

## Virtuelle laboratorier – redskaber at tænke med

Af Sanne Lisborg

Korrekt citering af denne artikel efter APA-systemet  
(American Psychological Association System, 7th Edition):  
Lisborg, S. (2022). Virtuelle laboratorier – redskaber at tænke med. *Learning  
Tech - Tidsskrift for læremidler, didaktik og teknologi*, (11), 145-171.  
DOI: 10.7146/lt.v7i11.129301

# Abstract

---

I artiklen undersøger jeg, hvilke læringspraksisser der bliver konstrueret, når virtuelle laboratorier bliver en del af naturfagsundervisningen i skolen. Jeg viser, hvordan to forskellige former for virtuelle laboratorier bliver brugt i undervisningen med afsæt i begreberne ”redskab-for-tanke” (Shaffer & Clinton, 2006) og et ”objekt-at-tænke-med” (Papert, 1980). Det ene laboratorium lægger op til en mere åben og eksplorativ læringspraksis, hvor eleverne kan eksternalisere deres idéer, og det virtuelle laboratorium bygger bro mellem det abstrakte og konkrete. Det andet laboratorium er mere instruerende og bliver i højere grad brugt som forberedelse til det undersøgende arbejde og som en interaktiv teorbog. Jeg peger desuden på paradokset i, at det virtuelle laboratorium tilbyder et sikkert læringsrum, men samtidig bliver risiko- og konsekvensfrit.

In this article, I investigate which learning practices are constructed when virtual laboratories become a part of science teaching in the school. Based on the concepts “toolforthoughts” (Shaffer & Clinton, 2006) and an “object-to-think-with” (Papert, 1980), I show how two different kinds of virtual laboratories are used in teaching. One of the laboratories is designed for a more open-ended and explorative learning practice and is used to combine abstract and concrete thinking. The other laboratory is more instructive and is to a greater degree used to train pupils in following a protocol or as an interactive textbook. Furthermore, I argue that a paradox exists in that the virtual laboratory offers a secure learning space, but at the same time becomes a risk-free learning space.

# Virtuelle laboratorier – redskaber at tænke med

Af Sanne Lisborg, Aalborg Universitet og Københavns  
Professionshøjskole

## Indledning

Med naturvidenskabsstrategien (UVM, 2018a) bliver virtuelle laboratorier (VL) udpeget som en del af løsningen på at styrke naturfagsundervisningen i skolen. UVM lancerede i 2019 tre initiativer, der skal stimulere skolernes brug af virtuelle laboratorier, da kun 7 pct. af skolerne bruger VL (Implement, 2018). Disse er 1) gratis adgang til udvalgte virtuelle laboratorier fra det danske firma Labster i perioden 2019-20, 2) udviklingen af inspirationsmateriale på emu.dk og 3) udviklingsprojektet InterLab (2020-2022), hvor otte skoler, fem gymnasier og fem erhvervsskoler afprøver og udvikler didaktiske tilgange til at inkorporere virtuelle laboratorier i undervisningen (UVM, 2019). Endelig er der igangsat et toårigt forsøg (2020-22), hvor det bliver afprøvet, om virtuelle simuleringer skal integreres i de skriftlige naturfagsprøver (Børne- og Undervisningsministeriet, 2021). Det markante policy-fokus på virtuelle laboratorier gør, at det må forventes, at VL komme til at spille en større rolle i naturfag, særligt hvis de bliver en del af afgangsprøven.

I evalueringsrapporten fra UVM's udviklingsprojekt Interlab (2022) samt i et vidensnotat udarbejdet af Virtual Learning Lab (UVM, 2018b) bliver det konkluderet, i lighed med andre studier, at VL kan supplere det fysiske eksperimentelle arbejde, da eleverne kan interagere med og observere fænomener, der ellers er for farlige eller svære at opleve i virkeligheden (De Jong, Linn & Zacharia, 2013).

Herudover peges der på, at virtuelle laboratorier kan øge elevers læring og motivation i naturfag. En central pointe i denne forbindelse er, at flere studier viser, at kombinationen af fysiske og virtuelle forsøg fører til det største læringsudbytte (Rutten, Van Joolingen & Van Der Veen, 2012; Smetana & Bell, 2012). I evalueringsrapporten fra Interlab-projektet, bliver det fremhævet, at virtuelle laboratoriers store potentiale er at kunne visualisere abstrakte naturvidenskabelige fænomener samt engagere eleverne gennem den interaktiv brugerflade. Endnu et potentiale ved det virtuelle laboratorium er, at eleverne kan begå

fejl i et sikkert rum og lære af deres fejltagelser (Honey & Hilton, 2011). Omvendt er en udfordring ved det virtuelle læringsmiljø, at eleverne ikke tager ”simuleringen lige så alvorligt som det virkelige laboratorieforsøg” (UVM 2018b, s. 6), da de ikke oplever en reel fare i det virtuelle læringsmiljø. Hertil kommer, at eleverne ikke får erfaring med, hvordan og hvorfor noget går galt i det fysiske laboratorium og heller ikke mærker den produktive frustration, der kan være i denne forbindelse (Tho & Yeung, 2018). Hennessy, Wishart, Whitelock, Deaney, Brawn, Velle, McFarlane, Ruthven & Winterbottom (2007) konkluderer i tråd hermed, at læreren skal have fokus på at understøtte kritiske refleksioner over virtuelle laboratoriers mangelfuldhed, så eleverne forstår potentialer og begrænsninger ved de forskellige vidensdomæner.

Forskningsfeltet inden for virtuelle laboratorier består primært af kvantitative effektmålingsstudier, der adresserer fordele og ulemper ved brugen af VL (Mutlu & Sesen, 2020). Disse studier fokuserer på faktorer såsom læringsudbytte og motivation, hvor det metodiske design er baseret på brug af kontrolgrupper eller før- og eftertests (for eksempel Winkelmann, Keeney-Kennicutt, Fowler, Macik, Guarda & Ahlborn, 2020; Achuthan, Kolil & Diwakar, 2018). Hertil kommer, at der ikke er mange studier, der undersøger brugen af VL i en dansk undervisningskontekst. Der er dog enkelte undtagelser, såsom det før omtalte Interlab-projekt. Artiklen bidrager således til den smalle forskningslitteratur på feltet, der gennem kvalitative klasserumsstudier undersøger, hvilke læringspraksisser der udfolder sig med virtuelle laboratorier i naturfagsundervisningen i en dansk skolekontekst. Artiklen skal besvare følgende forskningsspørgsmål:

**Hvilke læringspraksisser bliver der skabt, når virtuelle laboratorier bliver en del af naturfagsundervisningen, og hvilke potentialer og udfordringer afstedkommer dette?**



Inspireret af Science and Technology-forsker, Estrid Sørensen, der udvikler en forståelse af læring med afsæt i aktørnetværksteorien, så abonnerer jeg på et sociomaterielt perspektiv på læring. Sørensen (2009) gør op med en human-orienteret tilgang til læring, der er centreret omkring elever og lærer og deres mål og behov. Læring er derimod en sociomateriel praksis, hvor læring er et resultat af situerede og lokale anordninger mellem elever, lærere, teknologier og andre materialiteter. I stedet for at forstå teknologier som passive, og noget som mennesker *gør* noget med, så er de derimod *medskabende* af den

sociale praksis, der udspiller sig i klasselokalet. En teknologi som VL inviterer qua sit design til bestemte brugspraksisser, men er ikke determinerende for en bestemt læringspraksis. De læringspraksisser, der udspiller sig med virtuelle laboratorier i undervisningen, er derimod et resultat af en større sociomateriel kontekst, hvor det er samspillet mellem teknologi, elever/lærere og andre materialiteter, der er udslagsgivende for, hvilken læringsituation der bliver skabt. Det er disse situerede læringspraksisser, som jeg undersøger og beskriver i artiklen.

Jeg starter artiklen med at give en introduktion til de to virtuelle laboratorier, som er genstand for analysen. Herefter redegør jeg for undersøgelsens metodiske design og dens teoretiske ramme. I analysen viser jeg, hvordan de to former for virtuelle laboratorier understøtter naturfagsundervisningen på forskellig vis, i kraft af både deres design og den sociomaterielle kontekst som de indgår i. Derefter stiller jeg skarpt på, hvad det virtuelle laboratorie betyder for elevernes oplevelse af at fejle og have noget på spil i læringsprocessen. Det er nemlig særligt disse aspekter, som eleverne fremhæver som en udfordring ved virtuelle læringsmiljøer. Afslutningsvis konkluderer jeg på analysen og diskuterer studiets resultater og begrænsninger.

