved at lade en ballon repræsentere universet og foretage beregninger på denne. Korrekt løsning af opgaven udløser en præmie (slikpose) og klap-salver fra klassen. Indlagte refleksionsopgaver (refleksion over analogi som metode) flytter eleverne til rum 4 i læringscirklen. Tid: Ca. 60 minutter.
- **Evaluerig:** Høj grad af deltagelse og engagement i alle grupper. Alle virker behavioristisk motiverede af præmien. Der er tendens til

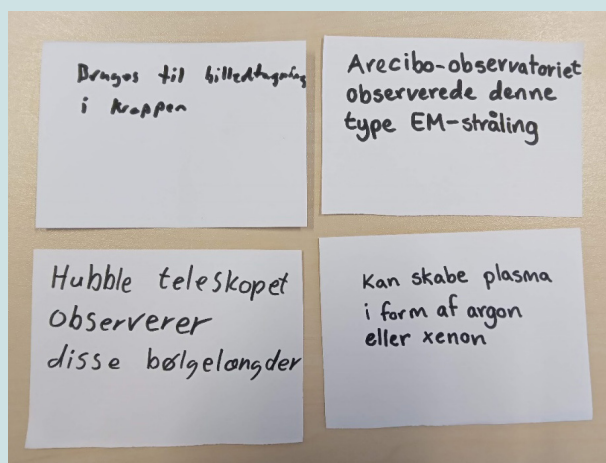
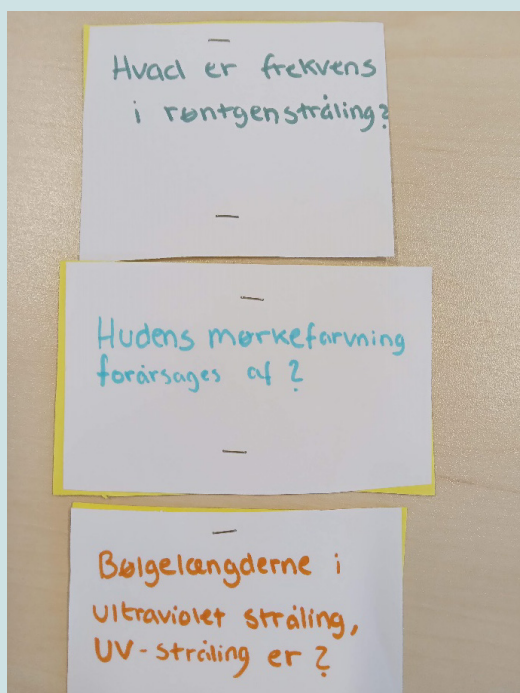
at der udvikler sig en konkurrence mellem grupperne, selvom dette bryder med mit 3. princip. Dette skaber dog ikke dårlig stemning, og da de fagligt svageste grupper (som arbejder med den grønne opgave) bliver hurtigst færdige, observerer jeg en stor stolthed og glæde, som jeg antager styrker deres oplevelse af *Competence*.

Eksempler på hvordan opgaverne blev præsenteret for eleverne

Øvelse 1: "Brætspil" med begrebskort. Hver gruppe skal design et spil ud fra følgende fremgangsmåde:

1. Skim side 277-28 og 288-294 i Orbit B. Del teksten ud mellem jer.
2. På baggrund af dette skal I udforme 7 kort med strålingstyper og en række sedler med egenskaber ved strålingstyperne. For eksempel
 - "Har bølgelængden 400 nm - 700 nm"
 - "Bruges ved telekommunikation"
 - "Kaldes også varmestråling"Man må ikke kunne se hvilken stråling den enkelte seddel tilhører. I må også gerne bruge nettet til dette.
3. Herfra skal I udvikle et spil som kan spilles af jeres egen gruppe eller andre på samme faglige niveau, som gør brug af begge typer kort.
4. Nedskriv reglerne og spil jeres eget spil. Tilføj forbedringer undervejs.

Eksempler på spørgsmålskort fra forskellige grupper



Spørgsmålsspil fra en rød gruppe.

Spørgsmålsspil fra en grøn gruppe.

Øvelse 5: Universet som en ballon!

Denne øvelse er lavet med grøn-gul-rød-metoden, hvor jeg har besluttet hvilke grupper, der arbejder med hvilken opgave. Herunder ses den røde udgave, som er den mindst stilladserede og detaljerede. Den gule og den grønne opgave går igennem stort set den samme opgave, men med mere stilladsering og detaljeret instruktion samt mindre refleksion og perspektivering.

Udstyr: Balloner, målebånd, sprittusch

Rød udgave

1. Tegn midt på ballonen 7 prikker på linje med 0,5 cm afstand mellem hver. Giv dem numrene 0 ("vores" galakse) og 1-6 (de andre galakser).
2. Pust nu ballonen så meget op, som I kan uden at sprænge den, bind knude og mål igen alle afstande fra 0. galakse til hver af de andre galakser.
3. Definer at hver gang den fjerneste prik har flyttet sig 1 cm, svarer det til 100 mio. år. Hvor længe har udvidelsen så varet?
4. Lav en graf, som viser sammenhæng mellem d , galaksernes endelige afstand til 0. galakse (målt i Mpc), og v , deres hastighed væk fra denne under oppustningen (målt i km/s). Kig på grafen. Hvad kan I konstatere?
5. Undersøg hvad Hubbles konstant er, og bestem Hubbles konstant for dette ballon-univers. Sammenlign med vores eget univers og sig noget fornuftigt om det.
6. Refleksion: Hvordan er ballonen en god analogi for et univers? Hvad er svaghederne ved analogien? Angiv mindst 3 styrker og 3 svagheder.
7. Svar på: Hvis universets udvidelse accelererer, hvilket de fleste anser for bevist, hvad betyder det så for Hubble-konstanten? Bør den få et andet navn?

Opsamling på analysen af forløbet

Som det fremgår af skemaet, er aktiviteterne generelt forløbet nogenlunde succesfuldt, og de fleste har umiddelbart en positiv effekt på motivationen, som jeg har observeret i undervisningen. De fleste aktiviteter har en høj grad af deltagelse og engagement i både de fagligt udfordrede grupper og de fagligt stærke grupper, hvilket indikerer, at gamification generelt har den tilsigtede effekt. Samtidig konstaterer jeg, at princippet om hierarkisk differentiering var med til at holde konkurrencen relevant for flere elever.

En anden positiv effekt ved den hierarkiske differentiering var, at flere af øvelserne (særligt 1, 2 og 5) endte med at foregå i zonen for nærmeste udvikling, hvor læring faktisk er muligt (jf. Vygotsky som beskrevet i Beck 2019). Dette ses fx i spildesigns fra øvelse 1, hvor spørgsmålene

udarbejdes af eleverne selv og derfor også passer godt til gruppens faglige niveau.

Dog rummer flere øvelser også utilsigtede udfordringer. I øvelse 3 og 4 observerede jeg, at mange elever ikke deltog aktivt, men i stedet virkede forvirret passive. Begge øvelser begge havde udfordringer i form af tidspres, misforståelser af opgaven og heraf følgende dårlig gennemførelse. Det er svært at vide, hvad der præcis er årsagen til disse problemer, men oplagte forklaringer kunne være utilstrækkelig stilladsering af opgaven, og at de kompetencer, der krævedes for at gennemføre øvelserne, ikke lå i zonen for nærmeste udvikling. Begge øvelser krævede nemlig en høj grad af faglig indsigt kombineret med selvstændighed og velfungerende lærings samarbejde. På positivsiden skal det nævnes, at selve gamification-elementet i de to øvelser gav anledning en højere grad af peer-to-peer-læring i enkelte grupper. Særligt i øvelse 3, som kun er mulig at udføre, hvis alle i gruppen forstår den bagvedliggende teori.

Øvelse 5 forløb anderledes end planlagt, da grupperne endte med at konkurrere lidt med hinanden indbyrdes. Dette burde jeg måske have forudset, da jeg valgte at "offentliggøre" for klassen hver gang en gruppe lykkedes med at finde Hubble-konstanten og dermed opnåede en præmie. Men modsat mine forventninger, var den meget konkurrenceprægede stemning ikke et problem. Faktisk oplevede jeg en meget høj grad af engagement og intensitet i opgaveløsningen. Særligt positivt var det, at to grupper med fagligt udfordrede elever blev færdige først (nok pga. deres langt mere stilladserede opgave), og dermed oplevede en for dem usædvanlig succes, som formentlig vil påvirke deres motivation positivt.

Elevernes evaluering i spørgeskema

Efter forløbets afslutning bad jeg eleverne om at svare på et kort anonymt spørgeskema, hvor de evaluerede deres egen motivation i forskellige typer af øvelser.

Det besvarelserne kan, er at give en brugbar indikation af, hvordan eleverne i min konkrete klasse opfatter deres egen motivation under gamification-aktiviteterne, når de ser tilbage på dem efter endt forløb. Jeg stillede spørgsmål til elevernes oplevelse af deres egen motivation i fysikfaget generelt og til hvilke undervisningsformer, der normalt motiverer dem. Derefter spurgte jeg til deres oplevelse af motivation ifm. de gamification-øvelser, som er beskrevet i skemaet ovenfor.

Herunder ses de vigtigste resultater af undersøgelsen:

1.1 Motivation i fysik

Tænk på hele dette års fysik. Hvor ofte føler du dig motiveret for at arbejde fagligt og lære nyt i fysiktimerne?

(Næsten) hvert modul		13	56,5%
De fleste moduler		8	34,8%
Ca. halvdelen af modulerne		2	8,7%
Ikke så tit		0	0,0%
(Stort set) aldrig		0	0,0%
Ubesvaret		0	0,0%

1.3 Spil i fysik

De sidste mange gange har modulerne haft et element af spil eller leg. Fx brætspil, udvikling af eget spil, kastespil med risposer, præmie for at nå et mål.


Hvordan påvirker disse aktiviteter din motivation for at udføre opgaverne og lære nyt?

Jeg bliver mere motiveret, når der er leg eller spil.		11	47,8%
Jeg bliver mindre motiveret af leg eller spil		1	4,3%
Leg og spil ændrer ikke min motivation i fysik		12	52,2%
Ubesvaret		0	0,0%

1.4 Spil i fysik

Hvilke typer af leg og spil motiverer dig mest til at deltage?

Spil hvor man kan vinde over andre		15	65,2%
Leg uden konkurrence (fx rollespil med risposer)		3	13,0%
At der er præmier		11	47,8%
At udvikle sit eget faglige spil		7	30,4%
Ubesvaret		0	0,0%



Deres svar bekræfter mig for det første i, at 2.x generelt er en klasse som føler stor motivation for fysikfaget – gamification eller ej – da over halvdelen svarer at de føler motivation i næsten hver modul og alle svarer at de føler motivation i mindst halvdelen af modulerne. Dette er selvfølgelig vigtigt at have in mente, når jeg vurderer effekten af gamification på elevernes motivation.

