



**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

**Aalborg Universitet**

## **Et sociomaterielt perspektiv på virtuelle laboratorier i naturfag**

Lisborg, Sanne

*Publication date:*  
2023

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Lisborg, S. (2023). *Et sociomaterielt perspektiv på virtuelle laboratorier i naturfag.*

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

**ET SOCIOMATERIELT PERSPEKTIV  
PÅ VIRTUELLE LABORATORIER I  
NATURFAG**

Af Sanne Lisborg



**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

Afhandling afleveret september 2022

Thesis submitted: September 2022

PhD supervisor: Associate Prof. Anders Kristian Munk,  
Aalborg University, Denmark

Assistant PhD supervisor: Associate Prof. Mads Middelboe Rehder,  
University College Copenhagen, Denmark

PhD committee: Prof. Torben Elgaard Jensen, Aalborg University  
(chair.), Denmark

Associate Prof. Rasmus Leth Vergmann Jørnø,  
University College Absalon, Denmark

Associate Prof. Annika Bergviken Rensfeldt,  
University of Gothenburg, Sweden

PhD Series: The Doctoral School of Social Science and  
Humanities, Aalborg University

ISSN: xxxx- xxxx  
ISBN: xxx-xx-xxxx-xxx-x

Published by:  
Aalborg University Press  
Skjernvej 4A, 2nd floor  
DK – 9220 Aalborg Ø  
Phone: +45 99407140  
aauf@forlag.aau.dk  
forlag.aau.dk

© Copyright: Sanne Lisborg

Printed in Denmark by Rosendahls, 2022



# Indhold

<b>Forord</b> .....	5
<b>Resumé</b> .....	7
<b>Summary</b> .....	11
<b>Artikeloversigt</b> .....	15
<b>Kapitel 1. Indledning</b> .....	17
1.1 Præsentation af artikler .....	22
1.2 Kappens disposition .....	26
1.3 Hvad er et virtuelt laboratorie? .....	27
1.4 Positionering inden for uddannelsesforskningen og STS .....	33
<b>Kapitel 2. Den teoretiske ramme</b> .....	41
2.1 Indsigter fra postfænomenologien .....	43
2.2 Indsigter fra aktørnetværksteorien .....	50
2.3 Et sociomaterielt læringsyn .....	55
<b>Kapitel 3. Felt, metode og analyse-strategi</b> .....	59
3.1 Et flerstedet feltarbejde .....	61
3.2 Filmet etnografisk feltarbejde .....	67
3.3 Skærmoptagelser og video-elicitering .....	71
3.4 Kvalitative interviews – forskellige stemmer fra feltet .....	75
3.5 Analysestrategi .....	79
<b>Kapitel 4. Konklusion og perspektivering</b> .....	85
4.1 Konklusion .....	85
4.1 Perspektivering .....	90
<b>Referencer</b> .....	95
<b>Bilag</b> .....	105
Artikel 1 .....	106
Artikel 2 .....	125
Artikel 3 .....	143
Artikel 4 .....	167
Artikel 5 .....	196

## FORORD

Kære læser, her sidder du med det skriftlige produkt af et 3,5 års ph.d.-studie. Det har været en færden gennem et på mange måder ukendt terræn med forhindringer på vejen (særligt i form af en pandemi), men heldigvis også mange positive overraskelser såsom nye indsigter, bekendtskaber og interessante diskussioner med en masse kloge og spændende mennesker.

Min interesse for virtuelle laboratorier som en emergerende undervisningsteknologi er delvist blevet skabt af, at min mand er tidligere ansat i det danske firma Labster, der udvikler og sælger virtuelle laboratorier. Labster er det ene af de to virtuelle laboratorier, der er genstand for mit feltarbejde. I overensstemmelse med god forskningsetik vil jeg gøre opmærksom på, at Labster har givet gratis licenser til deres virtuelle laboratorier til de deltagende lærere i projektperioden, hvilket de ligeledes giver andre forskere. Det skal understreges, at jeg ikke har økonomiske eller andre forpligtelser over for virksomheden, der heller ikke har været involveret i dataanalyse, publikationer eller på anden måde har deltaget i forskningsarbejdet.

Projektet er finansieret af Ph.d.-rådet for uddannelsesforskning og er forankret på Københavns Professionshøjskole (KP) og Aalborg Universitet (AAU). På KP har jeg været en del af forskningsprogrammet Digitalisering i Skolen (DiS) og læreruddannelsen, hvor jeg har undervist i modulet teknologiforståelse. På AAU har jeg været tilknyttet Institut for Kultur og Læring og uddannelsen teknoantropologi. Som en del af mit ph.d.-forløb har jeg været gæsteforsker i forskningsprogrammet Fremtidsteknologi, kultur og læreprocesser på Aarhus Universitet i perioden 1. marts til 1. juni 2021.

Mit feltarbejde er grundet pandemien foregået over en længere periode end først planlagt og har fundet sted i perioden juni 2019 til september 2021.

Selvom det kun er mig, der står som ophavskvinde til afhandlingen, så er der en hel række af personer, der har bidraget til virkeliggørelsen af det endelige produkt på forskellig vis. Jeg vil her benytte lejligheden til at takke disse. Først og fremmest vil jeg takke de lærere, hvis undervisning jeg har måttet følge, som har indhentet samtykkeerklæringer fra elever (en ikke altid let opgave), har stillet op til flere interviews og har delt generøst ud af deres erfaringer og oplevelser med virtuelle laboratorier. Særligt skal de have en stor tak for ikke at give op på projektet trods udfordringer med hjemsendelse og COVID-19, der yderligere har kompliceret feltarbejdet. Jeg vil ligeledes takke de mange elever, som har ladet sig

observere, skærmoptage og interviewe under mit feltarbejde. I har været utroligt imødekommende og givet jer god tid til at svare på mine mange spørgsmål. Jeg vil desuden takke de andre informanter, som (trods en travl kalender) har stillet op til interviews og gjort mig klogere på forskellige aspekter omkring det virtuelle laboratorie.

Jeg vil særligt rette en stor tak til min hovedvejleder Anders Kristian Munk (AAU), der har givet sig tid til at være en kritisk og aldeles konstruktiv samtalepartner gennem hele projektforløbet. Tak for at dele ud af din store indsigt i STS-litteraturen og for at være en fast støtte i en til tider hård proces. Ligeledes en stor tak til min bivejleder, Mads Middelboe Rehder (KP), der er kommet med indsigtsfulde og konstruktive kommentarer samt har åbnet mine øjne for visuelle metoder. Der er desuden flere personer, som har brugt tid på at diskutere mit projekt, både formelt og mere uformelt, som jeg også skylder en stor tak: Forskningsgruppen i teknoantropologi på AAU, professor Thorhild Hanghøj, der trådte til som opponenter til mit præ-forsvar, forskningsprogrammet DiS på KP og forskerne i programmet for fremtidsteknologier på AAU, der venligt tog imod mig som gæsteforsker.

Endelig skylder jeg min fantastiske mand og vores to dejlige børn en kæmpe tak for at have mindet mig om, at der er en anden (og særdeles vigtig) verden uden for ph.d.-skrivning. Også en tak til min mor og far for at træde til med børnepasning i pressede perioder. Tak til hele min familie og mine gode venner for jeres store tålmodighed og kærlighed gennem hele processen.

## RESUMÉ

Den danske skole har gennem de seneste årtier ligesom mange andre velfærdsinstitutioner oplevet en gennemgribende digitalisering. Politisk har man publiceret adskillige digitaliseringsstrategier og investeret massivt i digitaliseringen af skolen. Computere og tablets er blevet en fast del af elevernes skoleliv, hvilket har gjort det muligt at tilgå en lang række læringsteknologier i undervisningen. En af de teknologier, der har fundet vej til klasseværelset, er virtuelle laboratorier (VL), som er genstand for nærværende afhandling.

Når der bliver investeret i virtuelle laboratorier, både samfundsøkonomisk og ressourcemæssigt ude på skolerne, er det relevant at spørge til, hvorfor en teknologi som virtuelle laboratorier finder vej til skolen, og hvilke potentialer og udfordringer teknologien bringer med sig i den konkrete undervisning. Dette er sigtet med afhandlingen. På baggrund af en krydsbefrugtning af uddannelsesforskningen og feltet for Science and Technology Studies (STS), nærmere bestemt aktørnetværksteorien og postfænomenologien, stiller jeg nogle andre forskningsspørgsmål end dem, som er blevet adresseret i uddannelsesforskningen.

Det empiriske grundlag for afhandlingen er et flerstedet feltarbejde, hvor jeg undersøger, hvordan det virtuelle laboratorie bliver konfigureret og rekonfigureret på tværs af forskellige kontekster. Dette sker gennem et feltarbejde på tre skoler, nedslag i policy-litteraturen og gennem interviews med embedsfolk, softwareudviklere og andre aktører på feltet.

Det første forskningsspørgsmål omhandler, hvordan virtuelle laboratorier bliver stabiliseret som en del af skolens praksis. Den eksisterende litteratur på feltet interesserer sig for VL i et lærings- eller uddannelsesperspektiv, men ikke for, hvorfor teknologien bliver en del af naturfagsundervisningen. Uddannelsesforskerne Neil Selwyn og Jesper Balslev forholder sig kritisk til den herskende teknologioptimisme i uddannelsessektoren og argumenterer for, at der er et behov for kritiske analyser af *hvorfor* og *hvordan* teknologier bliver en del af undervisningen.

I afhandlingen kaster jeg et kritisk blik på virtuelle laboratoriers indtog i skolen og spørger med aktørnetværksteorien ind til, hvilke aktører der har succes med at stabilisere virtuelle laboratorier som en del af naturfagsundervisningen. Det er ikke en naturgiven bevægelse, at virtuelle laboratorier bliver associeret med skolen, men derimod et resultat af et komplekst og møjsommeligt



konstruktionsarbejde, hvor nogle aktører har succes med at gøre andre interesseret i deres handlingsprogram. I afhandlingen viser jeg, hvordan særligt sammenfletningen af kommercielle og politiske interesser er afgørende for stabiliseringen af virtuelle laboratorier som aktør i skolen, hvor EdTech-virksomheden Labster har succes med at skabe en politisk interesse for VL. Denne interesse bliver katalysator for en række politiske tiltag, der har til formål at stimulere brugen af virtuelle laboratorier i skolen. Men der er også modprogrammer, der udfordrer denne stabilisering, særligt i forhold til hvilken rolle virtuelle laboratorier skal spille i forhold til det fysiske eksperimentelle arbejde. Indtoget af det virtuelle laboratorie i skolen kobler sig således til en bredere diskussion af, hvilken naturfagsundervisning, eleverne skal møde i skolen, og hvad der på et samfundsmæssigt plan skal konstrueres som naturvidenskab.

Det andet forskningsspørgsmål adresserer, hvilke sociomaterielle og medierede læringspraksisser der bliver konstrueret med virtuelle laboratorier i undervisningen, og hvilke konsekvenser det har. Den eksisterende forskningslitteratur på feltet består primært af kvantitative effektmålingsstudier, der fokuserer på at måle læringseffekten af virtuelle laboratorier i forhold til fysiske eksperimenter og andre læremidler, hvor VL bliver forstået som en selvstændig og afgrænset læringsaktivitet. I modsætning til de kvantitative effektmålingsstudier tager denne afhandling afsæt i et sociomaterielt læringssyn, hvor læringsteknologier bliver forstået i relation til den sociale og materielle kontekst, som de indgår i.

I afhandlingen viser jeg, hvordan læringspraksisser med virtuelle laboratorier bliver skabt i spændingsfeltet mellem det virtuelle laboratorie (teknologiens intentionalitet), den sociale kontekst (interaktioner mellem lærer og elever) og andre materialiteter og læringsaktiviteter. Afhandlingen bidrager til uddannelsesforskningen ved at vise, at læringsteknologier må forstås som en del af en bredere sociomateriel kontekst, hvor man ikke på forhånd kan vide, hvilke parametre der har betydning for undervisningen med virtuelle laboratorier. Med postfænomenologien spørger jeg til, hvad det gør ved elevernes erfaring og oplevelse, når den eksperimentelle praksis bliver medieret gennem et virtuelt laboratorie. I afhandlingen konceptualiserer jeg denne mediering som en dobbelt hermeneutisk relation, hvor eleverne både skal skabe forbindelser mellem den virkelige verden og det virtuelle rum og derefter koble tilbage til den virkelige verden. Der kan opstå sammenbrud i begge oversættelsesprocesser, hvorfor det er essentielt didaktisk og pædagogisk at understøtte elevernes arbejde hermed. Lærerens rolle ændrer sig med det virtuelle laboratorie, da hun eller han har en

central rolle i forhold til at understøtte og stilladsere elevernes arbejde med at foretage succesfulde koblinger.

Afhandlingen inviterer til en diskussion af, hvordan digitaliseringen af skolen i højere grad kan tage afsæt i skolens egne aktører og deres erfaringer med læringsteknologier, så teknologierne understøtter undervisningen og ikke omvendt. Der er med andre ord behov for en kritisk tilgang, hvor man sætter spørgsmålstejn ved teknologiens muligheder og begrænsninger i stedet for naivt at tro på teknologiens forløsende potentiale.

Afhandlingen bliver afsluttet med en perspektivering, hvor jeg argumenterer for, at det kritiske potentiale, der ligger i en STS-funderet teknologiforståelse, bør blive inkluderet i den nye teknologiforståelsesfaglighed i skolen. Med udgangspunkt i det virtuelle laboratorium giver jeg konkrete bud på, hvordan en STS-baseret teknologianalyse og diskussion konkret kan tage sig ud i undervisningen.



## SUMMARY

Danish schools, like many other welfare institutions, have experienced a comprehensive digitalization in recent decades. Politicians have invested heavily in this and published several digitalization strategies. Computers and tablets have become an integral part of pupils' school life, enabling a wide range of learning technologies to be accessed in the classroom. One of these technologies is the virtual laboratory (VL), which is the subject of this thesis.

When investments are made in virtual laboratories, both socio-economically and in terms of schools' resources, it becomes relevant to ask why a technology such as VL has entered schools, and to examine the potentials and challenges it presents to teaching. Exploring these aspects of education is the aim of this thesis. Grounded in a cross-fertilization of education research and the field of Science and Technology Studies (STS), more specifically actor-network theory and postphenomenology, I will explore research questions that differ from those usually addressed in education research.

The empirical foundation for the thesis is multi-sited fieldwork, through which I explore how the virtual laboratory is configured and reconfigured across various contexts. This is done through fieldwork at three schools, studies of policy literature, and interviews with officials, software developers, and other actors.

The first research question addresses how virtual laboratories are stabilized as part of school practice. The existing literature examines VL from a learning or educational perspective, but not why technology becomes part of natural sciences education. Education researchers Neil Selwyn and Jesper Balslev are critical of the prevailing technological optimism in the education sector, arguing that critical analyses of *why* and *how* are needed when technologies become part of the teaching process.

In the thesis, I look at the entry of virtual laboratories through a critical lens, using actor-network theory to examine the actors that have been successful in stabilizing VL as part of natural sciences education. The association of virtual laboratories with schools is not a given progression, but rather the result of a complex and meticulous construction process in which actors have succeeded in making others interested in their programme of action. In the thesis, I show how the intertwining of commercial and political interests become crucial for the

stabilization of VL as an actor in schools, noting edtech company Labster's success in creating a political interest. This interest becomes a catalyst for political initiatives aimed at stimulating the use of virtual laboratories in schools. However, there are also counter-programmes that challenge this stabilization, particularly in terms of the role of virtual laboratories in relation to physical experiments in natural sciences education. The introduction of VL in schools is thus linked to a broader discussion concerning the societal construction of natural sciences and the form of natural sciences education that pupils should encounter in schools.

The second research question addresses the sociomaterial and mediated learning practices that are constructed with virtual laboratories in the classroom as well as their consequences. The existing research literature consists primarily of quantitative effect measurement studies focused on measuring the learning effect of VL compared to physical experiments and other learning tools, situating VL as an independent and delimited learning activity. In contrast to quantitative effect measurement studies, this thesis is based on a sociomaterial view of learning, in which technologies are understood in relation to their social and material context.

In the thesis, I show how learning practices using virtual laboratories are created in the tension field between the virtual laboratory (the technology's intentionality), the social context (interactions between teacher and students), and other materialities and learning activities. The thesis contributes to education research by showing that learning technologies must be understood in a broader sociomaterial context, where it isn't possible to predetermine the parameters that play a role in teaching with virtual laboratories. Using postphenomenology, I explore how pupils' learning experiences are affected when experimental practice is mediated through VL. I conceptualize this mediation as a double hermeneutic relation in which the pupils must connect to both the real world and virtual spaces, and subsequently reconnect to the real world. Breakdowns can occur in both translation processes, which makes it essential, from a didactic and pedagogical point of view, to support the pupils in this process. The role of the teacher is thus altered with the virtual laboratory, as they have a key role in supporting and scaffolding pupils' efforts to make successful connections.

The thesis invites a discussion of how the digitalization of schools to a greater extent can be grounded in the school's own actors and experiences with learning

technologies, in order for the technologies to support the teaching and not the other way around. In other words, a critical approach is needed, one that questions the possibilities and limitations of technology rather than having a naive belief in its liberating potential.

The thesis concludes by arguing that the critical potential inherent in an STS-informed understanding of technology should be included in the new subject technology comprehension in schools. Using the virtual laboratory as a starting point, I make concrete suggestions for how an STS-based analysis and discussion of technology could take place in the classroom.



## ARTIKELOVERSIGT

Dette er en artikelbaseret afhandling, som inkluderer følgende fem artikler (vedlagt som bilag).

### **Artikel 1 (er indsendt til review)**

Lisborg, S. Et kritisk blik på virtuelle laboratories indrejse i skolen. *Tidsskriftet Dansk Sociologi*.

### **Artikel 2 (publiceret)**

Lisborg, S. (2021). Virtual Educational Laboratories: Instructive or explorative learning?. *STS Encounters*, 12(1), 19-49. [https://www.dasts.dk/?page\\_id=356](https://www.dasts.dk/?page_id=356)

### **Artikel 3 (accepteret, under udgivelse)**

Lisborg, S., & Tafdrup, O. Virtual Laboratories and Posthuman Learning. *Techné: Research in Philosophy and Technology*.

### **Artikel 4 (publiceret)**

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

### **Artikel 5 (publiceret)**

Lisborg, S., Daphne Händel, V., Schröder, V., & Middelboe Rehder, M. (2021). Digital competences in Nordic teacher education: an expanding agenda. *Nordic Journal of Comparative and International Education (NJCIE)*, 5(4), 53–69. <https://doi.org/10.7577/njcie.4295>





## KAPITEL 1. INDLEDNING

Det er fysisktime i niende klasse, og eleverne skal til at undersøge bølgers egenskaber. Men i stedet for at rejse sig op og gå over i fysisklokalet, slår de deres computer op og klikker sig ind på et virtuelt laboratorie. Klasseværelset er nu fyldt med elever, der sidder bøjet over deres bærbare computer og kigger på den oplyste skærm, mens de klikker sig vej rundt i det virtuelle laboratorie. (Videoobservation, 19.09.20)

Computeren og andre digitale teknologier såsom smartboards og tablets er blevet en lige så fast bestanddel af klasseværelset som borde og stole. Elever er vant til at bruge en række forskellige læringsteknologier i løbet af deres skoledag. Blyanten er skiftet ud med tastaturet, analoge bøger med digitale versioner og fysiske eksperimenter med virtuelle. Åbningscitatet er fra mit feltarbejde på en skole, hvor eleverne lærer om bølgers egenskaber ved at arbejde i et virtuelt laboratorie (VL). Et virtuelt laboratorie er en computersimulering, hvor elever kan ændre på forskellige parametre og observere konsekvenserne af deres handlinger<sup>1</sup>. I stedet for at lave eksperimentelt arbejde i skolelaboratoriet kan eleverne udføre eksperimenter og undersøgelser i virtuelle læringsmiljøer via computeren. Det virtuelle laboratorie som læringsteknologi i skolen er omdrejningspunktet for nærværende afhandling.

Virtuelle laboratorier har de seneste år været genstand for en markant uddannelsespolitisk opmærksomhed og er blevet skrevet ind i policy-strategier som et middel til at optimere og revitalisere naturfagsundervisningen. Politiseringen af virtuelle laboratorier er et aktuelt eksempel på den ekspanderede digitaliseringsagenda, der præger den nationale og internationale uddannelsespolitik (Lisborg et al. 2021). Sociologen Neil Selwyn har i en række publikationer behandlet og diagnosticeret denne politisering af uddannelsesteknologier. I værket *Education in a Digital World* (2013) argumenterer Selwyn for, at der er behov for analyser af den bredere sociale kontekst, som uddannelsesteknologier indgår i. Det er ikke nok at anskue læringsteknologier som et anliggende mellem teknologi og bruger, da teknologier må forstås i et større politisk, økonomisk, socialt og historisk perspektiv. Som Selwyn (2016) påpeger, er den politiske promovning af digitale teknologier båret frem af en forestilling om, at den samfundsøkonomiske vækst afhænger af, at man uddanner elever, eller borgere, der er digitalt kompetente. Som det fremgår af det

---

<sup>1</sup> For en mere udførlig beskrivelse af det virtuelle laboratorie, se afsnit 1.3.

indledende anslag i *Handlingsplan for teknologi i undervisning*, hvor virtuelle laboratorier første gang bliver nævnt i en policy-strategi:

Fremtidig vækst i Danmark og graden af den enkelte borgers frihed beror i høj grad på, hvordan vi møder den teknologiske og digitale udvikling. Det gælder ikke mindst i undervisningssystemet. For at den enkelte borger kan deltage aktivt i det demokratiske samfund, og i størst mulig grad har indflydelse på beslutninger og processer, der påvirker den enkeltes liv, forudsætter det stærke teknologiske kundskaber og dannelse. Derfor er det afgørende, at teknologi og it har en fast plads i undervisningen af både børn, unge og voksne. (Børne- og Undervisningsministeriet, 2018a, s. 5)

I citatet bliver graden af digitalisering i uddannelsessektoren kædet direkte sammen med og endda gjort til forudsætningen for økonomisk fremgang og demokratisk deltagelse i samfundet. Tilstedeværelsen af teknologier i undervisning bliver italesat som det afgørende parameter for, at eleverne kan blive teknologisk kompetente og bidrage til den fremtidige samfundsøkonomiske vækst. Uddannelsesteknologier er ikke kun et internt anliggende for den enkelte lærer eller skole – teknologi i skolen kobler sig derimod til en bredere politisk, ideologisk og økonomisk agenda. Virtuelle laboratorier er et aktuelt eksempel på en læringsteknologi, hvortil der knytter sig eksplicitte politiske forestillinger og forhåbninger. VL er blevet udråbt i policy-litteraturen som et værktøj til at revitalisere naturfag, der både kan øge læringsudbyttet og motivationen hos eleverne og få flere til at vælge en STEM-uddannelse. Hertil kommer forhåbningen om, at virtuelle laboratorier kan afhjælpe manglen på naturfagslokaler på skolerne samt skabe besparelser på indkøb og vedligeholdelse af materialer (Børne- og Undervisningsministeriet, 2018a; 2018b). Det virtuelle laboratories indtog i skolen er således båret af forskellige økonomiske og politiske rationaler og er et eksempel på den stærke politisering af feltet for uddannelsesteknologier, som Selwyn beskriver.

Men selvom digitaliseringen af uddannelse er omgærdet af politiske agendaer, så er det ikke ensbetydende med, at det kan forudsiges, hvilken rolle en læringsteknologi kommer til at spille i skolen. Tværtimod argumenterer Selwyn for, at teknologi ofte foranlediger uforudsigelige brugspraksisser, da brugen af teknologien er betinget af de situerede kulturelle forhold (2013). Der er således et misforhold mellem de politiske ambitioner og forventninger om en samfundsøkonomisk gevinst og den rolle, som læringsteknologierne spiller i praksis, da teknologierne ofte virker på andre måder, end man har forestillet sig

(Tafdrup, 2018). Selwyn peger på, at den politiske ambition om at integrere uddannelsesteknologier snarere er ideologisk funderet end rodfæstet i den konkrete praksis, som teknologierne skal ud og virke i (Selwyn, 2013). I tråd hermed viser Jesper Balslev i bogen *Kritik af den digitale fornuft* (2018), hvordan der i den danske uddannelsespolitik hersker en ukritisk teknologioptimisme. Gennem et litteraturstudie har han kortlagt de politiske argumenter for at digitalisere uddannelsesområdet de seneste to årtier. Konklusionen er, at den politiske tiltro til læringsteknologierne ofte ikke bygger på evidens for, at de massive investeringer på området har formået at optimere undervisningen. Ligesom Selwyn konkluderer han, at der er behov for en mere kritisk tilgang til at studere, *hvorfor* og *hvordan* uddannelsesteknologier finder vej til klasselokalet.

Som tidligere underviser i gymnasiet har jeg været førstehandsvidne til, hvordan digitaliseringsdiskursen har et godt tag i uddannelsespolitikken. Jeg har arbejdet med at integrere flipped classroom, smart boards og iPads i min undervisning – alt sammen eksempler på teknologier, der er blevet lanceret som revitaliserende for undervisningen. Dertil kommer, at når teknologierne først er anskaffet, så er det op til den enkelte lærer, hvordan og i hvilket omfang de bliver integreret i undervisningen. De teknologiske nyanskaffelser bliver ofte ikke fulgt op med udvikling af didaktiske principper og formater eller en nysgerrighed omkring, hvilke potentialer og udfordringer lærere og elever oplever. Denne afhandling er skrevet på baggrund af en undren over, hvilke rationaler og agendaer der er styrende for digitaliseringen af uddannelse, og en eksplicit forhåbning om at kvalificere digitaliseringen af skolen, så den i højere grad tager afsæt i de erfaringer og oplevelser, som lærere og elever gør sig.

Mens Selwyn og Balslev beskriver digitaliseringen af uddannelse på et mere diskursivt og generelt plan (Tafdrup, 2018), så tager afhandlingen afsæt i en konkret læringsteknologi. Med udgangspunkt i virtuelle laboratorier viser jeg, *hvorfor* en konkret læringsteknologi bliver en del af skolens praksis. At virtuelle laboratorier bliver stabiliseret som en del af skolens praksis er resultatet af et komplekst konstruktionsarbejde mellem aktører i og udenfor skolen. Forhåbningen med afhandlingen er at vise, hvordan en læringsteknologi ikke af sig selv finder vej til undervisningen, men er båret af forskellige aktørers forventninger og agendaer. Afhandlingen peger med fremskrivningen af dette konstruktionsarbejde på, at det er muligt at forestille sig en implementering af virtuelle laboratorier (og andre læringsteknologier), der tog sig anderledes ud.

Sigtet med afhandlingen er desuden at undersøge, *hvordan* virtuelle laboratorier faktisk bliver en del af undervisningen, da teknologier foranlediger uforudsigelige

praksisser afhængigt af den konkrete kontekst, som de bliver brugt i, som Selwyn påpeger. Forskningsfeltet for virtuelle laboratorier er præget af kvantitative effektmålingsstudier, der ikke medtager den sociale, kulturelle og materielle kontekst, som teknologien indgår i. Formålet med afhandlingen er at bidrage med viden om, hvordan læringspraksisser med virtuelle laboratorier bliver konstrueret i en bredere sociomateriel kontekst, og hvilke erfaringer lærere og elever har med at bruge virtuelle laboratorier – erfaringer, der kan være med til at kvalificere implementeringen af VL og andre læringsteknologier i skolen.

Metodisk bygger afhandlingen på et flerstedet feltarbejde, hvor jeg har fulgt virtuelle laboratorier som et fænomen, der bliver konstrueret i forskellige kontekster – både på det politiske plan, hos producenterne, i undervisningen og blandt andre aktører med interesse i det virtuelle laboratorie.

Inspireret af antropologen Edwin Hutchins' (1995) studie af skibsnavigation, hvor han argumenterer for, at den konkrete praksis med at navigere et skib har konsekvenser på flere skalaer, studerer jeg virtuelle laboratorier som en teknopraksis, der bliver formet af og har konsekvenser for forskellige niveauer. Hutchins viser, hvordan den konkrete navigation med at få et skib sikkert i havn (mikroplanet) bliver påvirket af og påvirker den bredere sociomaterielle og konceptuelle forståelse af navigation (makroplanet). Det samme gør sig gældende for det virtuelle laboratorie. Det, der sker på det politiske og strukturelle plan, og det, der foregår i den konkrete undervisning, kan ikke ansues som to adskilte størrelser. Tværtimod griber de to praksisser ind i hinanden og former, hvordan fænomenet virtuelle laboratorier bliver konfigureret og re-konfigureret i skolen. Når elever og lærere interagerer med og gør sig erfaringer med det virtuelle laboratorie på et fænomenologisk plan i klasselokalet, så influerer det på forståelsen af, hvad naturfag skal være i skolen, og hvad læring er på et samfundsplan. Omvendt er det, der sker i klasselokalet, påvirket af processer på makroplanet såsom politiske og samfundsøkonomiske interesser, der er konstituerende for, hvordan implementeringen af virtuelle laboratorier tager sig ud i naturfagsundervisningen.

Afhandlingen skal besvare følgende to forskningsspørgsmål:

- Hvilke relationer og agendaer er med til at stabilisere virtuelle laboratorier som en del af skolens praksis?

- Hvilke sociomaterielle og medierede læringspraksisser bliver konstrueret, når virtuelle laboratorier bliver en del af naturfagsundervisningen i skolen, og hvilke konsekvenser har det?

I det følgende uddyber jeg, hvilke teoretiske indsigter de to forsknings-spørgsmål bygger på, og hvordan de skal forstås.

Overordnet har jeg valgt at adressere forskningsspørgsmålene gennem forskningsfeltet Science and Technology Studies (STS), og jeg trækker på to teoretiske retninger inden for feltet, nærmere bestemt aktørnetværksteorien (ANT) og postfænomenologien.

I forhold til det første spørgsmål, tager jeg afsæt i antropolog og filosof Bruno Latour og andre fremtrædende ANT-forskeres forståelse af det sociale som havende et netværkslignende præg, hvor det er relationer mellem humane og non-humane aktører, der er bestemmende for, hvordan det sociale bliver stabiliseret (Latour, 1996, 2005; Callon, 1987). Når jeg spørger til, hvordan virtuelle laboratorier bliver *stabiliseret som aktør i skolen*, så er det med udgangspunkt i en aktørnetværksteoretisk forståelse af, at et fænomen kontinuerligt bliver konfigureret og re-konfigureret gennem associationer og kontroverser mellem heterogene aktører i et netværk.

I det andet forskningsspørgsmål, som handler om, hvilke *sociomaterielle* læringspraksisser der bliver konstrueret, henviser jeg til en aktørnetværksteoretisk forståelse af læring (Sørensen, 2009), hvor virtuelle laboratorier ikke er et passivt objekt, som lærer og elever gør noget med. De er, sammen med andre materialiteter og teknologier, medskabende af den sociale praksis, der udspiller sig i klasselokalet. Det er dette komplekse samspil mellem lærere, elever, virtuelle laboratorier og andre materialiteter, som jeg undersøger i afhandlingen.

I forskningsspørgsmål to spørger jeg ligeledes til, hvilke *medierede* læringspraksisser der bliver konstrueret med virtuelle laboratorier. Dette gør jeg med afsæt i den postfænomenologiske medieringsforståelse, der bliver formuleret med teknologifilosof Don Ihde (1990). Ihde viser, hvordan brugen af teknologiske redskaber er konstituerende for vores erfaring med verdenen. Teknologier ændrer kort sagt den måde, vi oplever verden på. I afhandlingen undersøger jeg, hvad der sker med elevernes erfaring med verden, når den bliver medieret gennem et virtuelt laboratorium.

Det sidste led af det andet forskningsspørgsmål omhandler, hvilke *konsekvenser* det har, når virtuelle laboratorier bliver en del af naturfag. Her henviser jeg til, hvilke didaktiske, pædagogiske og læringsmæssige potentialer og udfordringer det virtuelle laboratorie bringer med sig, såsom: Hvordan oplever eleverne arbejdet i et virtuelt læringsmiljø? Hvilke sociale interaktioner understøtter elevernes interaktion med det virtuelle laboratorie? Hvad gør det ved lærerens rolle, at det eksperimentelle arbejde bliver forskubbet fra et fysisk til et virtuelt laboratorie?

Eftersom det er en artikelbaseret afhandling, så har jeg valgt at adressere forskningsspørgsmålene gennem fem artikler, som bliver præsenteret i det følgende.

## 1.1 Præsentation af artikler

Afhandlingens fem artikler er skrevet til tidsskrifter med forskellige krav og tematikker, hvorfor de har forskellige formater. Jeg vil derfor ikke præsentere dem på samme måde, men fokusere på, hvordan de bidrager til at svare på afhandlingens problemstilling samt det felt, som de er skrevet inden for.

### Artikel 1: Et kritisk blik på virtuelle laboratoriers indrejse i skolen

Denne artikel adresserer det første forskningsspørgsmål og er skrevet til tidsskriftet *Danske Sociologi*. Med udgangspunkt i aktørnetværksteorien udfolder jeg, hvordan virtuelle laboratorier er blevet stabiliseret som en aktør i skolen. I artiklen viser jeg, hvordan den politiske interesse er sammenfiltret med kommercielle interesser og kobler sig til eksisterende aktørnetværk omkring digitalisering i skolen og en agenda om, at flere skal uddanne sig inden for STEM-fag. Det virtuelle laboratorie bliver her etableret som det obligatoriske passagepunkt, som man politisk forsøger at få aktører i skolen til at knytte an til. Men der er flere aktører, der ikke let lader sig indrullere i dette handlingsprogram såsom lærere, der oplever, at det virtuelle laboratorie ikke er kompatibelt med en dansk skoledidaktik, og elever, der har svært ved at afkode det virtuelle laboratorie. Et mere eksplicit antiprogram er et forsvar for betydningen af håndens arbejde for elevernes læring og forståelse af naturfag.

Med afsæt i Latours formulering af, at *technology is society made durable* (1990) peger jeg på, at en læringsteknologi som virtuelle laboratorier er en inskription af bestemte lærings- og naturvidenskabelige forståelser. Artiklens afsluttende pointe er, at det, der reelt finder sted, når virtuelle laboratorier bliver en aktør i skolen, er en kamp om, hvad der skal konstrueres som naturvidenskab.

## **Artikel 2: Virtual Educational Laboratories: Instructive or explorative learning?**

Artikel 2 er skrevet til et særnummer af det danske STS-tidsskrift *STS Encounters* på baggrund af ph.d.-kurset *Performing and Exploring Experiments* (2019), afholdt af STS-forskere Andy Pickering, Finn Olesen og Peter Danholt. Ikke overraskende tog kurset udgangspunkt i en STS-orienteret forståelse af eksperimentel praksis. Artiklen er en videreudvikling af et essay skrevet til kurset, hvor jeg relaterer kursuslitteraturen til mit projekt – en litteratur, der inkluderer tekster af STS-forskere såsom Ian Hacking, Andy Pickering, Bruno Latour, Steven Shapin og Simon Schaffer (Pickering et al., 2021). Denne læsning er blevet suppleret med STS-litteratur, der har et eksplicit fokus på virtuelle simuleringer og modeller.

Artikel 2 besvarer ikke direkte forskningsspørgsmålene, men er derimod fundamentet for de analytiske perspektiver, jeg forfølger i artikel 3 og 4. Artiklen er et litteraturstudie af, hvilke indsigter fra STS-feltet der kan informere og hjælpe med at konceptualisere det virtuelle laboratorie.

Artiklen har et dobbelt sigte. For det første henvender jeg mig til STS-feltet ved at påpege, at der er en blind plet i forskningslitteraturen, da STS-studierne ikke har interesseret sig for laboratoriearbejdet i en uddannelsesmæssig kontekst. Dette gør sig gældende for både det fysiske og virtuelle laboratoriearbejde. For det andet henvender jeg mig til feltet for uddannelsesforskning og opstiller hypotesen om, at den aktørnetværksteoretiske forståelse af vidensproduktionen i et videnskabeligt laboratorie også kan bruges til at studere læringspraksisser med virtuelle laboratorier i en undervisningskontekst. På baggrund af STS-litteraturen peger jeg på nogle mere etnografiske og kvalitativt orienterede forskningsspørgsmål til at studere virtuelle laboratorier end de gængse inden for uddannelsesforskningen. Det er disse spørgsmål, som danner grundlag for analyserne i artikel 3 og 4.