## Virtuelle laboratorier i naturfag

Virtuelle laboratorier er interaktive computersimuleringer, der giver en eksperimentel praksis, hvor brugeren kan ændre og manipulere faktorer for at observere implikationer heraf. Det interaktive aspekt er centralt, og herved adskiller det virtuelle laboratorie sig fra statiske visualiseringer (Honey & Hilton, 2011). I artiklen bruger jeg betegnelsen virtuelle laboratorier, der både dækker over virtuelle laboratorier, der simulerer et virkeligt laboratoriemiljø og eksperimentelle processer (Tatli & Ayas, 2013) samt virtuelle laboratorier, der behandler verden som et laboratorie (Interlab, 2022). I forhold til sidstnævnte, så tillader denne form for virtuelle laboratorier, at eleverne kan interagere med og blive klogere på et naturvidenskabeligt fænomen såsom acceleration og energi ved at bygge skaterramper eller bølgers egenskaber ved at interagere med vand- og lydbølger. I artiklen undersøger jeg, hvordan to forskellige typer af virtuelle laboratorier bliver brugt i naturfagsundervisningen. Det ene er PhET Interactive Simulations, udviklet af University of Colorado Boulder. Det andet er Labster, udviklet af et dansk firma ved samme navn.

PhET er gratis tilgængelige onlinesimuleringer inden for fagene fysik, kemi, biologi og matematik, hvor flere er oversat til dansk, og er rettet mod grundskole-, gymnasie- og universitetsniveau. PhET er de virtuelle laboratorier, der primært bliver brugt i den danske folkeskole (Implement, 2018). PhET-simuleringerne er i 2D-grafik og foregår ofte ikke i en laboratoriekontekst, men er rettet mod forståelsen af et bestemt naturvidenskabeligt fænomen (Honey & Hilton, 2011). PhET er designet med udgangspunkt i den konstruktivistiske læringsforståelse, hvor der er fokus på elevernes egen eksploration (Perkins, Loeblein & Dessau, 2013). De virtuelle laboratorier er forsøgt udviklet, så de har et intuitivt interface og kan bruges med minimal introduktion (Whitacrea, Hensberryb, Schellingera & Findleya, 2019). PhET kan derfor i vid udstrækning blive brugt, så det passer med lærerens læringsstil og læringsmål (Clark, Nelson, Sengupta & D'Angelo, 2009). Der er brugt forskellige visuelle repræsentationer og animerede modeller, og eleverne får en umiddelbar feedback via visuelle ændringer, når de ændrer forskellige parametre (Perkins et al., 2013). På Illustration 1 ses et skærbillede af det virtuelle laboratorium *Bølge: Intro*, hvor eleverne kan lære om frekvens og amplitude. Eleverne kan trykke på den grønne knap på vandhanen, der begynder at dryppe og herved lave bølger. I den venstre side kan eleverne fx skrue op og ned for frekvensen og bruge forskellige måleinstrumenter.

### Illustration 1.

PhET Interactive Simulation: Waves Intro.

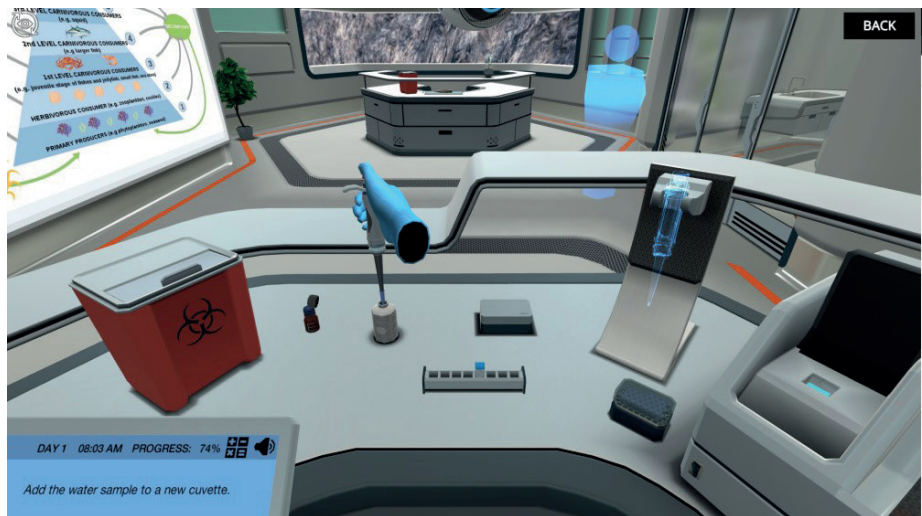


Kilde: <https://phet.colorado.edu/en/simulations/waves-intro>

Labster udvikler laboratoriesimuleringer, som primært er henvendt til gymnasie- og universitetsniveau. Der er over 200 simuleringer på engelsk, og 11 er oversat til dansk. De virtuelle laboratorier er tilgængelige online, men skolerne skal købe licenser for at få adgang. Som nævnt havde UVM frikøbt licenser til udvalgte simulationer i perioden 2019-20. De kan bruges i fagene biologi, kemi og fysik. De virtuelle laboratorier er designet på baggrund af idéen om fejldreven læring, hvor eleverne har mulighed for at fejle og få feedback på deres handlinger. Ifølge simuleringens udvikler hos Labster handler det om, at eleverne: *"(...) kan erkende: nå det er sådan her, det rigtige ser ud, og det herovre er det forkerte, og det her er rigtigt fordi sådan og sådan"* (Simuleringens udvikler, Labster, 3.1.2020). Labster er 3D-simuleringer, der er designet, så brugeren får oplevelsen af at være i et laboratorium. Eleverne bevæger sig rundt i laboratoriet, guidet af en robotagtig stemme. Når eleverne skal udføre en eksperimentel procedure, skal de gøre dette ved hjælp af en animeret 3D-hånd (se Illustration 2), fx tage en prøve, sætte den ind i et apparat og trykke på startknappen (Jones, 2018). Det virtuelle laboratorium har desuden fokus på spilbaserede elementer, såsom at eleven skal udføre en mission og for eksempel finde ud af, hvorfor der er en massiv fiskedød i havet. Simuleringerne er en blanding af teori og eksperimentel praksis, hvor eleverne udfører eksperimenter, læser teori og svarer på multiple choice-spørgsmål. De har desuden et pointsystem, hvor eleverne får point i forhold til, hvor godt de svarer.

## Illustration 2.

Labster, Explore Marine Biology: Investigate a massive fish death.



Kilde: <https://www.labster.com/simulations/marine-biology/>

I modsætning til PhET er Labster ret instruerende, da der er et bestemt forløb, som eleverne skal igennem. Dette gør sig også gældende, når eleverne skal udføre eksperimenter, hvor de ofte skal følge en prædefineret procedure. De to former for virtuelle laboratorier bygger på to forskellige forståelser af læring. PhET tager udgangspunkt i en konstruktivistisk og eksplorativ læringsforståelse, hvor eleverne selv er styrende i forhold til læringsforløbet. Labster er derimod designet til, at eleverne lærer at gennemføre en eksperimentel procedure korrekt med en høj grad af instruktion. Her tildeles eleverne rollen som små forskere, der skal lære at begå sig i et laboratorium (Lisborg, 2021). De to læremidler baserer sig på to forskellige opfattelser af, hvad naturvidenskab er, og hermed hvad eleverne skal lære i skolen. Formålet med artiklen er ikke at lave en komparativ analyse af de to former for virtuelle laboratorier, men at vise at forskellige virtuelle læringsmiljøer afstedkommer forskellige læringspraksisser og hermed potentialer og begrænsninger, som er vigtige at tage højde for i undervisningen.



## Teoretisk blik

Til at undersøge, hvilke læringspraksisser der udspiller sig i klasse-lokalet med de to former for virtuelle laboratorier, trækker jeg på Shaffer og Clintons (2006) analytiske begreb *redskab-for-tanker*. Begrebet indebærer, at de læringspraksisser, der konstitueres med VL, finder sted gennem et medieret forhold mellem menneske og teknologi – og den situerede sociale kontekst. Shaffer og Clinton bygger videre på forståelsen fra handlingsteori (Engeström, 1999) og medieret handling (Wertsch, 1998) om, at forholdet mellem tanker, handling og teknologi er centralt for læring. Men hvor de tidligere teorier opererer med et asymmetrisk forhold mellem mennesker og artefakter, så peger de med aktørnetværksteorien (for eksempel Latour & Woolgar, 1986) på, at teknologier ikke er passive aktanter, som vi gør noget med, men at de ”skubber tilbage” i deres interaktioner med mennesker (Shaffer & Clinton, 2006). Begrebet redskab-for-tanke inkorporerer det dialektiske forhold mellem artefakt og menneskelig handling. Det giver ikke mening at tale om teknologier uden tanker og handlinger og vice versa. I tråd med den sociomaterielle læringsforståelse, der ligger til grund for artiklen, så peger Shaffer og Clinton på, at de læringspraksisser, der bliver konstrueret med det virtuelle laboratorie er et samspil mellem menneske og teknologi – og ikke et resultat af enten menneskelig handling eller teknologiens intentionalitet. De advokerer for, at redskab-for-tanker er *skabeloner for handling*:

” We refer to these reifications as templates because they have a particularity to their form. This particularity does not ensure that toolforthoughts enact the social organizations that their inventors intend – a toolforthought is a social pattern, and no one would expect that intent is equivalent to outcome in a social setting. (Shaffer & Clinton, 2006, s. 292)

Hermed peger de på det forhold, at læringsteknologier i kraft af deres design (og de tanker der ligger heri) kan forstås som skabeloner, der gør nogle handlinger mere sandsynlige end andre, men at de ikke determinerer en bestemt form for handling eller social orden. Det væsentlige er at undersøge empirisk, hvilke muligheder og begrænsninger som bestemte redskab-for-tanker bringer med sig – og hvordan de er med til at skabe forskellige former for social interaktion og læring.