Til spørgsmålet om hvorvidt øvelserne påvirkede elevernes motivation, svarer ca. halvdelen at de bliver mere motiverede til deltagelse i undervisningen, når aktiviteterne involverer spil. Det er umiddelbart en lavere andel, end jeg har observeret i undervisningen, men her skal man huske på, at mange af eleverne allerede ER meget motiverede for den daglige fysikundervisning, og muligvis derfor ikke føler at de kan blive meget mere motiverede. Derudover er det selvfølgelig også et positivt resultat, hvis ca. halvdelen af eleverne virkelig oplever øget motivation gennem gamification.

Derudover viser svarene at de mest traditionelle konkurrence-elementer (at vinde over andre og at få en præmie) lader til at være de største motivations-boostere i 2.x. Dette stemmer fint overens med mine observationer af at traditionelle quiz-spil (øvelse 1 og 2) fører til stor deltagelse for næsten alle elever, samt at øvelse 5 ikke blev negativt påvirket af den utilsigtede konkurrence mellem grupperne. Men det er selvfølgelig svært at sige, hvad der er årsag og virkning her: Aktivitet 3 og 4, som er de mindst konkurrenceprægede var som beskrevet ovenfor udfordrede af flere forskellige faktorer, som i sig selv kunne skabe en oplevelse af lav motivation. Under alle omstændigheder tyder mine data i den forbindelse på, at det er vigtigt at holde fast i det femte princip, nemlig at aktiviteterne skal være simple.

Diskussion af de fem princippers anvendelighed

For at finde ud af hvilke strategier der virker bedst, når man kombinerer gamification og undervisningsdifferentiering er det relevant at evaluere de 5 principper for udvikling af forløbet.

Princip 1 og 2 udgør kernen i motiverende gamification med differentiering og kunne med fordel anvendes igen som de står. Princip 2 om hierarkisk differentiering lader til at have haft en positiv effekt på deltagelsen. Til gengæld har jeg indikationer på at princip 3 i praksis har haft en mindre betydning, da der i øvelse 5 opstod utilsigtet konkurrence mellem grupperne, som snarere øgede motivationen end sænkede den på trods af den hierarkiske differentiering. Denne overvejelse bekræftes i nogen grad af spørgeskemabesvarelserne, som viser at eleverne efter egen vurdering bliver mere motiverede af konkurrence og muligheden for at vinde.

Princip 4 er lidt svært at vurdere effekten af på baggrund af mit konkrete undersøgelsesdesign. Der er dog ingen tvivl om, at de mest populære øvelser havde meget fokus på et konkret mål (at vinde), hvilket ikke er det bedste for dybdelæring og forståelsen af mere komplicerede ting som fx de forskellige repræsentationsformer. Alligevel vil jeg

klart benytte princippet igen en anden gang, da det var et godt værktøj i undervisningsplanlægningen til at sikre at jeg kom omkring alle repræsentationsformer og dermed fik forbundet gamification-aktiviteterne til fagligt indhold.

Princip nummer 5 om enkelhed var på samme måde med til at lette planlægningen, men har til gengæld den udfordring at aktiviteterne indenfor simpel gamification ikke er så varierede i arbejdsform. Som det fremgår af FIMME-analysens metodefelt, befinder aktiviteterne sig stort set alle i læringsrum 2 i Becks læringscirkel, hvor der arbejdes deduktivt med simpel anvendelse og træningsopgaver ift. det rent faglige indhold. Desuden kan det konkluderes at de mest succesfulde aktiviteter befinder sig på et redegørende taksonomisk niveau med træning af begreber og basal formel-anvendelse, mens aktiviteter i 3. læringsrum (refleksion) blev mere "vedhæng" til gamification-aktiviteterne, som skulle gennemføres efter at "spillet" var slut. Det er bestemt relevant at arbejde ofte med redegørelse og læringsrum 2 i undervisningen, men i de fleste forløb er det også vigtigt at eleverne får lov at arbejde mere selvstændigt og induktivt med stoffet. Det kunne være interessant at tænke gamification (eller andre former for undervisningsspil) ind i mere induktivt, projektorienteret arbejde. Her tyder mine erfaringer på, at det er vigtigt med god tid og en høj grad af stilladsering, hvilket jo nok gælder generelt for arbejde i det 3. og 4. rum

Konklusion

På baggrund af mine erfaringer med at implementere de fem principper i undervisningen, kan det konstateres, at der er gode muligheder for at indføre gamification i samspil med differentieret undervisning. Jeg opstillede selv fem principper for at designe undervisning, der både benytter gamification og differentiering, og kan på baggrund og min egen og elevernes evaluering af øvelserne argumentere for princippernes anvendelighed. Gamification er som ventet en underholdende måde at booste elevernes motivation for læring af fagligt stof, og med hierarkisk differentierede grupper (hvor eleverne inddeles efter fagligt niveau) og simpelt spil-design behøver denne motivation ikke blive ødelagt af store faglige niveauforskelle. Eleverne kan desuden godt håndtere (og endda nyde) en vis grad af konkurrence mellem grupperne på trods af at de ikke arbejder med helt ens opgaver.

Min undersøgelse tyder på, at flere af faktorerne fra CARTAGO-modellen kommer i spil ved denne type gamification; herunder særligt *relatedness*, *competance* og *task-value*, da eleverne både har et positivt motiverende samarbejde i grupperne, får mange konkrete succesoplevelser og oplever øvelserne som sjove og underholdende. Derudover er eleverne i høj grad motiverede af *Goal-orientations*, da præmier og det at vinde over andre øgede den faglige aktivitet i timerne.

Man skal ved anvendelsen af disse principper være opmærksom på, at det faglige indhold (fx de forskellige repræsentationsformer i fysik) kan have en tendens til at træde i baggrunden i de korte målorienterte


rede gamification-øvelser, hvor man typisk befinder sig mest i læring-scirkelens andet rum. Men her skal man huske at disse øvelser netop er korte, fordi de er tænkt som supplement og derfor typisk ikke stå alene i indlæringen af mere kompliceret fagligt stof. Men betragtet som variation og motivationsboost, der kan øge elevernes engagement og træne deres kompetencer, har denne type gamification meget at byde på.

* * *

Ida Marie H. Matras underviser i fysik og dansk på Støvring Gymnasium.

Litteratur

- Angell, Carl; Bungum, Berit; Henriksen, Ellen; Kolstø, Stein Dankert; Persson, Jonas og Renstrøm, Reidun: *Fysikkdidaktikk*, Cappelen Damm Akademisk, 2. udgave, 2019
- Beck, Steen: *Didaktisk tænkning på arbejde*, Frydenlund, 2019.
- Beck, Steen og Paulsen, Michael: "Hvorfor Læringsamarbejde?" og "Hvad er Læringsamarbejde?" i *Gymnasiepædagogik* nr. 86, 2011.
- Bíró, Gabór István: "Didactics 2.0: A Pedagogical Analysis of Gamification Theory from a Comparative Perspective with a Special View to the Components of Learning" i *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, August 2014: www.researchgate.net/publication/265386636
- Deterding, Sebastian; Khaled, Rilla; Nacke, Lennart E. og Dixon, Dan: "Gamification: Toward a definition" Conference Paper, CHI 2011 Gamification Workshop Proceedings: www.researchgate.net/publication/273947177_Gamification_Toward_a_definition
- Dolin, Jens; Ingerslev, Gitte Holten og Jørgensen, Hanne Sparholt (red.): *Gymnasiepædagogik*, Hans Reitzels Forlag, 4. udgave, 2020.
- Hanghøj, Thorkild: "Digitale spil i undervisningen" fra *Læring & Medier (LOM)*, Nr. 21, 2019, s. 2-4: tidsskrift.dk/lom/article/view/112888/162578
- Hanghøj, Thorkild: "Spilscenarier i undervisningen - præsentation af en didaktisk model", *Læring & Medier (LOM)*, Nr. 9, 2012, s. 4: tidsskrift.dk/lom/article/view/6207
- Hobel, Peter: *Teopædagogik - produkt og proces*, Frydenlund, 2. udgave 2020
- Löfvall, Steffen og Pedersen, Michael: "Indledning tema 1: Spil i undervisningen" i *Læring & Medier (LOM)*, Nr. 9, 2012, s.2 tidsskrift.dk/lom/article/view/7334/6231
- Svejgaard, Karin: "Pædagogisk differentiering - flere vej, samme mål. En brugsanvisning til en differentieringsmetode", Professi-



onshøjskolen Metropol, 2010.

- Ågård, Dorte: "Motivation – læreransvar eller elevansvar?" i *Paideia* nr. 11, 2016, s. 37-48.

Fysikklasser som komplekse systemer

Af Jesper Bruun



Denne artikel argumenterer for, at fysikklasser kan betragtes som komplekse systemer, hvilket kræver en ny tilgang til didaktisk forskning. Ved at drage på kvalitativ og kvantitativ forskning fremhæves nødvendigheden af at forstå de dynamiske og ikke-lineære relationer mellem fx undervisningsmetoder, studerendes motivation, og deres færdigheder. Artiklen giver eksempler på anvendelsen af netværksanalyser og dynamiske modeller i fysikdidaktisk forskning. Modellerne viser, at mange fænomener inden for området er komplekse og kræver en forskningstilgang der gør brug af mange forskellige typer af data. Der er også brug for store mængder data og metodiske tilgange, og der er derfor brug for at indsamlingen og analysen automatiseres. Artiklens hovedbudskab er, at vi ved at anskue uddannelsessystemer som komplekse systemer begynder at tænke anderledes om dem. Dette perspektiv åbner op for anvendelsen af tankegange og metoder fra fysikken, hvilket muliggør en anden forståelse af systemernes tilstande og dynamikker.

Introduktion

Dette kapitel introducerer ideen om, at uddannelsessystemer kan betragtes og behandles som komplekse systemer. Det vil sige, at vi kan antage at uddannelsessystemer består af forbundne komponenter der adlyder mere eller mindre simple regler for interaktion og derved kan antage mangeartede og forskellige tilstande. Med den antagelse bliver meget af den tilhørende fysikdidaktiske forsknings præmis ændret.