## **Artikel 3: Virtual laboratories and posthuman learning**

Artikel 3 besvarer forskningsspørgsmål to og mere konkret den del af spørgsmålet, der handler om, hvilke *medierede læringspraksisser*, der bliver konstitueret med virtuelle laboratorier. I artikel 2 formulerer jeg med udgangspunkt i STS-litteraturen en hypotese om, at den kropsliggjorte og tavse viden har betydning for elevernes læring og forståelse af den eksperimentelle praksis. Artikel 3 tager afsæt i denne hypotese, hvor min medforfatter og jeg undersøger, med udgangspunkt i krops- og postfænomenologien, hvad den teknologimedierede eksperimentelle praksis betyder for elevernes kropslige



erfaring og læring. Dette gør vi på baggrund af en komparativ analyse af elevers eksperimentelle arbejde i det fysiske og virtuelle laboratorie.

Artiklen er skrevet til det teknofilosofiske tidsskrift *Techné*, hvorfor den har et eksplicit teknofilosofisk blik på genstandsfeltet. Den går i dialog med og bidrager til en diskussion omkring virtuelle uddannelsessimuleringer, der er præsenteret i et særnummer af *Techné* fra 2011. Artiklen bidrager til en stadig smal postfænomenologisk litteratur inden for uddannelsesfeltet og til udviklingen af et begrebsapparat til at beskrive fremspirende interaktive teknologier som virtuelle laboratorier. Artiklens centrale bidrag er en konceptualisering af den menneske-teknologirelation, der bliver konstitueret med VL. Dette gør vi ved at videreudvikle Don Ihdes skematisering af den hermeneutiske teknologirelation til at omfatte en ekstra verdensrelation, Jeg → (*verden-teknologi-verden*), da eleverne både skal mestre at referere fra den fysiske verden til den virtuelle og tilbage igen. I artiklen viser vi, hvordan der kan forekomme sammenbrud eller ikke-transparens i begge oversættelsesprocesser, hvorfor det er essentielt at understøtte eleverne i at kunne lave disse koblinger.

#### **Artikel 4: Virtuelle laboratorier – et værktøj at tænke med**

Artiklen adresserer den del af forskningsspørgsmål to, der omhandler, hvilke *sociomaterielle læringspraksisser* der bliver konstrueret med virtuelle laboratorier. Den bygger på tesen, formuleret i artikel 2, om, at læringspraksisser med virtuelle laboratorier må studeres og forstås som et resultat af lokale sociomaterielle konstruktioner. Den er skrevet til det danske tidsskrift for læremidler, didaktik og teknologi *Learning Tech*. Artiklen henvender sig både til praktikere og forskere inden for feltet. Den er skrevet på dansk i forhåbningen om, at den hermed er mere lettilgængelig for praktikere såsom undervisere og studerende.

I artiklen undersøger jeg, hvilke læringspraksisser der bliver skabt i undervisningen med de to former for virtuelle laboratorier, *PhET interaktive simulationer* (fremover benævnt PhET) og *Labster*. Teoretisk tager jeg udgangspunkt i Shaffer og Clintons begreb *redskab-for-tanker* (toolforthoughts), der bygger på en aktørnetværksteoretisk læringsforståelse, samt Seymour Paperts konstruktivistiske begreb *et objekt-at-tænke-med* (object-to-think-with). Den centrale argumentation i artiklen er, at de to former for virtuelle laboratorier understøtter forskellige læringspraksisser. Med PhET, der bygger på en konstruktivistisk læringsforståelse, er det elevens egen undren og nysgerrighed, der er styrende for læringen, og simuleringerne bliver brugt til at visualisere og konkretisere abstrakte naturvidenskabelige fænomener. Labster, der bygger på en mere behavioristisk læringsforståelse, bliver brugt til at træne eleverne i at følge

en eksperimentel protokol som forberedelse til at opstille egne undersøgelser eller som en interaktiv teoribog. En central pointe er, at det er svært for eleverne at afkode det virtuelle laboratorie og overføre viden fra det virtuelle læringsmiljø til det fysiske. Lærerens rolle og stilladsering er derfor væsentlig for, at eleverne kan arbejde udbytterigt med det virtuelle laboratorie.

Afslutningsvis peger jeg med John Deweys koncept *hel- og delvis opmærksomhed* på, at der er et paradoks i, at det virtuelle laboratorie tilbyder et sikkert læringsrum, men at eleverne oplever, at de er mindre koncentrerede i det virtuelle end i det fysiske laboratorie, da de ikke har noget reelt på spil i det virtuelle læringsrum.

### **Artikel 5: Digital competencies in Nordic teacher education – an expanding agenda**

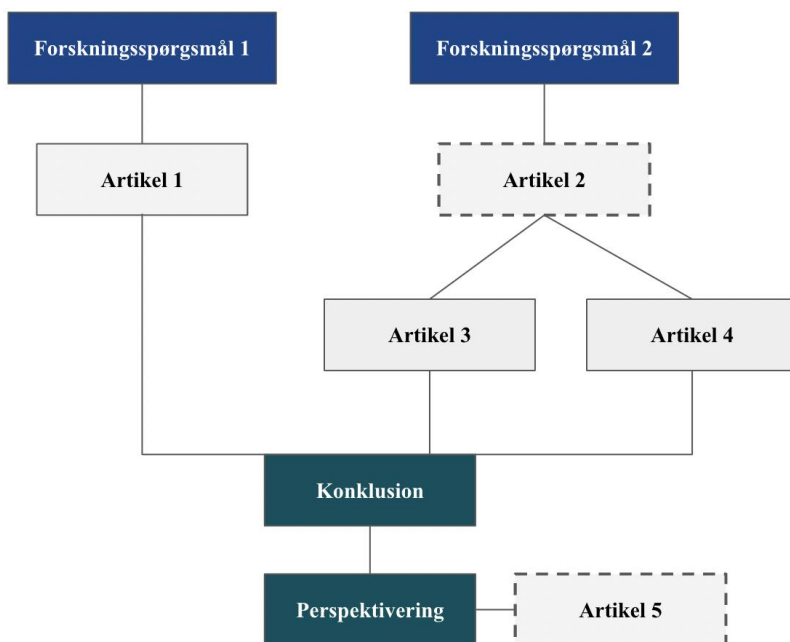
Den femte artikel er tematisk anderledes end de andre, da den ikke direkte omhandler virtuelle laboratorier, men den er tæt relateret til afhandlingens overordnede tema om digitalisering i uddannelse.

Artiklen er skrevet til et særnummer af tidsskriftet *Nordic Journal of Comparative and International Education* med fokus på digitale kompetencer på tværs af europæiske læreruddannelser. I artiklen undersøger jeg og mine medforfattere, hvordan nordiske læreruddannelser har responderet på den ekspanderede nationale og internationale digitaliseringsagenda på uddannelsesområdet. I en dansk skolekontekst ses den ekspanderede digitaliseringsagenda særligt med den nye faglighed *teknologiforståelse*, der skal klæde eleverne på til at blive digitalt kompetente i en bred forstand. Med afsæt i den danske case undersøger vi, hvordan man arbejder med digitale kompetencer på læreruddannelsen på tværs af nordiske lande.

Hovedkonklusionen er, at der både er stor forskel på, hvor velbeskrevet digitale kompetencer er i policy-litteraturen, og hvilke institutionelle praksisser læreruddannelserne har appliceret. Danmark er desuden det eneste land, hvor teknologiforståelse udgør en selvstændig faglighed. Artiklen bidrager med at identificere tendenser og udfordringer på tværs af nordiske lande og perspektivere den danske tilgang til digitale kompetencer og teknologiforståelse. Jeg tager tråden op fra artiklen i perspektivering, hvor jeg diskuterer, hvordan indsigter fra STS kan bidrage til at arbejde med en kritisk teknologiforståelse i den nye faglighed.

Figur 1 giver et overblik over, hvordan artiklerne besvarer forskningsspørgsmålene og kobler sig til afhandlingens overordnede konklusion og perspektivering.

**Figur 1:** Artiklerne og forskningsspørgsmålene



## 1.2 Kappens disposition

Udover de fem artikler, så består afhandlingen af nærværende kappe, der har til formål at kæde de forskellige perspektiver fra artiklerne sammen og vise, hvordan de er tænkt som en del af en samlet afhandling. Kappen skal skabe et overblik og en forståelse hos læseren for afhandlingens bidrag til forskningsfeltet og praksis, teoretiske ståsted og empiriske og metodiske fundament. I det følgende præsenterer jeg kappens forskellige komponenter.

Resten af *Kapitel 1* er en introduktion til det virtuelle laboratorie og de to konkrete teknologier, som er genstand for mit feltarbejde, PhET og Labster. Med en konkretisering af det virtuelle laboratorie på plads, bevæger jeg mig videre til at positionere afhandlingens bidrag inden for de to forskningsfelter, som afhandlingen bidrager til og er i dialog med, STS og uddannelsesforskningen.

*Kapitel 2* præsenterer den teoretiske ramme for afhandlingen. Afhandlingen trækker på to teoretiske retninger: postfænomenologien og aktørnetværksteorien. I kapitlet bliver det udfoldet, hvordan de to perspektiver er sammentænkt, og hvordan de hver især bidrager til analysen og forståelsen af det virtuelle laboratorie. Først udfolder jeg, hvordan det postfænomenologiske perspektiv bliver brugt i afhandlingen til at forstå og konceptualisere, hvilken mediering og perception af verden, der konstrueres med det virtuelle laboratorie. Jeg præsenterer Don Ihdes post-fænomenologiske medieringsteori og hans forskellige teknologi-menneske-relationer, der bliver eksemplificeret med det virtuelle laboratorie. Dernæst beskriver jeg de tre centrale indsigter fra aktørnetværksteorien, der har formet afhandlingens forståelse af teknologi: *teknopraksisser er netværkskonstruktioner, teknologier er ikke uskyldige og teknologier er multiple*. Endelig udfolder jeg mit sociomaterielle læringssyn med Estrid Sørensens aktørnetværksteoretiske forståelse af læring og antropolog Catrine Hasses posthumane læringssyn.

*Kapitel 3* udfolder afhandlingens metodologi og analysestrategi. Kapitlet tager udgangspunkt i tre metodiske udfordringer. Den første omhandler, hvordan jeg forstår det flerstedet feltarbejde, og hvad jeg har valgt at gøre til en del af feltet. Den anden udfordring handler om, hvordan jeg har løst et problem med at få eleverne til at huske, hvad de har foretaget sig i det virtuelle laboratorie ved at inkludere skærmoptagelser som et *eliciterings-devise*. Den tredje udfordring, som kapitlet adresserer, er, hvordan jeg har arbejdet med at kode den store mængde af empiri, som feltarbejdet har genereret, og hvordan denne kodning er blevet kondenseret til konkrete tematikker i de endelige analyser.

*Kapitel 4* rummer afhandlingens konklusion og perspektivering. Først konkluderer jeg på de to forskningsspørgsmål på baggrund af indsigterne fra artiklerne. Dernæst diskuterer jeg i perspektiveringen, hvordan indsigter fra STS-litteraturen kan bidrage til at udvikle den nye teknologiforståelsesfaglighed i skolen.

I artiklerne bliver de to former for to virtuelle laboratorier, der er genstand for afhandlingen, præsenteret i en mere kondenseret form. Men grundet begrænset plads har jeg ikke givet en udførlig introduktion til de to virtuelle laboratorier, hvilket er formålet for næste afsnit.

### **1.3 Hvad er et virtuelt laboratorie?**

I forskningslitteraturen bliver der brugt forskellige synonyme betegnelser såsom interaktive laboratorier (Interlab, 2022), online-laboratorier (Orduna et al., 2016)

og virtuelle laboratorier (Zacharia et al., 2015). I afhandlingen har jeg valgt at bruge sidstnævnte, virtuelle laboratorier, som det gennemgående begreb, da det konkret henviser til, at det er laboratoriesimuleringerne, der foregår i et *virtuelt læringsmiljø* (hertil kommer, at de er interaktive og ofte tilgås online). Virtuelle laboratorier er computersimulationer, der visualiserer en eksperimentel praksis eller et naturvidenskabeligt fænomen, og hvor eleverne kan ændre på forskellige faktorer eller udføre handlinger og observere konsekvenserne heraf. Jeg bruger begrebet virtuelt laboratorium som et overordnet begreb, der både dækker over de simuleringer, der giver eleverne oplevelsen af at udføre forsøg i en laboratoriekontekst, og dem, der ikke foregår i en laboratoriekontekst, men på anden vis tillader eleverne gennem interaktion og afprøvning at blive klogere på et naturvidenskabeligt fænomen (Interlab, 2022).

I forskningslitteraturen bliver det interaktive aspekt udpeget som særligt karakteristisk ved det virtuelle laboratorium i forhold til andre læremidler (Clark et al., 2009; Vogel et al., 2006). I modsætning til en statisk model eller illustration, så imiterer eleverne forskellige former for handlinger i de virtuelle laboratorier såsom at udføre de forskellige trin i et eksperiment eller bygge et atom. De virtuelle laboratorier er designet med forskellige grader af åbenhed, hvor nogle er instruerende i deres form og andre er designet mere åbent. Der er ligeledes virtuelle laboratorier, hvor brugeren kan få adgang til selv at designe undersøgelser via et brugervenligt programmeringssprog (Honey & Hilton, 2011). De virtuelle laboratorier er således designet på baggrund af forskellige læringsforståelser og læringsmål. Flere virtuelle laboratorier gør desuden brug af spilbaserede elementer for at engagere eleverne. I det næste giver jeg en mere udførlig introduktion til de to versioner af virtuelle laboratorier, som er genstand for afhandlingen, PhET og Labster.

PhET er gratis online virtuelle laboratorier til matematik, fysik, kemi og biologi, der er udviklet af University of Colorado Boulder af et team af naturvidenskabelige forskere, softwareudviklere, læringsforskere og naturfagsundervisere. Der er på nuværende tidspunkt 162 simuleringer, hvor flere er oversat til dansk (PhET). PhET er en brugerdrevet platform, hvor det er brugerne, der oversætter simuleringerne, og man kan dele undervisningsbeskrivelser med hinanden. Simuleringerne er designet i 2D-grafik og kan tilgås via en computer eller tablet.

PhET har både virtuelle laboratorier, der foregår i et laboratoriemiljø, og simuleringer, der foregår uden for laboratoriet fx på en skaterbane eller en legeplads. Alle simuleringer adresserer et centralt naturvidenskabeligt koncept,

som er kernestof i naturfagsundervisningen, såsom energiformer eller atomers opbygning (Honey & Hilton, 2011). PhET bygger eksplicit på en konstruktivistisk læringsforståelse (Perkins et al., 2008), hvor eleverne gennem deres egne undersøgelser kan danne mentale og visuelle modeller af de naturvidenskabelige koncepter (Wieman et al., 2008). Ambitionen er, at eleverne ligesom små forskere skal gå eksplorativt til værks, da de har mulighed for at afprøve deres ideer i et sikkert rum og lære heraf. Der er derfor gjort brug af minimal instruktion og tekst, da det skal være elevernes egen undren, der er styrende for læringsforløbet (Perkins et al., 2008).

Til at illustrere, hvordan PhET-simuleringerne er opbygget, tager jeg udgangspunkt i simuleringen *Energi-skatepark*, hvor eleverne kan lære om energiformer og friktion ved at lade en skater køre på forskellige ramper. Alle simuleringer starter med en kort introduktion til, hvilke emner og læringsmål, simuleringen berører, men der er ikke en guide til, hvordan eleverne skal bruge det virtuelle laboratorium (se illustration 1). Det betyder i teorien, at læreren kan integrere PhET i sin undervisning i forhold forskellige læringsstile samt læringsmål.

### Illustration 1: PhET Interactive Simulations, *Energi-skatepark* (introduktion)

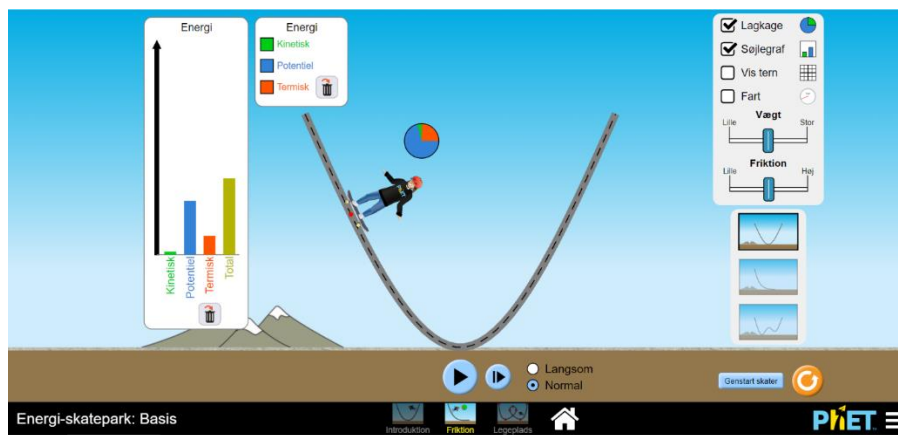
The screenshot shows the PhET website interface for the 'Energy Skate Park Basics' simulation. At the top, there is a navigation bar with the PhET logo and several tabs: 'SIMULERINGER', 'UNDERVISNING', 'METODE', 'INITIATIVER', and 'DONÉR'. Below this, there are more navigation options: 'Om', 'Læreresourcer', 'Aktiviteter', 'Oversættelser', and 'Anerkendelse'. The main content area features three small thumbnail images of the simulation. To the right, there is a section titled 'PHET støttes delvist af' with the STROBE logo and the text 'og andre sponsorer samt lærere som dig'. Below the thumbnails, there is a section titled 'Emner' (Topics) with a checklist icon and a list of topics: 'Bevarelse af energi', 'Kinetisk energi', 'Potentiell energi', 'Varmeenergi', 'Energi', and 'Friktion'. Below that, there is a section titled 'Eksempel på læringsmål' (Example of learning objectives) with a target icon and a list of objectives: 'Forklare "Bevarelse af mekanisk energi" med kinetisk energi (KE) og gravitationel potentiel energi (PE)', 'Beskrive hvordan energi og cirkeldiagrammer vedrører position og hastighed', 'Forklare hvordan en ændring af sløvheden påvirker energien', 'Forklare hvordan en ændring af sportiflatten påvirker energien', 'Forudsige position eller analysere hastigheden ud fra energi og cirkeldiagrammer', and 'Beregne hastighed eller højde på en position fra oplysninger om en anden position'.

Kilde: <https://phet.colorado.edu/da/simulations/energy-skate-park-basics>

Når eleverne har klikket sig ind på simulationen, kan de vælge mellem forskellige faner, hvor kompleksiteten stiger i takt med, at eleverne bevæger sig fra fane til fane. I *Energi-skatepark* kan eleverne eksempelvis vælge mellem fanerne *introduktion*, *friktion* og *legeplads*. I introduktionen har eleverne mulighed for at justere på skaterens vægt, vælge forskellige ramper og se visualiseringer af,

hvordan energiformerne ændrer sig, når skateren kører på rampen. Alle simuleringerne har desuden en genstart-knap, som muliggør, at eleverne kan lave så mange forsøg, som de har lyst til. Når eleverne bevæger sig til den næste fane, får de yderligere mulighed for at ændre på friktionen (se illustration 2). I den sidste fane (legeplads) kan eleverne bygge deres egne ramper og bruge den viden, de har fået gennem arbejdet med de to forrige faner.

**Illustration 2:** PhET Interactive Simulations, *Energi-skatepark* (fanen friktion)



*Kilde:* [https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-skate-park-basics/latest/energy-skate-park-basics\\_da.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-skate-park-basics/latest/energy-skate-park-basics_da.html)

Et af de centrale elementer i PhET er, at eleverne gennem visualisering af genkendelige fænomener såsom en skater på en rampe kan få en bedre forståelse for de bagvedliggende naturvidenskabelige begreber som kinetisk og potentiel energi og friktion. Flere af de fænomener, som PhET-simuleringerne adresserer, er ikke synlige – såsom energiformer, lyd- og lysbølger eller atomer – og her hjælper simuleringerne eleverne med at forstå abstrakte naturvidenskabelige begreber og sammenhænge (Perkins et al., 2010). Der er desuden gjort brug af enkelte spilbaserede elementer i de virtuelle laboratorier for at engagere eleverne såsom figurer (fx en skater) og en umiddelbar visuel feedback.

I modsætning til PhET, der er et non-profit og open source-projekt, så er Labster-simulationerne udviklet af en dansk producent ved samme navn. Skolerne skal købe licenser for at få adgang til de virtuelle laboratorier. I perioden 2019-2020 havde Børne- og Undervisningsministeriet frikøbt licenser til udvalgte virtuelle laboratorier til alle skoler, erhvervsskoler og gymnasiale uddannelser, og

herefter har skolerne selv skullet købe licenser (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019). Der er på nuværende tidspunkt 289 simulationer inden for forskellige naturvidenskabelige fagdiscipliner på engelsk, hvoraf 11 er oversat til dansk. Simuleringerne er primært udviklet til gymnasie- og universitetsniveau, men enkelte kan bruges i udkolingen. De virtuelle laboratorier er i 3D-grafik og kan tilgås via en computer eller en tablet.

En simulationsudvikler fra Labster fortæller, at det centrale læringsprincip bag simuleringerne er fejlbaseret læring, hvor brugeren har mulighed for at fejle og lære heraf. I modsætning til PhET, hvor eleverne ikke får korrigeret deres fejl, så bliver de i Labster gjort opmærksom på, hvad forskellen er på det, de har gjort, og den korrekte handling. Det kan eksempelvis være, at eleven har tilføjet den forkerte indikator, og væsken bliver gul i stedet for lilla. I så fald popper der en tekstboks op på skærmen, hvor der står, at det er det forkerte farveskift, og at de kan prøve igen (Simuleringsudvikler, 03.02.2020). Labster-simuleringerne er således designet mere lukket end PhET, og der er et prædefineret læringsforløb, som eleverne skal gennemføre. Eleverne bliver guidet gennem de forskellige trin i simuleringen, fx via instrukser på en lab-pad, pop up-beskeder eller en voiceover. Dette fastlagte forløb tillader ikke samme undersøgende tilgang som PhET, og de virtuelle laboratorier er baseret på en mere instruerende og behavioristisk læringsforståelse (Lisborg, 2021).

Den spilbaserede læringsform er fremtrædende i Labster-simulationerne. Hvert virtuelt laboratorium er bygget op omkring en mission eller et problem, som eleverne skal løse. Et eksempel herpå er simuleringen *Explore Marine Biology: Investigate a massive fish death*, hvor eleverne skal finde ud af, hvad der har forårsaget en masse døde fisk i en flod. De fleste virtuelle laboratorier foregår både i et laboratoriemiljø samt i andre kontekster. I *Explore Marine Biology* er eleverne eksempelvis ude på en båd, hvor de fanger en død fisk og tager vandprøver med hjem. Efterfølgende kommer de hjem til laboratoriet, hvor de dissekerer fisken og undersøger vandprøverne. Undervejs i simuleringen skal eleverne besvare multiple choice-spørgsmål i forhold til teorien bag forsøgene. Eleverne har mulighed for at klikke på en fane på lab-padden og læse teorien, som spørgsmålene omhandler. De kan svare, indtil de får det korrekte svar (rækkefølgen af svarkategorierne ændres efter hvert svar), og de får point i forhold til, hvor mange forsøg de har brugt. Til slut får eleverne en score afhængigt af, hvor godt de har svaret på spørgsmålene.

Udover missionen og pointsystemet er der gjort brug af flere andre spilbaserede elementer i Labsters virtuelle laboratorier. Eleverne møder forskellige avatars,



fx en marinbiolog og Einstein i *Explore Marine Biology*, og de skal udføre handlingerne i en eksperimentel procedure ved at klikke og trække med musen – fx bruge en skalpel til at dissekere fisken eller en pipette til at tage vandprøver (se illustration 4).

**Illustration 4:** *Explore Marine Biology*



*Kilde:* Explore Marine Biology: Investigate a massive fish death

På labpadden (nederst venstre hjørne) kan eleverne se, hvor langt de er i simuleringen, angivet som procenttal. Der er desuden mulighed for højtlesning af tekst (megafon-symbolet) og at gå tilbage i simuleringen. Endelig er der en lille robot, Dr. One, der med en robotagtig stemme guider eleverne gennem det virtuelle laboratorie

Der er således forskel på, hvordan de to versioner af virtuelle laboratorier er designet, og hvilke læringsforståelser de bygger på. PhET har en simpel 2D-grafik og relativt få spilbaserede elementer, mens Labster har 3D-grafik og gør brug af flere spilbaserede elementer. De to former for virtuelle laboratorier adskiller sig også i forhold til, hvilken læringsforståelse de er designet på baggrund af. PhET bygger eksplicit på en konstruktivistisk læringsforståelse, hvor det er elevemes undren og frie eksploration, der er i centrum. Labster er derimod mere instruerende og tager udgangspunkt i en behavioristisk læringsopfattelse, hvor

eleverne bliver guidet trin for trin i de eksperimentelle procedurer<sup>2</sup>. Tabellen nedenfor giver et overblik over design- og læringsprincipperne for de to former for virtuelle laboratorier.

**Tabel 1:** PhET og Labster

PhET	Labster
2D-grafik	3D-grafik
Gratis	Betalte licenser
Open source	Ikke open source
Mange er oversat til dansk	Få er oversat til dansk
Ikke fastlagt forløb	Fastlagt forløb
Lidt forklarende tekst	Meget forklarende tekst
Få spilelementer	Mange spilelementer
Konstruktivistisk læringssyn	Behavioristisk læringssyn

I artikel 4 (Lisborg, 2022) viser jeg, hvordan PhET og Labster qua deres design understøtter forskellige læringspraksisser. Men den undervisning, der konkret udfolder sig, er et resultat af sammenspillet mellem det virtuelle laboratorie, lærer, elever og andre materialiteter. Afhandlingens læringssyn tager afsæt i en sociomateriel forståelse af læring, som adskiller sig fra den individualistiske læringsforståelse, der præger de kvantitative effektmålingsstudier, virtuelle laboratorier primært er blevet studeret på baggrund af. Hvordan afhandlingen positionerer sig inden for uddannelsesforskningen og STS-feltet er omdrejningspunktet for det følgende afsnit.

## 1.4 Positionering inden for uddannelsesforskningen og STS

Afhandlingen henvender sig til og samtaler med to forskningsfelter, uddannelsesforskningen og STS, og lægger således op til en større krydsbefrugtning af de to felter. I det følgende giver jeg en indføring i perspektiver fra uddannelsesforskningen og peger på de spørgsmål, der ikke er

---

<sup>2</sup> I artikel 2 (Lisborg, 2021) udfolder jeg denne distinktion mellem eksplorativ og instruerende læring.

velbelyst i de eksisterende studier, men som afhandlingen forsøger at besvare med indsigter fra STS-litteraturen.

## **Uddannelsesforskningen og virtuelle laboratorier**

Jeg starter med et review af uddannelsesforskningen for at vise, hvad der allerede er blevet undersøgt på feltet, og hvilke perspektiver der ikke er velbelyste. Jeg har søgt på databasen ERIC på peer reviewed udgivelser på søgeordene: ”virtuel laboratory” OR ”online laboratory”, AND ”primary school” OR “primary education” OR “secondary school” OR “secondary education” AND “science”. Denne søgning gav 115 resultater. På baggrund af et review af abstracts blev artikler med fokus på virtual reality, gymnasiet, virtuelle læringsmiljøer såsom Second Life og interface-analyser sorteret fra, og det endelige resultat blev 30 artikler. Jeg har suppleret denne søgning med andre relevante publikationer og litteraturreviews, som jeg er blevet bekendt med gennem min læsning. Det betyder, at nogle studier både baserer sig på brugen af virtuelle laboratorier på skole- og/eller gymnasie- og universitetsniveau. Det er særligt litteraturreviews, der inkluderer studier på tværs af uddannelsesniveauer. Jeg foretager ikke et systematisk review, men undersøger, hvilke spørgsmål der optager den eksisterende litteratur på feltet for at positionere afhandlingens bidrag.

Virtuelle laboratorier er primært blevet undersøgt gennem komparative kvantitative effektmålingsstudier, hvor man forsøger at udlede en målbar forskel på elever, der arbejder i et virtuelt laboratorium versus elever, der arbejder i et fysisk laboratorium eller bruger traditionelle læringsformer såsom en lærebog eller lærerinstruktioner. Disse studier baserer sig på metoder såsom kontrolgrupper og pre- og posttest, og nogle inkluderer et mixed-method-design med interviews og/eller observation. Det er særligt spørgsmålet om læringseffekten, som bliver behandlet i forskningslitteraturen (Rutten et al., 2012; Smetana & Bell, 2012). Nogle studier konkluderer, at der ikke er en signifikant forskel på læringseffekten med henholdsvis det virtuelle og fysiske laboratorium (fx Tatli & Ayas, 2013), andre at læringseffekten er større i det virtuelle laboratorium (fx Faour & Ayoubi, 2018), og endelig konkluderer nogle, at læringseffekten er størst med det fysiske laboratorium (fx Paul & John, 2020).

Generelt er der dog en bred enighed i forskningslitteraturen om, at eleverne lærer mest, når de både arbejder i det virtuelle og fysiske laboratorium (fx Krüger et al., 2022; Sypas & Kalles, 2018; Chiu et al., 2015; Smetana & Bell, 2012). Smetana & Bell (2012) konkluderer eksempelvis på baggrund af et litteraturreview af 61 empiriske studier (der både består af effektstudier og mere kvalitative studier), at der hersker en generel konsensus om, at virtuelle laboratorier er et konstruktivt

supplement til de fysiske undersøgelser, men ikke en erstatning. Sypsas & Kalles (2018) viser i deres litteraturstudie, at fordelene ved det virtuelle laboratorie, såsom at få en dybere forståelse for naturvidenskabelige fænomener og tilegnelse af laboratoriekompetencer, bedst bliver realiseret, når de bliver kombineret med at arbejde i det fysiske laboratorie. I tråd hermed konkluderer Krüger et al. (2022) i et effektstudie af elevers vidensudbytte, motivation og kognitiv belastning i et virtuelt versus et fysisk laboratorie, at en kombination af begge læringsdomæner giver den bedste effekt på elevernes videnstilegnelse og motivation.

Forskningslitteraturen adresserer både potentialer og udfordringer ved at bruge virtuelle laboratorier i forhold til at bruge fysiske eksperimenter og andre læremidler. Et af læringspotentialerne, som flere studier peger på, er, at det virtuelle laboratorie er særligt anvendeligt i forhold til at øge og nuancere elevernes forståelse af komplekse og ikkeobserverbare, naturvidenskabelige fænomener gennem visualiseringer og elevernes aktive deltagelse (De Jong et al., 2013; Smetana & Bell, 2012). En forklaring på det virtuelle laboratories fordel som læremiddel er, at virkeligheden kan modificeres, og simuleringerne kan designes, så de fokuserer på bestemte læringsmål (Trundle et al., 2010). Virtuelle laboratorier øger desuden handlerummet for, hvilke forsøg man kan lave i undervisningen, da flere er for farlige eller dyre til, at de kan udføres i skolelaboratoriet. Hertil kommer, at det virtuelle laboratorie tilbyder effektivitet i forhold til fysiske eksperimenter, hvor eleverne skal bruge tid på at finde materialer og sætte eksperimentet op (Alkhald et al., 2016; Honey & Hilton, 2011).

Der er dog flere af teknologiens potentialer, der knytter sig til begrænsningerne ved det virtuelle laboratorie som læremiddel. Tho og Yeung (2018) peger på, at eleverne ikke oplever den produktive og lærerige frustration, der kan opstå, når noget går galt, eller materialerne ikke opfører sig som forventet. De får heller ikke den taktile fornemmelse af at håndtere materialer, når de ikke direkte interagerer med dem, som teorier inden for kropslig kognition (embodied cognition) peger på er vigtig for læring (De Jong et al., 2013). Den eksisterende forskning på feltet adresserer således forskellige potentialer og begrænsninger ved det virtuelle læringsmiljø, men går ikke i dybden med, hvordan lærere og elever oplever arbejdet med det virtuelle laboratorie i undervisningen.

Et andet aspekt, som de eksisterende studier på feltet ikke beskæftiger sig meget med, er betydningen af lærerens didaktisering og vejledning (Rutten et al., 2012). Der er dog enkelte undtagelser, og Smetana og Bell (2012) konkluderer i deres litteraturreview, at hvis virtuelle laboratorier skal være et effektivt supplement til

traditionelle læremidler og fysiske eksperimenter, så er det centralt, at læreren vejleder og stilladserer elevernes arbejde gennem eksempelvis: ”(...) providing time for familiarization with the simulation, teacher direction, questioning, debriefing of learning activities, feedback about decisions and actions, opportunity for reflection, accompanying assignments, and access to other tools and domain knowledge” (Smetana & Bell, 2012, s. 1358).

Et andet studie, der peger på vigtigheden af lærerens didaktisering er Hennessy et al.s (2007) kvalitative undersøgelse af, hvordan naturfagslærere bruger computerteknologier såsom virtuelle laboratorier i deres undervisning. Studiet konkluderer, at lærerens rolle i forhold til at sekvensere, strukturere læringsaktiviteter, guide elevernes tækning med åbne spørgsmål og understøtte en kritisk refleksion over simuleringernes begrænsninger som model er centralt for en god undervisningspraksis med digitale læringsteknologier som virtuelle laboratorier.

Der er således ansatser i forskningslitteraturen til at undersøge betydningen af den pædagogiske og didaktiske rammesætning, men der er ikke større kvalitative undersøgelser af, hvordan dette udfolder sig i praksis. En væsentlig undtagelse er det danske Interlab-projekt<sup>3</sup>, som er det første projekt, der undersøger, hvordan virtuelle laboratorier kan bruges i en dansk skolekontekst. Metodisk baserer projektet sig på et mix-method design bestående af spørgeskemaundersøgelser, interviews, observation og selvrapportering. Projektets fokus er at udvikle didaktiske principper og formater for, hvordan VL kan blive brugt i naturfagsundervisningen, baseret på læreres og elevs oplevelser (Interlab, 2022). I det følgende vil jeg opsummere de resultater fra projektet, som er interessante for afhandlingen.

I slutrapporten bliver særligt lærernes didaktisering understreget som central for en succesfuld integration af virtuelle laboratorier i undervisningen. Resultaterne fra undersøgelsen viser, at det er vigtigt, at læreren tydeliggør, hvad formålet er med at bruge det virtuelle laboratorie, hvordan brugen af VL hænger sammen med andre læringsaktiviteter, og at læreren desuden stilladserer arbejdet med simuleringerne gennem fx arbejdsark, oplæg og åbne spørgsmål. I tråd med andre studier på feltet, bliver det konkluderet, at det virtuelle laboratorie ikke kan

---

<sup>3</sup> InterLab er Børne- og Undervisningsministeriets *Udviklingsprojekt om interaktive laboratorier* (2020-21). Formålet med projektet er at afprøve og udvikle didaktiske tilgange til at arbejde med VL og udarbejde inspirationsmaterialer til skolerne. Der deltager otte skoler i projektet, der varetages af et konsortium bestående af Aarhus Universitet, Epiunion og Københavns Universitet (Interlab, 2022).

erstatte det fysiske, men være et supplement hertil. Særligt bliver virtuelle laboratoriers styrke som visuelle læringsmidler fremhævet af både undervisere og elever i rapporten. Det virtuelle laboratorie tilbyder interaktive visualiseringer af abstrakte eller usynlige naturvidenskabelige fænomener og mekanismer, som kan være svære for eleverne at forstå. Flere af eleverne i undersøgelsen oplever, at de får nogle mere tydelige billeder på de naturvidenskabelige fænomener, og at det er engagerende, at de kan interagere med visualiseringerne (modsat statiske illustrationer). Af begrænsninger ved det virtuelle laboratorier bliver det særligt fremhævet, at VL ikke kan imitere og erstatte nogen af de centrale undersøgelseskompetencer, som de fysiske forsøg tilbyder såsom: ”at kunne designe egne forsøg, opstille forsøgsudstyr, kontrollere miljøet omkring forsøget, undersøge målefejl og fejlkilder, samt få en taktil fornemmelse for udstyret” (Interlab, 2021, s. 21). Men det virtuelle laboratorie kan derimod bruges til at træne elevernes forståelse og kompetencer, inden de laver fysiske forsøg, og ikke mindst give mulighed for at undersøge fænomener og koncepter, som ikke kan undersøges i et fysisk laboratorie.