Jeg trækker desuden på Paperts forståelse af mikroverdener til at konceptualisere, hvilke læringspraksisser der bliver skabt med de to typer af virtuelle laboratorier. I sit banebrydende værk *Mindstorms* (1980) formulerer Papert begrebet mikroverdener som et modsvar til den gængse opfattelse af computerassisteret læring i 80’erne, hvor

computerteknologi begyndte at blive en del af skolen. På dette tidspunkt var det meste læringssoftware baseret på instrumentel læring og programmeret instruktion. Læringsfilosofien bag mikroverdener er derimod baseret på principperne opfindelse, leg og udforskning, hvor eleverne tilegner sig viden via en meningsfuld og personlig proces (Rieber, 2004). Papert placerer sig inden for konstruktivismen, hvor elevens aktive handlen med teknologier er i centrum for læringen (Papert, 1980). Det er elevens egne formodninger om, hvordan et naturvidenskabeligt fænomen fungerer, der er styrende for læringen, og her ser Papert computeren som et brugbart værktøj. Computeren bliver et *objekt-at-tænke-med* (object-to-think-with), da det er muligt at konkretisere og visualisere abstrakte fænomener. Logo-programmeringssproget, udviklet af blandt andet Papert, bygger på princippet om, at børn skal lære at kode på en mere genkendelig måde end tal og ligninger. Med Logo kan eleverne ved at taste kommandoer få Logo-skildpadden (en simpel robot) til at bevæge sig og tegne formationer. Herved bliver effekterne af kodning synlige for børnene på en genkendelig og konkret måde (Stevens, Boden & Rekowski, 2013). Papert beskriver, hvordan Logo-skildpadden fungerer som et *overgangsobjekt* (transitional object), der hjælper børn med at forstå abstrakte teoretiske fænomener gennem deres konkrete handlen med at få skildpadden til at bevæge sig:

” You can do something to it and it will change and it will act. So, in some ways, it's like these things we work with in the real world, and in some ways, it's like those abstract things. It's a transitional object that helps you manipulate the abstract ones. This ability to create transitional objects gives us a way of closing the gap between intuitive and formal learning.  
(Papert, 1989, s. 10)

Et overgangsobjekt kan hermed hjælpe eleverne med at lukke hullet mellem en intuitiv og formel læring og konstruere mentale modeller af, hvordan naturvidenskabelige fænomener virker.

I analysen udfolder jeg, hvordan PhET og Labster bliver brugt som forskellige redskaber-for-tanker i naturfagsundervisningen, og hvilke muligheder og begrænsninger de to læremidler afstedkommer, men først præsenterer jeg det metodiske og empiriske grundlag for analysen.

## Metode og empiri

Det empiriske grundlag for at besvare forskningsspørgsmålet er et case-studie på tre skoler (fremover benævnt skole 1, skole 2 og skole 3) i udskolingen (8.-10. klasse). Empiriindsamlingen er foretaget i perioden maj 2019-september 2021<sup>1</sup>. På hver skole har jeg fulgt én lærer, men observeret undervisning i to-tre forskellige klasser. Metodisk har jeg anvendt videoobservation, skærmoptagelser og interviews med lærere og elever. Jeg har været med i timer, hvor virtuelle laboratorier har været en del af undervisningen, men også efterfølgende, hvor de har samlet op på arbejdet med VL og udført fysiske forsøg i relation til det virtuelle laboratorie. Tabellen neden for giver et overblik over de forskellige dele af feltarbejdet.

**Tabel 1.**

*Overblik over feltarbejde.*

---

	Skole 1	Skole 2	Skole 3
Videoobservationer	8 (1 virtuel)	3 (1 virtuel)	4 (1 virtuel)
Skærmoptagelser	5		4
Elevinterviews	4 med 8 elever		3 med 6 elever
Lærervinterviews	4	2	4

Som det fremgår af tabellen, har jeg primært lavet feltarbejde på skole 1 og skole 3, hvorfor disse udgør det primære grundlag for min analyse. Der er indhentet informeret samtykke fra elevernes forældre, hvor formålet med undersøgelsen, databehandlingen, og hvad de giver samtykke til, er beskrevet. I det følgende redegør jeg for brugen af de valgte metoder.

<sup>1</sup> At empiriindsamlingen har strakt sig over en periode på to år skyldes skolenedlukning grundet COVID-19.

*Videobservation:* Jeg har filmet de undervisningstimer, som jeg har observeret på de tre skoler<sup>2</sup>. Ligesom traditionel deltagelsesobservation er formålet med videoobservation at få en dybere forståelse for den sociale praksis, man undersøger, da man selv er del af den. I forhold til feltnoter er det en særlig fordel ved videoobservation, at man kan gense de sociale interaktioner igen og igen og udvikle og genoverveje sin analyse heraf (Szulevicz, 2012). Da jeg filmer både det, der foregår før, under og efter eleverne bruger det virtuelle laboratorie, får jeg et blik for, hvordan VL indgår i og kobler sig til en større undervisningssammenhæng. Videoptagelserne giver mig desuden mulighed for at indfange de sociale interaktioner og dialoger mellem både lærer/elev og elev/elev, og hvilken betydning dette har for de læringspraksisser, der udfolder sig. I min observation har jeg fokuseret særligt på enkelte elever, når de arbejdede med VL i undervisningen. Disse elever er udvalgt i samarbejde med læreren. Kriterierne for udvælgelse er, at der var en spredning i forhold til både køn og elevernes faglige niveau i naturfag. Det var ligeledes disse elever, som jeg bad om at skærmoptage, og som jeg efterfølgende interviewede.

*Skærmoptagelser:* Jeg har som nævnt bedt udvalgte elever om at skærmoptage, når de har brugt virtuelle laboratorier. Disse optagelser er foretaget med softwareprogrammerne Screencast-O-Matic og PowerPoint. Med videoobservation indfanger jeg ikke alt det, der foregår på elevernes skærme. Skærmoptagelserne giver mig adgang til, hvordan eleverne gebærder sig i det virtuelle laboratorie, hvilke valg de foretager sig, og hvilke udfordringer de støder på undervejs. Da der er lyd på optagelserne, får jeg desuden indblik i, hvilke dialoger eleverne har med hinanden og læreren.

*Interviews:* Jeg har foretaget semistrukturerede interviews (Brinkmann & Kvale, 2015) med både lærere og elever. Formålet hermed er at få adgang til deres konkrete erfaringer med virtuelle laboratorier og de potentialer og udfordringer, som de oplever. I interviewene med lærerne har jeg på baggrund af min observation spurgt ind til forskellige undervisningssekvenser og deres didaktiske overvejelser og erfaringer med at bruge VL. Jeg har interviewet eleverne i par, da de ofte har arbejdet sammen to og to om det virtuelle laboratorie. I disse interviews har jeg brugt klip fra deres skærmoptagelser som et *elicitation device* (Haper, 2002) til at stimulere deres hukommelse og få dem til at reflektere over konkrete læringsituationer. Alle informanter er anonymiseret i artiklen.

2 Der er enkelte dele af min observation, som jeg ikke har filmet grundet tekniske problemer. I disse tilfælde har jeg gjort brug af feltnoter.