Fysikdidaktikken gør brug af både kvalitative og kvantitative metoder. Meget af den kvantitative forskning går ud på at vise, at en undervisningsmetode "virker" – altså, at den gør, at elever og studerende klarer sig bedre på en eller anden ønskværdig måleparameter (Torgerson, 2001). Den kvalitative forskning har så – groft sagt – gået i dybden med, *hvorfor* eller *hvordan* en undervisningsmetode virker (Otero & Harlow, 2009). Denne forskning søger at afdække, hvorfor og hvordan elever og lærere gjorde i en given sammenhæng – den er på den måde tæt på undervisningspraksis.

"Hvad der virker"-grenen kan ses som en del af en bredere gren, der handler om kausalitet. Vi vil gerne finde ud af, hvad der påvirker hvad

i systemet. For elever i en klasse kunne det, meget forsimplet, være, om motivation afhænger af evne, eller omvendt. Det kan behandles både kvantitativt (fx Rotgans & Schmidt, 2017) og kvalitativt (Raved & Assaraf, 2011) – og nogle gange med en kombination (fx Cabrera, Bae & DeBusk-Lane, 2023). Kausalitet er et svært begreb i didaktisk forskning, og det behandles også forskelligt i forskellige gerne.

Andre dele af fysikdidaktikken er beskrivende. Her går det ud på at finde ud af, hvad systemerne består af. Fra den kvantitative vinkel kunne det for eksempel være gennem reduktion af data fra et langt spørgeskema til faktorer der beskriver datasættet (Adams m.fl., 2006; Linder, Bruun, Pohl & Priemer, 2024). Eller det kunne være gennem en Rasch-analyse til at finde underliggende træk i elevers svar på opgaver (Planinic m.fl., 2010, 2019). Fra den kvalitative vinkel kunne det for eksempel være gennem en tematisk analyse af hvordan lærere har inddraget nye undervisningsmetoder (Gjerde, Holst & Kolstø, 2021) eller en kategorisering af studerendes forståelser fra interviews og observationer (diSessa, 1993; Domert, Airey, Linder & Kung, 2012; Euler, Rådahl & Gregorcic, 2019).

De sidste 12-13 år er der fremkommet studier som bruger netværksanalyse til at beskrive systemerne (Bruun, 2016; Dou & Zwolak, 2019). På forskellig vis argumenterer studierne for, at de eksisterende måder at behandle data på, misser nogle vigtige fænomener i fysikdidaktikken. Brewe, Bruun og Bearden (2016) viste for eksempel, at selvom man kunne vise en fremgang for studerende på første år i fysik efter de første kurser, så lurede der stadig kendte misforståelser omkring Newtonsk mekanik hos studerende. Bodin (2012) brugte netværksanalyse til at analysere interviews, og viste hvordan fysikstuderendes arbejde med en computersimulation ændrede deres tilgang til fysik og fysikmodeller. Goertzen, Brewe og Kramer (2013) kobledede fysikstuderendes netværkspositioner med interviews til at undersøge, hvordan de studerende blev mere eller mindre integrerede i fysikfællesskaber. Koponen og Nousiainen (2018) analyserede begrebskort som netværk og brugte det til at finde nøglekoncepter samt fællestræk mellem studerendes begrebskort. Netværksanalyse har alt i alt vist, at mange af de fænomener, som fysikdidaktisk forskning har beskæftiget sig med, er ikke-lineære og dynamiske – og ofte kan forstås gennem en kombination af kvalitative og kvantitative metoder.

Formålet med dette kapitel er sandsynliggøre, at disse studier giver anledning til at betragte uddannelsessystemer som komplekse systemer. Samtidig er formålet at skitsere, hvad det kan have af konsekvenser for vores måde at forstå fysikdidaktiske systemer. Der er mange fysikdidaktiske systemer, så fokus er her på gymnasieklasser i fysik – fysikklasser.

I næste afsnit beskrives en analogi mellem fysikklasser og komplekse systemer. Dernæst eksemplificeres hvordan man kan beskrive et fysikdidaktisk system gennem kortlægning af fysikklasser. Det leder til et afsnit om, hvordan vi kan få adgang til og analysere de store mængder af data, det vil kræve at kortlægge fysikklasser som komplekse

systemer. Det har konsekvenser for fysikdidaktiske undersøgelsesdesign, hvilket de næstsidste afsnit giver perspektiver på. Kapitlet afslutter med at forslå, at man kan brede tanken om fysikklasser som komplekse systemer ud til andre dele af uddannelsessystemet.

En simpel model for en fysikklasse

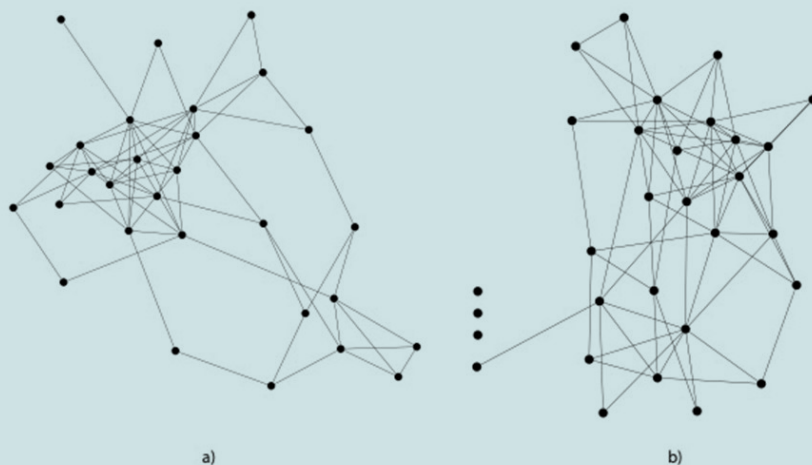
Et komplekst system er "et system hvor store netværk af komponenter uden central kontrol og med enkle regler giver anledning til kompleks kollektiv adfærd, sofistikeret informationsbehandling og tilpasning via læring eller evolution." (Mitchell, 2009, s. 13). I fysikklasser vil der, uanset den undervisning læreren forestår, være elever (en af systemets *komponenter*), der kommunikerer med hinanden. De udveksler information – gennem mere eller mindre simple regler. Et eksempel på en simpel regel kunne være: I et fysisk lokale, vil elever nok oftest kommunikere med folk der er tæt på, for eksempel naboen eller folk omkring et bord i gruppearbejde. Men sådanne regler kan give anledning til at man ser en klasse som et system der på ret sofistikeret vis lærer – for eksempel ved at information spreder sig i systemet, så læreren kan opleve fænomenet at "klassen ved noget". En ide til en løsning af en opgave om energi eller en måde at forstå lyds udbredelse kan sprede sig og blive fælles eje i klassen. Det kan ske gennem det sociale-faglige netværk (Bruun, 2016), som elever udgør.

Man kan måle elevers og studerendes faglige og sociale netværk ved at spørge dem, hvem de kan huske at have arbejdet sammen med om fysik i den forgangne uge (Bruun 2012). Derved vil man for hver uge, man undersøger, have data på et sæt af elever og disse elevers forbindelser. I netværksanalyser vil man ofte kalde eleverne for *nodes* og deres forbindelser for *links* (denne artikel lægger sig op ad den internationale litteratur om komplekse netværk og bruger derfor nodes og links. I dansk grafteori er konventionen knuder og kanter, mens andre felter har en anden nomenklatur). Sådanne netværk kan for eksempel bruges til at forudsige studerendes karakterer (Bruun & Brewe, 2013; Sundstrom, Heim, Park & Holmes, 2022), til at kortlægge gruppemønstre (fx Bruun & Bearden 2014) og til at undersøge, hvordan en klasses netværk er koblet til faktorer såsom ferie og forskellige typer af undervisning (Bruun, 2012; Commeford m.fl., 2021).

Her vil jeg bruge netværksdata (Bruun, 2012) til at give et eksempel på, hvordan man kan anskue en gymnasieklasse som et komplekst system. Eksemplet tager udgangspunkt i to selvrapporterede faglige elev-netværk, se figur 1. Det er den samme klasse for to forskellige uger. Cirklerne repræsenterer elever, og en streg mellem to elever angiver, at mindst én af dem har angivet at kunne huske at have snakket med den anden om fysik i løbet af ugen. Antallet af elever og forbindelser er nogenlunde ens, og der er et stort overlap i hvilke elever der er repræsenteret i netværket hver uge. I den ene uge har eleverne lavet eksperimentelle øvelser hvor de selv har valgt grupperne. I den anden har de forberedt sig til en test uden lærerens indblanding.

Formålet her er at vise en model for hvordan et stykke viden spreder

sig i netværk. Modellen er inspireret af modeller for overtalelse (Weiss m. fl., 2014). Ideen er at sandsynliggøre, at den måde eleverne forbin- der sig på, kan have en betydning for klassens samlede viden.



Figur 1: Netværk over elevers interaktioner i fysik C for to forskellige uger. Cirklerne er de nodes der repræsenterer eleverne, mens stregerne er links der repræsenterer at der har været en interaktion. a) er for en uge, hvor eleverne lavede laboratoriearbejde i selvvalgte grupper. Der er 29 elever og 85 forbindelser. b) er for en senere uge, som eleverne brugte på at forberede sig på en fysikprøve. Der er 32 elever og 84 forbindelser.

Modellen er defineret som følger (se figur 2 for en illustration):

- Et stykke viden, her kalder vi det en vidensbid, er information der kun kan følge forbindelser.
- En elev tilføjer vidensbiden til sin samlede viden i løbet af et tids- skridt, hvis minimum to af elevens forbindelser i et tidsligere tids- skridt har adderet vidensbiden til deres samlede viden.
- Modellen udfolder sig i diskrete tidsskridt. For hver tidsskridt spør- ger vi alle elever: Hvor mange af dine forbindelser har vidensbid- den? Hvis antallet er to eller mere, giver vi eleven vidensbiden.
- En vidensbid opstår i denne model spontant et sted i netværket hvor to elever er forbundet.

Denne model er en meget simpel måde at operationalisere en be- stemt Vygotskysk (1978) mekanisme for, hvordan læring foregår i en netværkssammenhæng: Den vidensbid, vi modellerer tænkes at op- stå og leve i interaktionen mellem elever, for efterfølgende at kunne blive internaliseret af den enkelte elev. Valget at to naboer skal have vidensbiden til en tid førend en elev får vidensbiden i det følgende tidsskridt beror på, at det nok kræver flere interaktioner (en vis mæng- de dialog) at internalisere viden.