Interlab-projektet udmærker sig ved at undersøge brugen af virtuelle laboratorier i en dansk skolekontekst med fokus på læreres og elevers oplevelser og erfaringer. Det er dog ikke et decideret forskningsstudie, men et policy-projekt med det eksplicite formål at afdække, hvad der skal til for yderligere at implementere virtuelle laboratorier i skolen (Interlab, 2022). Der mangler derfor forskningslitteratur på feltet, som gennem kvalitative og etnografiske studier beskriver, hvilke læringspraksisser der bliver konstrueret med virtuelle laboratorier i undervisningen. Formålet med denne afhandling er at bidrage hermed og gennem en fusionering af uddannelsesforskningen og STS at stille nogle mere kvalitative og etnografiske spørgsmål til feltet. Hvordan jeg gør dette vil blive forklaret i næste afsnit.

## **Science and Technology Studies og virtuelle laboratorier**

I modsætning til den gængse uddannelsesforskning, så er sigtet med afhandlingen ikke at måle på effekten af at bruge virtuelle laboratorier på elevernes læringsudbytte. Mens flere studier undersøger virtuelle laboratorier som en selvstændig og afgrænset læringsaktivitet, så bygger afhandlingen på en relationel forståelse, hvor det virtuelle laboratorie må studeres som en del af en større sociomateriel sammenhæng. I denne optik er det ikke meningsfuldt at undersøge VL som en isoleret interaktion, da de læringspraksisser der bliver skabt, er et resultat af et samspil mellem det virtuelle laboratorie, lærere, elever og andre undervisningsaktiviteter og teknologier. Dette gør jeg som beskrevet med indsigter fra aktørnetværksteorien og postfænomenologien, der beror på en

forståelse af, at teknologier må studeres som en del af en kulturel og sociomateriel praksis. Lad mig uddybe, hvordan denne krydsbefrugtning af uddannelsesforskningen og STS ansporer til nogle andre spørgsmål end dem, som den eksisterende litteratur på feltet er optaget af.

Med udgangspunkt i aktørnetværksteorien breder jeg perspektivet ud og spørger med det første forskningsspørgsmål til, hvordan virtuelle laboratorier bliver konstrueret som en aktør i skolen. Hvor de eksisterende studier alene fokuserer på det virtuelle laboratorie som en læringsteknologi, der bliver konstrueret i undervisningen, så træder jeg et skridt tilbage i artikel 1 (Lisborg, upubliceret) og undersøger, hvilke logikker, agendaer og naturfagsforståelser der legitimerer, at virtuelle laboratorier bliver en del af naturfagsundervisningen. Aktørnetværksteorien giver mulighed for at spørge til, hvilke associationer på tværs af aktører inden for og uden for skolen, der har haft succes med at stabilisere virtuelle laboratorier som en uundgåelig del af naturfag. Med andre ord afnaturaliserer det aktørnetværksteoretiske perspektiv uddannelsesteknologiers indtog i skolen. De teknologier, som bliver en del af elevernes skoledag, er et resultat af et møjsommeligt konstruktionsarbejde, der er bestemmende for, hvilke teknologier eleverne møder i undervisningen. Denne type af analyse muliggør et kritisk blik på, *hvorfor* virtuelle laboratorier bliver en del af skolens praksis, hvilket ikke er belyst inden for feltet.

Der er som beskrevet en generel konsensus i uddannelsesforskningen om, at det virtuelle laboratorie ikke er en erstatning for det fysiske laboratorie, men et supplement hertil. I afhandlingen spørger jeg til, *hvor* det virtuelle laboratorie i praksis indgår i undervisningen i samspil med fysiske eksperimenter og andre læringsaktiviteter. Dette gør jeg på baggrund af indsigter fra STS-feltet. I artikel 2 (Lisborg, 2021) foretager jeg et litteraturstudie af, hvordan laboratoriarbejdet er blevet undersøgt i STS-litteraturen. På baggrund heraf opstiller jeg nogle forskningsspørgsmål, der kan guide en mere etnografisk undersøgelse af det virtuelle laboratorie. I det følgende har jeg kondenseret disse spørgsmål i tre overordnede hypoteser, som har guidet mit feltarbejde og de empiriske analyser, som bliver præsenteret i artikel 3 (Lisborg & Tafdrup, under udgivelse) og artikel 4 (Lisborg, 2022).

Den første hypotese tager udgangspunkt i indsigterne fra laboratoriestudierne, der viser, at vidensproduktionen ikke følger en stringent eller forudsigelig proces, men er et produkt af et komplekst og mangefacetteret konstruktionsarbejde, der udspiller sig mellem mennesker, inskriptionsapparater, teknologier og andre materialiteter. Overført til afhandlingens genstandsfelt kan man ikke på forhånd

antage, hvilke læringspraksisser der bliver konstrueret med VL, men det må undersøges empirisk som lokale interaktioner og anordninger mellem mennesker og teknologier. I afhandlingen spørger jeg til, hvilke sociomaterielle relationer der bliver konstituerende for de situerede læringspraksisser, der bliver skabt med virtuelle laboratorier. Som beskrevet er dette en fundamentalt anden måde at forstå og studere læringsprocesser på end det individorienterede læringssyn, som dominerer inden for de kvantitative effektmålingsstudier.

Den anden hypotese er formuleret på baggrund af STS-forståelsen af, at modeller og simuleringer er designet på baggrund af bestemte intentioner, men at de kan blive brugt på multiple måder (de determinerer ikke en bestemt brug). Det er særligt væsentligt at undersøge, hvilke potentialer og begrænsninger, der knytter sig til det medie, som en model eller simulering virker gennem (Knuuttila & Voutilainen, 2003; Knuuttila, 2005). Med STS spørger jeg i afhandlingen ind til, hvordan de læringsforståelser og designprincipper, som de virtuelle laboratorier er designet på baggrund af, inviterer til bestemte brugspraksisser – og hvilke potentialer og begrænsninger, lærere og elever oplever ved den computermedierede interaktion. Spørgsmål, som ikke er blevet adresseret af den eksisterende forskning på feltet.

Den tredje hypotese, som jeg opstiller med STS-litteraturen, er, at den kropslige og tavse viden er central for videnstilegnelse. Det er ikke al viden, der rejser let, men noget viden er bundet til en socialiseringsproces og en kropslig fornemmelse for eksempelvis materialer og instrumenter (Sismondo, 2010; Collins, 1974). Hvor uddannelsesforskningen alene konstaterer, at det er en begrænsning ved det virtuelle laboratorie, at eleverne ikke oplever den fysiske og taktile interaktion med materialer, så spørger jeg ved hjælp af krops- og postfænomenologien: Hvad gør teknologimedieringen ved elevernes oplevelse af kropslighed og tilstedeværelse? Og hvilke former for didaktik og sociale interaktioner kan understøtte en transfer af viden fra et læringsdomæne til et andet?

Opsummerende håber jeg med afhandlingen på at bidrage til uddannelsesforskningen med nye perspektiver på det virtuelle laboratorie, både i form af et mere strukturelt og kritisk blik på, hvorfor virtuelle laboratorier bliver en del af skolens praksis, samt en dybere forståelse for, hvilke sociomaterielle og medierede læringspraksisser der bliver skabt med virtuelle laboratorier.

Min forhåbning er også at bidrage til STS-feltet med ny viden gennem denne krydsbefrugtning. Laboratiestudierne har, som beskrevet, bidraget med detaljerede og banebrydende empiriske analyser af det videnskabelige arbejde i



laboratorier, men bemærkelsesværdigt nok har STS-litteraturen ikke beskæftiget sig med laboratoriearbejdet i en uddannelseskontekst. Det gælder både fysiske og virtuelle laboratorier (Lisborg, 2021). I afhandlingen bidrager jeg til at afdække denne blinde vinkel i STS-litteraturen.

Inden for den fænomenologiske forskningslitteratur er uddannelsesstudier ikke udbredt, om end der findes undtagelser (fx Hasse, 2020; 2008; Röhl, 2018; Adams & Turville, 2018; Aagaard, 2017). Afhandlingen bidrager til den forholdsvis smalle litteratur på området ved at vise, hvordan virtuelle læringsmiljøer ændrer elevernes kropslige erfaring og perception. Endvidere bidrager den til at begrebsliggøre den menneske-teknologirelation, der bliver skabt med det virtuelle laboratorium. Casestudiet af det virtuelle laboratorium fungerer således som en videreudvikling og nuancering af det postfænomenologiske begrebsapparat (Rosenberger & Verbeek, 2015).

Efter at have beskrevet, hvordan jeg med afhandlingen både bidrager til uddannelsesforskningen og STS-feltet, vil jeg i det næste kapitel uddybe, hvilke teoretiske indsigter afhandlingen baserer sig på. I artiklerne adresserer jeg forskellige aspekter af STS-litteraturen, men i det følgende præsenterer jeg afhandlingens teoretiske ramme mere indgående.

## KAPITEL 2. DEN TEORETISKE RAMME

Actor-network theory is primarily interested in unraveling the networks of relations by virtue of which entities emerge into presence, while a postphenomenological approach, by contrast, seeks to understand the relations that humans have with those entities. (Verbeek, 2005, s. 164f)

I afhandlingen sammenkæder jeg teoretiske perspektiver fra to relaterede, men dog divergente, STS-retninger: postfænomenologien og aktørnetværksteorien. Åbningscitateret fra teknologifilosof Peter-Paul Verbeek kondenserer på fineste vis, hvordan aktørnetværksteorien og postfænomenologien komplimenterer hinanden i afhandlingen. Begge retninger opererer med en *relationel ontologi*, hvor mennesker, ting og teknologier kun kan forstås i relation til hinanden og andre entiteter (Rosenberger, 2018). Forskellen mellem de to retninger består i, *hvilken relation* der er genstand for opmærksomhed. ANT interesserer sig for at forstå og beskrive den gensidige påvirkning mellem teknologier og bredere sociomaterielle fællesskaber eller netværk. Med aktørnetværksteorien beskriver jeg de komplekse aktørnetværksrelationer mellem mennesker, teknologi og andre materialiteter, der konfigurerer og rekonfigurerer det virtuelle laboratorie som aktør i skolen. Postfænomenologien er derimod optaget af en kortere kæde af relationer, nemlig den mellem menneske, teknologi og verden. Når vi erfarer verden gennem en teknologi – analog såvel som digital – så ændrer det vores måde at opleve verden på. Det er denne forandring og konsekvenserne heraf, som er interessant i et postfænomenologisk perspektiv. Jeg bruger postfænomenologien til at undersøge, hvordan elevernes tilgang til og erfaring med verden bliver påvirket, når de perciperer den gennem et virtuelt laboratorie.

Ud over den relationelle ontologi så deler aktørnetværksteorien og postfænomenologien flere af de samme ontologiske antagelser i forhold til, hvordan man kan forstå og studere teknopraksisser. Begge retninger opererer med et *anti-essentialistisk* og *anti-deterministisk* syn på teknologier. Selvom teknologier er designet med bestemte formål for øje og initierer til en dominerende form for brugspraksis, så er det ikke ensbetydende med, at en teknologi alene kan tages i brug på én måde. Der er ikke en essens i teknologien, der determinerer en bestemt form for anvendelse. Der er derimod et utal af multiple teknopraksisser, som en teknologi kan afstedkomme. Dette afhænger af, hvilke kulturelle og sociomaterielle kontekster, den bliver brugt i (Andersen & Tafrup, 2021).

I postfænomenologien bliver denne anti-essentialisme og anti-determinisme indkapslet med begrebet *multistabilitet*, der peger på, at teknologier er multistabile og medierer forskellige teknologirelationer afhængigt af den kulturelle kontekst. Postfænomenolog Don Ihde, der er ophavsmand til multistabilitet-begrebet, bruger Necker-terningen som eksempel på, hvordan teknologier kan fortolkes forskelligt alt afhængigt af, hvilken mening den bliver tillagt i en specifik kulturel kontekst (Ihde, 1990). At forstå teknologier som multistabile betyder ikke, at man er blind for, at en teknologi qua sit design inviterer til bestemte former for adfærd og brugspraksisser. Teknologier kan således ikke bruges til alle tænkelige formål og muliggøre alle former for perceptioner (Rosenberger, 2018). Når eleverne i naturfagsundervisningen interagerer med og perciperer verden gennem det virtuelle laboratorium, så er der nogle handlinger og ræsonnementer, der er mere sandsynlige end andre grundet den måde, det er designet på. Men det kan ikke forudsiges, hvilke forståelser og læringspraksisser der bliver konstrueret, når virtuelle laboratorier bliver en aktør i skolen – dette er et empirisk spørgsmål.

Det er denne relationelle, anti-essentialistiske og anti-deterministiske ontologi, der ligger til grund for teknologisynet i afhandlingen. I afhandlingen bruger jeg indsigter fra aktørnetværksteorien og postfænomenologien til at belyse to beslægtede, men alligevel forskellige problemstillinger, der ligger i forlængelse af forskningsspørgsmålene. Lad mig uddybe hvordan.

Den første problemstilling udspringer af en aktørnetværksteoretisk erkendelsesinteresse i at undersøge, hvordan virtuelle laboratorier bliver konstrueret som en aktør i skolen. Med aktørnetværksteorien får jeg et blik for, hvordan stabiliseringen af virtuelle laboratorier ikke er en naturgiven bevægelse, men et resultat af kontinuerlige translationsprocesser og kampe mellem aktører med forskellige forståelser og agender. Den aktørnetværksteoretiske antagelse er, at når virtuelle laboratorier bliver en central alliancepartner i naturfagsundervisningen, så bliver naturfag noget andet, end det ellers ville være. Med andre ord har brugen af virtuelle laboratorier en betydning for, hvordan naturfag bliver konstrueret eller praktiseret, og hvad vi forstår ved naturvidenskab.

Den anden problemstilling, som er informeret af aktørnetværksteorien, er spørgsmålet om, hvilke læringspraksisser der bliver skabt med virtuelle laboratorier. Læringsynet i afhandlingen udspringer af en sociomateriel forståelse af læring, der lægger afstand til et mere individcentreret læringsyn. I denne optik forstås læring som en praksis, der bliver konstrueret gennem

aktørnetværksforbindelser mellem lærer, elever, teknologier og materialiteter i den situerede undervisning.

Den tredje problemstilling tager udgangspunkt i det postfænomenologiske spørgsmål, om, hvilke teknologimedierede relationer mellem mennesket og verden der bliver skabt med virtuelle laboratorier. Udgangspunktet for postfænomenologien er, at der sker noget med vores adgang til og forståelse af verden, når den bliver medieret gennem en teknologi som et virtuelt laboratorium. Med postfænomenologien zoomer jeg ind på relationen mellem menneske, teknologi og verden for at give en detaljeret beskrivelse af, hvordan det virtuelle laboratorium ændrer elevernes perception af og erfaringer med verden.

I det følgende kapitel udfolder jeg, hvilke indsigter fra postfænomenologien og aktørnetværksteorien, der informerer afhandlingen. Først vender jeg mig mod postfænomenologien.

## 2.1 Indsigter fra postfænomenologien

I artikel 3 (Lisborg & Tafdrup, under udgivelse) undersøger jeg og min medforfatter, hvordan det virtuelle laboratorium medierer elevernes kropslige oplevelse og verdensopfattelse. Dette gør vi med udgangspunkt i postfænomenologien, der beskæftiger sig med, hvordan teknologier medierer vores opfattelse af verden på bestemte måder (Verbeek, 2005).

I afhandlingen er jeg særligt inspireret af grundlæggeren af postfænomenologien, Don Ihdes, tænkning. Ihde bygger videre på fænomenologien og kropsfænomenologien, som den er formuleret af ophavsmanden Maurice Merleau-Ponty. Merleau-Ponty indsætter *kroppen* som det centrale for den menneskelige erfaring og intentionalitet. Med begrebet egenkroppen peger han på, at vores eksistens er kropsligt forankret, da vi oplever og perciperer verden via kroppen. Merleau-Ponty gør op med dualismens forestilling om, at kroppen og sindet er to adskilte størrelser, da vores erfaringer i og med verden er ubrydeligt knyttet til kroppen (Thøgersen, 2004). Intentionalitet og perception er således koblet sammen, da mennesket er i verden som et kropsligt væsen, og verden fremtræder for os gennem vores kropslige perception. Mennesket tilegner sig løbende en kropslig praksisforståelse, som vi handler i verden på baggrund af, hvilket Merleau-Ponty kalder *kropsskemaer*. De materialiteter, som vi interagerer med, kan gennem tilvænnning indoptages kropsligt og blive en del af vores kropsskema og hermed udvide vores perceptionsfelt (Merleau-Ponty, 2009). Ihdes postfænomenologi tager afsæt i Merleau-Pontys forståelse af, hvordan genstande kan inkorporeres kropsligt og blive en del af vores perception og

verdensforståelse. Han udvider denne forståelse til at inkludere, hvordan *teknologier* former og muliggør bestemte verdensforståelser (Olesen et al., 2021).

Ihde trækker desuden på en stærk inspiration fra Martin Heideggers teknologiforståelse. I sin berømte værktøjsanalyse i *Varen og Tid* (2007) viser Heidegger, hvordan teknologier kan trække sig tilbage fra menneskets opmærksomhed, når de indgår i konkrete gøremål som et skrivetøj, der bliver brugt til at skrive et brev til en kær ven. Her træder bevidstheden om skrivetøjet i hånden i baggrunden, da vi er opslugte af forbindelsen til vennen via skrivningen. Når teknologier lader mennesker indgå i en umiddelbar kontakt til verden, hvor man absorberes i aktiviteten, så bliver teknologien *vedhåndenværende* (zuhanden). Men hvis skrivetøjet knækker eller på anden vis ikke er anvendeligt mere, så træder det frem som *forhåndenværende* (vorhanden) (Heidegger, 2007). I vores omgang med teknologi møder vi ikke kun ubrugelighed, men også andre former for genstridighed, der får det forhåndenværende til at træde i forgrunden (Tække, 2014).

Heideggers beskrivelse af vedhåndenværende og forhåndenværende viser, hvordan teknologier er til stede i relationen mellem menneske og verden. Ihde bygger videre på Heideggers forståelse af, hvordan teknologier former vores perception af verden. Han taler om *teknologiske medierets intentionalitet*, der peger på, at når verden perciperes gennem en teknologi, så medieres verden gennem denne teknologi (Verbeek, 2005). Med andre ord, så er teknologier *transformative mediatorer*, der ændrer vores måde at forstå, erfare og interagere med verden på (Rosenberger, 2018). Teknologimediering former således kontakten mellem mennesket og verden, og med Verbeeks ord: "(...) they determine how human beings can be present in the world, and the world to them" (Verbeek, 2005, s. 116).

## Det virtuelle laboratorie og medierede relationer

Ihde udvikler et begrebsapparat til at undersøge, hvordan forholdet mellem menneske og teknologi udfolder sig på forskellige måder. Han formulerer fire former for teknologirelationer, der medierer vores perception af verden: *embodied*, *hermeneutisk*, *alterity* og *baggrundsrelationer*. I artikel 3 (Lisborg & Tafdrup, under udgivelse) beskæftiger vi os med den hermeneutiske relation og videreudvikler denne til at indbefatte en ekstra verdens-relation. Men der er også andre teknologirelationer på spil, når eleverne perciperer verden gennem det virtuelle laboratorie, som vi ikke berører i artiklen. I den følgende introduktion af Ihdes teknologirelationer trækker jeg på empiriske eksempler fra mit feltarbejde for at

vide, hvordan forskelligartede relationer er til stede i elevernes interaktion med det virtuelle laboratorium.

Ihde advokerer for, at teknologimedieringen befinder sig i et spændingsfelt mellem total transparens, hvor teknologier trækker sig tilbage fra vores bevidsthed, og en ikke-transparens, hvor teknologien ikke tillader en interaktion med verden, men alene med teknologien selv (Ihde, 1990; Verbeek, 2005).

I den ene ende af skalaen er *embodied relationer*, der er kendetegnet ved fuld transparens. Her bliver teknologier indlemmet i vores kropsskema gennem tilvænning og bliver en del af *vores kropslige erfaring af verden* (Olesen et al., 2021, s. 126). Ihde illustrerer denne relation med den analog teknologi briller, der bliver transparente over tid, og bliver en umærkelig del af vores perception. Den uerfarne brillebruger skal først gøre sig bekendt med den nye måde at erfare verden på, hvilket kan være forbundet med et vist ubehag og desorientering. Men efter lidt tilvænning bliver brillerne indoptaget i den kropslige perception og bliver en naturlig del af brugerens verdensorientering (*embodied*) (Ihde, 1990). De er således blevet vedhåndenværende med Heideggers vokabular. Denne form for teknologirelation formaliserer Ihde som: (Jeg-teknologi) → verden.

Når eleverne arbejder i de virtuelle laboratorier, så gør de det via en bærbar computer. Det er en teknologi, som eleverne tydeligvis har inkorporeret som en del af deres kropsskema, hvilket fremgår af følgende beskrivelse fra mit feltarbejde:

Jeg står med kameraet bagerst i klassen og filmer. Eleverne sidder på rækker, der vender mod tavlen og læreren, og jeg kan se elevernes baghoveder og computerskærme. Stort set alle elever har en bærbarcomputer foran sig med skærmen slået op. Oppe ved tavlen er læreren i gang med at fortælle om begreberne entalpi og entropi, som eleverne skal beskæftige sig med i Labster-simuleringen bagefter. En dreng, der sidder på rækken foran mig, har skriveprogrammet Word åbent. Hans hænderne glider hurtigt hen over tasterne, mens han tager noter i et word-dokument til det, som læreren taler om. Efter gennemgange på tavlen skriver læreren navnet på den simulation, som eleverne skal arbejde med. Drengen klikker sig hurtigt ind på Labsters hjemmeside, som er gemt i hans historik. Han klikker sig let vej hen til den rigtige simulation, trykker på start. Simulationen

loader og efter lidt tid, går den i gang. (Videoobservation, 27.01.2020)

Som det fremgår af beskrivelsen ovenfor, så er elevens fokus rettet både mod computerskærmen og læreren. Lærerens forklaringer bliver internaliseret og inkskriberet via omformningen af de sagte ord til bogstaver i et Word-dokument. Computeren er også indgangen til det virtuelle laboratorie, som eleven ubesværet navigerer hen til, og som søgehistorikken gør det endnu lettere at tilgå. Den kropsliggjorte relation opstår, som vist med elevens håndtering af computeren, gennem en tilvænning og kropslig erfaring med teknologien. Langt det meste af elevernes skolearbejde foregår via computeren, og i løbet af en skoledag tilgår de en række af digitale platforme såsom e- og i-bøger, skriveprogrammer og Aula. Det at kunne mestre eller kropsliggøre computeren er således en central kompetence for det at kunne begå sig som elev i skolen og kunne interagere med det virtuelle laboratorie (det medie, som VL virker gennem).

Den *hermeneutiske relation* peger på en teknologimediering, hvor teknologien ikke i sig selv indeholder kapaciteten til at skabe transparens. Den hermeneutiske teknologirelation er funderet på teknologiske repræsentationer af verden, hvilket kræver, at teknologien skal aflæses, for at der kan skabes transparens (Ihde, 1990). Ihde bruger termometeret som eksempel på en hermeneutisk relation. I stedet for at stikke min hånd ud gennem vinduet for at mærke kulde, så aflæser jeg termometeret for at finde ud af, hvad temperaturen er. Selvom denne aflæsning kan forekomme næste ubemærket (kropsliggjort), så er det den hermeneutisk aflæsning, der sætter mig i stand til at afkode termometerets verdensreference og erfare, at det er koldt udenfor. På denne måde bliver teknologien en oversættelsesteknologi mellem mennesket og verden. Ihde fremskriver denne relation som: Jeg → (teknologi-verden).

I artikel 3 viser vi, hvordan den hermeneutiske relation er fremtrædende, når eleverne perciperer verden gennem det virtuelle laboratorie, og vi tilføjer en ekstra verdens-relation til Ihdes oprindelige skematisering. Den udvidede hermeneutiske relation fremskriver vi: Jeg → (*verden*-teknologi-verden). Når eleverne interagerer med det virtuelle laboratorie, så gør de det i en dobbelt betydning: De indgår både i en relation med teknologien, som det virtuelle laboratorie virker gennem (computeren), og med virtuelle entiteter i det virtuelle laboratorie (teknologier i teknologien).

I forhold til sidstnævnte så interagerer eleverne med forskellige repræsentationer af virkelige fænomener i det virtuelle laboratorie såsom lydbølger, repræsenteret ved en bølgende linje, og virtuelle måleinstrumenter, kolber og pipetter.

Visualiseringernes referencer til verden kræver, ligesom med termometeret, en hermeneutisk fortolkning for at blive meningsfulde. At kunne udlede noget omkring bølgers egenskaber ved at interagere med og percipere en visualisering af en bølgende linje kræver en aflæsning. Det samme gør sig gældende, når eleverne interagerer med virtuelle materialiteter og instrumenter, da de virtuelle repræsentationer, ikke nødvendigvis ligner eller opfører sig ligesom de fysiske objekter, som eleverne har kropslig erfaring med fra skolelaboratoriet. Eleverne skal således først lave forbindelser mellem den fysiske verden og den virtuelle – det første led af relationen *verden-teknologi*.

Eleverne kan ikke nøjes med at skabe forbindelser mellem verden og teknologien, men må også skabe en forbindelse tilbage til verden – det andet led i relationen *teknologi-verden*. Når eleverne har øvet sig i en laboratorieprocedure eller fået viden om et naturvidenskabeligt fænomen i det virtuelle laboratorie, må de efterfølgende koble denne viden til et andet vidensdomæne såsom det fysiske laboratorie eller andre læringsaktiviteter.

Som vi viser i artiklen, er det ofte ikke let for eleverne at lave de hermeneutiske oversættelser, og de oplever en genstridighed eller ikke-transparens, der gør det svært at skabe en meningsfuld forbindelse mellem både *verden-teknologi* og *teknologi-verden*. Med den posthumane læringsforståelse (Hasse, 2020; 2019) argumenterer vi for, at de læringspraksisser, der bliver skabt med det virtuelle laboratorie, er en samskabelse mellem teknologier og mennesker i en kulturel kontekst. Eleverne trækker eksempelvis på deres kropsliggjorte tidligere erfaring med at udføre eksperimenter, og det er gennem interaktionen med andre elever og læreren, at de finder ud af, hvad der virker og ikke virker i det virtuelle laboratorie. Det er gennem disse hermeneutiske læringsstrategier, at eleverne kan lære at afkode det virtuelle laboratorie.

I den anden ende af skalaen er *alterity-relationer*, hvor teknologien ikke faciliterer en relation mellem menneske og verden, men alene mellem menneske og teknologi. Teknologien får en *kvasi-andethed*, da det bliver oplevet, som om teknologien har et liv for sig selv. Ihde bruger videospillet som eksempel på en alterity-relation, da der er en fornemmelse af, at man interagerer med noget andet end sig selv – *den teknologiske konkurrent* (Ihde, 1990, s. 110). Selvom teknologier i en alterity-relation kan forekomme at have deres egen intentionalitet, så er det en kvasi-andethed, da teknologier ikke kan være til stede som en virkelig person (Verbeek, 2005). Denne oplevelse af kvasi-andethed er blevet mere fremtrædende med den moderne computerteknologi, hvor brugerflader ofte imiterer en form for menneskelig relation såsom en chatrobot (Olesen et al.,



2021). Ihde formaliserer alterity-relationen således: Jeg → teknologi (-verden). Her træder teknologien i forgrunden, og verden bliver oplevet som baggrund for relationen mellem menneske og teknologi.

De interaktive og spilbaserede elementer i de virtuelle laboratorier kan mediere en oplevelse af at interagere med en form for menneskelig andethed. Denne alterity-relation er særligt fremtrædende med Labster-simuleringerne, hvor der er appliceret forskellige spilbaserede elementer såsom en mission, eleverne skal fuldføre, interaktioner med avatarer og et pointsystem. Nedenfor er et eksempel på en situation, hvor eleverne interagerer med simuleringen som værende en form for kvasi-andethed:

Eleverne Benjamin og Jakob arbejder sammen om Labster-simuleringen "Thermodynamics: Solve the challenge of storing renewable energy" på Jakobs computer. Dr. Ones robotstemme guider eleverne gennem en eksperimentel procedure, hvor de er inde i et kalorimeter. De bliver "teleporteret" fra kalorimeteret tilbage til arbejdsbordet i laboratoriet. Benjamin siger ironisk: "Thank you, dr. One". Tilbage i laboratoriet skal de svare på et spørgsmål relateret til deres arbejde med kalorimeteret. De svarer rigtigt, og der popper en besked op, hvor der står, at de har klaret det "excellent". Benjamin udbryder: "Excellent, godt gået" og griner. Jeg afbryder deres arbejde og spørger dem, hvad det betyder for dem, at der er et pointsystem. Jakob svarer: "At man ikke bare kan svare på alle spørgsmålene og få dem forkert". Jeg spørger om det betyder noget for deres måde at svare på? Benjamin siger: "Ja, man vil gerne svare rigtigt på alle sammen, så man får en megagod score, og så kan man sige til sine venner, du er fucking lort (mens han laver håndtegn og griner), ej måske ikke helt sådan". Vi griner alle tre, og jeg spørger: "Men det gør et eller andet?". Benjamin: "Ja, det fremmer konkurrenceelementet. (Videoobservation, 30.01.2020)

I sekvensen ovenfor bliver robotten Dr. One en form for menneskelig andethed, da den direkte henvender sig til eleverne. Eleven responderer på robotten ved at gå i dialog med den, dog med en ironisk distance, der peger på den kvasi-andethed, som er til stede. Men ikke desto mindre, så medierer teknologien en oplevelse af at være i relation med noget andet, der ligger uden for eleverne selv. Eleverne er ligeledes optaget af at svare rigtigt på spørgsmålet og få en høj score, og som Benjamin siger, så fremmer pointsystemet et *konkurrenceelement*. Herved

fremtræder det virtuelle laboratorium som en *teknologisk konkurrent*, hvor det at få en høj score influerer på elevernes måde at agere på.

Der er dog også flere af eleverne i mit feltarbejde, der i højere grad er optaget af at gennemføre simuleringen hurtigt end at svare rigtigt og få en høj score. Dette kommer til udtryk ved, at de klikker på tilfældige svarmuligheder, hvis de ikke kender det korrekte svar, i stedet for eksempelvis at tilgå teorien, diskutere med hinanden eller spørge læreren om hjælp. Denne form for ageren skal sandsynligvis ses i lyset af, at eleverne interagerer med det virtuelle laboratorium i en skolekontekst. I modsætning til et computerspil, som eleverne spiller i deres fritid og aktivt vælger til, så er interaktionen med det virtuelle laboratorium en bunden opgave, hvilket formentlig har indflydelse på deres indlevelse og engagement. Flere elever påpeger desuden i interviewene, at det ville øge deres engagement, hvis simuleringerne havde en bedre grafik og flere spilbaserede elementer. Der er således flere faktorer, der er med til at reducere elevernes oplevelse af en kvasi-andethed i relationen med det virtuelle laboratorium.

Den sidste relation, som Ihde skriver frem, er *baggrundsrelationer*. Baggrundsrelationer formidler hverken en relation til teknologien eller verden, men former konteksten af vores oplevelse (Verbeek, 2005). Ihde skriver, at teknologien trækker sig tilbage fra vores opmærksomhed og falder i baggrunden. Disse teknologier kan karakteriseres som *present absent*, da de ubemærket bliver en del af vores perception (Ihde, 1990, s. 109). I vores dagligdag oplever vi flere baggrundsrelationer såsom køleskabe, varmesystemer og automatisk belysning, der er selvregulerende og ubemærket tænder og slukker. Det er kun, når teknologien svigter, og maden bliver fordærvet, det bliver koldt, eller lyset ikke tænder, at vi bliver opmærksomme på relationen til teknologien. Ihde opstiller denne relation som: Jeg → (teknologi–verden).

Der er forskellige baggrundsrelationer til stede i klasselokalet, der er den fysiske kontekst for elevernes arbejde med virtuelle laboratorier, såsom varme- og udluftningssystemer. Indeklimaet og temperaturen har selvsagt en betydning for et godt læringsmiljø, og det ville formentlig have en væsentlig betydning for læringssituationen, hvis klimaanlægget svigtede. Jeg har dog ikke haft fokus på baggrundsrelationerne i mit feltarbejde, da de kort fortalt forblev i baggrunden og ikke gjorde eksplicit opmærksom på sig selv eller blev italesat af lærer og elever som betydningsfulde.

Som vist er der forskellige teknologirelationer til stede i interaktionen mellem eleverne og det virtuelle laboratorium, der på forskellig vis former elevernes

erfaring og oplevelse med verden. Den embodied relation ses i forhold til elevernes kropslige erfaring med at bruge computeren (det medie, som det virtuelle laboratorie virker gennem). Den hermeneutiske relation er fremtrædende i elevernes arbejde med at afkode de virtuelle laboratorier og interagerer med forskellige visuelle repræsentationer, hvilket kræver hermeneutiske oversættelser i forhold til både relationen mellem verden-teknologi og teknologi-verden. Alterity-realtionen gør sig gældende, når eleverne interagerer med det virtuelle laboratorie som en menneskelig andethed og teknologisk konkurrent.

Det postfænomenologiske perspektiv giver en forståelse for, hvordan eleverne perciperer verden, når de arbejder med de virtuelle laboratorier, og hvilke muligheder og udfordringer der opstår med denne form for mediering. Postfænomenologien har fokus på en kort kæde af relationer – den mellem menneske, teknologi og verden. Med aktørnetværksteorien får jeg øje for en længere kæde af sociomaterielle relationer, som er konstituerende for, hvordan virtuelle laboratorier bliver konstrueret som aktør i skolen. I det næste beskriver jeg, hvilke indsigter fra aktørnetværksteorien, der danner grundlag for min tilgang til at forstå og studere det virtuelle laboratorie.

## 2.2 Indsigter fra aktørnetværksteorien

I artikel 1 (Lisborg, upubliceret) og 2 (Lisborg, 2021) trækker jeg eksplicit på perspektiver fra aktørnetværksteorien og det bredere felt for Science and Technology Studies. Men grundet begrænset længde og særlige formater for artiklerne, har jeg kun i nogen grad udfoldet de indsigter, der har formet min tilgang til genstandsfeltet. Det er derfor mit ærinde med dette afsnit at give læseren et sammenhængende indblik heri.

Der er særligt tre argumenter fra den aktørnetværksteoretiske og den bredere STS-litteratur, som har formet afhandlingens teknologiforståelse, og disse er, at: *teknopraksisser er netværkskonstruktioner*, *teknologier er ikke uskyldige* og *teknologier er multiple*. Mens de to første argumenter bygger på den tidlige generation af aktørnetværksteorien formuleret af Bruno Latour, Michel Callon og andre fremtrædende ANT-forskere, så trækker det sidste argument på indsigter fra post-ANT, der udvider forståelsen af fænomeners multiple karakter, udfoldet af etnograf og filosof Annemarie Mol.

## Teknopraksisser er netværkskonstruktioner

Aktørnetværksteorien er et radikalt opgør med den gængse sociologiske forståelse af det sociale som en (menneskelig) samlet enhed eller et stabilt felt – en forståelse, der blev etableret med Emilie Durkheim, og som har præget den sociologiske tænkning siden (Blok & Jensen, 2009; Latour, 1996; 2005). En klassisk sociologisk analyse af det virtuelle laboratorie i skolen ville beskrive, hvordan de sociale faktorer i klassen er afgørende for, hvilke læringspraksisser der bliver skabt. Men denne forståelse af det sociale som noget, der kan forklares på baggrund af sociale karakteristika såsom køn og klasse, er fejlagtig ifølge aktørnetværksteorien. Her opfattes det sociale derimod som netværkskonstruktioner, der udspiller sig som et komplekst og fortløbende relationsarbejde mellem heterogene aktører i netværk. Som Latour formulerer det: ”Den (ANT) ønsker ikke at tilføje sociale netværk til en samfundsteori, men at gendanne samfundsteori ud fra netværk” (Latour, 1996, s. 48).

Med andre ord, så skal sociologen ikke skabe stabiliseringer (kategoriseringer), men optrevle den kæde af relationer eller associationer, der er grundlaget for (delvis) stabilisering af sociale fænomener (Latour, 2005). Det interessante spørgsmål i et aktørnetværksteoretisk perspektiv er, hvordan virtuelle laboratorier bliver en aktør i skolen; hvilke netværkskonstruktioner er det, der hele tiden konfigurerer og rekonfigurerer det virtuelle laboratorie som fænomen? Det er denne aktørnetværksteoretiske erkendelsesinteresse, der ligger til grund for undersøgelsesspørgsmålet og analysen i artikel 1 (Lisborg, upubliceret).