Til at kode min empiri har jeg gjort brug af tematisk analyse (Clarke, Braun & Hayfield, 2015; Braun & Clarke, 2006). Her er det første skridt at gøre sig bekendt med datamaterialet. Dette har jeg gjort ved at transskribere interviews med lærere og elever. Ved videomaterialet og skærmoptagelserne har jeg set materialet igennem og noteret mig interessante passager i et excelark. Det næste trin er det initierende arbejde med at finde temaer på tværs af datamaterialet. Jeg har grupperet identiske former for passager i kodningsprogrammet NVivo. Det tredje og fjerde trin er at få bearbejdet de mange forskellige koder (i mit tilfælde 35) til potentielle analytiske temaer, samt at tjekke om der er et godt match mellem de udvalgte temaer og det samlede datasæt. Dette har jeg konkret gjort ved at kigge materialet igennem igen og identificere sekvenser, som var relevante for de valgte temaer, som jeg ikke havde øje for i første gennemgang. Det femte skridt er at definere de temaer, som man vil arbejde med, og den overordnede historie i analysen<sup>3</sup>. De overordnede tematikker, som jeg har valgt at behandle i artiklen, er: *lærerens didaktisering, det interaktive aspekt, konkretisering af det abstrakte, eksplorativ læring, instrumentel læring og risikofri læring*. Disse temaer er valgt, da de tilsammen er med til at illustrere, hvilke forskellige læringspraksisser der bliver konstrueret med de to former for virtuelle laboratorier.

## Analyse

I det følgende undersøger jeg, hvilke konkrete læringspraksisser der bliver konstrueret med virtuelle laboratorier. Jeg starter med at beskrive, hvilke læringspraksisser bliver skabt med PhET, og bevæger mig derefter videre til Labster.

### **Virtuelle laboratorier som et objekt-at-tænke-med**

Jeg vil starte med et eksempel fra en fysiktime i 10B (skole 3), hvor eleverne arbejder med PhET-simuleringen *Energi-Skatemark* i en lektion om energiformer. I det virtuelle laboratorium kan eleverne bygge forskellige former for skaterramper, lade en skater køre ned ad den og måle på den potentielle og kinetiske energi. Læreren Sigurd fortæller,

3 Et af de temaer, som fylder meget i mit datamateriale, men som jeg ikke skriver om i artiklen, er kropslighed og elevernes forståelse heraf i forhold til det virtuelle versus det fysiske laboratorium. Dette behandler jeg derimod i en anden artikel (Lisborg & Tafdrup, under udgivelse).

at hans mål med at bruge det virtuelle laboratorie er at sætte nogle gode billeder på de abstrakte energibegreber, da flere har svært ved at forstå dem. Han oplever, at eleverne synes, det er en sjov og motiverende måde at arbejde på:

” (...) at få en hund til at køre på et skateboard og kigge på den energi i forhold til at kigge på et pendul, der svinger frem og tilbage (...) Det er, for mig at se, en sjovere måde at gøre det på, at man kan sidde og lege med det, og at de herigennem (...) får en forståelse af de her energiformer.  
(Sigurd, lærer, 21.09.21)

Det er ikke kun Sigurd, der oplever, at det virtuelle laboratorie åbner op for en mere legende og udforskningsrig læringsproces. Eleven Frederik beskriver i det efterfølgende interview sin oplevelse af arbejdet med simuleringen således:

” Jeg får lov til at bestemme, hvad der skal ske (...) fordi jeg tænker: ’(...) Hvad sker der, hvis jeg får ham til at veje 70 kg? Eller putter ham på månen eller fem kilo?’ Man stiller måske nogle små spørgsmål til sig selv uden at tænke over det så meget. Og så på grund af at det er dig selv, og ikke en eller anden video, så får du svar på det med det samme, og du får svar på de spørgsmål, der ligesom fanger dig.  
(Frederik, elev, 06.09.2021)

Her opleves læringen som udforskningsrig og legende, da det er elevens egen undren og nysgerrighed, der er styrende for læringsprocessen. Denne form for læring er i tråd med forståelsen af *playful learning*, da eleven oplever at have agency og være retningsgivende for læringen. Den legende tilgang er med til at engagere eleven og skabe fokus på læringsaktiviteten (Zosh, Hopkins, Jensen, Liu, Neale, Hirsh-Pasek & Whitebread, 2017). Som Frederik siger, får han svar på de spørgsmål, *der fanger ham* – i modsætning til en statisk illustration eller en video, hvor eleven i højere grad er en passiv modtager frem for aktiv deltager. Det virtuelle laboratorie kan siges at blive et objekt-at-tænke-med, da den sætter eleven i stand til at eksternalisere eller afprøve sine idéer, som Papert skriver: ”Having the computer meant they could try out ideas (...) as opposed to a situation where they could only think about it inside their heads, unable to externalize those ideas and see the results” (Papert, 1979, s. 7). Det interaktive aspekt i det virtuelle laboratorie gør det muligt for eleverne at afprøve, hvordan de forskellige energiformer bliver påvirket, når de laver skaterbanen kortere, får skateren til at veje mindre eller gør ham vægtløs. De idéer,

som eleverne får, bliver mulige at afprøve med simuleringen, da de får en umiddelbar og visuel feedback på deres handlinger (Hogle, 1995).

Der er flere elever, der oplever det som motiverende, at de selv er styrende i læringsprocessen, som en elev formulerer det: ”Man er lidt mere motiveret, hvor man tænker: ’Hvad sker der, når jeg gør det her?’, i stedet for at man bare skal finde ud af hvorfor” (Carl, elev, 06.09.21), eller som en anden elev siger: ”(...) når man får lov til selv at gøre det, så selvom man laver det forkert, så får man alligevel lov til at lege med det, og se hvad der er rigtigt eller forkert” (Olivia, elev, 06.09.21). Som det fremgår af det sidste citat, så oplever eleven, at det virtuelle laboratorium giver mulighed for, at hun kan begå fejl og lære heraf, hvilket som nævnt bliver fremhævet som en didaktisk fordel ved VL.

Ligesom Logo-skildpadden fungerer det virtuelle laboratorium som et overgangsobjekt eller en konkretisering af de abstrakte naturvidenskabelige fænomener, der ligger langt væk fra elevernes hverdag. Et eksempel herpå er fra en time, hvor eleverne Line og Clara arbejder med PhET-simuleringen *bølge: intro* (Se Illustration 1). Der er afbildet en vandhane, som eleverne kan få til at dyppe med højere og lavere frekvens, og hermed kan de lære om bølgers egenskaber:

” De trykker på den grønne knap på vandhanen, som begynder at dryppe og lave bølger. Line (læser et arbejdsspørgsmål højt): ’Hvad sker der med bølgen, når I ændrer frekvensen?’. De sætter frekvensen op, og der begynder at komme flere bølger på skærmen. Clara: ’Nårh, det er, jo hurtigere dråberne drypper ned, jo flere bølger kommer der (...). Så det er lidt ligesom ude på stranden, det der med, at du trykker fingeren ned i vandet, så kommer de der bølger ud, og jo mere du gør det, jo hurtigere kører det’.  
(Skærmoptagelse, Clara, 12.09.2020)

Visualiseringen af vandhanen, som eleverne kan få til at dryppe og lave bølger i vandet, bliver et overgangsobjekt til at begribe begrebet frekvens og lukke hullet mellem den intuitive og den formelle viden, som Papert (1987) skriver. Den dryppende vandhane gør det muligt for Clara at koble den faglige viden med sin personlige erfaring om, hvordan hun kan skabe bølger med lavere og højere frekvens, når hun dypper sin finger i vand. Ved at eleverne kan knytte personlige og konkrete erfaringer til læreprocessen, får de en større forståelse af det bagvedliggende naturvidenskabelige koncept (Papert, 1980). Men det er ikke altid let for eleverne at forstå, hvordan de skal afkode det virtuelle laboratorium, og her spiller læreren en central rolle. Dette bliver udfoldet i næste afsnit.