Der er mange begrænsninger i modellen. Den indfanger ikke tidlige

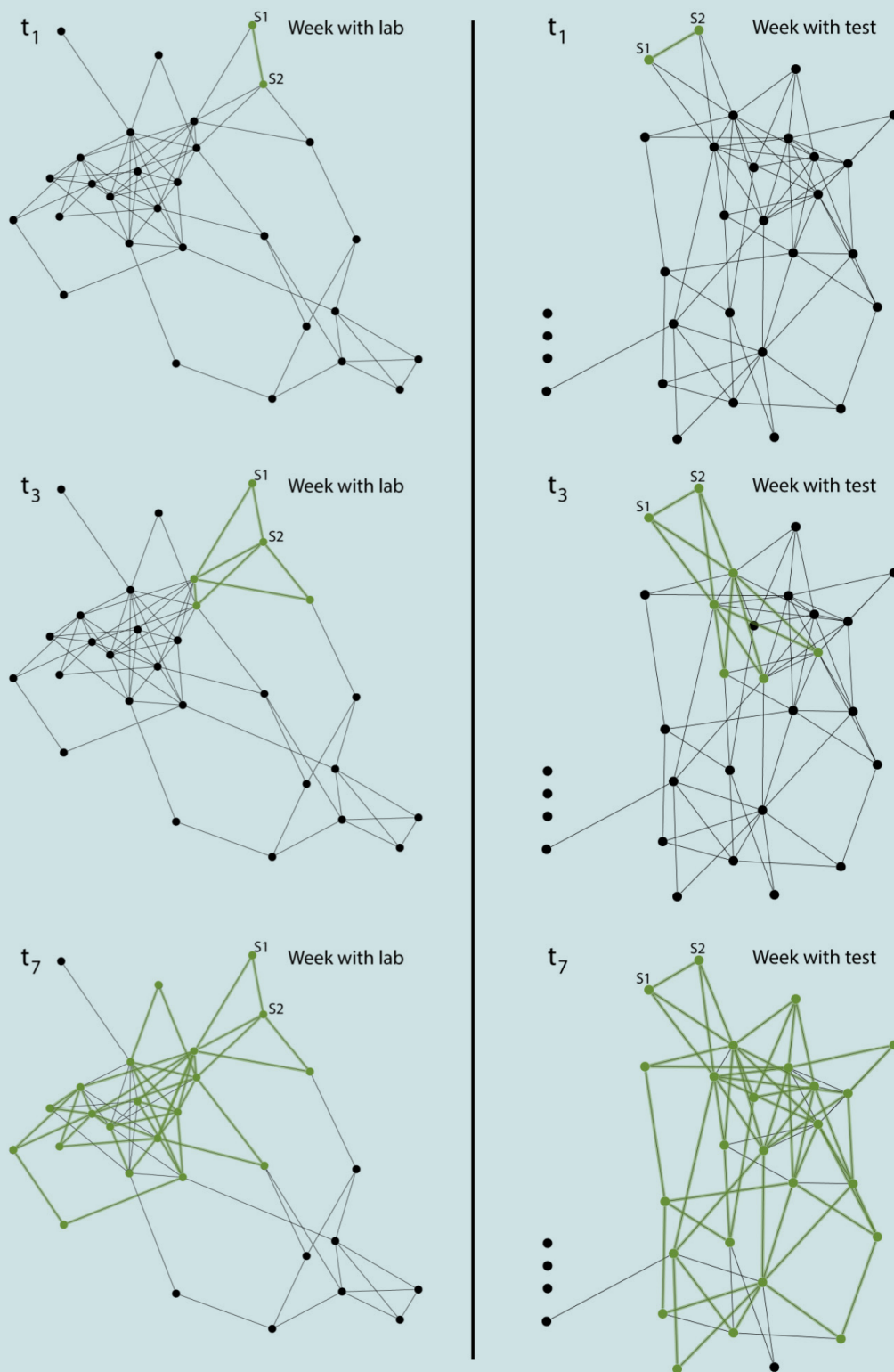
aspekter af, hvornår eleverne faktisk interagerede. Forbindelserne modelleres som faste – og de aktiveres så snart vidensbiden er til stede hos to naboer. Der er heller ikke nogen modellering af, om vidensbiden ændrer karakter – om den for eksempel bliver mere eller mindre korrekt, som den spredes. Modellen tager heller ikke hensyn til konkurrerende ideer i netværket. Trods de mange begrænsninger kan modellen illustrere en fysikklasse som et komplekst system.

Figur 2 viser de to netværk til tiderne t_1 , t_3 og t_7 . Ideen starter i begge tilfælde hos de samme to elever (S1 og S2), men spredte sig på forskellig vis de to uger. I den eksperimentelle uge er der 9 elever som ikke får adderet vidensbiden, mens der i ugen hvor eleverne forbereder sig til en test er 4 – og kun én af dem der havde forbindelser i netværket. På trods af at netværkene er sammenlignelige i størrelse (antallet af elever) og har nogenlunde samme antal forbindelser (85 mod 84), kan vi altså, med denne ret simple model, se en kvalitativ forskel i, hvordan systemet (som her er klassen) kan behandle information de to uger.

Dette komplekse system har udelukkende eleverne som komponenter, og de er forbundne i et netværk. Det er usandsynligt at læreren har kunnet kontrollere, hvem eleverne huskede at arbejde sammen med, så der er ikke en oplagt central kontrol med vidensspredning. Det kan måske genkendes fra den virkelige verden: læreren har kontrol med mange ting, men der er ting der er udenfor lærerens kontrol. Med denne model antages at vidensspredning er én af de ting. Den kollektive adfærd er her repræsenteret ved strukturen af de to netværk. Denne struktur er formet af elevernes handlinger og former hvordan klassen kan lære. Man kunne lave en hypotese om, at netværkenes forskellighed er en reaktion på de typer af læringsaktiviteter som systemet udsættes for og påvirkes af. Spørgsmålet ville her være, om de forskellige netværk for de to uger er et udtryk for tilfældig variation eller et udtryk for en tilpasning til forskellige undervisnings- og læringsaktiviteter. Denne analogi er én måde at betragte en fysikklasse som et komplekst system. Det næste afsnit beskriver hvordan man kan lave dynamiske kortlægninger af, hvad der foregår i en fysiktime på flere niveauer. Afsnittet beskriver et andet kendetegn for komplekse systemer: selvom vi zoomer ind på systemet, vedbliver det med at være komplekst.

Kortlægning af aktiviteter i klasseværelset

En måde at undersøge hvad der sker i klasseværelset er at bruge observationsprotokoller, såsom den amerikanske *Classroom Observation Protocol for Undergraduate STEM* (COPUS, Smith, Jones, Gilbert og Wieman, 2013) technology, engineering, and mathematics (STEM). Protokollen består af en række koder for hvem der er aktive i et givent tidsinterval og hvad de er aktive om. Læreren kan for eksempel *forelæse*, *skrive på tavlen* eller *stille spørgsmål*. Eleverne kan for eksempel *lytte passivt*, *arbejde i grupper* eller *svare på en quiz*. En menneskelig observatør noterer så, hvad læreren gør og hvad eleverne er sat til at gøre for i intervaller af 2 minutter. Protokollen er ret populær og blev



Figur 2: Netværk for en fysikklasse for to forskellige for forskellige tidsskridt i en model for hvordan viden kan sprede sig. Netværket til venstre blev dannet i en uge, som fokuserede på laboratoriearbejde, mens netværket til højre blev dannet i en uge hvor eleverne forberedte sig til en test. Netværket tli venstre indeholder 29 elever og 85 forbindelser. Netværket til højre indeholder 32 elever og 84 forbindelser. De to studerende S1 og S2 er de samme studerende i begge uger.

udviklet til at gøre universitetsundervisere bedre til at inddrage deres studerende. På det seneste er den blevet brugt til at undersøge og kategorisere forskellige måder at undervise undersøgelsesbaseret i fysik (Commeford m. fl., 2021).

Tid	Elevernes aktivitet				Lærerens aktivitet			
	Gruppearbejde (GA)	Stiller spørgsmål (SS)	Andet (A)	Andre koder	Guider grupper (GG)	Dialog med enkelt elev (1-1-D)	Venter (V)	Andre koder
0-2	x		x		x	x	x	
2-4	x	x	x		x	x		
4-6	x	x	x		x	x		
6-8	x		x		x	x		
Total	4	2	4		4	4	1	

Tabel 1: Et uddrag af COPUS protokollen fra Commeford m. fl. (2021) for 8 minutter. Protokollen indeholder flere koder (repræsenteret ved kolonnen "Andre koder").

Undersøgelsesbaseret undervisning skal her forstås som et begreb hvis betydning varierer både i teori og praksis. I Europa anses undersøgelsesbaseret undervisning som et bredt felt med mange underliggende modeller (Pedaste m. fl., 2015). I USA er det brede felt nærmere *aktiv læring* (Lombardi m. fl., 2021). Det betyder, at en model som den danske 6F-model (Madsen, Evans og Bruun, 2019) ville blive set som et eksempel på enten undersøgelsesbaseret undervisning eller aktiv læring – alt efter hvor man kommer fra. De mange retninger og skoler for hvordan man skal gøre undervisning kan give anledning til forvirring. Der er dog en helt grundlæggende enighed om, at der er fokus på, hvad det er for *aktiviteter* elever skal deltage i for at opnå de mål for læringen læreren måtte have.

Commeford m. fl. (2021) undersøgte COPUS observationsprotokoller for seks forskellige – og i USA meget kendte – undervisningsformater. I alt indgik 53 observationsprotokoller i undersøgelsen. Ved at undersøge, hvor meget undervisningstid der blev brugt på hver aktivitet i lektionerne, kunne de identificere fem kvantitativt forskellige profiler for klasseundervisning:

1. En forelæsningstung profil, hvor læreren bad eleverne om at snakke sammen til tider under forelæsningen.
2. En profil, hvor fokus var på gruppearbejde, de studerendes præsentationer og klassediskussioner – og hvor lærerens rolle var at guide eleverne og stille spørgsmål (til klassen, til grupper og til enkeltpersoner).
3. En profil, hvor der var meget fokus på at de studerende designede

og lavede laboratoriearbejde, hvor lærerens rolle var at guide eleverne.

4. Som profil 3, men hvor der blev sat eksplicit tid af til, at de studerende lavede forudsigelser.
5. En profil der havde fokus på at studerende arbejdede i små grupper med arbejdsark med læreren som guide.

De forskellige undervisningsformater bestod i nogle tilfælde af forskellige dele, hvor de enkelte dele så konsistent passede med de forskellige profiler. For eksempel har formatet *Investigative Science Learning Environment* (ISLE, Etkina & Van Heuvelen, 2007) klart adskilte foredragsdele, laboratedele og øvelser, hvor de studerende arbejder med arbejdsark. Disse forskellige dele faldt ind i henholdsvis profil 1, 3 og 5. Andre formater, såsom *Modelling Instruction* (Brewer, 2008) havde sin egen profil (profil 2).