I artikel 1 udfolder jeg historien om, hvilke relationer, eller med ANT's vokabular, translationsprocesser, der har betydning for, at virtuelle laboratorier bliver stabiliseret som en del af naturfagsundervisningen i skolen. Dette fortløbende stabiliseringsarbejde er ikke en fredsommelig proces, men derimod en kamp mellem forskellige aktørers handlingsprogrammer, hvor den aktør, der formår at etablere flest allierede, vinder definitionsretten, i hvert fald for en tid (Munk, 2021). Disse kampe om at gøre sit handlingsprogram stærkest udkæmpes ofte ikke som en højtråbende diskussion mellem to skarpt optrukne frontlinjer, men snarere som et langstrakt relationsarbejde, hvor det lykkes en aktør at skabe en problematisering og løsning, som flere aktører kan se en fordel i at knytte an til, et obligatorisk passagepunkt (Callon, 1987). Dette er også tilfældet med stabiliseringen af virtuelle laboratorier som aktør i skolen. Virtuelle laboratorier bliver udråbt som løsningen på et behov for at revitalisere naturfagsundervisningen, og gennem etableringen af alliancer og inskriptioner bliver det attraktivt for flere aktører at interessere sig for at integrere virtuelle laboratorier i naturfagsundervisningen.

Som jeg viser i artiklen, så kommer stabiliseringen af virtuelle laboratorier i skolen flere steder fra og er et resultat af et mangefacetteret og komplekst relationsarbejde. Den aktørnetværksteoretiske forståelse af det sociale som netværkskonstruktioner implicerer en reorientering i forhold til forståelsen af lokale interaktioner. For at forstå konstruktionen af den lokale praksis må forskeren ”redistribuere det lokale”, som Latour formulerer det (2005, s. 191ff). Det lokale må forstås som en praksis, der er formet af aktørnetværk, som både geografisk og tidsligt er fjernt fra den lokale interaktion. Når virtuelle laboratorier bliver en del af i naturfagsundervisningen, så kobler den lokale praksis sig til aktørnetværk, der er konstitueret på tværs af geografiske og tidslige grænser, og som rækker langt ud over klasselokalet (Latour, 1996). Naturfagsundervisningen i skolen bygger på en lang række stabiliseringsprocesser, der er etableret (eller black boxed) gennem forhandlinger i andre aktørnetværk, såsom konstruktionen af faggrænser og måden at organisere skole på (opdeling i lektioner, klasser osv.). Disse konstruktioner er ikke til forhandling, ej heller i forgrunden, i undervisningssituationen, men ikke desto mindre udgør de en organiserende ramme for de lokale interaktioner. Den måde, hvorpå virtuelle laboratorier bliver enacted som aktør i skolen, må forstås som et netværk af tråde, der ikke er fysiske eller tidsligt forbundet, men bliver bundet sammen i den konkrete interaktion mellem aktører (Latour, 1996).

### **Teknologier er ikke uskyldige**

Det andet aktørnetværksteoretiske argument, som ligger til grund for min forståelse af virtuelle laboratorier i skolen, er, at teknologier, eller den måde vi indretter os på materielt i verden, ikke er uskyldig, men har en konstituerende betydning for, hvad der bliver virkeliggjort eller praktiseret som naturfag i skolen. Jeg berører dette argument i konklusionen og diskussionen i artikel 1, men vil her udfolde det yderligere.

I artiklen *Technology is society made durable* (1990) demonstrerer Latour, hvordan en hoteldirektør formår at minimere antallet af bortkomne nøgler. Problemet er, at flere gæster lægger nøglen i deres lomme, hvilket betyder et betragteligt antal af mistede nøgler. Ved at sætte en stor metalklods fast til nøglen, bliver det ukomfortabelt for gæsterne at trave byen rundt med nøglen i lommen, og de afleverer den derfor i receptionen (Latour, 1990). Det simple eksempel med hotelnøglen viser, at den måde, vi konstruerer verden på materielt, har en konstituerende betydning for den sociale praksis. Det er ikke nok, at hoteldirektøren beder sine gæster om at efterlade nøglen i receptionen – det er først, når selve materialiseringen af nøglen ændrer sig, at det har en stabiliserende effekt på adfærden. Med andre ord er sociale konstruktioner ikke stabile, hvis de

kun er af social eller diskursiv karakter. De er nødt til at være sociomaterielle i form af teknologier og inskriptioner, der ændrer og konstituerer bestemte forståelser og handlinger.

Overført til handlingens genstandsfelt, så er det ikke uskyldigt, når en uddannelsesteknologi som virtuelle laboratorier bliver en del af naturfagsundervisningen, da den bliver konstituerende for, hvad der bliver materialiseret eller praktiseret som naturvidenskab. Når det virtuelle laboratorium bliver en del af undervisningen, bliver naturfag konstrueret og virkeliggjort på en anden måde end førhen. Implementeringen af VL er således med til at drive den kontinuerlige konstruktion og forhandling af, hvad naturvidenskab er, videre. Dette argument bliver udfoldet og eksemplificeret i Steven Shapin og Simon Shaffers bog *Levitan and the Air-Pump* (1985), hvor de beskriver kontroversen mellem filosofen Thomas Hobbes og kemikeren Robert Boyle over Boyles eksperiment med en luftpumpe i det syttende århundrede. Som jeg skitserer i artikel 2 (Lisborg, 2021), repræsenterede de to videnskabsmænd to uforenelige forståelser af, hvordan man bedriver videnskab. Boyle så eksperimentet som fundamentet for at producere videnskabelige facts, der kunne valideres gennem reproduktion. Hobbes mente derimod, at naturvidenskabelige fænomener skulle studeres i deres naturlige habitat og ikke i et kunstigt og manipuleret miljø.

Shapin og Schaffer viser, hvordan Boyle har succes med at gøre sit program så stærkt, at eksperimentet ender med at blive konstituerende for forståelsen af moderne naturvidenskab, som vi kender det i dag. Det er således ikke naturgivent, hvad naturvidenskab er. Det er derimod forskellige politiske og sociale omstændigheder og kampe, der er bestemmende for, hvilke forestillinger der vinder indpas. Implementeringen af virtuelle laboratorier er et resultat af en kamp mellem forskellige naturvidenskabsforståelser, som beskrevet i artikel 1 (Lisborg, upubliceret), hvor det, der bliver virkeliggjort som naturfag i den lokale undervisning, har en konstituerende betydning for, hvilken naturvidenskabsforståelse eleverne forlader skolen med og hermed for vores fælles forståelse af naturvidenskab.

## **Teknologier er multiple**

Det tredje argument bygger på den post-aktørnetværksteoretiske forståelse af, at teknologier er multiple og konstruerer forskellige virkeligheder. Denne argumentation er formuleret af Annemarie Mol (2002), der med udgangspunkt i et etnografisk studie af åreforkalkning viser, hvordan sygdommen eksisterer på forskellige måder i forskellige praksisser på samme hospital. Forskellige fagligheder har et forskelligt blik på sygdommen: Mens laboranten ved at studere

vævsprøver i et mikroskop skaber én version, så bliver der skabt en anden i samtalen mellem læge og patient. De to versioner udelukker ikke hinanden, men laboranten og lægen producerer forskellige overlappende måder, hvorpå sygdommen virkeliggøres og eksisterer (Munk, 2021). Pointen er, at det samme fænomen bliver praktiseret i multiple, men overlappende og gensidigt afhængige versioner (Mol, 2002). Mol gør op med den tidlige aktørnetværksteoretiske opfattelse af, at konstruktionen af et fænomen er et resultat af en kamp mellem aktører om at lykkes med deres konstruktion på bekostning af andre. Hun advokerer for, at virkeliggørelsen (enactment) af et fænomen ikke handler om, at en version skal vinde over andre, men at det bliver virkeliggjort og materialiseret i forskellige kontekster, der eksisterer side om side uden at være i kamp med hinanden (Munk, 2021)<sup>4</sup>.

I artikel 1 (Lisborg, upubliceret) fremskriver jeg de kontroverser og kampe, der er omkring stabiliseringen af virtuelle laboratorier i skolen. Men afhandlingen bygger på en forståelse af, at konfigurationen af fænomenet virtuelle laboratorier må anskues bredere end som en kamp mellem modstridende virkeligheder, hvor den ene kun kan eksistere på bekostning af den anden. Med andre ord er det virtuelle laboratorie multipelt nok til, at det kan betyde noget forskelligt i praksis.

Multipliciteten gør sig eksempelvis gældende i forhold til, at forskellige former for virtuelle laboratorier er designet på baggrund af forskellige lærings- og naturfagsopfattelser (Lisborg, 2021). Multipliciteten gør sig også gældende i undervisningen, hvor de virtuelle laboratorier bliver brugt på divergente måder i forhold til forskellige læringsmål, undervisningsstile og interaktioner, som jeg viser i artikel 4 (Lisborg, 2022). Selvom de virtuelle laboratorier er udformet på baggrund af bestemte design- og læringsprincipper, så kan det ikke forudsiges a priori, hvordan de virtuelle laboratorier virker i praksis. Når en teknologi først kommer ud og lever i klasselokalet, så bliver den ofte virkeliggjort på andre måder, end den var intenderet. Der er således ikke én forståelse eller virkeliggørelse af virtuelle laboratorier, men derimod multiple versioner, der er med til at virkeliggøre og materialisere fænomenet virtuelle laboratorier på

---

<sup>4</sup> Både multiplicitets-begrebet og det postfænomenologiske begreb multistabilitet peger på, at fænomener og teknologier bliver forstået på forskellige måder, men der er forskel på forståelsen af, hvad der er grundlaget for denne multistabilitet eller multiplicitet. Multistabilitet skal forstås som et kulturbegreb, da det er forskellige kulturelle kontekster og forståelser, der ligger til grund for de divergente brugspraksisser. Multiplicitet er derimod et praksisbegreb, hvor multipliciteten opstår som resultat af forskellige sociomaterielle praksisser eller virkeliggørelser.

forskellige og overlappende måder. I afhandlingen undersøger jeg denne konstruktion gennem et flerstedet feltarbejde, hvor konfigurationen af virtuelle laboratorier i skolen bliver skabt i forskellige, men overlappende kontekster (se afsnit 3.1). I det næste afsnit udfolder jeg det sociomaterielle læringssyn, der ligger til grund for afhandlingen.

## 2.3 Et sociomaterielt læringssyn

Et grundlæggende spørgsmål for en afhandling, der beskæftiger sig med læringspraksisser, er, hvordan læring skal forstås. Det er dette spørgsmål, som jeg vil besvare i det følgende.

Som antropolog Catrine Hasse (2020) skriver, så er der en generel konsensus inden for læringsteori om, at læring er en form for proces. Men hvordan denne proces tager sig ud, og hvad eller hvem der influerer denne, er der flere forskellige svar på. Det læringssyn, som jeg abonnerer på i afhandlingen, er en kobling mellem en aktørnetværksteoretisk og postfænomenologisk forståelse af læring, som jeg med en samlet betegnelse benævner *sociomateriel læring*. Jeg tager konkret afsæt i Estrid Sørensens aktørnetværksteoretiske funderede læringsforståelse, som hun formulerer i bogen *The Materiality of Learning* (2009) og Catrine Hasses postfænomenologisk inspirerede læringssyn, som hun skriver frem i bogen *Posthumanist Learning* (2020).

I modsætning til en humanorienteret forståelse af læring, der anskuer læring som en individuel kognitiv bedrift, så forstår jeg læring som en proces, der er influeret af sociale, kulturelle og materielle faktorer. I denne optik kan læringspraksisser ikke separeres fra den materielle og sociale kontekst, da de bliver skabt i den kulturelle sammenfiltning mellem mennesker, teknologier og andre materialiteter.

Med udgangspunkt i sociale robotter og AI argumenterer Hasse for, at der er en grundlæggende forskel på, hvordan maskiner og mennesker lærer, da mennesket er et *ultra-socialt lærende væsen* (Hasse, 2020, s. 26). Mennesket er i en kontinuerlig, kulturel læringsproces, hvor vi er følelsesmæssigt engageret i verden og forsøger at skabe mening på baggrund af vores kulturelle, konceptuelle erfaringer. Vores forudgående læring er rammesættende for, hvordan vi erfarer, og mennesker har således ikke de samme forudsætninger for læring, da dette afhænger af de kulturelle ressourcer, vi har til rådighed. I modsætning til maskinlæring, så trækker mennesket ikke på en *universel bevidsthed*, men en kulturel, fortløbende erfaring. Som Hasse formulerer det, så er konstruktionen af viden: ”a meeting between preceding learning (or acquired potential for conceptual thoughts and



perceptions) and our situated practices with the socio-material surroundings” (Hasse, 2020, s. 59).

På baggrund af det posthumane læringssyn forstår jeg læring som en fortløbende proces, der bliver skabt i mødet mellem elevernes kulturelle ressourcer og den situerede sociomaterielle kontekst. Når elever lærer med virtuelle laboratorier, så trækker de på deres tidligere erfarede konceptuelle forståelser, men samtidig skaber de gennem deres arbejde med at afkode de virtuelle laboratorier nye erfaringer, der er formet af de sociale interaktioner, som de indgår i, teknologien samt andre læringsaktiviteter. Med andre ord, så er det ikke det samme, eleverne lærer, selvom de er del af den samme læringspraksis. I afhandlingen anerkender jeg den kulturelle erfarings betydning for den individuelle læring, men har ikke fokus på, hvordan individuelle kulturelle ressourcer fordrer forskellige potentialer og begrænsninger. Afhandlingens erkendelsesinteresse er, som beskrevet, at udfolde samspillet mellem lærer og elever (den sociale kontekst), de virtuelle laboratorier, andre undervisningspraksisser og materialiteter. Hvor Hasse primært beskæftiger sig med læring som et grundvilkår for menneskets måde at være i verden på, og i mindre grad er optaget af den formelle læring i uddannelse, så beskriver Sørensen, hvordan man studerer læringsteknologier i praksis med udgangspunkt i et sociomaterielt perspektiv. I det følgende udfolder jeg denne sociomaterielle tilgang til læring.

Sørensen er eksponent for en aktørnetværksteoretisk læringsforståelse og gør op med det humancentrerede læringssyn, hvor teknologier bliver opfattet som et værktøj til at opnå et bestemt lærings-output. Som STS-studier har været eksemplariske i at fremvise, så opfører teknologier sig ofte ikke som forventet. Vi skal derfor ikke fokusere på, hvordan vi gerne vil have, at teknologier skal virke, da de skaber læring og samarbejder på måder, vi ikke havde forudset (multiple formationer). Vi skal i stedet spørge til, hvilke former for læringspraksisser, der faktisk finder sted i specifikke sociomaterielle kontekster. Det er således ikke interessant at undersøge, om virtuelle laboratorier bliver brugt i overensstemmelse med de læringsforståelser, som de er designet på baggrund af eller de læringsmål, der står i lærerplanerne, men derimod empirisk at undersøge, på hvilke konkrete og lokale måder det virtuelle laboratorie indgår i forskellige sociomaterielle læringspraksisser, hvor både teknologien (intentionaliteten), mennesker og andre ting har en betydning.

Sørensen tager afsæt i den socialkonstruktivistiske læringsforståelse. Med Lave og Wengers forståelse af praksisfællesskaber (1991) peger hun på, at læring er situeret i en bestemt praksis. Det er derfor mere meningsfuldt at tale om situerede

og lokale læringspraksisser frem for at tale om læring i generelle termer. Hun savner imidlertid en stærkere materialitetsforståelse hos socialkonstruktivisternes<sup>5</sup>. Dette finder hun til gengæld i aktørnetværksteorien, som hun bruger til at udvikle et læringsyn, der både er *situeret* og *sociomaterielt* (Sørensen, 2009). Med afsæt i det generaliserede symmetriprincip (Callon, 1987) peger hun på, at læring må forstås som lokale anordninger eller organiseringer af mennesker og materialiteter. Hvordan læring bliver konstrueret er et åbent ontologisk spørgsmål, som antager forskellige former afhængigt af, hvordan læring bliver *performed* gennem lokale sociomaterielle arrangementer (Sørensen, 2009, s. 131). Denne, med ANT's vokabular, flade ontologi har epistemologiske og metodologiske konsekvenser, da vi ikke a priori kan antage, hvilken rolle teknologier spiller i læringsituationer. Eller som Sørensen skriver: "Definitions are results, not beginnings" (Sørensen, 2009, s. 28).

Sørensen udvikler en *minimal metodologi*, der går på at antage så lidt som muligt på forhånd om, hvad teknologier gør. Hvordan teknologier, mennesker og andre materialiteter spiller sammen, og hvilke læringspraksisser der bliver konstitueret, er alene et spørgsmål, der kan besvares empirisk. I tråd med aktørnetværksteorien fordrer denne metodologi, at man har fokus på *deltagelse*. I stedet for at følge bestemte deltagere, så skal forskere følge *de relationer*, som har en betydning for den læringspraksis, der udfolder sig. Hermed får man blik for, hvilke former for *tilstedeværelse*, bestemte sociomaterielle læringspraksisser er konstituerende for – eller sagt på en anden måde; hvad lærer, elever og teknologier bliver til i forskellige sociomaterielle læringsituationer. Denne empiriske sensitivitet giver mulighed for at få blik for alternative læringspraksisser end dem, vi på forhånd har defineret.

I tråd med Sørensens performative og relationelle læringsyn, forstår jeg læring som en praksis, der bliver konstrueret i lokale, sociomaterielle arrangementer og har multiple former. I modsætning til de kvantitative effektmålingsstudier opstiller jeg ikke kategorier for læring på forhånd, men forholder mig åbent til spørgsmålet om, hvilke situerede læringspraksisser der bliver konstitueret som et resultat af relationer mellem lærer, elever, teknologi og andre materialiteter i mit feltarbejde. Jeg forsøger således at efterleve Sørensens påpegning af, at *definitioner er resultater og ikke begyndelser*.

---

<sup>5</sup> Lave og Wengers (1991) forstår teknologier som værende bærere af en historisk praksisforståelse eller arv, og teknologiforståelse handler om at forbinde sig med denne praksishistorie. I Sørensens optik er denne forståelse af teknologier som alene bærere af en praksishistorik for vag (2009).

Med afhandlingens læringsforståelse på plads, så er det næste skridt at beskrive de metoder, jeg har brugt til at undersøge de to forskningsspørgsmål, hvilket kapitel 3 gerne skal besvare.

## KAPITEL 3. FELT, METODE OG ANALYSE-STRATEGI

Ethnographic research is fundamentally distinct from experimentation; the goal is not to determine how controlled variables account for difference, but to trace and interpret the complex currents of everyday life that comprise our collective lived experience as human beings. (Boellstroff et al., 2012, s. 3)

I dette kapitel udfolder jeg og diskuterer nogle centrale metodiske og empiriske valg, der ligger til grund for afhandlingen. Som beskrevet indledningsvist, så har forskningsfeltet for virtuelle laboratorier i høj grad været optaget af kvantitative effektmålinger i forhold til læringsudbytte og motivation i et mere eller mindre kontrolleret miljø. Min erkendelsesinteresse tager derimod afsæt i en etnografisk inspireret tilgang til at forstå de komplekse og situerede læringspraksisser, der udspiller sig i klasselokalet, samt de forskellige forståelser og oplevelser af det virtuelle laboratorie, der er i feltet.

Etnografien er hyppigt brugt inden for uddannelsesforskningen (Mills & Morton, 2013; Anderson-Levitt, 2011; Levinson & Pollock, 2011; Gordon et al., 2001). De etnografiske uddannelsesstudier spænder bredt fra at studere elevers og læreres levede erfaringer og oplevelser i klasselokalet til at undersøge uddannelsespolitikker, diskurser og ideologier. Uddannelsesetnografien begrænser sig ikke til en bestemt problemstilling eller et bestemt område inden for uddannelsesfeltet, men handler om at studere, hvordan der skabes mening i forskellige uddannelsesmæssige kontekster (Mills & Morton, 2013).

Som jeg citerer antropologen Tom Boellstroffs og hans medforfatter for i starten af kapitlet, så er etnografisk forskning fundamentalt forskellig fra eksperimentstudier, hvor målet er at udlede forskelle på baggrund af målbare og kontrollerede variabler – et eksempel er klassiske effektmålingsstudier med en gruppe, der udsættes for en intervention, og en kontrolgruppe, der ikke gør. Det etnografiske projekt handler derimod om at beskrive de komplekse forhold, der udgør den menneskelige erfaring og oplevelse. Her er parametrene ikke udledt på forhånd, men det er en del af den etnografiske undersøgelse at finde ud af, hvad der har betydning for forståelse af et fænomen.

Formålet med afhandlingen er således ikke at give kvantitative og afgrænsede svar på, om eleverne lærer mere eller er mere motiverede, når virtuelle laboratorier bliver en del af undervisningen. Mit ærind er at producere

detaljerede og situerede beskrivelser af, hvordan lærere og elever skaber mening i mødet med virtuelle laboratorier. Når virtuelle laboratorier indgår i den konkrete undervisning, bliver de brugt og fortolket i specifikke og kontekstbundne kulturelle og sociomaterielle kontekster. Det er, hvad der sker i det konkrete møde mellem lærer, elever og teknologi, der er genstand for min interesse. Den form for viden, som jeg er på jagt efter, kan med antropologen Kirsten Hastrup's ord betegnes som en *relationel viden*, der knytter sig til: "relationer mellem objekter, mellem personer indbyrdes og mellem objekter og personer" (Hastrup, 2006, s. 3). Pointen er, at viden ikke handler om at udlede endegyldige anvisninger for social handlen, men om at undersøge, hvad der *driver den praksis*, der er konstituerende for det specifikke sociale felt (Hastrup, 2006). I tråd med forskningsspørgsmålene udfolder jeg i afhandlingen, hvilke interaktioner og forståelser i forskellige kontekster – både i og uden for klasselokalet – der får betydning for, hvordan virtuelle laboratorier bliver konfigureret som fænomen i skolen. Til at opnå denne indsigt, trækker jeg på etnografien. Hammersly og Atkinson beskriver det at arbejde etnografisk således:

We see the term as referring to a particular method or set of methods. In its most characteristic form it involves the ethnographer participating, overtly or covertly, in people's daily lives for an extended period of time, watching what happens, listening to what is said, asking questions. (Hammersly & Atkinson, 2019, s. 1)

At arbejde etnografisk er her beskrevet som en metodisk tilgang, hvor man som forsker tager del i den praksis, man undersøger. En deltagende observatør *ser hvad der sker, lytter til hvad der bliver sagt og stiller spørgsmål*. I forlængelse heraf skriver antropologen James Spradley (1980), at det er ved at observere og deltage i feltet, at man som forsker begynder at forstå det og kunne stille de rigtige spørgsmål til feltet. Etnografen ved ikke, hvad der er interessant og betydningsfuldt, før hun får en forståelse af, hvad der er konstituerende for det fænomen, hun undersøger.

Denne afsøgende og eksplorative tilgang til feltet gennem deltagelse har også gjort sig gældende for nærværende projekt. Som Mills og Morton (2013) skriver, så har de fleste af os erfaringer med skolen og med undervisning, der former vores blik på og forståelse af feltet. Det gør sig også gældende for mig, der som både tidligere skoleelev og underviser i gymnasiet trækker på et sæt af forforståelser om den praksis, der foregår i skolen samt rollen som underviser. Disse erfaringer er medskabende for min tilgang til feltet og forståelse heraf, men det er gennem feltarbejdet, at jeg har fået en konkret indsigt i de situerede

læringspraksisser med virtuelle laboratorier og lærere og elevers erfaringer og oplevelser. Fokus for projektet har ændret sig i takt med denne indsigt. Ligesom genstandsfeltet ikke var givet på forhånd, så er spørgsmålet om, hvilke metoder der bedst giver mig adgang til feltet, løbende blevet besvaret og udfordret i takt med, at feltarbejdet skred frem.

I kapitlet tager jeg afsæt i tre metodiske udfordringer. Den første knytter sig til, *hvad* jeg har valgt at gøre til en del af feltet. Den anden er relateret til, *hvordan* jeg får adgang til mit felt. En konkret metodisk udfordring, der knyttede sig hertil, er at få eleverne til at genkalde sig deres erfaringer og oplevelser med det virtuelle laboratorie. Den tredje omhandler, *hvilke* tematikker jeg har valgt at gøre til genstand for mine analyser. Da det er en artikelbaseret afhandling, hvor artiklerne udgør selvstændige bidrag, vil der være en vis redundans fra metodebeskrivelserne i artiklerne, men jeg vil her forsøge at give en mere sammenhængende indføring og diskussion af afhandlingens empiriske og metodiske grundlag.

### 3.1 Et flerstedet feltarbejde

Jeg vil starte med det første spørgsmål, der omhandler, hvad jeg har gjort til en del af feltarbejdet. Hvorfor er dette spørgsmål interessant? Det er det fordi, et felt ikke er en objektiv og afgrænset størrelse, jeg som forsker kan gå ud og lokalisere og derefter studere. Der er ingen klar grænse mellem, hvad der er en del af feltet for virtuelle laboratorier i skolen, og hvad der ikke er. Det er derimod et metodisk spørgsmål, hvad man gør til en del af feltet, hvilket implicerer både at stille spørgsmålstejn ved, hvad feltet er, samt at udvide definitionen heraf. Som Hastrup skriver, så lader det empiriske objekt sig ikke let afgrænse: ”fordi der kan altid trækkes nye forbindelser og udpeges flere forudsætninger (...)” (Hastrup, 2010, s. 15). Jeg gør mig derfor heller ingen illusioner om, at jeg med mit feltarbejde har afdækket alle tænkelige *forbindelser* og *forudsætninger*, der er konstituerende for konfigurationen af virtuelle laboratorier i skolen. Men jeg vil derimod tilstræbe kriteriet om *transparens* i forhold til at beskrive og begrunde, *hvad* jeg har gjort til en del af feltet.

Traditionelle etnografiske studier består af et længerevarende feltarbejde på en geografisk lokation. Denne konvention er blevet udfordret af et paradigmeskift inden for etnografien, hvor et fænomen ikke kan forstås som udelukkende lokalt forankret, men derimod som er del af en stadigt mere sammenhængende og globaliseret verden. Dette metodiske skift inden for etnografien betegner antropologen George E. Marcus som *flerstedet etnografi* (1995). Han argumenterer

for, at et fænomen ikke begrænser sig til en lokation, men må studeres *i og gennem* forskellige kontekster, der ikke er fysisk, men substantielt sammenhængende. Inspireret af aktørnetværksteorien advokerer han for, at kulturelle fænomener har et netværkslignede præg. Som forsker må man følge de forskellige relationer og associationer, som er konstituerende for ens analyseobjekt, for at belyse, hvordan tilblivelsen af bredere kulturelle kontekster sker gennem lokale situationer – i modsætning til blot at se lokale kulturelle forhold i lyset af større globale fænomener (Marcus, 1995; Falzon, 2016). Der sker således en geografisk og analytisk decentralisering i etnografien i tråd med Latours (2005) påpegnning af, at det tilsyneladende ”globale” konstrueres og rekonstrueres i lokale mikrointeraktioner på tværs af tidslige og geografiske skel.

Mit feltarbejde har været flerstedet i den forstand, at jeg har fulgt det virtuelle laboratorie som et fænomen, der bliver konstitueret i og har betydning i forskellige kontekster. Ratner og Gad (2019) argumenterer for, at et fænomen ikke er en del af eller konstituerende for en altomfattende kontekst, men at der bliver skabt *partielle sammenhænge*, hvor det bliver forhandlet og enacted i multiple kontekster. I forlængelse heraf forstår jeg virtuelle laboratorier som et multipelt objekt, der bliver konstitueret og forhandlet i forskellige, men delvist sammenhængende kontekster (Mol, 2002). Den analytiske og metodiske konsekvens heraf er, at jeg har studeret virtuelle laboratorier som et fænomen, der ikke alene bliver konstrueret i klasselokalet, men også andetsteds såsom som i de politiske forhandlinger og i EdTech-industrien. Med andre ord rækker den meningsfulde omverden, for det, der sker i klasselokalet, ud over selve skolen.

Det flerstede feltarbejde giver således forskeren en ekstra opgave, som hun ikke havde før, nemlig at kortlægge, hvad det er for et felt, hun undersøger. Dette kan ikke længere afgrænses som et geografisk sted på kortet, men er derimod et netværk af forbindelser, som det er forskerens opgave at optegne og udfolde. Marcus taler om *strategier* for at konstruere sit feltarbejde. Her trækker han eksplicit på ANT og Latours parole om at følge aktøren (Marcus, 1995). I afhandlingen følger jeg, som beskrevet, en læringsteknologis konfiguration i forskellige, men overlappende sammenhænge. Det betyder, at jeg ikke har lavet det samme feltarbejde på alle lokationer, men har brugt divergente metodiske eller pragmatiske greb til at få indsigt i hver enkelt lokation. Jeg har fulgt forbindelser mellem forskellige kontekster, som er konstituerende for den måde, virtuelle laboratorier bliver virkeliggjort på. Tabellen nedenfor giver et overblik over, hvilke kontekster jeg har inkluderet i mit feltarbejde, samt de anvendte metoder.

**Tabel 2:** Kontekster og metoder

Kontekst	Kvalitative interviews	Observation og skærmoptagelser	Dokumentanalyse
<b>Virtuelle laboratorier og skolen</b>	Lærere (10) <sup>6</sup> Elever (14)	Videoobservation (15 lektioner) Skærmoptagelser (9)	
<b>Virtuelle laboratorier og EdTech</b>	Softwareudvikler fra Labster (1)	Workshop for lærere omkring brugen af Labster (afholdt af Labster)	
<b>Det politiske niveau og EdTech</b>	Embedsfolk fra Styrelsen for It og Læring (3)		
<b>Skolen og det politiske niveau</b>	Embedsfolk fra Styrelsen for It og Læring (3) Kommissionsformanden for de skriftlige prøver i biologi (1) Projektleder, Interlab (1)	Webinarer for lærere om virtuelle laboratorier (afholdt af Interlab)	Policy-dokumenter om virtuelle laboratorier
<b>Virtuelle laboratorier og Astra</b>	Konsulent fra Astra (1)	Webinarer for lærere om virtuelle laboratorier (afholdt af Interlab)	

### Virtuelle laboratorier og skolen

Den første forbindelse, som jeg studerer, er den mellem aktører i skolen og det virtuelle laboratorie. Her er fokus på, hvilke lokale og situerede interaktioner og forbindelser der er mellem det virtuelle laboratorie, elever, lærer og andre materialiteter. For at få indsigt i dette konstruktionsarbejde har jeg gjort brug af et etnografisk (filmet) feltarbejde. Jeg har lavet feltarbejde på tre skoler, hvor jeg

---

<sup>6</sup> De ti interviews er med tre lærere (se afsnit 3.4).



har observeret en naturfagslærers undervisning med virtuelle laboratorier i to til tre klasser. Ud over videoobservation har jeg foretaget interviews med lærere og elever og gjort brug af skærmoptagelser til at få indsigt i, hvordan eleverne interagerer med og i det virtuelle laboratorie (feltarbejdet på skolen uddybes senere).

## **Virtuelle laboratorier og EdTech**

Den anden kontekst eller forbindelse, som jeg har interesseret mig for, er, hvordan EdTech-industrien får en betydning for, hvordan det virtuelle laboratorie bliver en aktør i skolen. EdTech-industrien spiller en afgørende rolle for, hvilke digitale læremidler der er tilgængelige og for, hvad læringsteknologi konkret bliver i undervisningen. Når EdTech bliver en del af folkeskolens praksis, så kan undervisning ikke udelukkende studeres som noget, der bliver konstrueret i klassen. Et eksempel herpå er, når læreren Simon fra mit feltarbejde møder Labster på Læringsfestivalen i 2019 og får en interesse for virtuelle laboratorier, som han bringer med sig ind i sin undervisning. For at studere denne forbindelse har jeg deltaget i en workshop for lærere faciliteret af Labster, hvor virksomheden har præsenteret sine virtuelle laboratorier og vist eksempler på, hvordan de kan bruges i undervisningen. Herudover har jeg interviewet en simuleringsudvikler fra Labster om, hvilke didaktiske, pædagogiske og designmæssige principper, de virtuelle laboratorier bygger på.

## **Det politiske niveau og EdTech**

Den tredje forbindelse, jeg undersøger, er den mellem det politiske niveau og EdTech-industrien. Relationen mellem Labster og Børne- og Undervisningsministeriet er central for den politiske bevågenhed, der bliver konstitueret omkring virtuelle laboratorier. Denne interesse bliver manifesteret, eller inskriberet, gennem forskellige strategier og tiltag, der har til formål at stimulere brugen af VL i skolen. For at få indsigt i betydningen af forbindelsen mellem Labster og UVM har jeg interviewet tre embedsmænd i Styrelsen for IT og Læring (STIL), under Børne- og Undervisningsministeriet, der i forskellige perioder har været ansvarlige for ministeriets arbejde med at styrke brugen af virtuelle laboratorier i skolen.

## **Skolen og det politiske niveau**

Den fjerde kontekst, som jeg beskæftiger mig med i afhandlingen, er den mellem skolen og det politiske niveau. Den uddannelsespolitiske agenda har en betydning for, hvad der bliver konstitueret som skolens praksis. Politiseringen af virtuelle laboratorier har manifesteret sig i de politiske initiativer, der er blevet igangsat for

at styrke integrationen af virtuelle laboratorier i natufag. Konkret har jeg foretaget et dokumentstudie af de policy-dokumenter<sup>7</sup>, der omhandler implementeringen af virtuelle laboratorier i skolen. Jeg har suppleret dokumentanalysen med interviewene med embedsfolkene fra STIL samt interviewet kommissionsformanden for de skriftlige prøver i biologi, der er med til at udvikle forsøgsprøver, hvor virtuelle laboratorier indgår. Endelig har jeg interviewet projektlederen af Interlab-projektets indsats i skolen og deltaget i tre webinarer afholdt i forbindelse med projektets afslutning, hvor resultater er blevet lanceret og diskuteret med aktører i skolen.

## **Virtuelle laboratorier og Astra**

Den sidste kontekst, jeg har inkluderet i feltarbejdet, er den mellem det virtuelle laboratorie og det nationale naturfagscenter, Astra, der er en selvejende institution under Børne- og Undervisningsministeriet. Astra har til opgave at styrke og understøtte naturfagsundervisningen på forskellige måder. Astra er en central aktør i den danske naturfagsdebat, der beskæftiger sig med forskellige tematikker på naturfagsområdet, herunder virtuelle laboratorier. Jeg har interviewet en konsulent fra Astra om deres syn på og erfaringer med at bruge virtuelle laboratorier i naturfagsundervisningen. Jeg har desuden deltaget i webinarer afholdt i forbindelse med Interlab-projektet, hvor Astra har holdt oplæg omkring deres forståelse af og erfaringer med virtuelle laboratorier.

## **Feltarbejdet på skolerne**

Den primære del af mit feltarbejde har været på skolerne, hvor jeg har observeret undervisning, skærmoptaget og interviewet lærere og elever. Jeg vil her give en mere udførlig præsentation af de deltagende skoler og lærere samt formatet for feltarbejdet.

På hver af de tre skoler har jeg fulgt en naturfagslærer, der underviser i 8-10. klasse (udskoling). Det er deres undervisning, som jeg har observeret, og dem, jeg har interviewet ad flere omgange. Det centrale udvælgelseskriterium for valg af lærere var, at de havde en interesse i at eksperimentere med at tilrettelægge og afprøve undervisningsforløb med virtuelle laboratorier. Selvom det ikke var et kriterium for udvælgelse, så havde alle tre erfaring med at bruge virtuelle laboratorier forud for feltarbejdet. De deltagende lærere er mænd i alderen 30-40 år og er qua deres alder formentlig mere digitalt kompetente og interesseret i nye

---

<sup>7</sup> For en yderligere beskrivelse af dokumentstudiet, se metodeafsnit i artikel 1 (Lisborg, upubliceret).

læringsteknologier end gennemsnittet af naturfagslærere. Eksempelvis deltager to af lærerne, Simon (skole 1) og Sigurd (skole 3), i Interlab-projektet.