## Lære at afkode det virtuelle laboratorie

Den frihed til selv at eksplorere, som PhET lægger op til, gør, at flere af eleverne har svært ved at finde ud af, hvordan de skal navigere i det virtuelle laboratorie, og hvad udfaldet er, når de ændrer på et parameter. Her er lærerens supportering og didaktisering central for, at eleverne kan aflæse simuleringen korrekt. I eksemplet nedenfor vender vi tilbage til eleverne Clara og Line, der skal besvare et arbejdsspørgsmål om, hvad der sker, når de får to vandhaner til at dryppe. Men eleverne ved ikke, hvordan de skal udlede noget om bølgers egenskaber på baggrund af de to dryppende vandhaner. De beder derfor læreren Sigurd om hjælp:

*Sigurd (peger på skærmen): Hvad kan man se?*

*Clara: Det er spøjst, de kører sådan ind over hinanden (viser med fingrene, hvordan bølgerne fletter sig sammen).*

*Sigurd: Ja, og det var det, vi har talt om, at det kunne de godt.*

*Clara: Ja, det var det med, at det ligner, at de bliver skubbet tilbage, men faktisk kører de igennem hinanden.*

*Sigurd bekræfter og spørger: Hvad sker der, når I smækker frekvensen helt op?*

*Det gør de, og Clara udbryder: Hold nu fast, så kommer der flere. Og hvad sker der, hvis man skruer helt ned? (siger hun entusiastisk, mens hun skruer frekvensen helt ned).*

*De kigger alle tre spændt på computerskærmen. Clara griner lidt og siger: Nej, det er bare en stor blå klat.*

*Sigurd: Det vil sige, at så ligger bølgerne måske helt herude et eller andet sted (peger på kanten af skærbilledet).*

*Clara: Nårh, ja.*

(Skærmoptagelse og videoobservation, 12.9.2020)

Med udgangspunkt i de to dryppende vandhaner får Sigurd Clara til at formulere, hvad hun kan observere. Clara husker fra tidligere i timen, at en egenskab ved bølger er, at de kan gå igennem hinanden. Sigurd spørger videre, hvad der sker, hvis frekvensen sættes op. Dette får Clara til at undre sig over, hvad der sker, hvis den sættes ned, og hendes nysgerrighed bliver vakt. Hun observerer, at det bliver *en stor blå klat*, men ved ikke, hvordan hun skal oversætte denne visualisering til noget, der har med bølgers egenskaber at gøre, hvilket Sigurd hjælper hende med at begrebsliggøre.

For at det virtuelle laboratorie kan blive et meningsfuldt redskab-for-tanker er samspelet mellem teknologi, lærer og elev central. Som i eksemplet, hvor det er i dialogen med læreren, der stiller åbne spørgsmål med udgangspunkt i det virtuelle laboratorie, at eleven lærer at afkode simuleringen og lave koblinger mellem denne og sin teoretiske viden om bølgers egenskaber.



## Samspil med andre materialiteter

Det virtuelle laboratorie er ikke kun en del af en social kontekst, men også en materiel. I den konkrete undervisning indgår det virtuelle laboratorie i en bredere undervisningskontekst med andre materialiteter. Læreren Sigurd bruger ofte PhET-simuleringerne i et samspil med analoge teknologier. Et eksempel herpå er fra timen, hvor eleverne arbejder med det virtuelle laboratorie omkring bølgers egenskaber. I undervisningssekvensen forinden har eleverne i par lavet bølger med en fjeder ude på gangen. Når eleverne efterfølgende arbejder med bølger i VL, så bruger Sigurd deres erfaringer med at lave svingninger med fjederen til at understøtte deres forståelse af, hvad begrebet frekvens er:

” Eleverne Mie og Alice er i gang med at besvare et arbejdsspørgsmål om, hvordan de i det virtuelle laboratorie kan lave vandbølger med større og lavere frekvens. Men de ved ikke, hvad de skal gøre, da de ikke er sikre på, hvad begrebet frekvens er. De spørger derfor læreren Sigurd om hjælp. Sigurd spørger, om de kan huske, hvad der skete, når de bevægede fjederen hurtigere ude på gangen. Mie svarer, at der kom flere bølger hurtigt efter hinanden. Sigurd siger, at det er det samme, der sker, når de får vandhanen til at dryppe hurtigere, så bliver frekvensen højere. Eleverne bekræfter, at de forstår det, og de går i gang med at lave bølger med høj og lav frekvens i det virtuelle laboratorie.

(Feltnoter, 12.9.2020)

I sekvensen ovenfor hjælper Sigurd eleverne med at oversætte mellem to forskellige vidensdomæner. Eleverne er ikke selv i stand til at lave koblinger mellem den tidligere undervisningsaktivitet, hvor de har fået en forståelse af begrebet frekvens ved at lave svingninger med en fjeder, og visualiseringen af en dryppende vandhane. Men i dialogen med læreren bliver det tydeligt for dem, hvordan de kan arbejde med frekvens både som bølger med en fjeder og som bølger i vand. Sigurd uddyber i det efterfølgende interview, at læreren har en central rolle i forhold at hjælpe eleverne med at forstå, hvordan de arbejder med bølger på forskellige måder, så det virtuelle laboratorie ikke bliver *parallel læring*, men hjælper til at udvide elevernes begrebsforståelse (Sigurd, lærer, 6.09.2021). PhET-simuleringen bliver således et redskab-for-tanker, der har potentiale til at hjælpe eleverne med at forstå abstrakte naturvidenskabelige begreber og øge deres begrebsforståelse. Men lærerens didaktisering og hjælp til at afkode det virtuelle laboratorie er central for, at eleverne kan binde an til dem på en succesfuld måde.

### Trin-for-trin-instruktion

Labster-simuleringerne er som beskrevet ret instruerende i deres form. Når eleverne skal udføre et forsøg i det virtuelle laboratorium, så er der ofte en bestemt procedure, som de skal følge. Som i eksemplet nedenfor fra en virtuel biologitime i 9A (skole 1), hvor eleverne arbejder med simuleringen *Massiv fiskedød og eutrofiering* (Se Illustration 2). Vi følger eleven Viktor, der er nået til et sted i simuleringen, hvor han skal finde årsagen til den massive fiskedød:

- ” Viktor bliver bedt om at gætte, hvilken industri der har udledt store mængder af næringsstoffer og forurenede vandet ved et fiskeri. Der er et kort over nitrogenkilder ved fiskeriet. Han gætter på, at det er bomuldsmarken, da denne ligger tættest på fiskeriet, hvor fiskene er døde. Derefter skal han teste denne hypotese ved at analysere nitrogenkoncentrationen i forskellige vandprøver. Han skal vælge tre vandprøver ved at kigge på et kort over, hvor de er taget. Han starter med at tage vandprøve 1-3, men der popper en besked op om, at det er de forkerte vandprøver, og at han i stedet skal tage prøverne 2, 4 og 5. Det gør han, og han følger trin for trin de instrukser, han får, så han får målt indholdet af de tre prøver. Til slut skal han på baggrund af resultaterne svare på, om hans hypotese var rigtig, men dette har han svært ved at afgøre. Han ræsonnerer sig frem til, at han vil lægge to af prøveresultaterne sammen, da de løber ud i den samme å, og gætter derfor på, at det er tøjfabrikken, da denne ligger tættest på søen. Men det er ikke rigtigt. Efter tre gæt finder han ud af, at hans oprindelige hypotese var rigtig.  
(Skærmoptagelse, Viktor, 23.4.2021)

I sekvensen skal Viktor vælge mellem fire prædefinerede hypoteser og undersøge, om hans hypotese er rigtig. Men han har svært ved på baggrund af vandprøverne at ræsonnere sig frem til, hvilken hypotese der er den rigtige, da han ikke selv har formuleret den og hermed de antagelser, der ligger til grund herfor. Der er desuden lagt en valgfrihed ind mellem forskellige vandprøver, men i realiteten er det ikke muligt at vælge andre end de rigtige for at gennemføre forsøget succesfuldt. Denne form for læring er på mange måder langt fra Paperts idé om mikroverdener, hvor det er elevernes egen undren og afprøvning, der er styrende for læringen. Læringsteknologien minder mere om det, som Papert kalder *tutorials*, hvor computeren fungerer som en maskinbaseret instruktion (Papert, 1987), der bundes i et behavioristisk læringssyn. Her opfattes læring som en kausal sammenhæng mellem de stimuli, som den lærende er udsat for, og den respons, som disse stimuli afføder. Læringen deles op i mindre trin-for-trin-

sekvenser, og den lærendes handlinger bliver derfor korrigeret eller belønnet i overensstemmelse med det korrekte svar (Selwyn, 2011). Denne korrektion af handlinger ses eksempelvis, når Viktor bliver korrigeret i forhold til de vandprøver, han har taget, eller når han skal be- eller afkræfte sin hypotese ved at trykke på det rigtige svar. Det er ikke eleven selv, der formulerer hypoteserne eller forklaringen på resultaterne, men dette er prædefineret på forhånd. Man kan argumentere for, at det virtuelle laboratorie understøtter en mere traditionel ”køgebogsforståelse” af eksperimentelt arbejde (Hodson, 2008; Millar, 2004).