Resultaterne fra Commeford m. fl. (2021) viser, at vi kan finde forskelle i fordelingen af undervisningstid på aktiviteter baseret på de undervisningsformater, som læreren bruger. Når, for eksempel, ISLE metodens laboratorie-del ikke er i at finde i profil 4 men i profil 3, er det altså ikke tilfældigt. Det er fordi man i den metode ikke har forudsigelser som en aktivitet hele eller det meste af klassen gør på samme tid. De forskellige undervisningsmetoders rationaler kan altså komme til udtryk i en kortlægning af den tid der bruges på forskellige aktiviteter.

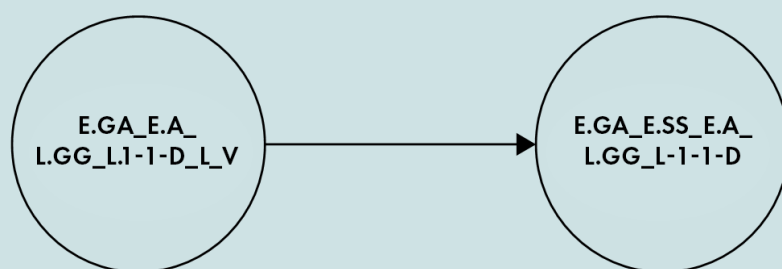
Denne form for kortlægning tager alt hvad der er foregået i klassen og reducerer det til tid brugt på bestemte aktiviteter. Men den fortæller os ikke om dynamikken i klasseværelset. Den kan ikke svare på spørgsmål som for eksempel: Hvad er sandsynligheden for, at en elev svarer på et spørgsmål, givet at læreren har stillet det? Hvad var timens struktur og hvilke overordnede typer af aktiviteter var der? De spørgsmål vil man kunne svare på ved at se de handlinger der foretages i timen som komponenterne i et komplekst system. I stedet for udelukkende at kortlægge tidsforbrug på aktiviteter, er ideen her, at man inddrager information om rækkefølgen af aktiviteter.

Denne tilgang kan bruges til at analysere og udvikle undervisningsforløb, og det handler det afsnits hovedeksempel om. Eksemplet bruger netværksanalyse til at vise, at en den samme lektion kan gennemføres på forskellig vis og at netværksanalyser kan bruges til at finde forskelle.

I forbindelse med udviklingen af klasserumsspillet Marsbasen (Bruun m.fl., 2022), gennemførtes en række afprøvnings i danske gymnasieklasser. Dette eksempel handler om afprøvnings af lektionen *Basens Energisystemer* (se marsbasen.dk – brug af Marsbasen er gratis men kræver at man laver en profil) i to forskellige klasser. Teamet bag Marsbasen udviklede og anvendte en protokol, der i opbygning var meget lig COPUS-protokollen (Alavi, Holm-Janás & Bruun, 2022; Andersen, 2017; Bruun & Andersen, 2017). Da Marsbasen skulle dække hele fysik Cs pensum indeholdt protokollen også koder for læringsmål og kerne-

stof. Afprøvningsen afdækkede både hvilke aktiviteter elever og lærere udførte og efter, hvad disse aktiviteter handlede om rent fagligt.

Kortlægningen af undervisningen anvendte det kodede materiale anderledes end fx Commeford m. fl. (2021). I stedet for at lave en optælling af, hvor ofte en kode blev brugt, blev alle koder for et tidsinterval slået sammen til én kode. Hver unikke samlede kode blev til en node i et netværk af aktiviteter: Med eksemplet i tabel 1, bliver den første række (0-2 min), blev til E.GA_E.A_.L.GG_L.1-1-D_L_V, mens anden række (2-4 min) bliver til E.GA_E.SS_E.A_.L.GG_L-1-1-D. Her står E for det eleverne gør, og L for det læreren gør. Koderne er hentet fra tabel 1. Fx betyder E.GA, at eleverne laver Gruppearbejde. (GA). Den anden række følger den første, og derfor tegnes i netværket en pil fra første til anden sammensatte kode. Se figur 3.

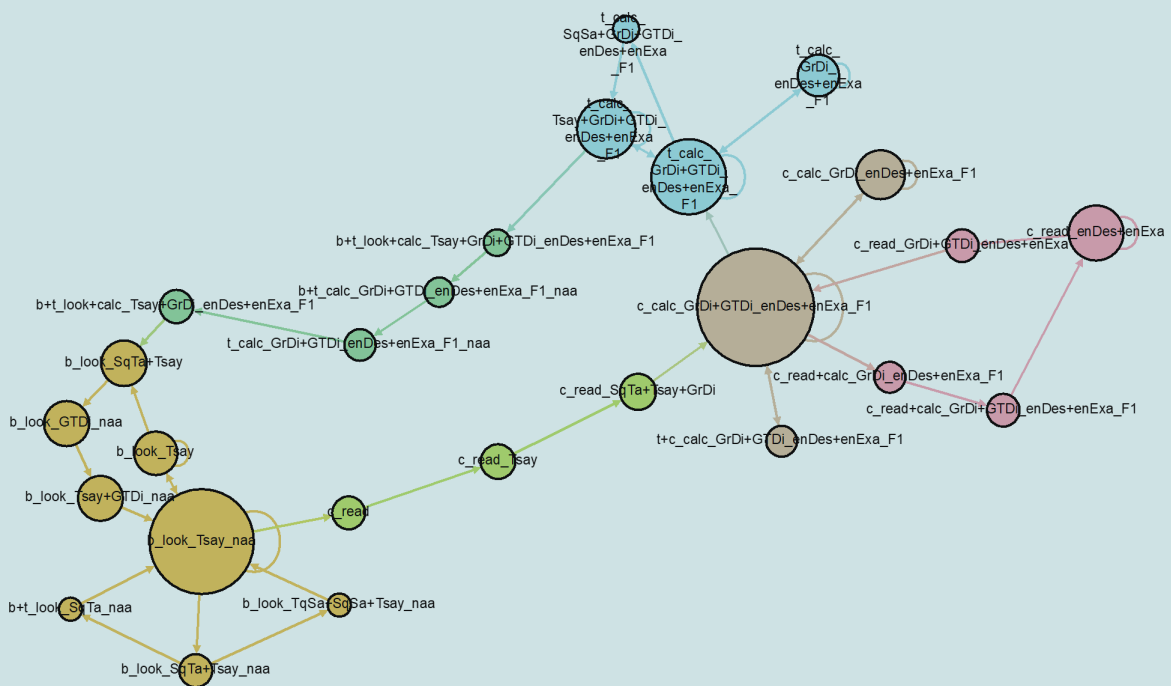


Figur 3: Illustration af den grundlæggende mekanisme til at lave koder i en observationsprotokol om til et netværk. Se forklaring i teksten.

Ved at gøre det for en protokol der strakte sig over hele lektionen *Bassens Energisystemer*, fremkom netværket på figur 4 (se også Alavi m. fl., 2022). Som nævnt er koderne ikke de samme som i COPUS-protokollen. Størrelsen på cirklerne angiver, hvor ofte en given sammenslået kode er blevet anvendt. Nogle gange ser man, at der går en forbindelse fra en sammenslået kode tilbage til den selv. Det sker, når en kode har fulgt sig selv – altså når en given aktivitet har foregået over nogen tid.

Netværket i figur 4 kan være svært at overskue og tolke. Derfor anvendte vi en grupperingsalgoritme til at inddele netværket i moduler af koder (Rosvall, Axelsson & Bergstrom, 2009). Farverne på figur 4 angiver de moduler som algoritmen konsistent kommer frem til. Man kan nu bruge denne information til at lave et simplificeret kort over lektionen (figur 5).

Nu skal cirklerne forstås som moduler af aktiviteter, som indeholder koderne fra figur 4. Farverne på cirklerne i figur 5 svarer til farverne på de tilsvarende indeholdte aktiviteter på figur 4. Modulernes navne er oversat fra Alavi m.fl. (2022). Navngivningen af modulerne blev foretaget ved dels at analysere koder og forbindelser i modulerne og dels ved at vende tilbage til den originale optagelse for at vurdere, om



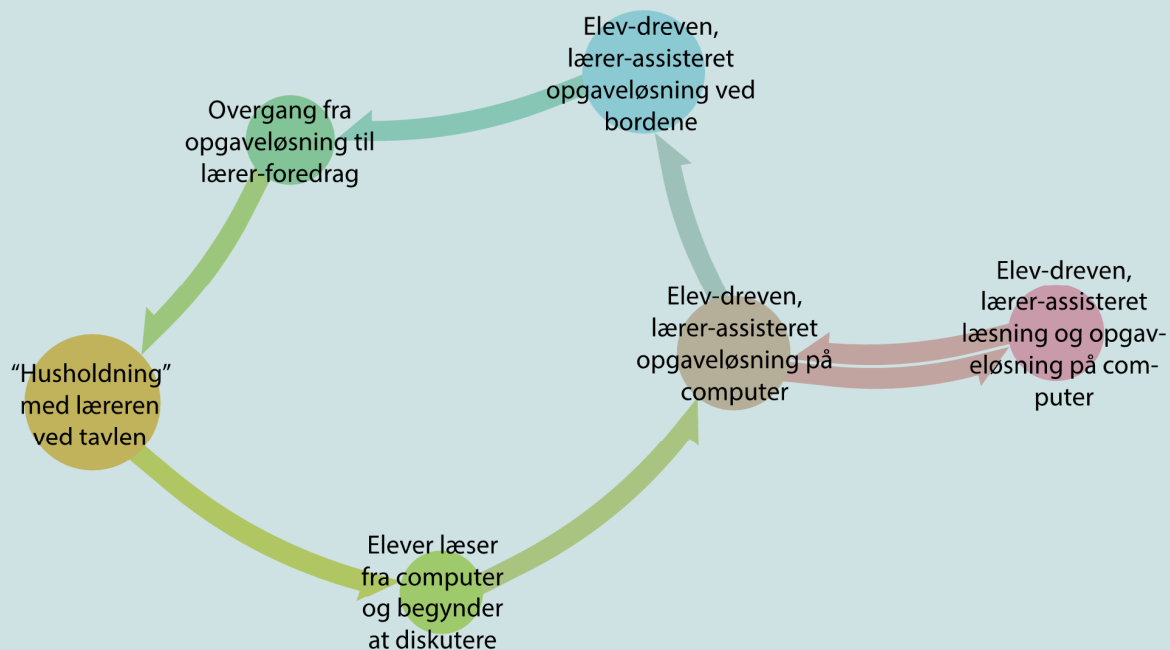
Figur 4: Et netværk over en lærers udførelse af lektionen Basens Energisystemer fra klasserumsspillet Marsbasen (www.marsbasen.dk).

navngivningen var meningsfuld.