Mit valg af informanter kan kritiseres for ikke at inkludere flere lærertyper og deres erfaringer. Men omvendt er det netop fordi, de deltagende lærere har gåpåmod og engagement i forhold til at eksperimentere med at integrere virtuelle laboratorier i deres undervisningspraksis, at der kan blive genereret ny viden om didaktiske og pædagogiske potentialer og udfordringer. Hertil skal det nævnes, at selvom de tre informanter er interesseret i at arbejde med virtuelle laboratorier, så er det ikke ensbetydende med, at de ikke ser begrænsninger og udfordringer ved at bruge virtuelle laboratorier.

De tre lærere har haft gratis licenser til Labster-simulationerne i projektperioden ud over de tre simuleringer, som var frit tilgængelige via Børne- og Undervisningsministeriet i 2019-2020. PhET-simuleringerne er gratis tilgængelige via deres hjemmeside. Det er lærerne, der har valgt, hvilke virtuelle laboratorier de har brugt, hvordan de har brugt dem og hvilke undervisningsforløb de har brugt dem i. Det har betydet, at feltarbejdet er foregået over en længere periode (fra juni 2019 til september 2021). Dertil kommer skolenedlukning og fjernundervisning i forbindelse med COVID-19, hvilket har betydet, at feltarbejdet har strakt sig over en længere periode end først planlagt. Nedenfor præsenterer jeg de enkelte skoler og de deltagende lærere.

**Skole 1** er en stor kommuneskole i Vestsjælland med ca. 600 elever, hvoraf en relativt stor procentdel er tosprogede elever. Skolen har et særligt fokus på naturvidenskab og tværfaglig projektbaseret undervisning på alle årgange. Denne projektbaserede tilgang inkluderer også integration af digitale læringsteknologier (Simon, lærer, 09.05.19). Den deltagende lærer, Simon, er midt i 30'erne og har undervist i fem år. Han underviser i fagene fysisk/kemi, matematik, biologi, geografi og musik. Simon stiftede bekendtskab med Labster på læringsfestivalen i 2019 og begyndte her at interessere sig for, hvordan virtuelle laboratorier kunne bruges i naturfagsundervisningen. Han er som nævnt med i Interlab-projektet. Simon beskriver sig selv som *ultra-nordet*, når det kommer til hans interesse for at bruge virtuelle laboratorier og andre teknologier såsom virtual reality og computerspil i undervisningen (Simon, lærer, 09.05.19).

Mit feltarbejde på skole 1 har foregået over to perioder, hvor jeg har observeret i to klasser. Den første periode er fra juni-september 2019, og den anden periode er fra januar-april 2020. I alt har jeg observeret otte undervisningslektioner, hvoraf én var virtuel grundet skolenedlukningen under COVID-19. Jeg har fulgt

undervisning, hvor eleverne har arbejdet med følgende Labster-simuleringer: *Lys og polarisering* (dansk), *Kulhydrater* (dansk), *Massiv fiskedød – eutrofiering* (dansk), *Thermodynamics: Solve the challenge of storing renewable energy* (engelsk) og *Matter and Phase Changes: Distil ethanol* (engelsk)

**Skole 2** er en stor kommuneskole i hovedstadsområdet med ca. 1000 elever med en mindre procentdel af tosprogede elever. Der er en relativ stor spredning i det faglige niveau og elevernes socioøkonomiske baggrund. Den deltagende lærer, Nikolaj, er i slut 30'erne og har undervist i otte år. Han underviser i fagene matematik, fysik/kemi, biologi og idræt. Derudover er han science- og matematikkoordinator på skolen. Han er vant til at arbejde med forskellige digitale læremidler og bruger primært en online platform med forskellige læringsressourcer til naturfag i sin undervisning (Nikolaj, 31.03.20).

Jeg har lavet feltarbejde på skolen i perioden august 2020-februar 2021 og har observeret tre undervisningstimer fordelt på to tiendeklasser. Eleverne har både arbejdet med PhET og Labster i den observerede undervisning. I den ene klasse brugte de Labster-simulationen *Kulhydrater* (dansk), og i den anden klasse arbejdede de med PhET-simulationen *Build an Atom* (engelsk).

**Skole 3** er en privatskole i Nordsjælland med ca. 750 elever. Der er en lille procentdel af tosprogede elever, og eleverne kommer generelt fra gode socioøkonomiske baggrunde. Skolen har et særligt fokus på naturfag og er certificeret i Science og Talent fra Astra. Læreren Sigurd er i slut 30'erne og har været lærer i 11 år. Han underviser i fagene fysisk/kemi, matematik, biologi og idræt.

Jeg var første gang ude at lave feltarbejde i 2021, hvor jeg observerede to undervisningstimer i den samme tiendeklasse, hvor eleverne arbejdede med PhET-simuleringen *Intro: bølger* (dansk). Den anden var en virtuel lektion under skolenedlukningen i januar, hvor eleverne arbejdede med PhET-simuleringen *Aldersbestemmelse og radioaktivitet* (dansk). Jeg var på genbesøg i 2022, hvor jeg observerede en dobbeltlektion i en anden tiendeklasse, hvor de arbejdede med to PhET-simuleringer, *Energi-skatepark* (dansk) og *Hooks Lov* (dansk).

### 3.2 Filmet etnografisk feltarbejde

I det forrige har jeg beskrevet, *hvad* jeg har valgt at gøre til en del af mit genstandsfelt – konstruktionen af feltet. Den næste metodiske udfordring, der

melder sig, er, *hvordan* og med *hvilke* metoder jeg får adgang til feltet. Dette er omdrejningspunktet for nærværende afsnit.

I mit feltarbejde på skolerne gør jeg brug af både visuelle og traditionelle kvalitative metoder. I det følgende udfolder jeg min brug af visuelle metoder, der består af videoobservation og skærmoptagelser, herunder elicitation-interviews. Jeg starter med at redegøre for de valg, jeg har truffet i forbindelse med videoobservation og min rolle som deltagelsesobservatør samt at reflektere over de metodiske potentialer og udfordringer ved et filmet feltarbejde.

På mange måder er videoobservation ikke anderledes end traditionel deltagelsesobservation. Som Atkinson og Hammersly (1998) skriver, er det en central del af etnografens arbejde at være en del af den konkrete sociale praksis, hun undersøger. Formålet med videoobservation er, som ved andre former for deltagelsesobservation, at få en dybere forståelse for den sociale praksis gennem deltagelse heri. Men der er også nogle karakteristika, der adskiller videoobservation fra traditionel deltagelsesobservation. Antropologen Perle Møhl skriver, at det filmede feltarbejde er “en positiv mangel på frihed, som både udvider og komplicerer det etnografiske projekt” (Møhl, 1995, s. 41). Når man som forsker integrerer kameraet som en del af feltarbejdet, er det særligt vigtigt at overveje, hvordan kameraet bliver brugt, da det materiale, der bliver produceret, ikke kan modificeres eller transformeres ligesom feltnoter, der kan omskrives. De valg, man træffer i forbindelse med, hvordan man anvender kameraet i felten, er afgørende for det empiriske materiale, man kommer hjem med og for de analyser, der efterfølgende kan blive skabt (Rehder, 2016). Det er derfor vigtigt at tage stilling til, hvordan den tekniske del af videooptagelserne harmonerer med ens forskningsinteresse, før man begynder sin observation (Mortensen og Hazel, 2018).

Jeg har valgt at bruge et håndholdt kamera i stedet for et stationært, da jeg ønskede at kunne følge de dynamiske læringsprocesser og interaktioner (Szulevicz, 2012). Fordelen ved det håndholdte kamera er, at jeg let kunne skifte lokation og følge læringsprocesserne, hvor de udspillede sig i klasselokalet. Dertil kommer, at de interaktioner, der foregik i undervisningen, ikke alene fandt sted i klassen, men også på andre lokationer, fx i grupperum eller på gangen. Jeg bevægede mig rundt med kameraet til de situationer, hvor jeg oplevede, at der var en interessant interaktion. Nogle gange gik jeg rundt med læreren, og andre gange gik jeg på egen hånd rundt til eleverne. Jeg var ikke en passiv observatør, men indgik i en dialog med elever, hvor jeg stillede spørgsmål til deres læringsprocesser og oplevelser med de virtuelle laboratorier, imens de arbejdede.

Den måde, jeg har brugt kameraet i felten på, kan karakteriseres som det, MacDougall (1982) kalder en *upriviligeret kamerastil*. Kameraet er ikke en neutral, observerende aktør, der giver mig en spejling af den sociale virkelighed. Det empiriske materiale, der er blevet skabt, er derimod et produkt af mødet mellem mig, kameraet og feltet (Kjærgaard & Buur, 2018).

Men der er også begrænsninger og udfordringer ved det mobile og håndholdte kamera. I starten af mit feltarbejde bevægede jeg mig meget rundt med kameraet for at indfange så meget af den sociale praksis som muligt. Da jeg efterfølgende så mine optagelser, var de på den tekniske side ret rystede og ude af fokus, og på indholdssiden var det svært at forstå, hvad der foregik, da jeg ofte skiftede perspektiv. Jeg besluttede derfor at fokusere på enkelte elevers interaktioner og læringsprocesser i min observation. I samarbejde med læreren fandt jeg to til fire elever, som jeg fulgte i timen. Kriterierne for udvælgelse af elever var, at der skulle være en spredning i forhold til både det faglige niveau og køn. Men det var også vigtigt, at det var nogle, som læreren mente, var trygge ved at være i kameraets og mit søgelys. Det var ligeledes disse elever, som jeg bad om at skærmoptage, og som jeg lavede interviews med efterfølgende. Denne mere fokuserede observation muliggjorde, at jeg fik optaget færre, men længere interaktioner, hvilket betød, at jeg i analysearbejdet kunne lave mere dybdegående beskrivelser af enkelte sekvenser på baggrund af videomaterialet.

En af kvaliteterne ved videoobservation er netop, at det bliver muligt at lave detaljerede analyser af den observerede praksis, da man kan se videomaterialet gentagne gange (Heat & Hindmarsh, 2002). Dette element ved at arbejde med videoobservation var særligt tiltrækkende, da jeg ønskede at kunne genbesøge den observerede praksis og lave uddybende beskrivelser af ikke kun det sagte, men også interaktionerne, de kropslige handlinger og de materielle omgivelser i forlængelse af min sociomaterielle læringsforståelse (Raudaskoski, 2010). I det følgende vil jeg uddybe og reflektere over min og kameraets betydning for feltarbejdet.

### **Min (og kameraets) rolle som deltagelsesobservatør**

Da jeg har været deltagelsesobservatør i undervisning i udskolingen, har jeg som voksen ikke kunnet deltage i den sociale interaktion på lige fod med eleverne. Jeg har derfor været bevidst om min rolle som deltagelsesobservatør, hvor jeg har deltaget som en *atypisk voksen* i undervisningen (Gulløv & Højlund, 2003, s. 104). Jeg har i interaktionen med eleverne været en særligt interesseret voksen, der gerne ville høre om deres overvejelser og erfaringer med at bruge virtuelle laboratorier, men jeg har ikke hjulpet dem med opgaverne, irettesat dem eller på

anden måde ageret som deres lærer (Rehder & Møller, 2021). Min rolle som en atypisk voksen bliver yderligere understreget af, at jeg gik rundt med et kamera og filmede. Møhl argumenterer for, at når man har et kamera med i felten, bliver ens deltagelse mere tydelig, da kameraet hele tiden ekspliciterer, hvad der er genstand for ens interesse. Dette understreger vigtigheden af at gøre sin interesse og sit forskningsmål klart for deltagerne (Møhl, 2010). Før jeg mødte eleverne i klassen, havde jeg via deres lærer delt en samtykkeerklæring ud, som deres forældre havde underskrevet. Her var formålet med projektet, og hvad jeg skulle bruge det empiriske materiale til, detaljeret beskrevet. Første gang jeg mødte eleverne i klassen, var der afsat tid til, at jeg kunne introducere mig selv og projektet, og eleverne havde mulighed for at stille spørgsmål. Her gjorde jeg det klart for dem, hvilket også fremgik af samtykkeerklæringen, at det empiriske materiale, jeg indsamlede, alene var til forskningsmæssig brug og ikke ville blive vist til deres lærer eller andre, der ikke arbejdede med projektet. Ved at informere eleverne grundigt om, hvad mit ærind var, og hvad videooptagelserne skulle bruges til, forsøgte jeg at skabe et trygt og tillidsfuldt rum.

Men selvom jeg ekspliciterede min forskningsinteresse og forsøgte at afmystificere min og kameraets rolle, så var kameraet alligevel en central aktør, der påvirkede den sociale interaktion i klassen. Møhl beskriver, hvordan mennesker handler en anelse anderledes, end de normalt gør, når de bliver filmet. Hun kalder denne anderledeshed en *betydningsfortætning*, hvor mennesker bliver mere bevidste om, hvordan de gebærder sig (Møhl, 2010, s. 170).

Hvordan disse ændringer i interaktioner manifesterer sig er ofte på subtile måder, som ikke er synlige for mig som observatør. Men der var også situationer, hvor det var tydeligt, at tilstedeværelsen af kameraet ændrede elevernes handlinger og interaktioner. Ofte, når jeg rettede min og kameraets opmærksomhed mod bestemte elever, så begyndte de at grine usikkert, stoppe deres samtale eller på anden vis ændre deres adfærd. For at skabe en behagelig og nærværende situation forsøgte jeg at være i øjenhøjde med eleverne ved at placere kameraet ved siden af mit hoved og etablere øjenkontakt med dem. Når de talte, kiggede jeg dem i øjnene, smilede og viste med min mimik min interesse i det, de fortalte.

Mens kameraet som beskrevet påvirkede elevernes adfærd, så oplevede jeg det ligeledes som positivt, at det ekspliciterede mit blik og min forskningsinteresse. For det første skabte det transparens i forhold til, hvilke interaktioner og situationer, jeg rettede min opmærksomhed mod. For det andet betød denne transparens, at eleverne af sig selv begyndte at fortælle om, hvad de lavede, når jeg fulgte dem med kameraet. Kameraet er således en aktør, der på forskellig vis

har påvirket feltarbejdet og den sociale interaktion, samt hvilket empirisk materiale, der er blevet produceret.

I det næste afsnit udfolder jeg, hvordan jeg har brugt skærmoptagelser som et metodisk greb til at få indsigt i elevernes ageren i det virtuelle laboratorie og som eliciterings-device i elevinterviewene.

### 3.3 Skærmoptagelser og video-elicitering

Den anden form for visuelle metode, som jeg har brugt, er skærmoptagelser. På mit feltarbejde på skolerne har jeg fået enkelte elever til at optage deres skærm, når de arbejdede i det virtuelle laboratorie. Disse elever er, som beskrevet tidligere, udvalgt i samarbejde med læreren og er interviewet efterfølgende. Eleverne optog på deres egne eller skolens computer via softwareprogrammerne PowerPoint eller Screencast-O-Matic, sidstnævnte har eleverne adgang til via Skoletube<sup>8</sup>. Efterfølgende er skærmoptagelserne blevet gemt sikkert på Onedrive. Jeg har udvalgt to til tre sekvenser på mellem 1-3 minutter fra skærmoptagelserne til hvert interview. Videosekvenserne er valgt, da de peger på tematikker, som er interessante i forhold til min forskningsinteresse.

Brugen af skærmoptagelser et eksempel på, at mit metodiske design ikke var fastlagt fra begyndelsen, men at det løbende er blevet tilpasset på baggrund af de udfordringer, der er opstået undervejs i feltarbejdet (Hammersly & Atkinson, 2019). Skærmoptagelserne hjalp med at overkomme to metodiske udfordringer. Den ene udfordring var at få adgang til, hvordan eleverne navigerede i det virtuelle laboratorie. De første gange, jeg var ude at observere, forsøgte jeg at filme både eleverne og det, de lavede på computeren. Men jeg fik kun fragmenterede brudstykker af, hvad der foregik på skærmen. Jeg begyndte derfor at gøre brug af skærmoptagelser. Med skærmoptagelserne får jeg adgang til at observere, hvordan eleverne agerer i det virtuelle laboratorie, samt hvilke dialoger de har med hinanden og læreren undervejs. Dette giver mig et værdifuldt indblik i elevernes refleksions- og arbejdsproces, såsom hvor de er udfordret, hvilken rolle læreren spiller og hvordan de samarbejder.

Den anden udfordring, jeg stødte på, var i interviewene med eleverne. I det første interview med elever oplevede jeg, at det var svært at få dem til at uddybe deres

---

<sup>8</sup> Skoletube er en online platform, hvor lærere og elever via deres uni-login kan tilgå forskellige softwareprogrammer og producere, dele og gemme digitalt indhold i beskyttede mediekkanaler.



svar, komme med konkrete eksempler og i det hele taget huske, hvad de havde foretaget sig i det virtuelle laboratorie. Inspireret af metodelitteraturen inden for elicitering begyndte jeg at bruge sekvenser fra skærmoptagelserne som et *eliciterings-device* i elevinterviewene, hvilket er omdrejningspunktet for det følgende.

Sociologen Douglas Harper advokerer for, at et eliciterings-device såsom et foto, en video eller en anden form for visuel materialitet kan forankre interviewet i en konkret situation, der er forståelig for begge parter, og som skærper den interviewedes hukommelse (Harper, 2002). På denne måde kan et tredje objekt være med til at forbinde informantens livsverden og interviewerens. Elicitering kan være særligt brugbar, når informanterne er børn og unge. Et eliciterings-device kan hjælpe eleverne med at kommunikere deres perspektiv (Shaw, 2020) samt åbne op for en interessant måde at engagere de unge informanter i en dialog (Docketta et al., 2017). I en endnu upubliceret artikel argumenterer jeg og mine medforfattere for, at eliciterings-metoder har et potentiale i forhold til at studere teknologiers og materialiteters betydning i komplekse læringsprocesser (Hautopp et al., upubliceret). Inspireret af Donald Schöns forståelse af *den reflekssive praktiker*, ser vi eliciterings-interviewet som en måde at få adgang til det, han kalder *knowing-in-action* (viden-i-aktion) (Schön, 1983, s. 49). Den viden, vi gør brug af i konkrete situationer, er typisk tavs og indlejret i vores implicite handlemønstre og fornemmelser for de ting, vi handler med. Samtidig tænker vi ofte over, hvad vi gør, imens vi handler. Når skærmoptagelserne bruges som et elicitation-device i interviewene, får jeg mulighed for at spørge ind til elevernes tavse viden og refleksioner over deres viden-i-aktion. Ved at introducere materialitet fra den sociale praksis, her i form af videooptagelser, bliver den viden, der produceres i interviewet, funderet i selve oplevelsen (Wang, 1999).

Konkret viste jeg eleverne korte videosekvenser fra deres arbejde i det virtuelle laboratorie på min computer og bad dem om at fortælle med deres egne ord, hvad der sker i sekvensen. Den efterfølgende samtale tog udgangspunkt i elevernes refleksioner. Skærmoptagelserne fungerer således som en teknik til at skabe *stimuleret-genkaldelse* da eleverne genkalder sig deres ræsonnementer, erfaringer og oplevelser, mens de ser skærmoptagelserne (Lyle, 2003). Nedenfor er et eksempel fra et interview med eleverne Stine og Jakob, hvor jeg viser dem en sekvens fra deres skærmoptagelse. I sekvensen arbejder eleverne i Labster-simuleringen *Matter and Phase Changes*, hvor de kan læse om og visuelt se, hvordan molekyler går fra en form til en anden (faseskift):

Interviewer: ”Hvad laver I her, kan I fortælle lidt om det?”

Stine (elev): ”Her læser vi omkring faserne, hvordan de skifter fra fast til flydende og gas, og hvordan molekylerne ser ud imens. Når det er fast, så sætter de sig fast, så låser de sig ind (viser med hænderne, hvordan de sætter sig sammen), og bliver ved med at være sådan inde. Og så kan vi også se på skærmen, hvordan de går fra en til en anden form. Ja, hvordan de går fra en til en anden, og hvordan de flyder rundt (hun kigger på skærmen mens hun fortæller og viser med hænderne, hvordan molekylerne flyder rundt) (...) Jeg tror, at den gik fra fast til flydende, eller fra fast til gas”. (Skærmoptagelse, 12.09.19)

I sekvensen ovenfor forklarer Stine om, hvad der sker i det virtuelle laboratorie, imens vi ser videoklipet. Skærmoptagelsen får hende til at genkalde sig læringsoplevelsen og de ræsonnementer, der ligger til grund for at forstå de forskellige faseskift. På denne måde bliver læringsprocessen tilgængelig og tydelig for både eleven og mig som interviewer.

En central pointe er, at stimuleret genkaldelse ikke genskaber den datidige oplevelse, men derimod producerer et *nyt perspektiv* på hændelsen, der er formet af metaanalyse og refleksion (Yinger, 1986). De refleksioner og ræsonnementer, som eleverne producerer under interviewet, skal derfor forstås som retrospektive refleksioner i forhold til deres læringsproces. I citatet ovenfor ses denne metaanalyse og efterrefleksionen eksempelvis, når Stine siger: ”Når det er fast, så sætter de sig fast, så låser de sig ind (viser med hænderne hvordan, de sætter sig sammen), og bliver ved med at være sådan inde. Og så kan vi også se på skærmen, hvordan de går fra en til en anden form”. Her sprogliggør eleven, hvad der sker i det virtuelle laboratorie og genkalder sig den datidige læringsproces. Denne erkendelse er højst sandsynligt ikke identisk med den erkendelse, hun havde i selve læringsituationen. Det er væsentligt at være opmærksom på, at den viden, der bliver produceret med elicitering er et nyt perspektiv på læreprocessen. Men dette perspektiv giver mulighed for at adressere oplevelser og refleksioner, der ellers ville være skjult for intervieweren, og muligvis for informanten selv.

Med skærmoptagelserne får jeg desuden indsigt i, hvordan eleverne gebærder sig og navigerer i det virtuelle laboratorie. Kawaf (2019) kalder brugen af skærmoptagelserne som forskningsmetode for *screencast videography*, da forskeren får adgang til brugerens digitale oplevelse. I modsætning til *netography*, der fokuserer på brugerens digitale fodspor såsom likes eller kommentarer, så har screencast videography fokus på at følge processen. Oversat til nærværende

projekt, så får jeg blik for de forskellige strategier, interaktioner og udfordringer, som udgør elevernes dynamiske læringsproces med VL. Screencast videography kan ses som en udvidelse af videoobservation, der muliggør detaljerede beskrivelser af computermedierede oplevelser i deres dynamiske og processuelle form (Kawaf, 2019). Dette metodiske greb harmonerer godt med en postfænomenologisk undersøgelse af, hvilken teknologi-verden-relation, der bliver skabt med det virtuelle laboratorie, hvilket jeg udfolder i artikel 3 (Lisborg & Tafdrup, under udgivelse).

Med skærmoptagelserne bliver mit feltarbejde således udvidet til at omfatte etnografi i en virtuel verden. Der sker en forskubning af min rolle som deltagelsesobservatør, da jeg ikke fysisk er til stede og interagerer med eleverne. Omvendt er eleverne vidende om, at deres skærm bliver optaget, og at jeg efterfølgende ser og hører, hvad de foretager sig i det virtuelle laboratorie. Denne form for *fraværende tilstedeværelse*, som jeg indtager med skærmoptagelserne, kan med Christine Hines ord beskrives som en anderledes form for *lurking* end den, der finder sted ved fysisk tilstedeværende observation (Hine, 2000). Med skærmoptagelserne er min tilstedeværelse mere skjult eller ubemærket, hvilket Hine påpeger skaber et asymmetrisk forhold mellem observatør og observerede, da begge ikke kan stille spørgsmål og interagere på lige vilkår<sup>9</sup>. Denne asymmetri skærper det etiske aspekt forbundet med observation. Jeg har derfor ekspliciteret over for eleverne, at optagelserne ikke vil blive vist til deres lærer eller på anden vis blive brugt til faglig bedømmelse, men alene vil blive set af mig og andre, der arbejder med projektet.

Jeg har ikke kun interviewet elever, men også andre aktører på feltet. I det følgende afsnit begrundes jeg valget af det kvalitative interview som metode og præsenterer de informanter, jeg har interviewet.

---

<sup>9</sup> Hine beskriver med *lurking*-begrebet et online feltarbejde, hvor forskeren observerer online interaktioner såsom Facebook-opslag, kommentarspor og billeder på sociale medier. Her har forholdet mellem observatør og observerede formentligt mere karakter af *lurking* end ved brug af skærmoptagelser, hvor eleverne er bevidste om, at deres interaktioner er genstand for observation. Men Hines pointe om, at den manglende fysiske interaktion mellem observatør og observerede skaber et asymmetrisk forhold, er ligeledes til stede, når jeg får eleverne til at skærmoptage og efterfølgende studerer og analyserer deres handlinger og interaktioner.

### 3.4 Kvalitative interviews – forskellige stemmer fra feltet

Udover visuelle metoder (videoobservation og skærmoptagelser) har jeg gjort brug af kvalitative interviews med forskellige aktører i feltet. Det kvalitative interview handler om at få indsigt i sine informanternes livsverden og de forståelser, oplevelser og erfaringer, der knytter sig hertil (Tinggaard & Brinkmann, 2015). Min erkendelsesinteresse tager som beskrevet afsæt i at undersøge forskellige aktørers oplevelser og erfaringer med VL, samt hvordan de tilskriver fænomenet virtuelle laboratorier mening. Dette giver det kvalitative interview mig mulighed for at få indsigt i.

Jeg har valgt at gøre brug af den semistrukturerede interviewform. Jeg forstår her semistrukturerede interview som en dialektik mellem forskerens forskningsinteresser (materialiseret i en spørgeguide) og det, informanterne er optaget af (deres livsverden). Kunsten i det semistrukturerede interview er at forfølge sine forskningsinteresser og samtidig forholde sig åbent til det uventede og det, informanterne er optaget af (Brinkmann & Kvale, 2014). Dette er i praksis en svær balancegang. Jeg har forsøgt at imødekomme denne ambition ved at udforme interviewguides, der inkluderede nogle overordnede tematikker på baggrund af forskningsspørgsmålene, og samtidig være lydhør over for de tematikker, som informanterne bragte på banen i samtalen.

Eftersom jeg forfølger virtuelle laboratorier som et fænomen, der bliver skabt i forskellige kontekster, ligger der forskellige vidensrinder til grund for interviewene, og de kan overordnet inddeles i to kategorier: interviews med aktører *i* og *udenfor* skolen.

Interviewene med aktører i skolen omfatter interviews med lærere og elever. I disse interviews er formålet at generere viden om lærernes og elevernes konkrete (og kropslige) erfaringer og oplevelser med virtuelle laboratorier i undervisningen. Mens videoobservationerne giver mig viden om de kontekstbundende situationer og interaktioner, så har interviewene til formål at give mig indsigt i lærernes og elevernes oplevelser og tanker omkring den observerede læringspraksis. Interviewene har fundet sted i forbindelse med, at jeg har været ude at observere. Det har dog af praktiske årsager varieret, om interviewet fandt sted samme dag eller senere. Forud for interviewene har jeg gennemset videomaterialet fra min observation og skærmoptagelserne for at identificere interessante sekvenser og tematikker. Jeg har ikke brugt en standard spørgeguide, omend nogle af spørgsmålene går igen eller er enslydende, men har

ladet spørgsmålene tage udgangspunkt i den observerede undervisningspraksis, skærmoptagelserne og min overordnede forskningsinteresse.

Den overordnede struktur for spørgeguiden til lærerinterviewene var: 1) *Formålet med undervisningen*, dvs. hvilke didaktiske, pædagogiske og faglige overvejelser og valg, der lå til grund for den observerede undervisning, såsom hvad eleverne skal have ud af arbejdet med de virtuelle laboratorier, og hvordan det hænger sammen med de andre læringsaktiviteter, som de laver. 2) *Den faktiske undervisning*, dvs. deres oplevelser af den undervisning, der fandt sted, såsom blev deres mål med undervisningen indfriet, og hvilke udfordringer og potentialer oplever de der er, når eleverne arbejder med det virtuelle laboratorie.

I elevinterviewene var den overordnede struktur: 1) *Præsentation af eleverne og deres forhold til naturfag og læringsteknologier*. Mens jeg havde etableret en relation og et kendskab til lærerne forud for interviewet, så havde jeg det ikke på samme måde med eleverne, som jeg ofte ikke havde talt meget med før interviewet. Den første del af interviewet handlede derfor om dels at skabe en relation til eleverne og om at få en forståelse af, hvem de var, og hvad deres forhold var til naturfag og digitale læringsteknologier. 2) *Deres erfaringer og oplevelser med det virtuelle laboratorie*. I den anden del af interviewet spurgte jeg ind til den konkrete undervisningspraksis, som jeg havde observeret. Det var i denne del, at jeg brugte sekvenserne fra skærmoptagelserne. Her tog spørgsmålene udgangspunkt i elevernes refleksioner og oplevelser af arbejdet med det virtuelle laboratorie, såsom samarbejdet eleverne imellem, navigation i simuleringen, hvor de oplevede at være udfordret, og relationen mellem den virtuelle og fysiske eksperimentelle praksis.

Konkret har jeg interviewet fjorten elever på to af skolerne. Otte elever på skole 1 og seks elever på skole 3. Interviewene har en varighed på mellem 25-50 minutter. Alle interviews er foregået med to elever ad gangen. Begrundelsen herfor er for det første, at eleverne ofte har arbejdet sammen to og to med det virtuelle laboratorie i undervisningen. For det andet var min oplevelse, at det var med til at skabe en behagelig og tryk interviewsituation, at eleverne kunne hjælpe og supplere hinanden i deres svar. I det følgende beskriver jeg lærerinterviewene.

Jeg har foretaget ti lærerinterviews fordelt på de tre skoler. Otte interviews med Simon (skole 1), fire interviews med Nikolaj (skole 2) og tre interviews med Sigurd (skole 3). Jeg lavede et før-interview med hver enkelt lærer, inden jeg påbegyndte min observation. Formålet var at få viden om dem, som underviser, deres erfaringer med læringsteknologier samt viden om skolen såsom særlige

fokusområder og elevtyper. Udover de formelle interviews har jeg haft uformelle samtaler med lærerne i løbet af mit feltarbejde i forbindelse med, at jeg har været ude at observere. Det kunne være, når vi mødtes før timen på lærerværelset, i pauserne eller under timerne. Her har vi ofte talt om undervisningen og emner i relation til virtuelle laboratorier. De uformelle samtaler pegede mig i retning af nogle tematikker, som jeg spurgte ind til i det efterfølgende interview. Jeg har så vidt som muligt optaget disse samtaler eller efterfølgende skrevet de interessante passager ned i mine feltnoter. Tabellen nedenfor opsummerer de forskellige typer af lærerinterviews:

**Tabel 3: Typer af lærerinterviews**

Før-interview	Interviews i forbindelse med undervisning	Uformelle samtaler under feltarbejdet
Baggrundsinformation om læreren, elevtyper og skolen	Viden om formålet med undervisningen og den konkrete undervisning	Tematikker, der var interessante at forfølge i de efterfølgende interviews

Interviewene med aktører *uden for* skolen har til formål at få viden om, hvordan virtuelle laboratorier bliver konstitueret i kontekster uden for klasselokalet, der som beskrevet både influerer og influeres af, hvad der sker i skolen. Disse interview har primært dannet baggrund for aktørnetværksanalysen i artikel 1 (Lisborg, upubliceret) af, hvordan det virtuelle laboratorie er blevet stabiliseret som en del af den danske folkeskole. Identificering af relevante informanter har været en fortløbende proces – den velkendte sneboldsmetode, hvor analysen af et dokument eller et interview har ført mig på sporet af andre relevante informanter jf. aktørnetværksteoriens parole om at følge aktøren. Ligesom interviewene med elever og lærere er der tale om semistrukturerede interviews, hvor der har været plads til at forfølge de tematikker, som den interviewede har bragt på banen. Der har dog i højere grad været tale om et styret eller struktureret interview, da formålet ofte har været at få opklaret eller nuanceret specifikke begivenheder, beslutninger eller forståelser. Informanterne kan groft deles i to kategorier, hvor den ene er embedsfolk fra ministeriet, og den anden er aktører, der står uden for det politiske embedsmandsværk.

I den første gruppe har jeg interviewet tre embedsfolk fra Styrelsen for It og Læring (STIL), der i perioden 2019-2022 har været projektledere for

Undervisningsministeriets indsatser omkring virtuelle laboratorier. Disse interviews gav mig indsigter i baggrunden for politiske initiativer og beslutningsprocesser, som jeg ikke kunne læse mig frem til i mit dokumentstudie (Justesen, 2005). Ud over embedsfolkene fra STIL har jeg interviewet kommissionsformanden for de skriftlige prøver i biologi, der er med til at udvikle forsøgsprøver, hvor virtuelle laboratorier afprøves som en del af en ny prøveform. Interviewet med kommissionsformanden gav mig viden om den politiske baggrund for forsøgsordningen og de hidtidige erfaringer med at bruge virtuelle laboratorier i afgangsprøverne.

I gruppen af informanter, der står uden for embedsværket, har jeg interviewet projektlederen fra Epinion af InterLab-projektet. Formålet med interviewet var at få viden om erfaringerne fra projektet og om, hvordan de mål, som UVM havde opstillet i forbindelse med projektet i praksis, er blevet håndteret og udfordret. Jeg har desuden interviewet en konsulent fra Astra, der beskæftiger sig med virtuelle simuleringer i naturfag. Astra har beskrevet, hvilke elementer de mener, der udgør en naturfaglig undersøgelse. Interviewet har givet indsigt i, hvilken rolle virtuelle laboratorier spiller i denne sammenhæng, samt hvilke udfordringer og potentialer, som Astra oplever, er knyttet til det virtuelle laboratorie. Endelig har jeg interviewet en simulationsudvikler fra Labster for at få viden om, hvilket læringssyn og hvilke designprincipper, der ligger bag udviklingen af deres simulationer. Jeg ville også gerne have interviewet en simuleringsudvikler fra PhET og har kontaktet dem adskillige gange omkring et interview, men uden held. For at få viden om læringssynet og designprincipperne bag PhET har jeg i stedet konsolideret forskningslitteratur om PhET samt deres egen hjemmeside, hvor dette er beskrevet.

## **Overvejelser omkring etik og fremstillingsform**

Som beskrevet tidligere har jeg indsamlet skriftlige samtykkeerklæringer fra forældrene til de elever, som har medvirket i feltarbejdet, hvor de har givet samtykke til, at jeg må bruge interviews og videooptagelser af deres barn i projektet. Her fremgår det, at det ikke vil være muligt at identificere deres barn i den videnskabelige analyse, der bliver formidlet skriftligt eller mundtligt. Jeg har anonymiseret eleverne i analyserne ved brug af pseudonymnavne i de publicerede analyser. Når jeg har brugt billedmateriale til offentlige præsentationer, hvor elever fremgår, har jeg sløret eller dækket deres ansigter, så de ikke kan identificeres som person.

Med hensyn til de andre informanter i projektet har jeg indhentet et mundtligt samtykke, hvor jeg efter forskrifterne for god forskningsetik har informeret dem

om, hvad projektet omhandlede, og om deres mulighed for at tilbagetrække samtykke til enhver tid og for at få citater til gennemsyn inden publicering. Jeg har i god tid inden publicering sendt citater til gennemsyn hos de informanter, der ønskede dette, og har medtaget eventuelle rettelser eller tilføjelser. I forhold til anonymisering er der nogle informanter, der trods pseudonymnavne vil være identificerbare i kraft af deres position. Dette forhold har jeg sikret mig, at de er indforstået med.

Et andet etisk aspekt, som jeg har været transparent omkring i processen, er min relation til Labser. Dette forhold har jeg gjort de tidsskrifter, jeg har publiceret i, opmærksomme på ved indsendelse af artikler. Min relation til Labster har givet mig en privilegeret adgang til feltet, men det har også betydet, at jeg har været ekstra opmærksom på at forholde mig kritisk til både min egen positionering og mit genstandsfelt, hvilket altid er vigtigt som forsker, men dette aspekt er blevet yderligere skærpet i forbindelse med Labster.

I næste afsnit beskriver jeg min fremgangsmåde i forhold til at kode og analysere empirien fra feltarbejdet.

### 3.5 Analysestrategi

Den tredje metodiske udfordring omhandler, *hvordan* jeg koder og skaber mening på baggrund af mit relativt omfattende og divergente empiriske materiale<sup>10</sup>, hvilket er omdrejningspunktet for dette afsnit.