Læreren Simon fortæller, at et centralt formål med at bruge Labster er at træne eleverne i at følge en protokol og være præcise i deres egne undersøgelser, ”både i forhold til forsøg, men også i forhold til undersøgelsescirklen: Opsæt en hypotese, afprøv den, analysér resultaterne” (Simon, lærer, 23.4.2021). I den fælles opsamling på elevernes arbejde i det virtuelle laboratorie omkring fiskedød bruger han tid på at tale med elever om, hvordan de i det virtuelle laboratorie bevæger sig rundt i de forskellige faser i undersøgelsescirklen. Han fortæller i et opfølgende interview om sine erfaringer med at bruge Labster:

” Når eleverne skal ud at lave noget tilsvarende, så kan de faktisk overføre protokollerne derfra (det virtuelle laboratorie) til et rigtigt laboratorie senere. Så det giver dem ret meget kompetence i forhold til udførelse af en undersøgelse og de forskellige trin. (Simon, lærer, 18.01.22)

Men han oplever også, at man som lærer har en central rolle i forhold til at tale med eleverne om, hvilke forskelle der er på en computersimulering og de undersøgelser, som de selv kan opstille. Han forklarer, at det udstyr, der bliver brugt i simuleringen er *top of the line*, hvor det udstyr, de har adgang til, er skoleudstyr, og det derfor er vigtigt at tale med eleverne om forskelle og ligheder mellem de forsøg, som de laver i det virtuelle og i det fysiske laboratorie (Simon, 20.01.2020).

### **Det virtuelle laboratorie som en interaktiv teoribog**

Læreren Simon bruger ofte det virtuelle laboratorie som en forberedelse, inden eleverne skal lave eksperimenter i skolelaboratoriet, for at de skal blive bekendte med de teoretiske begreber. Et eksempel herpå er et forløb om energi. Først gennemgår Simon de centrale teoretiske begreber entalpi og entropi, som eleverne skal arbejde med i VL. Derefter arbejder eleverne sammen i par med det virtuelle laboratorie, hvor de svarer på arbejdsspørgsmål undervejs, som Simon har lavet. Her skal de eksempelvis på baggrund af det, de har lært i simu-

leringen, beskrive begreberne entalpi og entropi. I den efterfølgende time er eleverne i det fysiske laboratorie og laver forsøg med endotermiske reaktioner: "Og der kan de pludselig sætte nogle ord på. I stedet for bare at sige: 'Det bliver koldere', så kan de sige: 'Det er en endotermisk reaktion'" (Simon, lærer, 20.2.2020). Han oplever, at det bliver lettere for eleverne at forstå begreberne, fordi de har arbejdet med dem interaktivt i det virtuelle laboratorie først. Det virtuelle laboratorie bliver således brugt til at understøtte elevernes begrebsforståelse. Læreren Sigurd oplever også, at eleverne får en *hands on*-forståelse af teorien i det virtuelle laboratorie, der er mere motiverende end at læse i en bog (Interview, 13.1.2021). Denne opfattelse deler flere af eleverne, der ser VL som et godt alternativ til andre mindre interaktive læremidler såsom en bog: "Man er lidt mere inde i det, i stedet for at bare at læse, så gør man noget selv" (videoobservation, 22.6.2019) eller et læreroplæg: "Det er ikke som normal undervisning, hvor det bare er læreren, der står og forklarer (...). I stedet for at det er information, der kommer til én, så skal man selv finde det" (Videoobservation, 26.8.2020). Hermed bliver det virtuelle laboratorie et supplement til de traditionelle undervisningsformer til at understøtte elevernes begrebsforståelse på en måde, som eleverne oplever som mere engagerende og motiverende.

### **Risikofri, men også konsekvensfri læring**

Som tidligere nævnt er en af fordelene ved at lave forsøg i et virtuelt miljø, at eleverne kan fejle i et sikkert rum og lave forsøg, der ellers er for farlige at lave i et klasselokale (Honey & Hilton, 2011; Perkins et al., 2010). Læreren Simon peger på det at kunne fejle som en af de pædagogiske fordele ved Labster-simuleringerne: "Jamen, en af mulighederne er helt klart (...) at kunne begå fejl i et sikkert rum (...). Al forskning viser, at det er der, vi lærer allermost, det er, når vi retter vores egne fejl" (Simon, lærer, 9.5.2019). Flere elever oplever det ligeledes som positivt, at det virtuelle laboratorie udvider handlingsrummet for, hvad de kan eksperimentere med. Som Mie fra skole 1 siger: "Så får du en forståelse for, hvor stærkt et stof kan reagere med et andet (...) som man jo så ikke kunne lave i fysiklokalet" (Mie, elev, 12.9.2019). Eller Martin fra samme klasse: "Der er mange farlige ting, vi ikke må lave, men så kan vi prøve at lave det derinde" (Martin, elev, 12.9.2019).

Denne mulighed for at gå eksperimentelt til værks uden at være bange for at fejle harmonerer med Paperts forståelse af, at mikroverden tilbyder et sikkert læringsmiljø, hvor eleverne frit og trygt kan udforske: "The microworld is created and designed as a safe place for exploring. You can try all sorts of things. You will never get into trouble (...) You are totally safe in this little world" (Papert, 1987, s. 80). Dette

fokus på at kunne begå fejl ligger også til grund for nyere didaktiske retninger såsom inquiry-based learning (Pedaste, Mäeots, Siiman, De Jong, Van Riesen, Kamp & Tsourlidaki, 2015) og failure-driven learning (Darabi, Arrington & Sayilir, 2018). Men selvom eleverne er glade for at kunne begå fejl i et sikkert rum, oplever de, at de er mere koncentrerede, når de laver et fysisk eksperiment, da deres handlinger er afgørende for udfaldet af forsøget, som Toke siger: ”Du kan måske ikke være med resten af timen (...) fordi du har spildt det, du har lavet” (Toke, elev, 20.2.2020), eller Emma: ”Hvis du sidder med det i dine hænder, så har du et forsøg til at gøre det rigtigt” (Emma, elev, 20.2.2020). I citatet nedenfor fortæller eleven Astrid, hvordan hun oplever forskellen på at lave forsøg i det fysiske og i det virtuelle laboratorie:

” Der [i det virtuelle laboratorie] ved man også, at det ikke kan gå galt, men derinde (peger på fysiklokalet) der fokuserer man ligesom mere, for man ved, at her skal jeg ikke spilde svovlsyre ud over alting, men derinde, der gør man det jo ikke, så der er det bare sjuv (viser med hænderne, at hun gør det hurtigt) (...). Man fokuserer mere på selve opgaven, hvor hvis man sidder der [med det virtuelle laboratorie], så kan man godt gøre en eller anden ting og så lige sidde og snakke lidt ved siden af. Derinde der gør man tingene og snakker bagefter.  
(Astrid, elev, 20.2.2020)

I citatet beskriver Astrid, hvordan hun er mere fokuseret, når hun laver et fysisk eksperiment, da hun ved, at hun har noget på spil. I et fysisk forsøg har elevernes handlinger reelle konsekvenser, for eksempel at *spilde svovlsyre*, hvis de gør det for hurtigt. Bevidstheden om, at de kan lave en irreversibel fejl i det fysiske laboratorie, gør, at de er mere koncentrerede, som Astrid siger: *Derinde der gør man tingene og snakker bagefter*. Derimod oplever de ikke den samme koncentration i det virtuelle laboratorie, da deres handlinger er reversible, som en anden elev formulerer det:

” Det har ikke nogen konsekvens, at man gør det forkert [i det virtuelle laboratorie], så det er ikke sådan, at du skal gøre det rigtigt og være meget præcis med det, for hvis du gør det forkert, så starter du bare forfra.  
(Videoobservation, 26.8.2020)

Der er et paradoks i, at det virtuelle laboratorie skaber et sikkert læringsrum, hvori eleverne kan fejle, men at de samtidig oplever ikke at have noget på spil. Deweys (1913/2013) forståelse af interesse eller

opmærksomhed er relevant i denne sammenhæng. Interesse er altid rettet mod et objekt, og det er i vores handlen i forhold til dette objekt, at vi kan opleve interesse. Det centrale her er, om aktiviteten er af en sådan karakter, at den tillader kompleksitet og udfordringer, der kræver en indsats af eleven – og hermed en *varig interesse* eller samlet opmærksomhed (Dewey, 1913/2013, s. 59). Læringsaktiviteten skal ikke være for let, men være af en karakter, så det at overvinde forhindringerne tillægges en værdi (Petersen, 2012). I forlængelse heraf bruger læringsforsker Knud Illeris begrebet ”modstandspotentiale”, der betegner de læreprocesser, der er forankret i oplevelsen af modstand. Denne modstand kan enten have en konstruktiv effekt på elevernes læring, hvis den forstås og accepteres, eller en restriktiv påvirkning, hvis den opleves som uoverkommelig (Illeris, 2000). Når eleverne udfører fysiske eksperimenter, så får bevidsthed om eksperimentets modstandspotentiale en produktiv karakter. De oplever at have en samlet opmærksomhed på den læringsaktivitet, som de er beskæftiget med, da det er afgørende for forsøgets udfald, hvordan de agerer. Omvendt opleves det virtuelle laboratorie som et risikofrit rum, hvori der ikke er et reelt modstandspotentiale. Hermed bliver elevernes opmærksomhed delt, da de ikke oplever, at deres handlinger har reelle konsekvenser – og man kan *lige sidde og snakke lidt ved siden af*, som eleven fra før udtrykker det. Det er ikke kun eleverne, der adresserer det manglende risikoelement i det virtuelle laboratorie, det samme gør læreren Simon:

” Der er et godt element af fare over det at være i fysiklokalet og arbejde eksperimentelt (...). Du arbejder med nogle ting, som du skal have en sikkerhed omkring. Og det element af fare er der ikke i simulationen. Det er positivt i forhold til at turde nogle ting, men det mangler måske, også i forhold til at skærpe koncentrationen. Linedanseren bliver altid lidt bedre, når han eller hun lige smider staven til sidst, ik’, eller nettet forsvinder. Så man kunne sagtens faktisk overveje at lægge et underholdende fejlelement ind (...) og lægge det ind som sådan et helt bevidst: ’Her, der kan I nu gøre det så galt, at I kommer til skade, hvis I ikke gør det rigtigt, derfor er det rigtig vigtigt, at I følger instruktionerne. I kan ikke bare lege rundt med tingene mere.  
(Simon, lærer, 20.2.2020)

Her adresserer Simon dilemmaet mellem et sikkert læringsrum og det konstruktive modstandspotentiale, hvor elevens koncentration, ligesom linedanserens, skærpes, når der reelt er noget på spil. Han formu-

lerer et ønske om, at dette farelement kunne appliceres i det virtuelle laboratorium, hvor eleverne kan bevæge sig fra et risikofrit til et risikofyldt domæne. Spørgsmålet er, om det er muligt at imitere fare i et computersimuleret laboratorium, hvilket jeg tager op i diskussionen nedenfor.

## Diskussion og konklusion

Som jeg har vist i analysen, understøtter de to former for virtuelle laboratorier naturfagsundervisningen på forskellige måder. De er både i kraft af deres design (intentionalitet) og den konkrete brug i undervisningen, såsom lærerens didaktisering, dialoger mellem lærer og elever og samspillet med andre materialiteter, forskellige toolsfor-thoughts. Tabellen nedenfor giver et overblik over, hvilke læringspraktisser de to former for virtuelle laboratorier understøtter og hvilke udfordringer og potentialer, der knytter sig hertil:

**Tabel 2.**

Overblik over læringspraksis, udfordringer og potentialer.

	PhET	Labster
Hvilken læringspraksis understøtter det virtuelle laboratorie	<p>Åbent format – kan tilpasses forskellige læringsstile og mål</p> <p>Konstruktivistisk læringsforståelse – muliggør en eksplorativ og legende læring</p>	<p>Lukket format – et prædefineret læringsforløb</p> <p>Behavioristisk læringsforståelse – instruerende/trin-for-trin</p>
Potentialer	<p>Konkretisere og visualisere abstrakte naturvidenskabelige fænomener (et overgangsobjekt)</p> <p>Det interaktive aspekt er engagerende og motiverende</p> <p>Kan begå fejl og lære heraf (umiddelbar visuel feedback)</p>	<p>Træne undersøgelseskompetencer/følge en protokol</p> <p>Interaktiv teoribog – understøtte elevernes begrebsforståelse</p> <p>Mere motiverende end mindre interaktive læringsmidler</p> <p>Kan lave forsøg, der ellers er for farlige</p>
Udfordringer	<p>Svært for eleverne at afkode det virtuelle laboratorie (kræver didaktisering)</p> <p>Skabe sammenhæng mellem det virtuelle laboratorie og fysiske undersøgelser</p>	<p>Svært for eleverne at overføre viden fra det virtuelle til det fysiske laboratorie (kræver didaktisering)</p> <p>Risikofri læring – eleverne er mindre koncentreret</p>

PhET-simuleringerne, der er mere åbne i deres design, bliver brugt som et objekt-at-tænke-med, hvor eleverne kan afprøve deres idéer og få en umiddelbar visuel feedback. På denne måde bliver elevernes egen undren styrende for læringsprocessen, hvilket flere elever oplever som motiverende. Det virtuelle laboratorie bliver desuden en måde at skabe visuelle og konkrete forbindelser til de abstrakte teoretiske koncepter på, som det kan være svært at knytte an til. Men det er ofte svært for eleverne at afkode, hvordan de skal skabe forbindelser mellem det, de kan observere i det virtuelle laboratorie, og den bagvedliggende teoretiske viden. Her har læreren en central rolle i at hjælpe



eleverne med at kunne skabe disse koblinger mellem de forskellige vidensdomæner og materialiteter. Labster-simuleringerne, der er mere instruerende i deres form og læner sig op ad en mere behavioristisk læringsopfattelse, bliver i højere grad brugt til at træne eleverne i at følge en protokol og understøtte deres forståelse af den naturvidenskabelige metode. Denne form for læring bliver mere en form for trin-for-trin-læring, hvor eleverne skal lære at følge de forskellige trin i en bestemt eksperimentel praksis. Labster-simuleringerne bliver desuden brugt i undervisningen til at gøre eleverne klogere på teoretiske koncepter, inden de går i det fysiske laboratorium. På denne måde bliver det virtuelle laboratorium brugt som et interaktivt alternativ til teoribogen eller et læreroplæg, hvilket eleverne finder motiverende. En central begrænsning ved analysen er, at den alene baserer sig på tre cases, og derfor ikke siger noget om omfanget af, i hvor høj grad VL bidrager til at øge elevernes motivation i naturfag – eller hvilke typer af elever, der oplever at blive motiverede.

Én af fordelene ved det virtuelle laboratorium er, at eleverne kan begå fejl og arbejde med materialer, det ellers ville være for farligt at interagere med i skolelaboratoriet. Men eleverne oplever, at de er mindre koncentreret i det virtuelle end i det fysiske laboratorium, som det også bliver peget på i vidensnotatet (UVM, 2018b). I det virtuelle laboratorium er elevernes handlinger reversible, og det produktive modstandspotentiale forsvinder. Spørgsmålet er, om dette konstruktive element af fare kan blive inkorporeret i en computersimulering, der per definition eliminerer reel fare? Eller om man kan designe virtuelle laboratorier, hvori eleverne kan eksplorere frit og fejle og samtidig opleve, at de har noget på spil? Det ligger uden for rammerne af dette studie at svare herpå, men det ville være interessant at undersøge, hvilke både tekniske og didaktiske løsninger, der kunne stimulere elevens koncentration og oplevelse af at have noget på spil i det virtuelle laboratorium.

Som nævnt peger flere studier på, at eleverne lærer mest, når det virtuelle laboratorium bliver brugt i kombination med det fysiske laboratoriearbejde. Fokus for analysen er ikke at måle på læringseffekt, men derimod at bidrage med en forståelse af, hvordan elever og lærere oplever brugen af virtuelle laboratorier. Et interessant perspektiv i denne sammenhæng er, at flere af eleverne adresserer det praktiske og fysiske arbejde i naturfag som et kærkomment afbræk fra computerskærmen: ”Ja, også det med, at man kan holde det i hænderne og ser det, i stedet for at man bare ser det på en skærm, som man gør med alt andet, som man gør til dagligt, ik’?” (Johan, elev, 26.8.2020). Eller som en anden elev siger: ”Vi sidder næsten hele tiden foran en computer, og det gør vi jo også her, så det er dejligt at få lov til at lave noget selv fysisk, som vi gør, når vi laver forsøg” (Caroline, elev, 26.8.2020). Da

Papert formulerede sine tanker om computerteknologiens muligheder i undervisningen, var eleverne lige begyndt at få adgang til computere i skolen. Siden er computeren blevet en fast bestanddel i klasselokalet, og elevernes hverdag og skolegang er i høj grad digitaliseret (Sørensen & Levinsen, 2019). Som citaterne illustrerer, så oplever eleverne det analoge og fysiske arbejde som noget ekstraordinært og nærmest eksotisk, da de er vant til, at læringen er medieret via computeren. Dette er et interessant perspektiv i forhold til det virtuelle laboratorie og digitale læringsteknologier generelt. Det indikerer, at det digitale i sig selv ikke er motiverende for eleverne, hvilket yderligere understreger vigtigheden af et frugtbart samspil mellem de virtuelle og fysiske læringspraksisser i naturfagsundervisningen.