Figur 5 giver et billede af en lektion der er udført i den rækkefølge de fremgår af brugergrænsefladen på Marsbasen.dk. Der er to opgaver, hvoraf den første er en ret lukket quiz-opgave om energiformer og energikæder, der evalueres som rigtig/forkert besvaret på computeren. Den anden er en meget åben opgave om at lave en vision for, hvad der skal bruges energi på Marsbasen. I den viste udførelse af lektionen ses det, at eleverne driver løsningen af opgaverne, og læreren synes at indtage rollen som guide og facilitator.

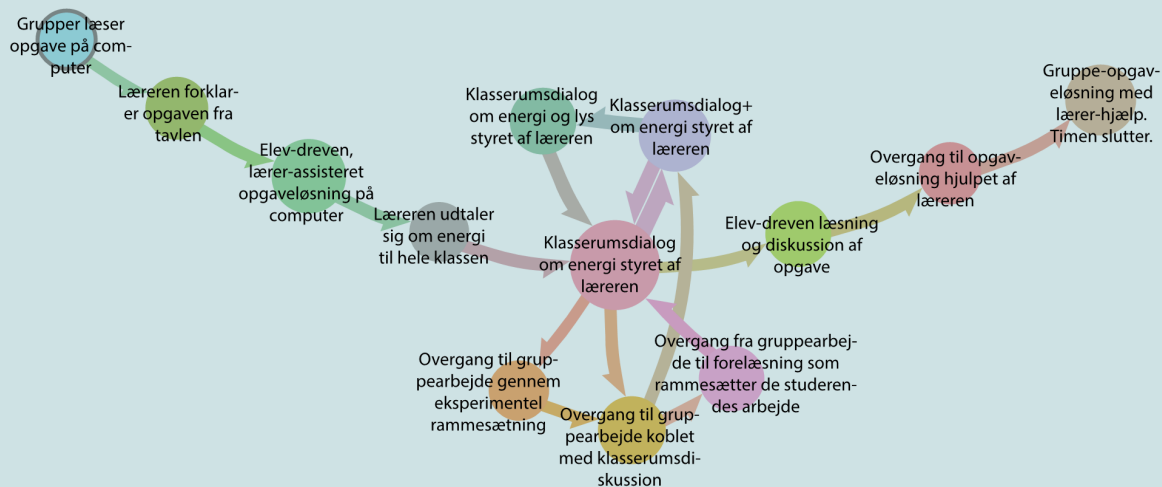
Det er muligt at analysere lektionen ud fra 6F-modellen (Madsen m.fl., 2020). Der synes ikke at være en forudsætningsfase, så man kunne forestille sig, at læreren mener at kender sin klasses viden om energi. Fang-fasen synes at være til stede som det nederste modul, hvor eleverne læser opgaven og begynder at diskutere. Forskfasen er de brune, laksefarvede og turkise cirkler, hvor der synes at være elementer af feedback i den tilstødende laksefarvede cirkel. Der er ikke en klart identificerbar forklar-fase efter første opgave, mens man kunne tolke sidste modul før vi vender tilbage til "husholdning" som en forklar-fase. Ud fra 6F-modellen synes der ikke her at være tydelige forklar- eller forlængfaser.

Som eksempel på den variation, man kan observere, viser figur 6 den samme lektion udført af en anden lærer på en anden skole. Her kommer der meget fokus på forklar-fasen.



Figur 5: Et simplificeret kort over netværket i figur 4.

På figurens venstre side kan elevernes arbejde med første opgave ses som det tredje modul fra venstre (grønt), mens elevernes arbejde med anden opgave ses i de tre moduler yderst til højre. Midten af figuren er præget af klasserumsdialog styret af læreren (midtermodulet og de øverste to moduler) og indtil flere overgange fra klasserumsdialogen til gruppearbejde (nederste tre moduler i midten). Her synes for-



Figur 6: Et kort lavet på samme måde som kortet i figur 5 over "Basens Energisystemer" udført af en anden lærer på en anden skole.

klar-fasen at tage over, så timen når at slutte inden elevernes arbejde med anden opgave kan tages op i klassen. På trods af, at der i timen synes at være flere forsøg på overgang til den anden opgave (illustreret ved pilene mellem de tre nederste moduler og midtermodulet), vender lektionen tilbage til klasserumsdialogen. Det kunne indikere en vis modstand mod den meget åbne opgave fra klassen. De midterste moduler kan i denne læsning ses som det arbejde, som læreren skal gøre for at eleverne går i gang med opgaven.

Som nævnt kommer disse netværk fra observationer af undervisning, da Marsbasen blev udviklet. Lektionsplanen for *Basens Energisystemer* (lektionsplaner for alle lektioner kan findes på marsbasen.dk) er ændret i forhold til hvad de to netværk viser. Lektionen er rammesat som to 6F-forløb, med hver deres forsk-forklar-forlæng-cyklus. Man kan se de to netværk som et udtryk for, hvorfor disse ændringer var nødvendige.

Fra hele klassen til enkelte grupper

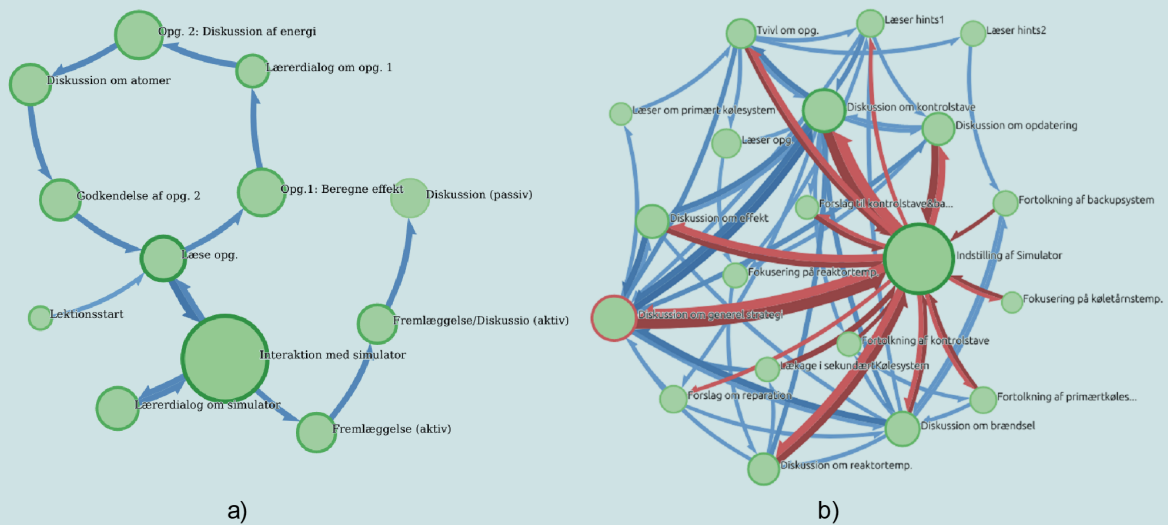
Kortlægning af klasser baseret på observationsprotokoller kan give os information om aktiviteter på klasseplan. Men når vi giver koden "gruppearbejde" i et givent interval, får vi jo ikke noget at vide om, hvad der faktisk foregik. Til det har vi brug for at zoome ind på de dele, som vi er interesserede i.

Under udviklingen af Marsbasen afprøvede teamet den simulering, som senere skulle blive til den centrale del af kapitlet *Genstart Reaktoren*. Her skal eleverne interagere med en computersimulation af en atomreaktor. De skal ved at ændre på indstillinger og køre simulationen finde den optimale måde at køre kraftværket på.

Vi havde inviteret et lille hold gymnasieelever og deres lærer på besøg, og vi optog de enkelte gruppers arbejde på video og audio. Modsat kortlægningen af hele klasser, var der altså her fokus på arbejde i små grupper á to-tre elever. Ligesom før, blev elevernes handlinger og interaktioner kodet, men denne gang i kortere intervaller for at kunne fange mere finkornet opførsel (se Hansen, 2020). For at zoome endnu mere ind på en aktivitet, blev elevernes detaljerede interaktion med computersimulationen også kortlagt.

Figur 7 viser netværk fra Hansen (2020), der beskriver dels gruppens mere finkornede aktivitet og dels deres specifikke interaktion med computersimulationen.

Figur 7a viser en gruppe som løser to opgaver, der i denne test gik forud for den centrale opgave, nemlig at finde den optimale måde at køre kraftværket på. Det er også en gruppe der synes ret selvstændig (der er ikke megen lærerdialog). De fremlægger deres resultater, men er passive i den sidste diskussion. Dette underbygges af den detaljerede analyse af deres interaktion med simulatoren. Modulet der handler om Indstillingen af simulator er generelt forbundet til moduler der handler om at diskutere strategier, faglige begreber og kraftværket bestanddele. Dette kontrasterer Hansen (2020) med de to andre grupper, som



Figur 7: a) Netværkskort over en gruppes arbejde i løbet af test-lektionen om reaktoren. b) Netværkskort over gruppens interaktion med simulationen. De røde pile fremhæver det centrale moduls forbindelser. Begge kort er lavet ud fra samme tangegang som netværkene i figurene 3-6.

udviser andre handlemønstre og mindre selvstændighed.

Eksemplerne på netværkskort viser, hvordan man kan indfange noget af den enorme mængde af information der kan observeres i fysikklasser. I tråd med andre komplekse systemer vedbliver systemet med at være komplekst selvom undersøgelsen zoomer mere og mere ind. Det er en central pointe ved denne måde at se fysikklasser på: Man kan ikke bare gøre det simpelt ved at dele systemet op.

Som dette afsnit har vist, betyder det, at man må være åben overfor, at fysikklasser kan antage mange forskellige tilstande. De to netværk i figur 1 kan fx ses som to tilstande for et socialt netværk i tråd med termodynamiske tilstande (man kan karakterisere de to tilstande med en række ekstensive variable, se Bruun (2012)). Hvis man gerne vil finde overordnede mønstre i sådanne tilstande, vil man få brug for at indsamle og analysere meget og meget finkornet data. Det vil kræve en automatisering af disse processer, hvilket er hvad næste afsnit handler om.

Delvis automatisering af dataindsamling og -analyse

Der vil være en række udfordringer ved at indsamle data der kan bruges til at kortlægge fysikklasser som komplekse systemer og for at undersøge mekanismer der gør sig gældende i fysikklasser. For at illustrere dette, vender vi tilbage til modellen for fagligt-socialt netværk. Vi kan have en hypotese om, at en given type undervisning driver dannelsen af fagligt-socialt netværk.