Jeg har ladet mig inspirere af den tematiske analysestrategi (TA), som den er formuleret af psykologerne Virginia Braun og Victoria Clarke. I artiklen *Using thematic analysis in psychology* (2006) præsenterede Braun og Clarke principperne bag tematisk analyse, som de sidenhen har beskrevet og nuanceret i adskillige bøger og artikler (Braun & Clarke, 2019; 2021). Her giver de en trin-for-trin-guide med seks skridt eller faser til at udføre en tematisk analyse, hvor hver fase udgør fundamentet til den næste. Disse er: 1) gøre sig bekendt med materialet, 2) generering af initierende koder, 3) finde tematikker, 4) efterprøve tematikkerne, 5) definere og navngive temaerne og 6) afrapportering (Clarke & Braun, 2006). Jeg har ikke fulgt faserne kontinuert, men har brugt dem som rettesnor for mit analysearbejde og min kodning.

---

<sup>10</sup> Jeg præsenterer den del af analyseprocessen, der knytter sig til mit feltarbejde på skolerne, da det særligt er denne del, hvor jeg har arbejdet med at identificere tematikker på tværs af de forskellige empiriformer.



Clarke og Braun kalder den retning af TA, som de repræsenterer, for *refleksiv tematisk analyse* (Braun & Clarke, 2019). Denne retning er funderet i et kvalitativt paradigme, der i kontrast til en mere positivistisk retning afviser idéen om en universel mening og i stedet hævder, at mening altid er bundet til en partikulær kontekst. Clarke, Braun og Hayfield (2015) understreger forskerens subjektive rolle i meningskabelsen, hvor analysen ikke findes i det empiriske materiale og venter på at blive fundet, men er et resultat af forskerens interaktion og bearbejdning af empirien. Denne partikulære og kontekstuelle forståelse af viden harmonerer med det anti-essentialistiske funderede videnssyn, der ligger til grund for afhandlingen, hvor viden forstås som situationel og empirisk funderet i konkrete praksisanalyser. Som STS-forsker John Law påpeger, så går man som forsker ikke ud og erkender eller beskriver en virkelighed, som ligger derude, men man er medkonstituerende for den fortælling eller vidensproduktion, som analysen munder ud i (Law, 2014). Når mening ikke er noget jeg kan ”grave” frem af det empiriske materiale, selvom jeg ledte længe, men derimod er et resultat af et konstruktionsarbejde, jeg som forsker deltager aktivt i, så bliver spørgsmålet om, hvordan jeg har båret mig ad med at kode det empiriske materiale, centralt. I det følgende bestræber jeg mig derfor på at være transparent omkring denne proces og give læseren et solidt fundament til at forstå, hvilket arbejde og hvilke valg der ligger bag de endelige analyser (resultatet af dette møjsommelige konstruktionsarbejde).

I tråd med mit etnografiske udgangspunkt har jeg ikke forud for kodningsprocessen defineret de temaer, som jeg var på udkig efter i det empiriske materiale (en mere top-down-inspireret analysetilgang). Temaerne er vokset frem som et resultat af, at jeg gradvist er blevet mere bekendt med det empiriske materiale gennem mit kodnings- og analysearbejde. Denne bottom-up-tilgang har tilladt en empirisensitiv tilgang til, hvilke kontekstbundende læringspraksisser der bliver skabt med det virtuelle laboratorium i undervisningen jf. mit sociomaterielle læringsyn.

Et andet vigtigt spørgsmål er, hvordan jeg forstår forholdet mellem analysearbejdet og teori. Indenfor STS-orienterede studier bliver idéen om, at teori har en privilegeret forklaringskraft til at producere endegyldige og altomfattende forklaringer, afvist. Teori ses derimod som medskabende af den måde, et fænomen bliver præsenteret og konstrueret på i analysen (Winthereik, 2015). Med andre ord repræsenterer de teoretiske begreber, jeg har valgt som organiserende koncepter i mine analyser, alene nogle få potentielle forklaringer ud af endeløse mulige teoretiske associationer. Jeg har fra starten af projektet været orienteret mod og inspireret af STS-litteraturen, og jeg er gået ind i feltet

med et særligt analytisk blik rodfæstet i denne teoretiske positionering såsom teknologimediering, kropslig forankret perception, sociomaterielle arrangementer og multiple brugspraksisser. Tematikkerne er således blevet til i et spændingsfelt mellem en åbenhed over for de tematikker, der emergerer fra empirien, og mine teoretiske forforståelser fra STS-feltet. Artiklerne i afhandlingen trækker på forskellige teoretiske koncepter og analytiske temaer, som er et resultat af mit (iterative) arbejde med at læse teori, analysere empiri, diskutere med mine vejledere osv. I det følgende giver jeg en indføring i dette arbejde.

Arbejdet med at gøre mig bekendt med og kode mit empiriske materiale har været en kontinuerlig proces gennem en stor del af projektperioden, hvor jeg løbende har noteret mig interessante observationer og perspektiver i forhold til mulige analyser (Clarke, Braun & Hayfield, 2015). Konkret har jeg læst de transskriberede interview igennem på computeren. Her har jeg understreget interessante passager og noteret hvilke tematikker, sekvenserne pegede i retning af. I et hoveddokument har jeg skrevet en opsamling på mine observationer og mulige interessante perspektiver. Mens det har været forholdsvis overskueligt at kode interviewene med informanter uden for skolen, da der er færre, så har det været et mere komplekst arbejde at kode de mange interviews med lærere og elever.

I takt med at mit feltarbejde på skolerne skred frem, og mængden af transskriberede interviews akkumulerede, havde jeg brug for et bedre overblik over, hvilke tematikker der tegnede sig. Jeg valgte derfor at kode elev- og lærerinterviewene i programmet Nvivo for at få et bedre overblik over, hvor meget materiale jeg havde inden for de forskellige tematikker. Dette resulterede i 35 koder. Ud over interviewene har jeg kodet videomaterialet og skærmoptagelserne fra mit feltarbejde på skolerne. Jeg har set optagelserne igennem ad flere omgange og noteret de passager, som var interessante, i et Excel-ark med angivelse af tidsintervaller samt skrevet hvilke tematikker, de enkelte sekvenser pegede på.

På baggrund af kodningen af interviewmaterialet, videoobservationen og skærmoptagelserne har jeg i et dokument samlet de forskellige citater og observationer inden for de tematikker, der tegnede sig som interessante. I den endelige udvælgelse af tematikker har jeg i tråd med TA lagt vægt på, at der dels var et interessant organiserende koncept i forhold til forskningsspørgsmålene, og dels at der var *mangefacetterede* observationer på tværs af det empiriske materiale (Braun & Clarke, 2021). Det er i alt blevet til fire overordnede tematikker.

Det første overordnede tema omhandler *den kropslige og multisensoriske betydning for læringspraksisser*. I mine observationer af undervisning, hvor eleverne både arbejder i det fysiske og virtuelle laboratorie, var det tydeligt, at den taktile og fysiske interaktion med materialerne, når de lavede fysiske eksperimenter, havde en betydning for elevernes perceptionsmuligheder og interaktionerne i klasselokalet. Den kropslige perception tematiseres desuden i elevinterviewene, hvor flere formulerer en oplevelse af, at det at have fysisk adgang til og gøre sig bekendt med materialerne har en betydning for deres læring. I det fysiske laboratorie har eleverne mulighed for kropsligt at percipere og gøre sig bekendt med materialer. Dette er ikke muligt i det virtuelle laboratorie, hvor elevernes interaktion bliver medieret via computeren. Det teoretiske begrebsapparat, der har informeret dette tema, er Merleau-Pontys kropsfænomenologi samt Ihdes multistabilitetsbegreb.

Det andet overordnede tema er *menneske-teknologi--relation*. Denne tematik tager sit afsæt i Ihdes fire teknologirelationer. I min kodning af empirien var der observationer og udsagn, der pegede i retning af tre af de fire relationer: embodied, alterity og hemeneutiske, som beskrevet i teorikapitlet. Men særligt den hermeneutiske relation blev fremtrædende i min kodning, hvorfor jeg valgte denne teknologi-menneske-relation som det centrale, organiserende koncept. De observationer, der knyttede sig til den hermeneutiske relation, relaterer sig til elevernes arbejde i Labster, hvor de i deres forsøg på at skabe forbindelse mellem teknologi og verden oplevede flere lag af ikke-transparens (en ikke-meningsfuldhed). Denne mangel på transparens og mening knytter sig både til den computermedierede perception, den instruerende læringsform og en diskrepans mellem materialer i det fysiske og virtuelle laboratorie.

Den tredje overordnede tematik omhandler *det virtuelle laboratorie som redskab-til-tanker*. Dette tema har Shaffer og Clintons begreb redskab-til-tanker som sit centrale, organiserende koncept, hvor virtuelle laboratorier bliver forstået som en læringsteknologi, der forandrer og forlænger elevernes muligheder for og måder at tænke på i et dialektisk samspil mellem teknologi og menneske. De forskellige former for virtuelle laboratorier bliver forskellige redskaber-til-tanke og konstituerende for multiple læringspraksisser. Der er særligt to sub-temaer<sup>11</sup>, der er med til at udvikle den overordnede tematik. Det ene er Seymour Paperts begreb et *objekt-at-tænke-med*, hvor det virtuelle laboratorie ud fra en konstruktivistisk læringsforståelse bliver et redskab til at konkretisere og

---

<sup>11</sup> Sub-temaer indfanger og udvikler et relevant aspekt af det overordnede tema (Clarke, Braun & Hayfield 2015).

visualisere abstrakte fænomener. Det andet sub-tema er *instruerende læring*, der refererer til en behavioristisk læringsopfattelse, hvor eleverne bliver guidet trin-for-trin. De to sub-temaer bliver brugt til at beskrive, hvordan PhET og Labster bliver to forskellige redskaber-til-tanke i den konkrete læringspraksis.

Det fjerde og sidste overordnede tema er *det virtuelle laboratorie som risiko- og konsekvensfrit*. Temaet tager afsæt i elevernes oplevelse af, at de i deres arbejde i det virtuelle laboratorie ikke er ligeså fokuserede og omhyggelige, som når de udførte fysiske eksperimenter. Det organiserende koncept for dette tema er John Deweys forståelse af *hel og delvis interesse*. I det fysiske laboratorie oplever eleverne, at deres handlinger har irreversible og betydningsfulde konsekvenser, hvorfor de er mere fokuseret på opgaven (hel opmærksomhed). I det virtuelle laboratorie er dette risikoelementet elimineret, hvorfor de oplever, at de er mindre koncentreret, da der ikke er en reel konsekvens ved deres ageren i det virtuelle laboratorie (delvis opmærksomhed).

De overordnede temaer bliver behandlet i de to artikler, der formidler de empiriske fund fra feltarbejdet i skolen. I artikel 3 (Lisborg & Tafdrup, under udgivelse) bliver analysen af de to første tematikker udfoldet, og i artikel 4 (Lisborg, 2022) behandler jeg de to sidste.

I det næste kapitel konkluderer jeg på afhandlingens to forskningsspørgsmål og diskuterer i perspektiveringen, hvordan en STS-baseret teknologiforståelse i skolen kan se ud med udgangspunkt i det virtuelle laboratorie.



## KAPITEL 4. KONKLUSION OG PERSPEKTIVERING

### 4.1 Konklusion

Afslutningsvis foreligger der den opgave at konkludere på de to forskningsspørgsmål og opsummere afhandlingens centrale bidrag til forskningen og praktikerne.

Det første forskningsspørgsmål adresserer, hvordan virtuelle laboratorier bliver en aktør i naturfag, og lyder: *Hvilke relationer og agendaer er med til at stabilisere virtuelle laboratorier som en del af skolens praksis?*

I artikel 1 (Lisborg, upubliceret) kortlægger jeg de kontroverser og relationer, som er konstituerende for stabiliseringen af virtuelle laboratorier i skolen. Jeg viser, at stabiliseringen af virtuelle laboratorier kommer flere steder fra og konfigureres af aktørnetværk, der både tidsmæssigt og geografisk rækker ud over skolens mure. Men det er en stabilisering, der i høj grad kan tilskrives overlappende politiske og kommercielle interesser, hvor Labster har succes med at indrullere ministeriet i sit handlingsprogram om at stimulere skolernes brug af virtuelle laboratorier.

Stabiliseringen af virtuelle laboratorier kobler sig desuden til nogle eksisterende samfundsøkonomiske agendaer eller aktørnetværk omkring digitalisering af uddannelse, og at flere uddanner sig indenfor STEM-området. Det virtuelle laboratorie bliver udpeget som en løsning (et obligatorisk passagepunkt) på en revitalisering af naturfag, som flere aktører i og uden for skolen kan se et formål med at knytte an til. Men der er også modprogrammer, der udfordrer stabiliseringen af det virtuelle laboratorie og stiller spørgsmålstejn ved, hvilken rolle VL skal spille i naturfag, særligt i forhold til undersøgelser i det fysiske laboratorie. Virtuelle laboratoriers indtog i skolen kobler sig således til en bredere diskussion og kamp omkring, hvad der skal konstrueres og virkeliggøres som naturvidenskab i skolen og i samfundet generelt.

Politiseringen af virtuelle laboratorier i skolen er et caseeksempel på den politiske teknologioptimisme, som Balslev (2018) beskriver præger digitaliseringen på uddannelsesområdet – en optimisme, der snarere er styret af samfundsøkonomiske og kommercielle visioner end af skolens egne aktører. Afhandlingen er skrevet med en forhåbning og anbefaling om, at digitaliseringen af skolen i højere grad bliver drevet af en agenda, der tager udgangspunkt i de praktikere, som skal implementere de politiske investeringer i

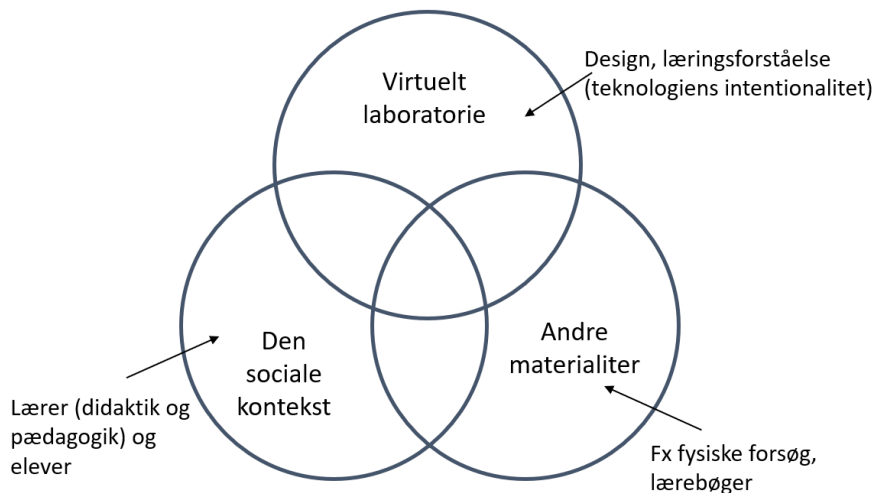
uddannelsesteknologier. I så fald kan man forestille sig, at de teknologier, der finder vej til klasselokalet, i højere grad understøtter undervisningen, end at undervisningen skal understøtte teknologierne, som jeg formulerer det afslutningsvist i artikel 1.

Afhandlingen henvender sig ikke kun til det politiske niveau, men også til praktikerne. Uanset om digitaliseringen i skolen bliver mere bottom-up-drevet eller ej, så vil de teknologier, der finder vej til klasselokalet, være konstituerende for, hvilke pædagogiske og faglige tilgange der er mulige i undervisningen (teknologier er ikke uskyldige, men gør noget ved den sociale praksis). Dette kommer jeg med flere eksempler på i afhandlingen. Eksempelvis er de læringsforståelser, som et virtuelt laboratorium er designet på baggrund af, konstituerende for, hvilke læringspraksisser der udfolder sig, som jeg viser i artikel 4 (Lisborg, 2022). Et andet eksempel er forsøget med brug af virtuelle laboratorier i afgangsprøven, der kan resultere i, at VL bliver en uomgængelig del af undervisningen, som jeg beskriver i artikel 1 (Lisborg, upubliceret). Med andre ord så har implementeringen af en teknologi som virtuelle laboratorier betydning for, hvad der bliver konstrueret som naturfag. Som lærer kan man enten lade sig overvælde af teknologien eller bevidst forholde sig til, hvilken rolle det virtuelle laboratorium skal spille i ens undervisning, da det kommer til at have en indflydelse herpå uanset hvad.

Det andet forskningsspørgsmål, som afhandlingen skal besvare, lyder: *Hvilke sociomaterielle og medierede læringspraksisser bliver konstrueret, når virtuelle laboratorier bliver en del af naturfagsundervisningen i skolen, og hvilke konsekvenser har det?*

Dette spørgsmål bliver besvaret på baggrund af mit feltarbejde på skolerne og analyserne heraf, der bliver præsenteret i artikel 3 (Lisborg & Tafdrup, under udgivelse) og 4 (Lisborg, 2022). I artikel 4 viser jeg, hvordan læringspraksisserne med virtuelle laboratorier bliver konstitueret i et spændingsfelt mellem teknologi, mennesker og andre materialiteter, hvilket er illustreret med figuren nedenfor.

**Figur 2:** Sociomaterielle læringspraksisser med virtuelle laboratorier



De situerede og lokale læringspraksisser, der bliver skabt i undervisningen med virtuelle laboratorier, må forstås som et komplekst samspil mellem: 1) *den sociale kontekst*, der indbefatter interaktionerne mellem lærer/elev og elev/elev og lærerens didaktiske og pædagogiske valg, 2) *det virtuelle laboratorium*, forstået som de designprincipper og læringsforståelser, der ligger til grund for teknologien (intentionaliteten), og 3) *andre materialiteter*, der er den bredere materielle kontekst, som de virtuelle laboratorier indgår i såsom et fysisk forsøg eller et teorikapitel i en lærebog.

Afhandlingen bidrager til uddannelsesforskningen ved at vise, hvordan læringspraksisser med virtuelle laboratorier må forstås i en bredere sociomateriel kontekst end den, som de dominerende kvalitative effektmålingsstudier på feltet medtager. Der er et behov for at studere og forstå virtuelle laboratorier (og generelt uddannelsesteknologier) som lokale, situerede læringspraksisser. Man kan ikke på forhånd vide, hvilke parametre der har betydning i den konkrete undervisningspraksis. Det er derimod et empirisk spørgsmål, hvilke lokale anordninger der bliver konstitueret mellem de virtuelle laboratorier, den sociale kontekst og andre materialiteter.



I forhold til spørgsmålet om, hvilke medierede læringspraksisser der bliver konstrueret med de virtuelle laboratorier, viser jeg i artikel 3 med postfænomenologien, at den verdensrelation, der bliver medieret med det virtuelle laboratorie, kan forstås som en dobbelt hermeneutisk relation (en udvidelse af Ihdes hermeneutiske teknologirelation). Eleverne skal først etablere en forbindelse mellem verden og det virtuelle rum ved at afkode, hvordan de skal agere i VL. Derefter skal de skabe forbindelse tilbage til verden ved at oversætte fra det virtuelle læringsmiljø til den fysiske verden, når de eksempelvis skal udføre et eksperiment i skolelaboratoriet, der bygger på den viden, som de har tilegnet sig i det virtuelle laboratorie. I begge oversættelsesprocesser kan der opstå sammenbrud eller ikke-transparens, og det er en central didaktisk og pædagogisk opgave at hjælpe eleverne med at skabe succesfulde forbindelser mellem de forskellige vidensdomæner, som eleverne bevæger sig mellem.

Med afhandlingen er det relevant at spørge til, hvordan vi skal forstå lærerrollen i et postfænomenologisk og aktørnetværksteoretisk perspektiv. Først og fremmest viser afhandlingen, at virtuelle laboratorier ikke overflødiggør læreren, tværtimod. Eleverne har i høj grad brug for hjælp til at afkode det virtuelle laboratorie og skabe forbindelser mellem deres erfaringer i VL og andre læringsaktiviteter, så der ikke bliver tale om *parallellæring*, som jeg citerer læreren Sigurd for i artikel 4 (Lisborg, 2022). Men når praksis forskubbes fra et analogt til et virtuelt rum, så gør det noget ved lærerens rolle. Med det postfænomenologiske vokabular kan man tale om, at læreren skal hjælpe eleverne med at fortage hermeneutiske fortolkninger eller skabe transparens mellem den fysiske og virtuelle verden og omvendt.

I afhandlingen viser jeg, at lærerne gør dette på forskellige måder, eksempelvis ved at stille åbne og undersøgende spørgsmål med udgangspunkt i simuleringen, der guider elevernes eksplorative proces, skaber forbindelser mellem det, eleverne lærer i de fysiske og virtuelle undersøgelser, og stilladserer elevernes arbejde i de virtuelle laboratorier via pararbejde, arbejdsspørgsmål og fælles opsamlinger. Det, at det virtuelle laboratorie er blevet en del af naturfagsundervisningen, stiller således krav til læreren om at didaktisere og stilladsere elevernes arbejde i VL, hvis der skal konstrueres succesfulde læringspraksisser.

Med forskningsspørgsmål to spørger jeg ligeledes til, hvilke konsekvenser det har, at det virtuelle laboratorie bliver en del af naturfagsundervisningen. I afhandlingen viser jeg, at det virtuelle laboratorie har forskellige konsekvenser for forståelsen af læring og naturfag. En konsekvens er, at når den

eksperimentelle praksis bliver overført til et virtuelt rum, så gør det noget ved elevernes perception og embodiment (kropslighed), som jeg advokerer for i artikel 3. Den teknologimedierede interaktion giver ikke eleverne den multisensoriske og kropslige erfaring med fysiske materialer, som kendetegner det fysiske forsøg. Som Ihde (2002) formulerer det, kan immersive teknologier som VL udvide vores perception af verden, men dette sker på bekostning af fuld transparens og embodiment.

En anden konsekvens ved det virtuelle eksperiment er, at eleverne oplever, at det produktive element af risiko, der er til stede ved et fysisk eksperiment, og som skærper deres koncentration, er elimineret i det virtuelle rum. I det virtuelle laboratorie kan eleverne udføre eksperimenter i et sikkert rum, men de behøver ikke at koncentrere sig om at måle præcist op eller ikke at spilde svovlsyre, da der ikke er en reel risiko eller fare til stede.

En tredje konsekvens ved, at eleverne eksperimenterer i et virtuelt læringsmiljø, er, at det medfører en reduktion af kompleksitet eller mulige udfald. Når eleverne udfører eksperimenter i skolelaboratoriet, så er der uendelige (og uforudsigelige) udfald af denne praksis. Men i det virtuelle laboratorie reduceres denne mangfoldighed og kompleksitet, da det alene er muligt at udføre de handlinger, som designet og programmeringen af det virtuelle laboratorie tillader. Den didaktiske fordel ved reduktionen af kompleksitet er, at det er muligt at fokusere på bestemte læringsmål og undlade visse parametre. Den didaktiske ulempe er, at eleverne ikke får mulighed for at erfare den kompleksitet, som er forbundet med at udføre fysiske eksperimenter uden for kontrollerbare rammer. Der er således både potentialer og udfordringer forbundet med det virtuelle læringsrum, som har betydning for, hvilke læringspraksisser der bliver skabt.

I forlængelse af ovenstående kan man diskutere, hvilken forståelse af naturvidenskab der bliver konstrueret med virtuelle laboratorier. Som jeg viser i artikel 2 (Lisborg, 2021), så har laboratoriestudierne været eksemplariske i at demonstrere, at der er stor forskel på, hvordan videnskaben bliver skrevet frem i lærebøgerne, og hvordan den faktisk fungerer i praksis. I lærebøgerne bliver vidensproduktionen beskrevet som en mere eller mindre forudsigelig praksis, men som de etnografiske laboratoriestudier viser, så er den videnskabelige praksis en langt mere kompleks og rodet proces. Hvad der bliver stabiliseret som videnskabelige fakta, er et resultat af komplekse sociomaterielle relationer (Latour & Woolgar, 1986).

Virtuelle laboratorier kan ses som materialisering af lærebogsvidenskab, da den fysiske verdens kompleksitet og mulige interaktioner bliver reduceret. Virtuelle laboratorier er designet forskelligt, i forhold til hvor åben og eksplorativ en læringspraksis, de lægger op til – som vist med PhET og Labster – men ligegyldigt hvor åbent, en computersimulering er designet, vil den aldrig kunne imitere den fysiske verdens kompleksitet. Dette betyder ikke, at elever ikke kan lære noget om eksperimentel praksis og naturvidenskabelige fænomener ved at arbejde med det virtuelle laboratorie – tværtimod, som vist i afhandlingen. Men det understreger vigtigheden af at forholde sig til de potentialer og begrænsninger, en teknologi som virtuelle laboratorier fører med sig i en læringsituation.

I stedet for en naiv tro på teknologiernes forløsende potentiale, er der snarere behov for at reflektere over og diskutere, hvordan det virtuelle laboratorie på bedste vis kan understøtte naturfagsundervisningen. Med afhandlingen kan man eksempelvis spørge til, hvordan undervisningen skal didaktiseres, så den understøtter elevernes arbejde med at bygge bro mellem det virtuelle og fysiske læringsdomæne. Hvilke dele af en eksperimentel praksis kan eleverne få erfaring med via det virtuelle laboratorie – og hvilke kan de ikke? Hvordan skal undervisningen didaktiseres, så der er et udbytterigt samspil mellem teknologi, social kontekst og andre materialiteter?

## 4.1 Perspektivering

Med afhandlingen sætter jeg ikke det sidste punktum i diskussionen omkring virtuelle laboratorier og digitalisering i uddannelse. Der kan tages mange forskelligartede diskussioner i forlængelse af afhandlingen, men jeg har valgt tage fat i en højaktuel begivenhed og debat i den danske skole, nemlig den nye teknologiforståelsesfaglighed<sup>12</sup>.

Det hører til sjældenhederne, at en ny faglighed gør sit indtog i skolen, og det, at man politisk har valgt at inkludere teknologiforståelse i skolens

---

<sup>12</sup> Teknologiforståelse blev i 2019-2021 testet som et forsøgsfag i skolen. Fagligheden blev afprøvet på 46 skoler dels som en del af eksisterende fag og dels som et individuelt fag (Lisborg et al., 2021). Faget består af fire overordnede kompetenceområder: 1) digital myndiggørelse, 2) digitalt design og designprocesser, 3) computationel tankegang og teknologisk handleevne (Undervisningsministeriet 2018). Det er endnu uvist, hvordan fagligheden konkret kommer til at blive implementeret i skolen, men i regeringens digitaliseringsstrategi er der blevet afsat en ramme for teknologiundervisning i skolen: ”som kan understøtte, at fagligheden indføres i folkeskolens undervisning, kompetenceudvikling af lærere samt til andre implementeringsindsatser” (Regeringen, 2022, s. 70).

undervisningsopgave, er et vidnesbyrd om en markant ambition om at styrke elevernes digitale kompetencer. I artikel 5 (Lisborg et al., 2021) taler mine medforfattere og jeg om en international ekspanderet digital agenda i uddannelsessektoren i tråd med fx Selwyn (2016) og Williamson et al. (2019). Som vi viser i artiklen, så er der nu langt større krav end tidligere til, hvilke digitale kompetencer eleverne skal besidde, når de forlader skolen. Hvor digitale kompetencer førhen handlede om ICT-kompetencer (at kunne håndtere teknologi), så skal elever i dag kunne forholde sig kritisk til teknologier, designe med teknologier og have forståelse for computational tækning for at blive digitalt kompetente borgere og bidrage til en samfundsøkonomisk vækst. Det er denne nationale og internationale ekspanderede agenda på uddannelsesområdet, som fagligheden teknologiforståelse bliver formuleret som løsningen på.

I afhandlingen har jeg med aktørnetværksteorien kortlagt kontroverserne mellem aktører om, hvilken rolle virtuelle laboratorier skal spille i skolen. Konstruktionen af den nye faglighed er ligeledes en kamplads for forskellige teknologiforståelser, der alle forsøger at vinde indpas og stabilisere deres handlingsprogram som det gældende. Hvordan denne kamp tager sig ud, vil jeg ikke udfolde her, da dette udgør stof til en selvstændig afhandling (det gør derimod ph.d.-studerende Simy Kaur Gahoonia, ITU). Men jeg vil melde mig som aktør i denne kamp med mit eget eksplicite handlingsprogram og advokere for, at en STS-funderet teknologiforståelse bør have en plads i den nye faglighed. Jeg er ikke den første, der slår på tromme herfor. Denne opfordring er blevet formuleret af andre STS-forskere, hvis argumentation jeg har ladet mig inspirere af og bygger videre på. I det følgende vil jeg kort opsummere nogle af de argumenter, som allerede er blevet fremført af det danske STS-forskningsfelt.

STS- og uddannelsesforskere Bjarke Andersen og Oliver Tafdrup (2021) argumenter for, at STS bør danne grundlag for det kompetenceområde, der omhandler digital myndiggørelse, da dette ikke refererer tilbage til en institutionaliseret videnskabstradition, som de øvrige kompetenceområder gør. De ser STS som en oplagt kandidat til at forankre digital myndiggørelse i et etableret fagområde, der tilbyder et vokabularium til at beskrive og forstå den komplekse samskabelse, der finder sted mellem teknologi og samfund. De peger på, at en STS-baseret teknologikritik, der tager udgangspunkt i en anti-essentialistisk, anti-deterministisk og empirisk sensitiv teknologiforståelse, kan sætte eleverne i stand til at analysere komplekse koblinger mellem teknologi og samfund og vurdere konsekvenser ved forskellige teknopraksisser.

STS-forsker Peter Danholt argumenterer ligeledes for, at man bør integrere en STS-funderet teknologiforståelse i den nye faglighed. I hans optik bør denne forståelse bygge på at lære eleverne, at teknologier er aktører i en *mere-end-menneskelig verden* (Danholt, 2021, s. 169). Teknologier er ikke underlagt eller determineret af menneskelig kontrol. De er derimod *transformative agenter*, der er medskabere af den sociale praksis, på ofte uventede og nye måder. Dette er klimaændringerne et godt eksempel på, da de er ukontrollerbare effekter af menneskelig handling og teknologisk udvikling. Han mener, at det bør være en opgave for skolen (gennem teknologiforståelsesfagligheden) at klæde eleverne på til at lære at leve i en usikker verden: ”in which we do not have a full understanding of technology (or other matters such as the climate), but still can act and make choices” (Danholt, 2021, s. 173).

I tråd med de andre STS-forskere ser jeg et oplagt potentiale i at inkludere et STS-baseret teknologisyn som fundament for elevernes digitale myndiggørelse. Med udgangspunkt i forståelsen af, at teknologier er uregerlige, uforudsigelige og anti-essentialistiske, kan eleverne lære at lave kritiske teknologianalyser, der både er empirisk og praktisk funderede. Dette teknologisyn klæder eleverne på til at være digitalt kritiske og forstå teknologier som noget, der har en intentionalitet, der gør, at der er nogle potentialer og udfordringer, når de tages i brug, men at teknopraksisser bliver skabt i konkrete sociomaterielle relationer.

Tafdrup & Andersen og Danholt baserer deres analyser og argumentation på, hvordan teknologiforståelse er beskrevet i policy-litteraturen (trods understregningen af den empiriske orientering), og de kommer kun med spæde betragtninger omkring, hvordan en STS-funderet teknologianalyse kan tage sig ud i den konkrete undervisning.

På baggrund af indsigterne fra afhandlingen vil jeg skitsere, hvordan en STS-teknologiforståelse kan udmønte sig i relation til en teknopraksis, som eleverne har konkret erfaring med fra undervisningen, nemlig det virtuelle laboratorie. Der er et oplagt tværfagligt potentiale i at bruge den konkrete erfaring, som eleverne får i naturfag med VL, som afsæt for empirisk og kritisk teknologianalyse. Jeg tænker ikke, at det er hensigtsmæssigt, at eleverne bliver præsenteret for svære teoretiske begreber fra STS-litteraturen i undervisningen. Det handler derimod om at oversætte relevante indsigter og begreber fra STS-værktøjskassen til vedkommende og forståelige diskussioner for eleverne. Nedenfor vil jeg give to bud på, hvordan disse diskussioner kunne tage sig ud i undervisningen.

*Post-fænomenologiske undersøgelser af teknologimediering:* Elevernes fænomenologiske førstehåndserfaring med at erfare verden gennem et virtuelt laboratorium kan bruges som udgangspunkt for en medieringsanalyse af, hvad VL gør ved deres handlemuligheder, perception og kropslighed. Elevernes erfaringer med det virtuelle laboratorium kan kobles med deres oplevelse af at udføre eksperimenter i et fysisk laboratorium. Som jeg har vist i analyserne i artikel 3 (Lisborg & Tafdrup, under udgivelse) og 4 (Lisborg, 2022), så har eleverne en klar oplevelse af, at den virtuelle mediering har en betydning for deres mulighed for at percipere verden. For eksempel har den kropslige erfaring, som de får ved fysisk at håndtere og opsætte eksperimenter, en betydning for deres verdensforståelse. Den empiriske og fænomenologiske undersøgelse af, hvad medieringen betyder for elevernes adgang til og forståelse af verden og naturfag kan her bruges til kritisk at forholde sig til mediets muligheder og begrænsninger.

I denne type af diskussion er det det oplagt at koble til kompetenceområdet computational tækning og adressere, hvad der er muligt og ikke muligt at programmere en computersimulering til at imitere. Som jeg argumenterer for i artikel 2 (Lisborg, 2021), så er simuleringer designet i forhold til den eksisterende viden på området, og det er umuligt at opdage ny viden, som ikke er en del af den formulerede viden på feltet. Der er desuden begrænsede handlings- og erfaringsmuligheder, da simuleringer ikke kan programmeres til at inkludere den fysiske verdens kompleksitet. Refleksioner som disse sætter eleverne i stand til at forholde sig kritisk til emergende immersive teknologier såsom virtuelle laboratorier, VR og AI.

Opsummerende kan en postfænomenologisk teknologianalyse faciliteres af følgende type af spørgsmål:

- Hvordan oplever I det er at lave eksperimenter i et virtuelt laboratorium?
- Hvordan er det i forhold til at eksperimentere i et fysisk laboratorium?
- Hvad får I mulighed for at opleve i et virtuelt laboratorium?
- Hvad kan I ikke opleve i et virtuelt laboratorium?
- Hvad kan man ikke programmere en computersimulering til at gøre?

*Teknologiers multistabilitet og uregerlighed:* Den anden diskussion i forlængelse af elevernes erfaring med virtuelle laboratorier bygger på forståelsen af, at teknologier hverken er determinerende for en bestemt brugspraksis eller muliggør enhver form for adfærd eller forståelse, som multistabilitetsbegrebet peger på. En teknologisk design og materialitet ansporer til bestemte brugspraksisser og tankemønstre, men den konkrete brugspraksis varierer fra én

kulturel kontekst til en anden. Dette implicerer en analyse af, hvilke designprincipper en teknologi bygger på, for at forstå, hvilke brugspraksisser, det virtuelle laboratorie inviterer til (teknologisk intentionalitet). Men med STS er analysen ikke færdig her. Dette er kun det første spadestik – eller snarere forudsætningen for – at undersøge, hvilke teknopraksisser der bliver skabt i mødet mellem teknologi, mennesker og andre materialiteter. Teknologier kan ændre praksis på helt andre måder, end de er designet til, eller vi kan forstille os, da de ikke er determineret af en menneskelig kontrol, men er aktører i en *mere-end-menneskelig verden*, som Danholt formulerer det. Jeg har forsøgt at oversætte forståelsen af teknologiers multistabilitet og uregerlighed til nogle konkrete diskussionsspørgsmål, som man kan bruge i undervisningen:

- Hvordan er det virtuelle laboratorie designet (fx åbent/lukket, spilbaseret/ikke spilbaseret, en/flere brugere)?
- Hvordan har I brugt det virtuelle laboratorie i undervisningen? (fx selvstændigt/lærerstyret arbejde, arbejdet alene/i grupper)?
- Hvilke forskelle var der på den læringsform, som det virtuelle laboratorie lagde op til, og den måde, I brugte det på i undervisningen?
- Hvad havde betydning for, hvordan I arbejdede i det virtuelle laboratorie (fx samarbejde med andre elever, hjælp fra læreren, andre eksperimenter I har lavet)?
- Hvordan ville I designe et virtuelt laboratorie, der passede med den måde, som I gerne vil lære på i naturfag?