## Referencer

- Achuthan, K., Kolil, V.K. & Diwakar, S.** (2018). Using virtual laboratories in chemistry classrooms as interactive tools towards modifying alternate conceptions in molecular symmetry. *Education and Information Technologies*, 23, 2499-2515.
- Braun, V. & Clarke, V.** (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101.
- Brinkmann, S. & Kvale, S.** (2015). *InterViews: Learning the Craft of Qualitative Research Interviewing* (3. udg.). Sage Publications.
- Børne- og Undervisningsministeriet** (2021). *Prøveformer og forsøg*. Lokaliseret 3. oktober, 2021 på <https://www.uvm.dk/folkeskolen/folkeskolens-proever/proevetilrettelaeggelse/adgang-tilmelding-og-booking/proeveformer-og-forsog>
- Clark, D. B., Nelson, B., Sengupta, P. & D'Angelo, C.** (2009). *Rethinking Science Learning Through Digital Games and Simulations: Genres, Examples, and Evidence*. [Conference Presentation]. National Research Council Workshop on Gaming and Simulations, October 6-7. 2010.
- Clarke, V., Braun, V. & Hayfield, N.** (2015). Thematic analysis. I: J. Smith (red.). *Qualitative psychology: A practical guide to research methods* (222-248). Sage Publications Ltd.
- Darabi, A., Arrington, T. L. & Sayilir, E.** (2018). Learning from failure: a meta-analysis of the empirical studies. *Educational Technology Research and Development*, 66, 1101-1118. DOI:10.1007/s11423-018-9579-9
- De Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C.** (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340(6130), 305-308.
- Dewey, J.** (1913/2013). *Interesse og indsats i uddannelse*. Syddansk Universitetsforlag.
- Engeström, Y.** (1999). Activity theory and individual and social transformation. I: Y. Engeström, R. Miettinen & R.-L. Punamaki (red.), *Perspectives on activity theory* (19-38). Cambridge University Press. DOI:10.1017/CBO9780511812774
- Lisborg, S.** (2021). Virtual Educational Laboratories: Instructive or explorative learning?. *STS Encounters - DASTS working paper series*, 12(1), 19-49. [https://www.dasts.dk/?page\\_id=356](https://www.dasts.dk/?page_id=356)

- Lisborg, S** & Tafdrup, O. (under udgivelse). Virtual Laboratories and Posthuman Learning. *Techné: Research in Philosophy and Technology*.
- Hennessy, S.**, Wishart, J., Whitelock, D., Deane, R., Brawn, R., Velle, L., McFarlane, A., Ruthven, K. & Winterbottom, M. (2007). Pedagogical approaches for technology-integrated science teaching. *Computers and Education*, 48(1), 137-152. DOI:10.1016/j.compedu.2006.02.004
- Hodson, D.** (2008). Et kritisk blik på praktisk arbejde i naturfagene. *MONA - Matematik- Og Naturfagsdidaktik*, (3).
- Hogle, J.G.** (1995). Computer microworlds in education: Catching up with Danny Dunn. *ERIC*.
- Honey, M.A.** & Hilton, M.L. (2011). *Learning science through computer games and simulations*. The National Academies Press. DOI:10.17226/13078
- Illeris, K.** (2000). *Læring – aktuel læringsteori i spændingsfeltet mellem Piaget, Freud og Marx*. Roskilde Universitetsforlag.
- Interlab** (2022). *Interaktive laboratorier: Rapport - Februar 2022*. Børne- og Uddannelsesministeriet.
- Implement** (2018). *Forundersøgelse til indsats vedr. understøttelse af eleveres adgang til virtuelle laboratorier*. Lokaliseret 12. september, 2021 på, <https://www.uvm.dk/publikationer/2019/190425-forundersogelse-og-vidensnotat-om-anvendelsen-af-interak-laboratorier-i-naturfagsundvis>
- Jones, N.** (2018). Simulated labs are booming. *Nature*, 562, 5-7. DOI:10.1038/d41586-018-06831-1
- Latour, B.** & S. Woolgar (1986). *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts* (2. udg.). Princeton University Press. DOI:10.2307/j.ctt32bbxc
- Millar, R.** (2004). The role of practical work in the teaching and learning of science, High school science laboratories: role and vision. *National Academy of Sciences*, 1-24.
- Mutlu, A.** & Şeşen, B.A. (2020). Comparison of inquiry-based instruction in real and virtual laboratory environments: Prospective science teachers' attitudes. *International Journal of Curriculum and Instruction*, 12(2), 600-617.
- Papert, S.** (1980). *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. Basic Books, Inc.
- Papert, S.** (1987). Microworlds: transforming education. I: R. Lawler & M. Yazdani (Red.), *Artificial intelligence and education; vol. 1: learning environments and tutoring systems* (s. 79-94). Ablex Publishing Corp.
- Pedaste, M.**, Mäeots, M., Siiman, L. A., De Jong, T., Van Riesen, S. A., Kamp, E. T. & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquirybased learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47-61. DOI:10.1016/j.edurev.2015.02.003
- Perkins, K.**, Loeblein, P. & Dessau, K. (2010). Sims for Science: Powerful tools to support inquiry-based teaching. *The Science Teacher*, 77(7), 46-51.
- Petersen, M. R.** (2012). *En undersøgelse af samspillet mellem begrebsændringer og interesseudvikling i gymnasiets biologiundervisning*. Center for Naturvidenskabernes og Matematikkens Didaktik, 13, Syddansk Universitet.
- Rieber, L.** (2004). Mircroworlds. I: D. Jonassen & M. Driscoll (red.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (s. 583-603). Routledge.

- Rutten**, N., Van Joolingen, W. R. & Van Der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136-153. DOI:10.1016/j.compedu.2011.07.017
- Selwyn**, N. (2011). *Education and technology: Key issues and debates*. Continuum.
- Shaffer**, D. W. & K. A. Clinton (2006). Toolforthoughts: Reexamining Thinking in the Digital Age. *Mind, Culture, and Activity*, 13(4), 283-300. DOI:10.1207/s15327884mca1304\_2
- Smetana**, L. K. & Bell, R. L. (2012). Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337-1370. DOI:10.1080/09500693.2011.605182
- Stevens**, G., Boden, A., & von Rekowski, T. (2013). Objects-to-think-with-together. *EndUser Development* (223-228). Springer Berlin Heidelberg.
- Szulewicz**, T. (2012). Videoobservationer som privilegeret dokumentation af hverdagspraksis? I: M. Pedersen, J. Klitmøller & K. Nielsen (red.), *Deltagerobservation: En metode til undersøgelse af psykologiske fænomener* (s. 107-119). Hans Reitzels Forlag.
- Sørensen**, B. & Levinsen, K. (2019). *Den hybride skole: Læring og didaktisk design, når det digitale er allestedsnærværende*. Klim.
- Sørensen**, E. (2009). *The materiality of learning: Technology and knowledge in educational practice*. Cambridge University Press. DOI:10.1017/CBO9780511576362
- Tatli**, Z. & Ayas, A. (2013). Effect of a Virtual Chemistry Laboratory on Students' Achievement. *Journal of Educational Technology & Society*, 16(1), 159-170.
- Tho**, S. W. & Yeung, Y. Y. (2018). An implementation of remote laboratory for secondary science education. *Journal of Computer Assisted Learning*, 34(5), 629-640. DOI:10.1111/jcal.12273
- UVM** (Undervisningsministeriet) (2019). *Frikøb af licenser og en række andre initiativer skal styrke anvendelsen af interaktive laboratorier i naturfagsundervisningen*. Lokaliseret 10. september, 2021 på <https://www.uvm.dk/aktuelt/nyheder/uvm/2019/apr/190425-frikoeb-af-licenser-skal-styrke-anvendelsen-af-interaktive-laboratorier>
- UVM** (Undervisningsministeriet) (2018a). *National naturvidenskabsstrategi*. Undervisningsministeriet.
- UVM** (Undervisningsministeriet) (2018b). *Vidensnotat om brugen af interaktive virtuelle laboratoriesimulationer for at forbedre læring og interesse inden for naturvidenskab*. Undervisningsministeriet.
- Wertsch**, J. V. (1998). *Mind as action*. Oxford University Press.
- Whitacre**, I., Hensberryb, K., Schellingera, J. & Findleya, K. (2019). Variations on play with interactive computer simulations: balancing competing priorities. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 50(5), 665-681. DOI:10.1080/0020739X.2018.1532536
- Winkelmann**, K., Keeney-Kennicutt, W., Fowler, D., Macik, M., Guarda, P. & Ahlborn, C. (2020). Learning gains and attitudes of students performing chemistry experiments in an immersive virtual world. *Interactive Learning Environments*, 28(5), 620-634. DOI:10.1080/10494820.2019.1696844
- Zosh**, J. N., Hopkins, E. J., Jensen, H., Liu, C., Neale, D., Hirsh-Pasek, K. & Whitebread, D. (2017). *Learning through play: A review of the evidence*. The LEGO Foundation.