Aktiviteten *fysikforsøg* kunne tænkes at resultere i netværk med en

8

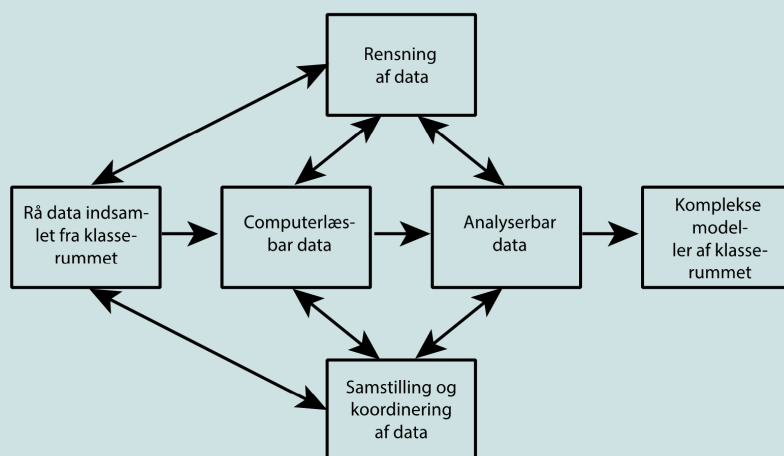
lav grad af mulighed for informationsoverførsler. For at kunne teste en sådan hypotese, skal vi ifølge litteraturen bruge tidsseriedata, hvor der er reel variation i forhold til de forskellige påvirkninger (Sugihara m.fl. 2012). Det betyder, at der skal indgå forskellige typer af undervisning og at de netværk der kortlægges ved hver dataindsamling er forskellige. Ifølge Sugihara m.fl. (2020) skal vi bruge minimum 35-40 datapunkter, hvor der er reel variation. Hvis man indsamler data hver uge, er der brug for 35-40 ugers data.

Det vil være både tidskrævende, svært og besværligt at indsamle disse data. De studerende der deltager i undersøgelser om deres faglige og sociale netværk kan efter få uger udvise undersøgelsestræthed (Bruun, 2012). Så bliver de mindre og mindre villige til at udfylde selvrapporteringsskemaerne. Det kan være nødvendigt – både i starten og senere – at være til stede, når de studerende skulle udfylde skemaerne. Herudover bør de indsamlede data testes mod andre data for at sikre validitet (Bruun, 2016). Disse forhold gør, at det kan være en fordel at rette blikket mod mere automatiserede måder at indsamle og analysere data på.

Hvis vi skal automatisere dataanalyse, har vi brug for at indsamle rå data i formater som kan læses af eller omdannes af en computer. De datastrømme, vi kan håbe på, er videooptagelser, audiooptagelser, log-data fra elevernes interaktioner med digitale instrumenter, positionsdata i klasserummet og data fra andre sensorer (fx EEG, eye-tracking, sved, puls). Vi kan også indsamle og analysere elevprodukter fra undervisningen (eller hjemmearbejde). Hver af de forskellige datastrømme har muligheder og udfordringer.

For at få et overblik over disse muligheder og udfordringer, præsenteres her en model for hvordan data bliver til. Modellen skelner mellem rå data, computerlæsbare data og analyserbare data. Skridt fra en type data til en anden involverer en eller flere processer. Nogle af de processer der går igen er rensning af data og samstilling og koordinering af data. Her skal rensning af data forstås som de skridt vi tager i hele processen for at data bliver så tydelige som muligt. Samstilling og koordinering af data er de skridt vi tager for at kunne bruge flere forskellige datastrømme i vores modeller. Figur 9 herunder giver en oversigt over modellen.

Data der indsamles i klasserummet, er rå data. Det kunne fx være video af hele klasseværelset fra to kameraer, audio data fra grupper i klassen og en observatørs fortløbende noter fra undervisningen. Rensningen af data handler her blandt andet om placeringen og indstillingen af kameraer og diktafoner, så de opfanger mest muligt brugbar rå data. For observatøren at lave noterne så de er læsbare efterfølgende. Video- og audiodata kan umiddelbart indlæses i en computer. Observatørens noter kan måske ikke, så de skal for eksempel scannes. Rensningen kunne her være at sørge for, at scanningen er god nok til at man kan let omsætte noterne til tekst. Samstillingen af data kunne foregå ved at observatøren noterede tidspunkter ned for sine observationer samt at man synkroniserede video og audio.



Figur 9: En model for behandling af data indsamlet i fysikklasser. Pilene i modellen angiver at der sker en process.

Skridtet fra computerlæsbar data til analyserbar data er som regel det skridt, der koster meget tid. For audiodata kan det for eksempel involvere transskription og efterfølgende kodning. For et menneske tager det gerne fire timer at transskribere en times klar dialog (Worthy, 2018). Hvis vi er interesserede i dialog fra et fyldt, støjende klasseværelse, kan dialog fra en hel lektion godt tage en hel dag. Lad os sige, at vi så har ti små grupper og et forløb på ti lektioner, så bliver det 100 dage for en enkelt klasse. Automatiske transskriptions-services kan gøre det meget hurtigere, men erfaringen i skrivende stund er, at transskriptioner fra gruppearbejde i en klasse skal renses manuelt efterfølgende. I takt med at vores dataindsamling og transskriptionsmodeller bliver bedre, kan man dog forestille sig, at meget tid vil kunne spares.

For videodata er vi ofte interesserede i at identificere, hvad eleverne gør. Det kunne være, at finde ud af, hvem der faktisk kan observeres at snakke sammen. Men det kunne også være en analyse af, hvordan gestikulation indgår i dialogen mellem studerende (fx Roth & Lawless, 2002). Når genkendelsen af gestikulationer skal automatiseres, vil man typisk træne et neuralt netværk til at genkende gestikulationer. For hele klasser er man kommet så langt som at træne modellerne til at genkende overordnede ting som håndsoprækning, at sidde ned, at stå op, at sove og at hviske (Yu m.fl. 2017; Zhao 2021).

Der findes eksempler på brug af andre datastrømme, for eksempel log-filer over interaktioner med computeropgaver (Bruun, Ray & Udby, 2019), EEG og eye-tracking (Garde et al., 2021; Jain & Markan, 2022), samt badges med kamera, mikrofon og positionssensor (Yan m.fl., 2023). Fælles for dem er, at det ofte kræver en hel del arbejde at rens og samstille data. Skridtene fra rå data til analyserbare data er altså endnu manuelt tidskrævende.

Arbejdet med at automatisere dataindsamling og analyse er på mange måder kun lige begyndt – og i forhold til selve klasseværelset er der store udfordringer at overkomme, før man kan lave en fuld automatisering. Håbet er dog, at man kan lave delvise automatiseringer og på den måde få mulighed for at analysere større datasæt og dermed få mere brugbare data til modellering af fysikklasser.

Perspektiver på undersøgelsesdesign

Dette kapitel har på mange måder været et argument for at dreje fysikdidaktikken hen mod fysikkens tankegange og metoder. Ved at anskue fysikklasser som komplekse systemer vil forskningens spørgsmål undersøge, "hvordan noget virker" snarere end "hvad der virker". Det kan for eksempel indebære at lave modeller af, hvad der sker med en fysikklasser, når den påvirkes af forskellige faktorer.

Det kunne for eksempel være at undersøge hvordan forskellige undervisningsmetoder påvirker klassen. De har forskningen så småt taget hul på. Commeford m. fl. (2021) som lavede analysen af undervisningsformater fra observationsprotokoller, kortlagde også studerendes social-faglige netværk fra de kurser der indgik i deres studie. De undersøgte dem både i starten og i slutningen for at se forskellene. Her fandt de ud af, at nogle kurser resulterede i tættere forbundne studerende end andre. Hvis man skal følge dette kapitels argument, skal man herfra lave flere og mere finkornede undersøgelser af de enkelte aktiviteter og netværk. Det ville give os information om klassernes mulige tilstande og mulighed for at kortlægge eventuelle sammenhænge mellem undervisning og tilstande.

Store mængder finkornede data kunne bruges til at undersøge specifikke mekanismer, som kunne være relevante for lærere at vide om. Man kunne for eksempel undersøge forskelligt sammensatte elevgruppers vekslen mellem brug af sociale og faglige praksisser i forskellige undervisningsformater. Et spørgsmål her kunne være, hvordan sociale og faglige praksisser interagerer med hinanden – og om betydningen for den faglighed vi kan observere. Det vil kræve detaljerede observationer og analyser fra mange klasseværelser til mange tider, fordi vi kan forestille os mange forskellige påvirkninger og interaktioner mellem elever.

Samtidig er der også en diskussion om, hvad vi kan observere direkte og hvad der kan fremkomme som mønstre i vores analyser. Der er for eksempel en stor mængde litteratur, der forbinder elevers indre motivation med dyb læring (Ryan & Deci, 2017), men det vil ikke altid være nemt at finde ud af, om en elev er motiveret. Et andet svært begreb er kompetence, som ofte tænkes at indeholde evne og vilje til at bruge og reflektere over viden og færdigheder i en given sammenhæng (Ropohl m.fl., 2018). Det er et sammensat begreb, og det er en løbende diskussion, hvordan kompetencer kan gøres målbare (Ufer & Neumann, 2018). Måske kan vi ved at kortlægge elevers handlinger, udtalelser og interaktioner på mange forskellige niveauer og over tid se indre motivation og kompetencer som fænomener, der bliver målbart synlige

i samspillet mellem flere dele. Det betyder, at vi i tilgift til megen data også får brug for meget forskelligartet data, som diskuteret i afsnittet om automatisering ovenfor.

Afsluttende bemærkninger

Kapitlet her har fokuseret på fysikklasser, men det er nemt at forestille sig, at uddannelsesrelevante systemer på andre niveauer kan anskues som komplekse systemer. For eksempel kan den enkelte elev anskues som et kompleks hjerne-kropssystem, som kunne modelleres med neurale netværk. På andre niveauer end klasse kan man også se uddannelsessystemer som komplekse, for eksempel læreplaners udvikling (Bruun et al., 2021), interaktioner mellem politiske aktører (von der Fehr, Bruun & Sølberg, 2018) eller hvordan kursusstrukturer på universiteter kan facilitere studerendes netværksdannelse (Israel, Koester & McKay, 2020)

Argumentet her er, at man ved at se uddannelsessystemer som komplekse systemer begynder at tænke anderledes om dem. Man begynder at kunne finde anvendelse for fysikkens tankegange og metoder. Man kan begynde at tænke i systemers tilstande, i indre og ydre påvirkningers muligheder for at ændre systemernes tilstande og i dynamiske modeller der tillader en bedre forståelse af systemernes detaljerede mekanismer.

* * *

Jesper Bruun, Lektor, Institut for Naturfagenes Didaktik, Københavns Universitet.