I perspektiveringerne har jeg (naturligt nok) taget udgangspunkt i det virtuelle laboratorie til at skitsere, hvordan en STS-inspireret teknologianalyse og kritik konkret kan se ud. Men en sådan diskussion kan foregå på mange flere måder og knytte sig til andre former for læringsteknologier, som eleverne arbejder med i skolen. Pointen er, at der er et oplagt potentiale i at bruge de konkrete erfaringer, som eleverne gør sig i den digitaliserede skole, som udgangspunkt for STS-inspirerede teknologianalyser. Afhandlingens afsluttende opfordring er derfor, at man på det politiske plan inkluderer et STS-funderet teknologisyn i den nye faglighed, og at man ude på skolerne kaster sig ud i at eksperimentere med og gøre sig erfaringer med at lave STS-inspirerede teknologianalyser på tværs af forskellige fagdiscipliner og teknologier.

## REFERENCER

- Aagaard, J., Kyrre, J., Sorenson J., Tafdrup, O. & Catrine Hasse (2018). An Introduction to Postphenomenological Methodologies. I J. Aagaard, J. Kyrre, J. Sorenson, O. Tafdrup & C. Hasse (red.). *Postphenomenological Methodologies – New Ways in Mediating Techno-Human Relationships*. New York: Lexington Books.
- Adams, C. & Turville, J. (2018). Doing Postphenomenology in Education. I J. Aagaard, J. Kyrre, J. Sorenson, O. Tafdrup & C. Hasse (red.). *Postphenomenological Methodologies – New Ways in Mediating Techno-Human Relationships*, 3-25. New York: Lexington Books.
- Alkhalidi, T., Pranata, I. & Athauda, R. I. (2016). A review of contemporary virtual and remote laboratory implementations: observations and findings. *Journal of Computers in Education*, 3(3): 329–51. <https://doi.org/10.1007/s40692-016-0068-z>.
- Andersen, B. L. & Tafdrup, O. A. (2021). Science and Technology Studies. Trin mod en myndiggørende teknologikritik. *Learning Tech – Tidsskrift for læremidler, didaktik og teknologi*, (10), 218-239. DOI 10.7146/lt.v6i10.125247
- Anderson-Levitt, K. M. (2011). *Anthropologies of Education - A Global Guide to Ethnographic Studies of Learning and Schooling*. New York: Berghahn Books.
- Atkinson, P. & Hammersley, M. (1998). Ethnography and Participant Observation. I N.K. Denzin & Y.S, Lincoln (red.) *Strategies of Qualitative Inquiry*, 110-136. London: Sage.
- Balslev, J. (2018). *Kritik af den digitale fornuft*. Frederiksberg: Hogrefe.
- Blok, A. & Jensen, T. (2009). *Bruno Latour – hybride tanker i en hybrid verden*. København: Hans Reitzels Forlag.
- Boellstroff, T., Nardi, B. Pearce, C. & Taylor, T. L. (2012). *Ethnography and Virtual Worlds: A Handbook of Method*. Princeton: Princeton University Press.
- Braun, V. & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3 (2), 77-101.



- Braun, V. & Clarke, V. (2019) Reflecting on reflexive thematic analysis, *Qualitative Research in Sport, Exercise and Health*, 11(4), 589-597, DOI: 10.1080/2159676X.2019.1628806.
- Braun, V. & Clarke, V. (2021). One size fits all? What counts as quality practice in (reflexive) thematic analysis?. *Qualitative Research in Psychology*, 18(3), 328-352. DOI: 10.1080/14780887.2020.1769238.
- Brinkmann, S. & Kvale, S. (2014). *InterViews - Learning the Craft of Qualitative Research Interviewing*. London: SAGE Publications Inc
- Børne- og Undervisningsministeriet (2018a). *Handlingsplan for teknologi i undervisningen*. København: Undervisningsministeriet.
- Børne- og Undervisningsministeriet (2018b). *National Naturvidenskabsstrategi*. København: Undervisningsministeriet.
- Børne- og Undervisningsministeriet (2019). *Frikøb af licenser og en række andre initiativer skal styrke anvendelsen af interaktive laboratorier i naturfagsundervisningen*. <https://www.uvm.dk/aktuelt/nyheder/uvm/2019/apr/190425-frikob-af-licenser-skal-styrke-anvendelsen-af-interaktive-laboratorier> (besøgt 16. marts 2021).
- Callon, M. (1987). Some elements in a sociology of translation: Domestication of the scallops and fishermen of St. Brieuc Bay. I J. Law (red.) *Power, Action and Belief*, 196-233. London: Routledge and Kegan Paul.
- Chiu, J., DeJeagher, C. & Chao, J. (2015). The effects of augmented virtual science laboratories on middle school students' understanding of gas properties. *Computers & Education*, 85, 59-73.
- 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. A. Smith (red.). *Qualitative Psychology: A Practical Guide to Research Methods*, 222-248. London: SAGE Publications.
- Collins, H. M. (1974). The TEA set: Tacit knowledge and scientific networks. *Science Studies*, 4(2), 165-185.

- Danholt, P. (2021). Technology Comprehension in a More-Than-Human World. *Learning Tech – Tidsskrift for læremidler, didaktik og teknologi*, (10), 169-190. DOI 10.7146/lt.v6i10.125722
- De Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education, *Science*, 340(6130), 305–308.
- Dockett, S., Einarsdottir, J. & Perry, B. (2017). Photo elicitation: reflecting on multiple sites of meaning. *International Journal of Early Years Education*, 25(3), 225-240, DOI: 10.1080/09669760.2017.1329713
- Falzon, M. K. (2016). *Multi-sited Ethnography - Theory, Praxis and Locality in Contemporary Research*. New York: Routledge.
- Faour, M. & Ayoubi, Z. (2018). The Effect of Using Virtual Laboratory on Grade 10 Students' Conceptual Understanding and their Attitudes towards Physics. *Journal of Education in Science Environment and Health*, 4(1). 10.21891/jeseh.387482
- Gordon, T., Holland, J. & Lahelma, E. (2001). Ethnographic Research in Educational Settings. I P. Atkinson, A. Coffey, S. Delamont & L. Lofland (red.), *Handbook of Ethnography*, 188-203. London: SAGE Publications.
- Gulløv, E., & Højlund, S. (2003). *Feltarbejde blandt børn. Metodologi og etik i etnografisk børneforskning*. København: Gyldendal
- Hammersly, M. og Atkinson, P. (2019). *Ethnography – Principles in Practice*. Taylor & Francis Ltd
- Harper, D. (2002). Talking about pictures: A case for photo elicitation. *Visual Studies*, 17(1), 13–26.
- Hasse, C. (2008). Postphenomenology: Learning Cultural Perception in Science. *Human Studies*. 31(1), 43-61.
- Hasse, Cathrine. 2019. Posthuman Learning: AI from novice to expert? *AI and Society*. 34(3), 355-364. DOI: 10.1007/s00146-018-0854-4
- Hasse, C. (2020). *Posthumanist learning: what robots and cyborgs teach us about being ultra-social*. London: Routledge.

- Hastrup, K. (2010). Introduktion – den antropologiske videnskab. I K. Hastrup (red.), *Ind i Verden: En Grundbog i Antropologisk Metode*, 9-34. København K: Hans Reitzels Forlag.
- Hastrup, K. (2006). *Designforskning: Mellem materialitet og socialitet*, 1-9. Center for Designforskning.
- Hautopp, H., Jensen, E. & Lisborg, S (upubliceret). *Elicitation methods and complex learning processes*.
- Heat, C. & Hindmarsh, J. (2002). Analyzing Interaction: Video, Ethnography and Situated Conduct. I T. May (red.) *Qualitative Research in Practice*, 99–121. London: SAGE Publications
- Heidegger, M. (2007). *Varen og Tid*. KLIM.
- Hennessy, S., Wishart, J., Whitelock, D., Deaney, R., Brawn, R., Velle, L., McFarlane, A., Ruthven, K. & Winterbottom, M. (2007). Pedagogical approaches for technologyintegrated science teaching. *Computers and Education*, 48(1), 137-152. DOI:10.1016/j.compedu.2006.02.004.
- Hine, C. (2000). *Virtual Ethnography*. London: SAGE Publications.
- Honey, M. A. & Hilton, M. L. (2011). *Learning science through computer games and simulations*.
- Hutchins, E. (1995). *Cognition in the Wild*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Ihde, Don. (2002). *Bodies in Technologies*. London: University of Minnesota Press.
- Ihde, D. (1990). *Technology and the Lifeworld: From Garden to Earth*. Bloomington and Indianapolis: Indiana University Press.
- Interlab (2022). *Interaktive laboratorier, rapport – februar 2022*. København: Børne- og Undervisningsministeriet.
- Justesen, L. N. (2005). Dokumenter i netværk. I M. Järvinen, & N. Mik-Meyer (red.), *Kvalitative metoder i et interaktionistisk perspektiv: Interview, observationer og dokumenter*, 215-234. København: Hans Reitzels Forlag.
- Kawaf, F. (2019). Capturing digital experience: The method of screencast videography. *International Journal of Research in Marketing*, 36(2), 169–184. <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2018.11.002>.

- Kjærsgaard, M. G. & Buur, J. (2018). Videoetnografi og design. I J. Davidsen & M. Kjær (red.), *Videoanalyse af social interaktion: An introduction to methods and theories in practice*, 185-217. Frederiksberg: Samfundslitteratur.
- Knorr-Cetina, K. (1999). *Epistemic Cultures: How the Sciences Make Knowledge*. Harvard: Harvard University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctvxw3q7f>
- Knuuttila, T. (2005). Models, representation, and mediation. *Philosophy of Science*, 72(5), 1260–1271.
- Knuuttila, T., & Voutilainen, A. (2003). A parser as an epistemic artefact: A material view on models. *Philosophy of Science*, 70(5), 1484–1495.
- Krüger, J.T., Höffler, T.N., Wahl, M., Knickmeier, K. & Parchmann, I. (2022). Two comparative studies of computer simulations and experiments as learning tools in school and out-of-school education. *Instructional Science*, 50, 169–197. <https://doi.org/10.1007/s11251-021-09566-1>.
- Latour, B. & S. Woolgar (1986) *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*. 2<sup>nd</sup> edition. Princeton: Princeton University Press.
- Latour, B. (1987). *Science in action: How to Follow Scientists and Engineers Through Society*. Harvard: Harvard University Press.
- Latour, B. (1990). Technology is society made durable. *The Sociological Review*, 38(1), 103-131.
- Latour, B. (1996). Om aktør-netværkteori: Nogle få afklaringer og mere end nogle få forviklinger. *Philosophia*, 25(3-4), 47-64.
- Latour, B. (2005). *Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network-Theory*. Oxford: Oxford University Press.
- Lave, J. & Wenger, E. (1991). *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. New York: Cambridge University Press.
- Law, J. (2014). *After Method Mess in Social Science Research*. London og New York: Routledge.
- Levinson, B. A. U. & Pollock, M. (2011). *A Companion to the Anthropology of Education*. Blackwell Publishing Ltd

- Lisborg, S. (upubliceret). Et kritisk blik på virtuelle laboratories indrejse i skolen. *Tidskriftet Dansk Sociologi*.
- Lisborg, S., & Tafdrup, O. (under udgivelse). Virtual Laboratories and Posthuman Learning. *Techné: Research in Philosophy and Technology*.
- Lisborg, S. (2021). Virtual Educational Laboratories: Instructive or explorative learning?. *STS Encounters*, 12(1), 19-49.  
[https://www.dasts.dk/?page\\_id=356](https://www.dasts.dk/?page_id=356)
- Lisborg, S., Daphne Händel, V., Schröder, V., & Middelboe Rehder, M. (2021). Digital competences in Nordic teacher education: an expanding agenda. *Nordic Journal of Comparative and International Education (NJCIE)*, 5(4), 53–69. <https://doi.org/10.7577/njcie.4295>
- 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
- Lyle, J. (2003). Stimulated Recall: A Report on Its Use in Naturalistic Research. *British Educational Research Journal*, 29(6), 861–878.  
<http://www.jstor.org/stable/1502138>
- MacDougall, D. (1982). Unprivileged Camera Style. *RAIN*. 50: 8-10
- Marcus, G.E. (1995). Ethnography in/of the World System: The Emergence of Multi-Sited Ethnography. *Annual Review of Anthropology*, 24(1), 95–117.
- Merleau-Ponty, M. (2009). *Kroppens fenomenologi*. København: Det lille forlag.
- Mills, D. & Morton, M. (2013). *Ethnography in education*. London: SAGE Publications.
- Mol, A. (2002). *The Body Multiple Ontology in Medical Practice*. Durham: Duke University Press.
- Mortensen, J., & Hazel, S. (2018). At arbejde med videodata: Praktiske og tekniske aspekter. I J. Davidsen, & M. Kjær (red.), *Videoanalyse af social interaktion*, 61-86. Frederiksberg: Samfundslitteratur.
- Munk, A. K. (2021). Virkeliggørelser – hvordan man bruger flerstedet etnografi til at beskrive multiple fænomener? I I. Papazu & B. Wintherik (red.), *Aktornetværksteori i praksis*, 105-121. København: Djøf Forlag.

- Møhl, P. (2010). Synliggørelsen: Med kameraet i felten. I Hastrup, K. (red.), *Ind I Verden: En Grundbog i Antropologisk Metode*, 163-184. København: Hans Reitzels Forlag.
- Møhl, P. (1995). Etnografien i kameraet. *Tidskriftet Antropologi*, (31), 39-52.  
<https://doi.org/10.7146/ta.v0i31.115455>
- Olesen, F., Bille, M. & Riis, S. (2021). Postfænomenologi. I P. Danholt & C. Gad (red.) *Videnskab, teknologi og samfund – en introduktion til STS*, 121-140. København: Hans Reitzels Forlag.
- Orduña, P., Rodriguez-Gil, L., García-Zubía, J., Dziabenko, O., Angulo, I., Hernández-Jayo, U. & Azcuenaga, E. (2016). Classifying online laboratories: reality, simulation, user perception and potential overlaps. I *Proceedings of 13th international conference on remote engineering and virtual instrumentation*, Madrid, Spanien, 24–26 Feb 2016.
- PhET Interactive Simulations: <https://phet.colorado.edu/en/simulations/filter> (besøgt 18. august 2022).
- Ratner, H. & Gad, C. (2019). Data warehousing organization: Infrastructural experimentation with educational governance. *Organization*, 26(4), 537-552.
- Raudaskoski, P. (2010). Observationsmetoder (herunder videoobservation). I Brinkmann, S. & Tanggaard, L. (red.) *Kvalitative metoder: en grundbog*, 97-112. København: Hans Reitzels Forlag.
- Paul, I., & John, B. (2020). Effectiveness of computer simulation in enhancing higher order thinking skill among secondary school students. *UGC Care Journal*, 31(4), 343–356.
- Pickering, A., Olesen, F. & Danholt, P. (2021). Experimenting with experiments - an introduction. *STS Encounters*, 12(1), 7-15.  
[https://www.dasts.dk/?page\\_id=356](https://www.dasts.dk/?page_id=356)
- Regeringen (2022). *Danmarks digitaliseringsstrategi – sammen om den digitale udvikling*. København: Finansministeriet.
- Rehder, M. (2016). *Søskendenrøvær: et fænomenologisk inspireret studie af unge adskilte søskendes hverdag med afsæt i teknologier, materialiteter og kropslige erfaringer* [Ph.d.-afhandling]. Aarhus Universitet.

- Rehder, M. & Møller, T. (2021). Visuelle etnografiske analysemetoder: fra filmoptagelser til skrevne analyser. I M. Møller, M. Jensen, V. Schrøder & A. Gregersen (red.). *Kvalitative undersøgelser i læreruddannelsens BA-projekt: inspiration fra praksisnær skoleforskning*, 131-143. Frederiksberg: Samfundslitteratur.
- Perkins, K., Loeblein, P. & Dessau, K. (2010). Sims for Science: Powerful Tools to Support Inquiry-Based Teaching. *Science Teacher*, 77(7), 46-51.
- Rosenberger, R. (2018). Why It Takes Both Postphenomenology and STS to Account for Technological Mediation. I J. Aagaard, J. Kyrre, J. Sorenson, O. Tafdrup & C. Hasse (red.). *Postphenomenological Methodologies – New Ways in Mediating Techno-Human Relationships*, 171-198. New York: Lexington Books.
- Rosenberger, R. & P-P. Verbeek (2015). *Postphenomenological Investigations: Essays on Human–Technology Relations*. Lanham, MD: Lexington Books.
- 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.
- Röhl, T. (2018). Inviting and interacting: Postphenomenology and the microsociology of Education. I J. Aagaard, J. Kyrre, J. Sorenson, O. Tafdrup & C. Hasse (red.). *Postphenomenological Methodologies – New Ways in Mediating Techno-Human Relationships*, 27-44. New York: Lexington Books.
- Schön, D. (1983). *The Reflective Practitioner - How Professionals Think in Action*. USA: Basic Books.
- Selwyn, N. (2013). *Education in a Digital World: Global Perspectives on Technology and Education*. London: Routledge.
- Selwyn, N. (2016). *Is Technology Good for Education?* Cambridge UK: Polity Press.
- Shapin, S. & Schaffer, S. (1985). *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle and the experimental life*. Princeton: Princeton University Press.
- Shaw, P. A. (2020): Photo-elicitation and photo-voice: using visual methodological tools to engage with younger children’s voices about inclusion in education. *International Journal of Research & Method in Education*, DOI: 10.1080/1743727X.2020.1755248

- Sismondo, S. (2010). *An introduction to science and technology studies* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- 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.
- Spradly, J. (1980). *Participant Observation*. Long Grove, Illinois: Waveland Press, Inc
- Sypsas, A. & Kalles, D. (2018). Virtual Laboratories in Biology, Biotechnology and Chemistry education: A Literature Review. I *Proceedings of PCI '18*, November 29-December 1, Athen, Grækenland.  
<https://doi.org/10.1145/3291533.3291560>
- Sørensen, E. (2009). *The materiality of learning: Technology and knowledge in educational practice*. New York: Cambridge University Press.
- Szulevicz, T. (2012). Videoobservationer som privilegeret dokumentation af hverdagspraksis. I M. Pedersen, J. Klitmøller & K. Nielsen (red.). *Deltagelsesobservation*. København: Hans Reitzels Forlag.
- Tafdrup, O. (2018). *Sociotekniske imaginationer i den digitale tidsalders uddannelsesfelt* [Ph.d.-afhandling]. Aarhus Universitet.
- Tanggaard, L. & Brinkmann, S. (2015). Interviewet: Samtalen som forskningsmetode. I L. Tanggaard & S. Brinkmann (red.). *Kvalitative metoder – En grundbog*. København; Hans Reitzels Forlag
- Tatli, Z., & Ayas, A. (2013). Effect of a Virtual Chemistry Laboratory on Students' Achievement. *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
- Thøgersen, U. (2004). *Krop og fænomenologi - en introduktion til Maurice Merleau-Pontys filosofi*. København: Gyldendal.
- Trundle, K. C. & Bell, R. L. (2010). The Use of a Computer Simulation to Promote Conceptual Change: A Quasi-Experimental Study. *Computers & Education*, 54, 1078-1088.



- Tække, J. (2014). *Undervisningsteknik i lyset af Heidegger og Luhmann*. Paper til Dansk Filosofisk Selskabs årsmøde, 7-8. marts, Aalborg Universitet.
- Undervisningsministeriet (2018). *Teknologiforståelse – måloversigt*. København: Undervisningsministeriet.
- Verbeek, P-P. (2008). Cyborg intentionality: rethinking the phenomenology of human- technology relations. *Phenomenology and the cognitive sciences*, 7(3), 387-395.
- Verbeek, P-P. (2005). *What things Do: Philosophical Reflections on Technology, Agency and Design*. University Park, Pennsylvania: The Pennsylvania State University Press.
- Wang, C. (1999). Photovoice: A participatory action research strategy applied to women's health, *Journal of Women's Health*, 8(2), 185–192.
- Wieman, C.E., W.K. Adams & K.K. Perkins (2008). PhET: Simulations that enhance learning. *Science*. 322 (5902): 682–683.
- Williamson, B., Rensfeldt, A. B., Player-Koro, C. & Selwin, N. (2019). Education recoded: Policy mobilities in the international 'learning to code' agenda. *Journal of Education Policy*, 34, 705–725. <https://doi.org/10.1080/02680939.2018.1476735>
- Winthereik, B. (2015). Den Ontologiske Vending i Antropologi og Science and Technology Studies. *STS Encounters*, 7(2), 1-31.
- Yinger, R. J. (1986). Examining thought in action: a theoretical and methodological critique of research on interactive teaching, *Teaching and Teacher Education*, 2, 263–242.
- Zacharia, Z. C., Manoli, C., Xenofontos, N., de Jong, T., Pedaste, M., & van Riesen, S. A. N. (2015). Identifying potential types of guidance for supporting student inquiry when using virtual and remote labs in science: A literature review. *Educational Technology Research and Development*, 63, 257–302. <https://doi.org/10.1007/s11423-015-9370-0>.
- Zacharia, Z. C. & C. P. Constantinou (2008). Comparing the influence of physical and virtual manipulatives in the context of the Physics by Inquiry curriculum: The case of undergraduate students' conceptual understanding of heat and temperature. *American Journal of Physics*, 76, 425. <https://doi.org/10.1119/1.2885059>



## Artikel 1

Lisborg, S. Et kritisk blik på virtuelle laboratories indrejse i skolen. *Tidsskriftet Dansk Sociologi*.

Tak til Tidsskriftet Dansk Sociologi for at tillade publicering af artiklen i afhandlingen.

# ET KRITISK BLIK PÅ VIRTUELLE LABORATORIERS INDTOG I SKOLEN

## Indledning

I folkeskolen er et grundspørgsmål, hvad skal der undervises i og hvordan. Dette spørgsmål er til kontinuerlig debat og forhandling mellem forskellige aktører med interesse i den danske skole. En (stadig) højaktuel debat i skolen er spørgsmålet om digitale læringsteknologier. Med teknologifilosof Søren Riis' ord, er skolen blevet et eksperimentarium for nye teknologier, hvor det kontinuerligt bliver afprøvet, hvordan teknologier kan berige skolens praksis (Riis, 2012). Jesper Balslev (2018) har i sin ph.d.-afhandling undersøgt, hvordan digitalisering er blevet beskrevet i policy-litteraturen over en 30-årig periode. Han viser, hvordan der politisk hersker en ukritisk teknologioptimisme, hvor uddannelsesteknologier bliver udpeget som løsningen til at optimere og løfte undervisningen, omend der ofte ikke er evidens herfor. Han mener, at vi i langt højere grad bør forholde os kritisk til, *hvorfor* og *hvordan* digitale teknologier bliver en del af skolens praksis. Dette er ambitionen med artiklen.

I artiklen kaster jeg med aktørnetværksteorien (ANT) et kritisk blik på, hvordan en konkret læringsteknologi, virtuelle laboratorier (VL), har fundet vej til klasselokalet. Virtuelle laboratorier er en læringsteknologi, som er genstand for en politisk opmærksomhed. VL er skrevet ind i flere policy-strategier som en teknologi, der kan revitalisere naturfag og øge elevernes læring og motivation (Børne- og Undervisningsministeriet, 2018a; 2018b). Det kritiske potentiale i en aktørnetværksteoretisk analyse ligger i at vise, at det ikke er en naturgiven eller uskyldig bevægelse, at virtuelle laboratorier bliver en del af skolens praksis. Det er tværtimod et resultat af forhandlinger, kampe og alliancer mellem forskellige aktører. Det er med andre ord ikke fordi, virtuelle laboratorier nødvendigvis er den optimale løsning på at optimere og løfte elevernes læring og motivation, men fordi nogle aktører er lykkedes med at skabe interesse for VL i sådan en grad, at det er blevet en uomgængelig del af naturfagsundervisningen. I artiklen viser jeg, hvordan virtuelle laboratoriers indrejse i skolen er omgærdet af forskellige interesser, problematiseringer og forhåbninger, der rækker langt ud over klasselokalets vægge. Det er en historie, hvor både politiske dagsordener, producenter, eksamensprøver, lærere og elever bliver indrullet i en dagsorden om at stimulere brugen af VL i skolen. Historien om virtuelle laboratorier kunne være startet på mange måder, men jeg har valgt at starte den der, hvor VL bliver en del af uddannelsespolitikken. Det er et tidspunkt, hvor nogle aktører har formået at sætte sig på dagsordenen og gøre virtuelle laboratorier til et

uddannelsespolitisk spørgsmål. Artiklen skal hermed besvare følgende forskningsspørgsmål:

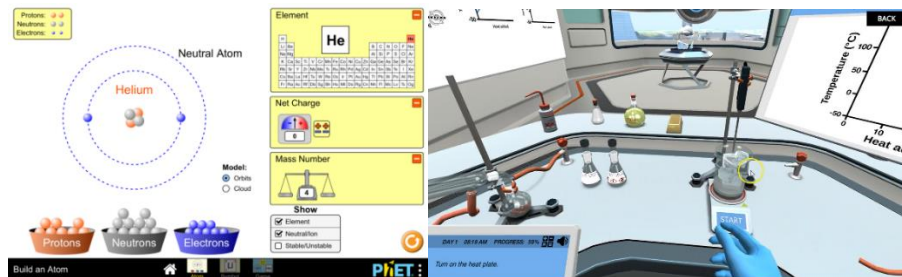
*Hvilke aktørnetværk har haft succes med at stabilisere virtuelle laboratorier som en del af naturfagsundervisningen i folkeskolen?*

Artiklen er struktureret på følgende måde. Først giver jeg en kort introduktion til det virtuelle laboratorie. Herefter udfolder jeg begrebsapparatet fra ANT, der udgør artiklens teoretiske linse. Dette afsnit bliver efterfulgt af en beskrivelse af det empiriske og metodiske grundlag for den efterfølgende analyse. Analysen er opbygget omkring knudepunkterne for virtuelle laboratoriers indrejse i skolen samt de kontroverser, der udfordrer denne stabilisering. Afslutningsvis opsummerer jeg og diskuterer analysens kritiske potentiale.

## **Virtuelle laboratorier i skolen**

Virtuelle laboratorier er interaktive computersimuleringer, der simulerer et naturvidenskabeligt eksperimentelt setup i bred forstand. Et virtuelt laboratorie skal ikke alene forstås som simuleringer af forsøg, men inkluderer også andre interaktive computermodeller af naturvidenskabelig relevans (Interlab, 2022). Det centrale er, at eleverne har mulighed for selv at ændre på forskellige parametre og efterfølgende observere konsekvenserne af deres handlinger (Honey & Hilton, 2011). På denne måde adskiller virtuelle laboratorier sig fra statiske illustrationer, da eleverne kan interagere med dem på forskellige måder. Nogle af de mest brugte virtuelle laboratorier i skolen er PhET Interactive Simulations og Labster (Implement, 2018). Det er ligeledes de virtuelle laboratorier, som jeg refererer til i artiklen. PhET er udviklet af undervisere på University of Colorado Boulder. Simuleringerne er gratis tilgængelige, og de fleste er oversat til dansk. De virtuelle laboratorier er udviklet med udgangspunkt i en konstruktivistisk læringsopfattelse, hvor det er elevernes egen eksploration, der er i centrum. Simuleringerne har et åbent format og kan integreres i forhold til forskellige læringsstile og mål. Labster er udviklet af et dansk firma ved samme navn. Det kræver licenser at få adgang til Labster, men Børne- og Undervisningsministeriet (UVM) havde i perioden 2019-20 købt adgang for skolerne til udvalgte simulationer. De fleste er på engelsk, men enkelte simuleringer er oversat til dansk. Simuleringerne bygger på et behavioristisk læringssyn, hvor eleverne trin-for-trin gennemgår forskellige eksperimentelle procedurer og besvarer multiple-choice spørgsmål (Lisborg, 2021).

## Illustration 1: PhET (venstre) og Labster (højre)



Kilde: PhET, Byg et atom: <https://phet.colorado.edu/da/simulations/build-an-atom> og Labster, Heating Curves and Phase Changes: Distil Ethanol

## Aktørnetværksteorien som teoretisk linse

Der er flere studier inden for uddannelsesforskning, der interesserer sig for, hvordan uddannelsespolitik kan forstås som netværkskonstruktioner mellem heterogene aktører (Fenwick & Edwards, 2010; 2018). Disse studier viser, hvordan uddannelsespolitik og de afledte praksisser er et produkt af tilknytning til en lang række andre netværk. Det samme gør sig gældende for historien om, hvordan virtuelle laboratorier bliver en del af skolens praksis. At virtuelle laboratorier bliver koblet med folkeskolen, er et resultat af en række forhandlinger, relationer og interessefællesskaber mellem forskellige aktører og koblinger til andre aktørnetværk.

Helt centralt for ANT er *det generelle symmetriprincip* (Callon, 1986; Latour, 1996). Symmetriprincippet bliver først formuleret med Social Construction of Technology (SCOT), der advokerer for, at man må give de samme forklaringer på de teknologier, der får succes, som på dem, der ikke gør. Når en teknologi lykkes, så handler det ikke nødvendigvis om, at den er den teknisk optimale eller mest brugervenlige, men om, at en række af institutioner og aktører har støttet op om den (Blond & Olesen, 2021). ANT bygger videre på dette ræsonnement, men sidestiller desuden humane og non-humane aktører. Det er ikke kun en politiker eller en lærer, der kan have betydning for, hvordan VL bliver stabiliseret i skolen, men det kan en computer, en strategi eller en anden materialitet også. De aktører, som får en betydning, er dem, der tilskrives *handling* eller *agens* i den konkrete kontekst (Latour, 1996; Latour & Woolgar, 1986). De processer, hvor en aktør opnår handlekraft ved at forbinde sig med andre, kaldes *translation* (Elgaard, 2003). Det generelle symmetriprincip implicerer således, at man ikke på forhånd kan vide, hvilke aktører der har en betydning for, at virtuelle laboratorier bliver en af skolens praksisser. Dette er alene et empirisk spørgsmål. En måde,

hvorpå et aktørnetværk kan blive styrket, er ved at opstille en problematisering, som er relevant for alle i netværket, et *obligatorisk passagepunkt* (Callon, 1986). Herved arbejder aktører sammen om at opnå et fælles mål, og netværket bliver stabiliseret. En central pointe er dog, at intet netværk er stabiliseret én gang for alle. Det kræver vedvarende translationer, hvis det skal bevare sin stabilitet og styrke.

Det sidste begreb fra ANT, som er central for analysen, er *inskriftioner*. Inskriftioner er en særlig form for translationsproces, hvor et ikke-skriftligt fænomen bliver katalysator for en proces, der ender med et andet materielt fænomen, såsom en visualisering eller en rapport (Elgaard, 2021). Historien om virtuelle laboratorier inkluderer flere inskriptionsprocesser, hvor eksempelvis en politisk vision om at stimulere brugen af virtuelle laboratorier bliver materialiseret i en strategi. Når en vision bliver transformeret til en nedskrevet strategi, bliver det lettere for andre aktører at skabe forbindelser hertil. Inskriftioner har således potentiale til at blive en magtfuld aktør i kampen om, hvilken rolle VL skal spille i skolen, hvis andre aktører knytter an hertil og agerer på baggrund heraf (Latour, 1990a). Hertil kommer, at inskriptioner kan skabe nye inskriptioner (Latour & Woolgar, 1979). En strategi materialiserer sig som eksempelvis handlingsplaner, rapporter og undervisningsmaterialer. I fortællingen om det virtuelle laboratorie er der et helt apparat af inskriptioner, der knytter an til hinanden og er med til at stabilisere netværk på bestemte måde og gøre nogle aktører stærkere end andre.

Opsamlende tilbyder ANT en terminologi til at beskrive de translationsprocesser, der finder sted, når en ny teknologi som virtuelle laboratorier bliver sat i relation til folkeskolen. Disse processer bunder i en problematisering af eksisterende praksis, etablering af et obligatorisk passagepunkt, inskriptioner og indrulning af aktører i allianceskaber.

## Metode

Det empiriske grundlag for analysen er dokumentanalyse og interviews. Dokumentanalysen indbefatter analyse af policy-dokumenter, der omhandler virtuelle laboratorier i skolen i perioden 2018-2022. De dokumenter, som er blevet indsamlet og analyseret, er: nationale strategier og handlingsplaner, undersøgelser og rapporter, udbudsmateriale og pressemeddelelser fra Børne- og Undervisningsministeriet. Som Justesen (2005) skriver, så er det empiriske materiale altid et produkt af en *partikular konstruktionsproces*, som man som forsker foretager sig, og som det er centralt at redegøre for. Jeg har gjort brug af den velkendte sneboldsmetode, hvor læsningen af et dokument eller et interview har ført mig på sporet af andre dokumenter. Policy-dokumenter er inskriptioner af politiske visioner og agendaer, der legitimerer, problematiserer eller kategoriserer på bestemte måder, men et dokumentets betydning eller handlekraft afhænger af,

hvilke konkrete relationer eller oversættelsesprocesser som det indgår i (Ibid.). Det er med andre ord først, når et dokument indgår i en relation med andre aktører, at det får en betydning i et aktørnetværksteoretisk perspektiv. I analysen undersøger jeg, hvilke forståelser, begrundelser og problematiseringer der knytter sig til det virtuelle laboratorie i policy-dokumenterne og følger de oversættelsesprocesser, der sker, når aktører knytter an til dem.

Jeg har desuden lavet interviews med aktører på feltet. Hvor de klassiske ANT-studier sjældent inkluderer interviewmateriale, så er der kommet en bred accept af, at forskelligartede metoder er anvendelige til at belyse den komplekse og mangefacetterede virkelighed (Demant & Ravn, 2017; Law, 2014). Dement og Ravn (2017) peger på, at når man bruger interviews i en aktørnetværksteoretisk analyse, så er det vigtigt, at interviewformen er afsøgende og åben, så informanten kan formulere de aspekter i et aktørnetværk, som er væsentlige for den pågældende. I forlængelse heraf har jeg gjort brug af en semistruktureret interviewform, hvor man som interviewer er sensitiv over for de perspektiver, som den interviewede bringer på banen (Kvale & Brinkmann, 2009). Konkret har jeg udarbejdet en interviewguide med overordnede temaer, men har ladet interviewet være en åben dialog, hvor informanternes forståelse og perspektiv på aktørnetværket har været det styrende element. De aktører, som jeg har interviewet, kan groft inddeles i to kategorier. Den ene gruppe af informanter er en del af det politiske embedsværk. I denne gruppe har jeg interviewet tre embedsmænd i Styrelsen for IT og Læring (STIL) under Børne- og Undervisningsministeriet. De tre embedsmænd har på forskellige tidspunkter i perioden 2018-2022 været projektleder for UVM's indsatser omkring virtuelle laboratorier. Jeg har desuden interviewet kommissionsformanden for de skriftlige prøver i biologi, der er med til at udvikle og afvikle forsøgsprøver, hvor virtuelle laboratorier indgår. Den anden gruppe af informanter er aktører uden for embedsværket. Her har jeg interviewet en projektleder fra UVM's udviklingsprojekt om interaktive laboratorier (Interlab), en konsulent fra det nationale naturfagscenter (Astra) samt en simuleringsudvikler fra Labster. Endelig har jeg, som en del af et større feltarbejde på tre skoler, interviewet naturfagslærere og elever om deres erfaringer med og forståelse af det virtuelle laboratorie. Der er indhentet informeret samtykke fra samtlige informanter. Alle informanter er anonymiseret og har haft mulighed for at få citater til gennemsyn og godkendelse inden publicering.

## **Optakt til analysen**

I analysen optrevler jeg historien om, hvilke forbindelser, forhandlinger og agendaer der har stabiliseret virtuelle laboratorier som en aktør i skolen. En ofte fremført kritik af ANT er, at historien er skrevet fra den vindende aktørs perspektiv (Lee & Brown, 1994). Med John Laws ord er det derfor vigtigt at



fremvise, *hvad det nutidige gør fraværende* (Law, 2004). Det er således ikke kun de handlingsprogrammer og translationer, der har været succesfulde i forhold til at stabilisere virtuelle laboratorier som aktør i skolen, der er interessante, men også de kontroverser og antiprogrammer (Latour, 1996), der udfordrer denne stabilisering. I den følgende analyse viser jeg, hvordan feltet for virtuelle laboratorier er et felt med konkurrerende agendaer, hvor translationer gør nogle aktører stærkere end andre, i hvert fald for en tid.