Referencer

- Adams, W., Perkins, K., Podolefsky, N., Dubson, M., Finkelstein, N., & Wieman, C. (2006). New instrument for measuring student beliefs about physics and learning physics: The Colorado Learning Attitudes about Science Survey. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 2(1). link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevSTPER.2.010101
- Alavi, K., Holm-Janus, V., & Bruun, J. (2022). *Active Learning Observation Networks: Visualizations, analyses and relations to didactic theory*. www.icqe22.org
- Andersen, I. V. K. (2017). *Interdisciplinarity in the Basic Science Course* [MSc, University of Copenhagen]. www.ind.ku.dk/publikationer/studenterserien/studenterserien-alle/interdisciplinarity-in-the-basic-science-course
- Bodin, M. (2012). Mapping university students' epistemic framing of computational physics using network analysis. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 8(1), 10115.

- Brewe, E. (2008). Modeling theory applied: Modeling Instruction in introductory physics. *American Journal of Physics*, 76(12), 1155–1160.
- Brewe, E., Bruun, J., & Bearden, I. G. (2016). Using module analysis for multiple choice responses: A new method applied to Force Concept Inventory data. *Physical Review Physics Education Research*, 12(2). doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.020131
- Bruun, J. (2012). *Networks in Physics Education Research*. University of Copenhagen.
- Bruun, J. (2016). Networks as integrated in research methodologies in PER. *Physics Education Research 2016*, 11–17.
- Bruun, J., & Andersen, I. V. (2017). Network maps of student work with physics, other sciences, and math in an integrated science course. I *arXiv preprint arXiv:1708.01389*.
- Bruun, J., Andersen, I. V. K., & Udby, L. (2021). Network Analysis of Changes to an Integrated Science Course Curriculum Over Time. *Engaging with Contemporary Challenges through Science Education Research: Selected papers from the ESERA 2019 Conference*, 91–104.
- Bruun, J., Andersen, I. V., Karen Alavi, Harder, S., & Holm-Janas, V. (2022). Marsbasen—Fysik C i gymnasiet. I S. S. Fougts, J. Bundsgaard, T. Hanghøj, & M. Misfeldt (Red.), *Håndbog i scenariedidaktik* (s. 288–301). Aarhus Universitetsforlag.
- Bruun, J., & Brewe, E. (2013). Talking and learning physics: Predicting future grades from network measures and Force Concept Inventory pretest scores. *Physical Review Special Topics—Physics Education Research*, 9(2), 20109.
- Bruun, J., Ray, P. J., & Udby, L. (2019). Network analyses of student engagement with online textbook problems. I *arXiv*.
- Cabrera, L., Bae, C. L., & DeBusk-Lane, M. (2023). A mixed methods study of middle students' science motivation and engagement profiles. *Learning and Individual Differences*, 103, 102281. doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102281
- Commeford, K., Brewe, E., & Traxler, A. (2021). Characterizing active learning environments in physics using network analysis and classroom observations. *Physical Review Physics Education Research*, 17(2), 020136.
- diSessa, A. (1993). Towards an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10, 105–225.
- Domert, D., Airey, J., Linder, C., & Kung, R. L. (2012). An exploration of university physics students' epistemological mindsets towards the understanding of physics equations. *Nordic Studies in Science Education*, 3(1), 15–28. doi.org/10.5617/nordina.389
- Dou, R., & Zwolak, J. P. (2019). Practitioner's guide to social network analysis: Examining physics anxiety in an active-learning

- setting. *Physical Review Physics Education Research*, 15(2), 020105.
- Etkina, E., & Van Heuvelen, A. (2007). Investigative science learning environment – A science process approach to learning physics. I E. F. Redish & P. J. Cooney (Red.), *Reviews in PER Volume 1: Researched-Based Reform of University Physics* (s. 1–48). American Association of Physics Teachers.
 - Euler, E., Rådahl, E., & Gregorcic, B. (2019). Embodiment in physics learning: A social-semiotic look. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), 010134. doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010134
 - Garde, G., Larumbe-Bergera, A., Bossavit, B., Porta, S., Cabeza, R., & Villanueva, A. (2021). Low-Cost Eye Tracking Calibration: A Knowledge-Based Study. *Sensors*, 21(15), 5109.
 - Gjerde, V., Holst, B., & Kolstø, S. D. (2021). Integrating effective learning strategies in basic physics lectures: A thematic analysis. *Physical Review Physics Education Research*, 17(1), 010124. doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.010124
 - Goertzen, R. M., Brewe, E., & Kramer, L. (2013). Expanded Markers of Success in Introductory University Physics. *International Journal of Science Education*, 35(2), 262–288.
 - Hansen, J. (2020). *Effekten og brugen af narrative læringspil og simuleringer i gymnasiet* [Msc, University of Copenhagen]. www.indku.dk/publikationer/studenterserien/studenterserien-alle/effekten-og-brugen-af-narrative-laeringsspil-og-simuleringer-i-gymnasiet
 - Israel, U., Koester, B. P., & McKay, T. A. (2020). Campus connections: Student and course networks in higher education. *Innovative Higher Education*, 45, 135–151.
 - Jain, M., & Markan, C. M. (2022). Calibration of off-the-shelf low-cost wearable EEG headset for application in field studies. *arXiv preprint arXiv:2209.12633*.
 - Koponen, I. T., & Nousiainen, M. (2018). Concept networks of students' knowledge of relationships between physics concepts: Finding key concepts and their epistemic support. *Applied Network Science*, 3(1), 14. doi.org/10.1007/s41109-018-0072-5
 - Linder, C., Bruun, J., Pohl, A., & Priemer, B. (2024). Relationship between semiotic representations and student performance in the context of refraction. *Physical Review Physics Education Research*, 20(1), 010103. doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.010103
 - Lombardi, D., Shipley, T. F., Astronomy Team, Biology Team, Chemistry Team, Engineering Team, Geography Team, Geoscience Team, and Physics Team, Bailey, J. M., Bretones, P. S., Prather, E. E., Ballen, C. J., Knight, J. K., Smith, M. K., Stowe, R. L., Cooper, M. M., Prince, M., Atit, K., Uttal, D. H., LaDue, N. D., McNeal, P. M., Ryker, K., St. John, K., van der Hoeven Kraft, K. J., & Docktor, J. L. (2021).



- The Curious Construct of Active Learning. *Psychological Science in the Public Interest*, 22(1), 8–43. doi.org/10.1177/1529100620973974
- Madsen, L. M., Evans, R., & Bruun, J. (2019). Undersøgelser baseret undervisning: 6F-modellen – dens tilblivelse og udvikling i Danmark. *MONA-Matematik-og Naturfagsdidaktik*, 19.
 - Mitchell, M. (2009). *Complexity: A guided tour*. Oxford university press.
 - Otero, V. K., & Harlow, D. B. (2009). Getting Started in Qualitative Physics Education Research. *Reviews in PER Vol, 2*.
 - Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., De Jong, T., Van Riesen, S. A., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational research review*, 14, 47–61.
 - Planinic, M., Boone, W. J., Susac, A., & Ivanjek, L. (2019). Rasch analysis in physics education research: Why measurement matters. *Physical Review Physics Education Research*, 15(2), 020111. doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.020111
 - Planinic, M., Ivanjek, L., & Susac, A. (2010). Rasch model based analysis of the Force Concept Inventory. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 6(1), 1–11. doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.010103
 - Raved, L., & Assaraf, O. B. Z. (2011). Attitudes towards Science Learning among 10th-Grade Students: A qualitative look. *International Journal of Science Education*, 33(9), 1219–1243. doi.org/10.1080/09500693.2010.508503
 - Ropohl, M., Nielsen, J. A., Olley, C., Rönnebeck, S., & Stables, K. (2018). The concept of competence and its relevance for science, technology and mathematics education. *Transforming assessment: Through an interplay between practice, research and policy*, 3–25.
 - Rosvall, M., Axelsson, D., & Bergstrom, C. T. (2009). The map equation. *The European Physical Journal-Special Topics*, 178(1), 13–23.
 - Rotgans, J. I., & Schmidt, H. G. (2017). The relation between individual interest and knowledge acquisition. *British Educational Research Journal*, 43(2), 350–371. doi.org/10.1002/berj.3268
 - Roth, W.-M., & Lawless, D. V. (2002). How Does the Body Get Into the Mind? *Human Studies*, 25(3), 333–358.
 - Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2017). *Self-determination theory: Basic psychological needs in motivation, development, and wellness*. Guilford Publications.
 - Smith, M. K., Jones, F. H. M., Gilbert, S. L., & Wieman, C. E. (2013). The classroom observation protocol for undergraduate stem (COPUS): A new instrument to characterize university STEM classroom practices. *CBE Life Sciences Education*, 12(4), 618–627. [doi.](https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.020111)

8

[org/10.1187/cbe.13-08-0154](https://doi.org/10.1187/cbe.13-08-0154)

- Sugihara, G., May, R., Ye, H., Hsieh, C., Deyle, E., Fogarty, M., & Munch, S. (2012). Detecting Causality in Complex Ecosystems. *Science*, 338(6106), 496–500. doi.org/10.1126/science.1227079
- Sundstrom, M., Heim, A. B., Park, B., & Holmes, N. G. (2022). Introductory physics students' recognition of strong peers: Gender and racial or ethnic bias differ by course level and context. *Physical Review Physics Education Research*, 18(2), 020148.
- Torgerson, C. J. T., David J. (2001). The Need for Randomised Controlled Trials in Educational Research. I *Education Matters*. Routledge.
- Ufer, S., & Neumann, K. (2018). Measuring competencies. I *International handbook of the learning sciences* (s. 433–443). Routledge.
- von der Fehr, A., Sølberg, J., & Bruun, J. (2018). Validation of networks derived from snowball sampling of municipal science education actors. *International Journal of Research and Method in Education*, 41(1). doi.org/10.1080/1743727X.2016.1192117
- Vygotsky, L. (1978). *Mind in society*. Harvard University Press.
- Weiss, C. H., Poncela-Casasnovas, J., Glaser, J. I., Pah, A. R., Persell, S. D., Baker, D. W., Wunderink, R. G., & Amaral, L. A. N. (2014). Adoption of a high-impact innovation in a homogeneous population. *Physical review x*, 4(4), 041008.
- Worthy, B. (2018). *Transcribing an Hour of Audio: How Long Does it Really Take?* www.gmrtranscription.com/blog/transcribing-an-hour-of-audio
- Yan, L., Martinez-Maldonado, R., Zhao, L., Dix, S., Jaggard, H., Wotherspoon, R., Li, X., & Gašević, D. (2023). The role of indoor positioning analytics in assessment of simulation-based learning. *British Journal of Educational Technology*, 54(1), 267–292.