## Et afgørende møde mellem en minister og Labster

En vigtig alliance i fortællingen om, hvordan virtuelle laboratorier er blevet en del af folkeskolens praksis, er det møde, der fandt sted mellem den daværende Børne- og Undervisningsminister Merete Riisager og den danske virksomhed Labster. Ministeren havde i perioden 2018-2019 nedsat en rådgivningsgruppe for teknologi i undervisning, der bestod af forskere, erhvervsfolk og praktikere. Gruppens opdrag var at sparre med ministeren om *en langsigtet handlingsplan for digital læring* (Børne- og Undervisningsministeriet, 2017). Daværende direktør for forskningspartnerskaber i Labster sad med i denne rådgivningsgruppe. Som leverandør af virtuelle laboratorier har Labster en naturlig interesse i at påvirke den politiske beslutningsproces i deres favør og gøre ministeriet interesseret i VL. At sidde med i en ministeriel rådgivningsgruppe styrker herved Labster som aktør og øger deres muligheder for at indrulle ministeriet i deres handlingsprogram om at få flere skoler til at bruge Labster. En embedsmand i Styrelsen for It og Læring (STIL) fortæller, at det var med kontakten til Labster, at ministeren og ministeriet begyndte at interessere sig for interaktive laboratorier:

Jeg ved ikke, om hun [ministeren] har tænkt over det før, eller om det først var da hun mødte ham [repræsentant for Labster] i det regi. Men set fra ministeriets side, så var det der, at hun, og vi for alvor fik øjnene op for, at det her er et spændende felt. Og fra da af havde vi tilfældigvis kontakt med nogen, som er nogen af de førende på det her område (Embedsmand A, STIL, 05.01.22).

Mødet mellem ministeren og Ed Tech-virksomheden Labster er et afgørende knudepunkt i fortællingen om stabiliseringen af aktørnetværket omkring virtuelle laboratorier i skolen. Som embedsmanden siger, var det i rådgivningsgruppen, at ministeren og ministeriet *fik øjnene op for, at det her er et spændende felt*. Med andre ord har Labster succes med at skabe interesse i virtuelle laboratorier og indrulle ministeren og ministeriet i deres handlingsprogram. Det er ikke nyt, at industrien spiller en markant rolle i den uddannelsespolitiske digitaliseringsagenda. Williamson et al. (2019) viser, hvordan programmering i skolen er blevet en tværnational agenda, der ikke kun er politisk motiveret, men i høj grad er influeret

af tech-industrien og ikke-statslige organisationer. Kommercialiseringen af uddannelse gør sig også gældende i den danske uddannelsessektor, hvor staten og kommuner har investeret massivt i kommercielle infrastrukturer og uddannelsesteknologier, yderligere stimuleret af Covid-19 pandemien. Grænserne mellem offentlig uddannelse og erhvervslivets interesser er således blevet mere utydelige (Cone & Moos, 2022; Cone et al., 2021). Når repræsentanter fra erhvervslivet sidder med i en rådgivningsgruppe omkring den uddannelsespolitiske digitaliseringsindsats, bliver sammenfiltringen af kommercielle og uddannelsespolitiske handlingsprogrammer tydelig. Konkret materialiserer den nyvundne politiske interesse sig i, at virtuelle laboratorier bliver inskriberet i to nationale uddannelsespolitiske strategier. Den første er 'Handlingsplan for teknologi i undervisning', der har til formål at styrke *børn, unge og voksnes teknologiforståelse og digitale kompetencer* på tværs af alle uddannelsesniveauer (Børne- og Undervisningsministeriet, 2018a). Et af initiativerne i strategien er, at: *understøtte elevers adgang til virtuelle laboratorier i naturvidenskab*. Her står der:

Virtuelle simulationer kan øge elevernes motivation og læring i naturvidenskab. De kan indgå som et supplement til det traditionelle (fysiske) udstyr til gennemførelse af undersøgelser og eksperimenter, som ellers ikke er mulige (Ibid.: 18).

Det er første gang, at virtuelle laboratorier bliver nævnt i en policy-strategi på uddannelsesområdet. Som det fremgår af citatet, er der en politisk formodning om, at introduktionen af virtuelle laboratorier *kan øge elevernes motivation og læring* samt udvide handlingsrummet for, hvad der er muligt i naturfag. Alliancen mellem Labster og ministeren bliver således inskriberet med handlingsplanen, og virtuelle laboratorier bliver en del af den politiske ambition om at revitalisere naturfagsundervisningen. Denne alliance knytter an til et bredere aktørnetværk omkring digitalisering på uddannelsesområdet, der siden 10'erne har været et centralt politisk fokusområde. Et eksempel herpå er det store projekt 'IT i folkeskolen' fra 2011, hvor regeringen og KL (Kommunernes Landsforening) tilsammen afsatte 1 mia. kr. (500 mio. kr. hver) til en bred vifte af initiativer, der skulle styrke brugen af it (Rambøll, 2018). Dette har været et af de største it-projekter i skolen, der ifølge en embedsmand fra STIL har været afgørende for, at digitalisering har fået så meget opmærksomhed i skolen. Dertil kommer et pres fra erhvervslivet om, at skolerne opgraderer brugen af it (Embedsmand A, STIL. 05.02.22). Virtuelle laboratorier knytter således an til en fortløbende historie omkring digitalisering i skolen, hvor en række af andre aktørnetværk har været med til at stabilisere en politisk interesse for digitale teknologier i uddannelsessektoren.

## Naturvidenskabsstrategien er en central aktør

Det er som nævnt ikke kun i handlingsplanen, at virtuelle laboratorier bliver udpeget som løsningen på en optimering af naturfagsundervisningen. I februar 2018 lancerer regeringen 'Den nationale naturvidenskabsstrategi'. Målet med strategien ligger i forlængelse af Teknologipagtens vision om, at få flere børn og unge til at uddanne sig inden for STEM-fag. Arbejdet med naturfagsstrategien startede, før Merete Riisager tiltrådte som minister. I det oplæg, der lå på daværende tidspunkt, var virtuelle laboratorier ikke indtænkt som en eksplicit del af naturvidenskabsstrategien. Men med ministerens interesse for VL, bliver virtuelle laboratorier skrevet ind i strategien (Embedsmand A, STIL, 05.02.22). I tråd med handlingsplanen bliver virtuelle laboratorier udpeget som et middel til at styrke og understøtte det eksperimentelle arbejde og stimulere flere danske skoleelever til at forfølge en STEM-karriere. Virtuelle laboratorier bliver desuden udpeget som en løsning på nogle økonomiske og strukturelle problemer i skolen. Som det fremgår af strategien, er det *dyrt for den enkelte skole at købe og vedligeholde moderne og opdateret udstyr*, og VL tilbyder en *virtuel udstyrsbase* (Børne- og Undervisningsministeriet, 2018b: 19), der ikke kræver indkøb og vedligeholdelse af dyre materialer. Hertil kommer, at virtuelle laboratorier kan være med til at afhjælpe en mangel på naturfagslokaler på flere skoler (Embedsmand B, STIL, 11.10.19). Opsummerende bliver virtuelle laboratorier set som løsningen på både læringsmæssige, didaktiske, strukturelle og økonomiske udfordringer i naturfagsundervisningen, hvilket er med til at styrke virtuelle laboratoriers position som en attraktiv alliancepartner og aktør i skolen.

Den konkrete udmøntning af den politiske ambition er, at der med naturfagsstrategien bliver tildelt 4,5 mio. kr. til at styrke brugen af VL i skolen og på ungdomsuddannelserne. Inskriptionen af virtuelle laboratorier i naturfagsstrategien er således en afgørende begivenhed for stabiliseringen af aktørnetværket omkring virtuelle laboratorier, da allokeringen af økonomiske midler betyder, at der bliver igangsat en række initiativer til at stimulere brugen af VL. I det følgende udfolder jeg, hvordan naturvidenskabsstrategien bliver en katalysator for en række af nye inskriptioner og translationer, der er med til at promovere virtuelle laboratorier som en uomgængelig del af naturfagsundervisningen.

## Det virtuelle laboratorium som det obligatoriske passagepunkt

Med 'Handlingsplan for teknologi i undervisning' og 'Naturvidenskabsstrategien' bliver VL udpeget som et værktøj til at styrke elevernes motivation og læring i naturfag og hermed som en løsning på en problematisering af, at der er behov for at revitalisere naturfagsundervisningen i skolen. Det virtuelle laboratorium bliver *det obligatoriske passagepunkt* (se figur 1, s. 15), som UVM forsøger at få

forskellige aktører i skolen til at se, at de har en interesse i at knytte an til. Som grundlag for den politiske beslutningsproces om, hvilke initiativer der skal igangsættes på baggrund af naturvidenskabsstrategien, får UVM udarbejdet en: *Forundersøgelse til indsats vedr. understøttelse af elevers adgang til virtuelle laboratorier* (Implement, 2018). I forundersøgelsen bliver leverandører, universiteter, professionshøjskoler, videnscentre, foreninger, lærere og skoleledere inddraget på forskellig vis. Inddragelse af aktører på feltet er med til at stabilisere rapporten som et legitimt vidensgrundlag for den politiske beslutningsproces samt at indrulle relevante aktører i netværket omkring virtuelle laboratorier. I forundersøgelsen bliver der opstillet ti forslag til initiativer, der kan styrke integrationen af virtuelle laboratorier. Forslagene er evalueret i forhold til effekten på 3-5 års sigt og investeringsomkostningerne (Ibid.).

På baggrund af undersøgelsen lancerer UVM i april 2019 tre initiativer, som skal stimulere brugen af VL i skolen. Disse er: 1) en materialepakke på læringsplatformen emu.dk, 2) et udviklingsprojekt med skoler, gymnasier og erhvervsskoler og 3) gratis adgang til udvalgte simuleringer fra Labster i perioden 2019-2020 (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019a). De to første initiativer er udpeget i forundersøgelsen som nogle af dem, der har den største langsigtede effekt. Køb af licenser er derimod vurderet til at være både investeringstungt og have en forholdsvis lav effekt, da adgangen til virtuelle laboratorier ikke i sig selv sikre anvendelse. Anbefalingen er derfor at køb af licenser bør derfor blive kombineret med kompetenceudvikling (Implement, 2018). Embedsmand A fra STIL fortæller, at begrundelsen for at frikøbe licenser, på trods af vurderingen i forundersøgelsen, var, at ministeren insisterede på, at det skulle være en del af initiativerne på området, så eleverne kunne prøve det bedste på markedet (Embedsmand A, STIL, 05.01.22). Associationen mellem ministeren og Labster bliver således en magtfuld relation i den konkrete politiske beslutningsproces, hvor ønsket om at frikøbe Labster-licenser bliver afgørende for, hvilke indsatser der bliver iværksat. Forundersøgelsen bliver også en alliancepartner for UVM, som er med til at legitimere den politiske beslutning, da UVM følger anbefalingerne om, at frikøb af licenser bliver fulgt op med kompetenceudvikling (de to andre initiativer).

## **Skolen skal tilpasses virtuelle laboratorier og vice versa**

Udviklingsprojektet Interlab er det initiativ, der er afsat flest penge til. Projektet bliver varetaget af et konsortium bestående af konsulentfirmaet Epinion, Aarhus Universitet og Københavns Universitet (Interlab, 2022). I udbudsmaterialet fra UVM er der lagt vægt på, at projektet skal være med til at skabe viden om, hvordan virtuelle laboratorier kan blive brugt i en dansk skolekontekst. Ambitionen er desuden, at projektet kan være et:

(...) udviklingsværksted, der kan inspirere producenter i deres udvikling af produkter, så de er anvendelige i en undervisningssammenhæng, hvor de understøtter faglige mål samt er tilpasset didaktikken i en dansk skolekontekst (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019b: 3).

UVM har således en forhåbning om, at producenter vil knytte an til projektet og have en interesse i at udvikle virtuelle laboratorier, der er tilpasset en dansk skoledidaktik. De nuværende simuleringer på markedet er ikke udviklet specifikt til at understøtte de faglige mål og læringsforståelser i en danske skole, men til en bredere international skoledidaktik. Projektet har således et dobbeltsigte, da det både skal skabe interesse hos skolens aktører samt leverandører. Men det er ikke let at få leverandørerne til at knytte an til ambitionen om at designe virtuelle laboratorier tilpasset den danske skole. En simuleringsudvikler fra Labster fortæller, at det er for omkostningstungt for dem at udvikle simuleringer udelukkende til danske skoler, da markedet er for lille til, at det er rentabelt (Simuleringsudvikler, 03.01.20). Det økonomiske aspekt er således den afgørende faktor i forhold til at få leverandører til at knytte an til UVM's ambition, og der bliver ikke udviklet virtuelle laboratorier til en dansk skoledidaktik på baggrund af projektet. Men netop manglen på virtuelle laboratorier, der er tilpasset folkeskolens niveau og didaktik, peger lærerne på i evalueringsrapporten fra Interlab-projektet (2022) er en central barriere. At det ikke lykkes at få leverandørerne til at udvikle simuleringer, der er kompatible med en dansk didaktik, er således en destabiliserende faktor i forhold til at få læreren til at se et potentiale i og knytte an til VL.

De virtuelle laboratorier på markedet er, som beskrevet, designet i forhold til forskellige læringsforståelser og mål, og lærerne oplever, at nogle virtuelle laboratorier passer bedre til en dansk skoledidaktik end andre. Det er særligt de virtuelle laboratorier, der er designet mere åbent og eksplorativt, såsom PhET, som lærerne bruger i deres undervisning og ser muligheder i. Flere oplever derimod, at de virtuelle laboratorier, såsom Labster, der har et mere instruerende format, hvor eleverne skal gennemgå et længere læringsforløb, er for ufleksible og tidskrævende i forhold til de læringsmål og rammer, der er i skolen (Interlab, 2022). En lærer fortæller herom:

(...) Labster, det er meget låst til et specifikt forløb, og der kræver det, at man opbygger hele sit forløb omkring det. Og det er sådan lidt modsætningen her [med PhET], for der vil jeg gerne have, at materialet understøtter det, som jeg gerne vil undervise i. Og hvis jeg skal bruge Labster, så skal jeg understøtte Labster i min undervisning, som ikke nødvendigvis peger på de samme ting, som jeg synes er relevante (Lærer, 11.02.2021).

Den instruerende og fastlagte form, som Labster-simuleringer er designet på baggrund af, står i modsætning til lærerens ønske om metodefrihed og mulighed for selv at tilrettelægge undervisningen. Han oplever derimod, at det åbne format hos PhET gør, at teknologien kan understøtte hans mål med undervisningen, og ikke omvendt. Der foregår således ikke kun en kamp om, hvilken rolle virtuelle laboratorier skal spille i skolen, men også om, hvilke former for virtuelle laboratorier, der skal stabiliseres som en del af naturfagsundervisningen.

### **Virtuelle laboratorier som en (mulig) del af afgangsprøven**

Med naturfagsstrategien bliver der igangsat et andet initiativ, der er med til at stabilisere virtuelle laboratorier som aktør i skolen. I strategien fremgår det, at de digitale prøver i naturfag skal styrkes, så eleverne blive prøvet mere både i dybden og bredden (Børne- og Undervisningsministeriet, 2018b). Styrelsen for Undervisning og Kvalitet (STUK) igangsætter et toårigt forsøg med de skriftlige prøver i naturfag (2021-2023), hvor man afprøver brugen af virtuelle laboratorier<sup>ii</sup> og åbne svarkategorier. Hvis udfaldet af forsøget bliver, at virtuelle laboratorier bliver en del af prøveformen for samtlige folkeskoleelever, så vil VL blive skrevet ind i fagets læringsmål og få en central rolle i naturfagsundervisningen. Hvor udviklingsprojektet, materialeudviklingen og frikøb af licenser er mere indirekte måder til at få aktører i skolen til at knytte an til virtuelle laboratorier, så vil en integration af virtuelle laboratorier i afgangsprøven være en stærk stabiliseringsfaktor. Formanden for opgavekommissionen i biologi og prøveudviklingsgruppen oplever, at de virtuelle laboratorier særligt giver mulighed for at teste eleverne mere i dybden, da eleverne bedre kan blive prøvet i deres modelleringskompetencer<sup>iii</sup>. Men kommissionsformanden fortæller videre, at erfaringerne fra pilotprøverne viser, at computersimuleringerne er for komplekse for mange elever. I opgavekommissionen arbejder de derfor med at reducere kompleksiteten ved at indarbejde en høj grad af stilladsering:

Det, der i hvert fald har vist sig vigtigt, er, at stilladsere det meget tydeligt, hvad eleverne skal gøre for at svare på den her opgave og meget tydelig i en progression, så man starter relativt simpelt, så man bygger det op, så det bliver mere og mere komplekst (Formand for opgavekommissionen, 05.01.22).

Den frihedsgrad, som de virtuelle laboratorier giver mulighed for, i modsætning til en statisk model, øger graden af kompleksitet, hvilket gør det svært for eleverne at knytte an til det virtuelle laboratorie. Denne udfordring forsøger opgavekommissionen at løse gennem oversættelsesprocesser i form af stilladsering og progression. En anden destabiliserende faktor i forhold til at få elever til at knytte an til det virtuelle laboratorie er, ifølge kommissionsformanden, at der kun er få på markedet, der er brugbare i en dansk

skolekontekst. I opgavekommissionen har man derfor udviklet egne simuleringer til prøven i samarbejde med et eksternt konsulentfirma, hvilket er både en dyr og ressourcekrævende affære. I lighed med lærerne peger kommissionsformanden på, at der er behov for, at der bliver udviklet flere virtuelle laboratorier, der er frit tilgængelige og udviklet til den danske skole.

## Et forsvar for hands-on erfaring

Et modprogram til ambitionen om at stimulere brugen af virtuelle laboratorier i skolen, er et forsvar for hands-on erfaring, som flere aktører knytter an til. Astra, det nationale naturfagscenter, er en af de aktører, der mener, at det er vigtigt, at virtuelle laboratorier ikke kommer til at vinde indpas på bekostning af det fysiske, undersøgende arbejde. En konsulent fra Astra fortæller, at de har forsøgt at definere, hvad en naturfaglig undersøgelse er. Et af de parametre, som de opstiller, er, at der skal indgå praktisk eller fysisk arbejde. Konsulenten uddyber, at det betyder, at: *‘eleverne udfører noget taktilt, dvs. de ikke alene taler, lytter eller håndterer papirer. Praktisk arbejde er synonymt med hands-on’* (Konsulent, Astra, 07.12.21). Hun siger, at et virtuelt laboratorium godt kan understøtte en naturfaglig undersøgelse: *‘(...) men det er ikke den naturfaglige undersøgelse i sig selv. Der er de nødt til at arbejde med det i virkeligheden for at få noget ud af det’* (Ibid.). Konsulenten oplever, at det er centralt at lave denne sondring, så virtuelle laboratorier ikke kommer til at erstatte det fysiske eksperimentelle arbejde i skolen. Det er ikke kun Astra, der udtrykker en bekymring for, om det virtuelle laboratorium kommer til at erstatte det fysiske arbejde. Det samme gør flere naturfagslærere. En biologilærer skriver, som reaktion på naturvidenskabstrategiens fokus på at styrke brugen af virtuelle laboratorier, følgende på folkeskolen.dk:

Men der er altså også bare ting, som jeg er ret sikker på, man ikke kan med et virtuelt laboratorium, nemlig den direkte erfaring med ting og materialer. Som alle biologilærere ved, går det ikke altid som man havde planlagt i ens undervisning. Men selv når alt går mere eller mindre ‘i kage’, erfarer eleverne noget som de (...) ikke kunne have oplevet virtuelt (Olsen, 2018).

I citatet peger biologilæreren på vigtigheden af fysisk materialeerfaring for elevernes læring, og hvordan denne multisensoriske og kropslige erfaring ikke kan blive simuleret virtuelt. En lærer fra mit feltarbejde siger i tråd hermed: *‘(...) den bedste måde at lære fysik på, det er ved at sætte ledningerne sammen og finde ud af, at hvis jeg sætter den der, så virker det’* (Sigurd, lærer, 13.01.21). Det er ikke kun lærerne, der har en forståelse af, at fysisk eksperimentelt arbejde er centralt for naturfagsundervisningen. Flere elever mener, at det har en betydning for deres læring, at de fysisk kan interagere med materialerne. Hertil kommer, at de oplever at være mere koncentreret i det fysiske laboratorium, da det ofte ikke er muligt at

lave et forsøg om. I det virtuelle laboratorier kan eleverne gentage et forsøg utallige gange, og de oplever, at deres handlinger bliver risikofrie og hermed konsekvensfrie (Lisborg, 2022).

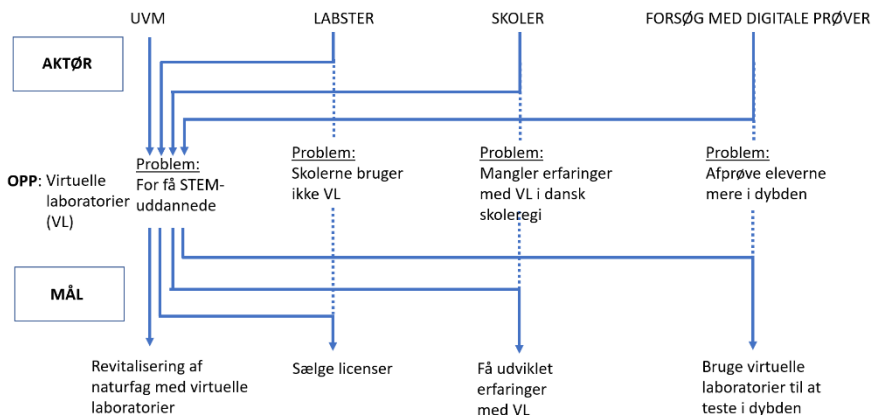
Når det virtuelle laboratorie bliver en del af naturfagsundervisningen, afføder det en diskussion af, hvad det virtuelle laboratorie kan og ikke kan i forhold til et fysisk laboratorie: Hvilke dele af naturfagsundervisningen kan foregå i et virtuelt læringsmiljø, og hvilke kan ikke? Som konsulenten fra Astra siger, så kan det virtuelle laboratorie ikke udgøre den naturfaglige undersøgelse i sig selv, men være en del heraf. Eller som både lærere og elever påpeger, så har den taktile og direkte interaktion med materialerne en læringsmæssig værdi, som ikke kan blive simuleret virtuel. Med det virtuelle laboratorie opstår der således en kontrovers mellem forskellige opfattelser af, hvad naturfag og læring er: Handler det om den fysiske håndtering af pipetter, opstilling af eksperimenter eller om interaktion med visuelle simuleringer? Jeg udfolder denne argumentation i diskussionen, men først giver jeg en kort opsummering på analysen.

## **Konklusion og diskussion**

Historien om, hvordan virtuelle laboratorier bliver stabiliseret som en del af naturfagsundervisningen i skolen, involverer translationer mellem aktører både i og uden for skolen. Det er associationen mellem UVM og Labster, der bliver katalysator for en politisk interesse for virtuelle laboratorier, hvor VL bliver udråbt som løsningen på en revitalisering af naturfagsundervisningen. Det virtuelle laboratorie bliver således etableret som det obligatoriske passagepunkt, som en række af aktører har en interesse i at knytte an til. Denne interesse bliver stimuleret gennem konkrete policy-initiativer såsom interlab-projektet, frikøb af licenser og brug af simuleringer i forsøgsprøven. Figuren nedenfor illustrerer de forskellige aktørers interesse i og mål med at binde an til det virtuelle laboratorie.



**Figur 1:** Aktørers problematisering og mål med at knytte an til virtuelle laboratorier<sup>iv</sup>



Som Cone og Moos (2022) skriver, så er grænserne mellem offentlig uddannelse og erhvervslivets interesser blevet mere utydelige, og det er essentielt at forholde sig til, hvordan involveringen af erhvervslivet påvirker den politiske beslutningsproces og uddannelsespolitiske mål. Virtuelle laboratoriers indrejse i skolen er et eksempel på, hvordan sammenfletningen af kommercielle og politiske interesser får en afgørende betydning for, hvad der bliver konstrueret som skolens genstandsfelt. Samtidig viser analysen, at stabiliseringen af virtuelle laboratorier bliver udfordret af forskellige antiprogrammer, der både handler om, hvilken rolle VL skal spille i naturfag, og hvilken type af virtuelle laboratorier, der er egnet til den danske folkeskole. Aktørnetværksteoriens kritiske potentiale ligger i at udfolde den kompleksitet, der ofte overses, når en teknologi bliver en del af skolens praksis (Elmholdt & Ratner, 2021). Sagt på en anden måde, så sker der en afnaturalisering af læringsteknologiers indtog i skolen. Som historien om virtuelle laboratorier illustrerer, er der ikke noget naturgivet ved, at VL bliver en aktør i skolen. Det er en derimod et resultat af, at nogle aktører har haft succes med at indrulle andre i deres handlingsprogram. Hermed er det også muligt at forestille sig andre scenarier. I casen med virtuelle laboratorier kunne man eksempelvis forestille sig en digitalisering i skolen, der var mindre motiveret af tech-industrien og politiske interesser, og at det i højere grad var en bottom-up motiveret agenda. Hvis digitaliseringen i skolen startede med ønsker og behov formuleret af skolens egne aktører, i stedet for den ukritiske politiske teknologioptimisme, som præger uddannelsespolitikken (jf. Balslev, 2018), så ville teknologierne måske i højere grad være med til at understøtte undervisningen, i stedet for at undervisningen skal understøtte teknologien, som læreren fra tidligere påpeger.

Historien om virtuelle laboratorier viser, at skolen er en kampplads for forskellige forståelser af læring og naturfag. Virtuelle laboratoriers indrejse i skolen aktiverer en diskussion af, hvad naturvidenskab er, hvad den fysiske og multisensoriske adgang til materialer betyder, og hvad der udgør den danske skoledidaktik. Når virtuelle laboratorier bliver en del af undervisningen, har det en betydning for, hvordan vi konstruerer naturfag i skolen. Det har med andre ord en betydning, om eleverne lærer selv at håndtere en fysisk pipette og et reagensglas, om de arbejder med virtuelle instrumenter, eller om de selv opstiller et forsøg eller bliver guidet trin for trin gennem den eksperimentelle proces. Som Latour formulerer det: *‘Technology is society made durable’* (1990b). Hermed peger han på, at den måde, hvorpå vi indretter verden sociomaterielt via teknologier og inskriptioner, bliver konstituerende for bestemte forståelser og brugspraksisser. Det er derfor ikke uskyldigt, når vi implementerer en teknologi som virtuelle laboratorier i undervisningen, da dette får betydning for, hvilke pædagogiske og faglige tilgange der bliver mulige, og for, hvad der bliver konstrueret og virkeliggjort som naturfag i skolen. Det, der grundlæggende er på spil, når en læringsteknologi som virtuelle laboratorier bliver indoptaget som en del af skolens praksis, er en kamp om, hvad skolens anliggende er og bør være. Det er denne kamp, som artiklen med en aktørnetværksteoretisk linse, har skrevet frem, og gør det muligt at forholde sig kritisk til, hvordan og hvorfor virtuelle laboratorier bliver en del af naturfagskonstruktionen i skolen.

## Referencer

- Balslev, J. 2018: *Kritik af den digitale fornuft*. Frederiksberg: Høgreffe.
- Blond, L. & Olesen, F. 2021. Den sociale konstruktion af videnskabelig viden og teknologi. I: *Videnskab, teknologi og samfund: en introduktion til STS*. Danholt, P & Gad, C. Hans Reitzels Forlag.
- Børne- og Undervisningsministeriet 2017: *Undervisningsministeren nedsætter rådgivningsgruppe for digital læring*, 31. marts.
- Børne- og Undervisningsministeriet 2018a: *Handlingsplan for teknologi i undervisningen*. København: Undervisningsministeriet.
- Børne- og Undervisningsministeriet 2018b: *National Naturvidenskabsstrategi*. København: Undervisningsministeriet.
- Børne- og Undervisningsministeriet 2019a. *Frikøb af licenser og en række andre initiativer skal styrke anvendelsen af interaktive laboratorier i naturfagsundervisningen*, 25. april.

- Børne- og Undervisningsministeriet 2019b: *Udviklingsprojekt om interaktive laboratorier*
- Bilag 4A: Opgavebeskrivelse.* København: Undervisningsministeriet.
- Børne- og Undervisningsministeriet 2019c: *Natur/teknologi Læseplan.* København: Undervisningsministeriet.
- Callon, M. 1986: Some elements in a sociology of translation: Domestication of the scallops and fishermen of St. Brieuc Bay. I: *Power, Action and Belief.* Law, J., London: Routledge and Kegan Paul, 196-233.
- Cone, L & Moos, L. 2022: Introduction: mapping commercial interests and imaginaries in Nordic education. *Nordic Journal of Studies in Educational Policy*, 8(1), 1-8. DOI:10.1080/20020317.2022.2045164
- Cone, L., Brøgger, K., Berghmans, M., Decuypere, M., Förschler, A., Grimaldi, E., Hartong, S., Hillman, T., Ideland, M., Landri, P., Player-Koro, C., Rensfeldt, A. B., Rönneberg, L., van de Oudeweetering, K., & Vanermen, L. 2021: Pandemic Acceleration: Covid-19 and the emergency digitalization of European education. *European Educational Research Journal - EERJ*, 1-24. <https://doi.org/10.1177/14749041211041793>
- Dement, J. & Ravn, S. 2017: Aktør-netværksteori og kvalitative interviews. I: *Kvalitative analyser – syn traditioner.* Järvinen, M. & Mik-Meyer, N. (red.). København: Hans Reitzels Forlag, 389-411.
- Elmholdt, K. T. & Ratner, H. 2021: Kapitel 1: Følg aktøren! I: *Aktørnetværksteori i praksis.* Papazu, I. & Wintherik, B.R. (red.) København: Djøf Forlag, 9-26.
- Elgaard, T. 2003: Aktør-netværksteori: en sociologi om kendsgerninger, karakterer og kammuslinger. *Papers in Organization*, nr. 48. Frederiksberg: Copenhagen Business School, 1-28.
- Elgaard, T 2021: Kapitel 2: Inskription. I: *Aktørnetværksteori i praksis.* Papazu, I. & Wintherik, B.R. (red.) København: Djøf Forlag, 49-66.
- Lisborg, S. (2021). Virtual Educational Laboratories: Instructive or explorative learning?. *STS Encounters*, 12(1), 19-49. [https://www.dasts.dk/?page\\_id=356](https://www.dasts.dk/?page_id=356)

- 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
- Fenwick, T. & Edwards, R. 2010: *Revisiting Actor-Network Theory in Education*. London og New York: Routledge.
- Fenwick, T. & Edwards, R. 2018: *Revisiting Actor-Network Theory in Education*. London og New York: Routledge.
- Honey, M. A., & Hilton, M. L. 2011: *Learning science through computer games and simulations*.
- The National Academies Press.
- InterLab, 2022: *Interaktive laboratorier, rapport – februar 2022*. København: Børne- og Undervisningsministeriet.
- Implement 2018: *Forundersøgelse til indsats vedr. understøttelse af elevers adgang til virtuelle laboratorier*. København: Implement
- Justesen, L. 2005: Dokumenter i netværk. I: *Kvalitative metoder i et interaktionistisk perspektiv, Interview, observationer og dokumenter*. Järvinen M. & Mik-Meyer, N. København: Hans Reitzels Forlag, s. 215-234.
- Kvale S. & Brinkmann, S. 2009. *Interview: introduktion til et håndværk*. Hans Reitzel Forlag
- Latour, B. & S. Woolgar 1986: *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Latour, B. 1987: *Science in action: How to Follow Scientists and Engineers Through Society*. Harvard University Press.
- Latour, B. 1990a: Drawing things together. I: *Representation in Scientific Practice*. Lynch, M. & Woolgar, S. Cambridge, MA: MIT Press.
- Latour, B. 1990b: Technology is society made durable. *The Sociological Review*, 38(1), 103-131.
- Latour, B. 1996. Om aktør-netværksteori. Nogle få afklaringer og mere end nogle få afviklinger. *Philosophia*, 25 (3-4), 47-64.

- Latour, B. 2005: *Reassembling the Social. An Introduction to Actor-Network Theory*. Oxford University Press.
- Law, J. 2004: *After Method. Mess in Social Science Research*. London: Routledge.
- Lee N. & Brown, S. 1994: Otherness and the Actor Network: The Undiscovered Continent. *American Behavioral Scientist*, 37(6), 772-790.
- Olsen, C. 2018: Hvad man ikke kan erfare i et virtuelt laboratorium. *Folkeskolen.dk*, 20. maj.
- Rambøll, 2018: *Indsats for IT i folkeskolen – evaluering*.
- Riis, S. 2012: Klasseværelset som eksperimentarium for nye teknologier. I: *Teknologiforståelse - på skoler og hospitaler*. Hasse, C. & Dupret, K. (red.) Aarhus: Aarhus Universitetsforlag.
- Williamson, B., Rensfeldt, A. B., Player-Koro, C., & Selwin, N. 2019: Education recoded: Policy mobilities in the international 'learning to code' agenda. *Journal of Education Policy*, 34, 705–725. DOI: 10.1080/02680939.2018.1476735

---

<sup>i</sup> Teknologipagten blev oprettet i 2018 af Erhvervsministeriet, Uddannelses- og Forskningsministeriet, Børne- og Undervisningsministeriet og Beskæftigelsesministeriet for at samle og intensivere indsatsen på området. Det overordnede formål med Teknologipagten er, at flere skal uddanne sig indenfor og beskæftige sig med STEM (Science, Technology, Engineering og Mathematics) (<https://www.teknologipagten.dk/om-teknologipagten/>).

<sup>ii</sup> I forsøgsprøven bruger de betegnelsen virtuelle simuleringer. I artiklen bruger jeg, som nævnt, virtuelle laboratorier som en samlet betegnelse for interaktive naturvidenskabelige computermodeller.

<sup>iii</sup> Læringsmålene for naturfag er baseret på fire naturfaglige kompetencer: undersøgelses-, modellerings-, perspektiverings- og kommunikationskompetencen (Børne- og Undervisningsministeriet 2019c).

<sup>iv</sup> Figuren er inspireret af Callons illustration af det obligatoriske passagepunkt i artiklen *Some elements in a sociology of translation: Domestication of the scallops and fishermen of St. Brieuç Bay* (1987).

## Artikel 2

Lisborg, S. (2021). Virtual Educational Laboratories: Instructive or explorative learning?. *STS Encounters*, 12(1), 19-49.

[https://www.dasts.dk/wp-content/uploads/2\\_Virtual-Educational-Laboratories.pdf](https://www.dasts.dk/wp-content/uploads/2_Virtual-Educational-Laboratories.pdf)

Tak til STS Encounters for at tillade publicering af artiklen i afhandlingen.



STSE  
Encounters

Research papers from DASTS

SPECIAL ISSUE

Volume 12 • Number 1 • 2021

## Virtual Educational Laboratories: Instructive or explorative learning?

Sanne Lisborg

PhD fellow, University College Copenhagen and Aalborg  
University

DASTS is the primary academic association for STS in Denmark. Its purpose is to develop the quality and breadth of STS research within Denmark, while generating and developing national and international collaboration.

## Abstract

This paper explores how the field of Science and Technology Studies (STS) can inform and help conceptualise a relatively new form of laboratory work in education: virtual laboratories. To date, STS have not addressed laboratory work in education. This paper focuses on the virtual educational laboratory by synthesising arguments from the STS literature on laboratory work and proposes research questions that can guide future ethnographic research on how virtual laboratories are applied and constructed locally in the classroom. I argue that the virtual laboratory, like the physical one, must be understood in a broader cultural, social and material context. Moreover, the virtual laboratory has both constraints and affordances, tied to the medium through which it is materialised. I conclude that the virtual laboratory can be understood as a hybrid between explorative and instructive learning.

## Introduction

Science and technology studies (STS) have been occupied for a long time with exploring how scientific facts and knowledge are produced in laboratories and how these affects and transforms society (e.g., Knorr-Cetina, 1992; Latour & Woolgar, 1979). For example, laboratory studies have been instrumental in demonstrating that cultural, social, and material factors are substantial for stabilising and producing scientific facts. Scientific knowledge is a product of a complex network of relations and artefacts, not natural 'givens' discovered by science (Latour, 1978; Pickering, 1995). This insight makes it relevant to study the production of knowledge concerning the laboratory. But STS have not explored the role of the laboratory in educational settings, which this paper addresses, and, more specifically, the use of virtual laboratories in education. By synthesising arguments from the STS literature on scientific laboratories, I suggest that STS can provide nuance and broaden the understanding of virtual laboratories in education.

Over the past years, a new kind of laboratory has emerged in education: virtual laboratories. Virtual laboratories are computer simulations in which pupils can explore and interactively engage with subject areas related to STEM<sup>1</sup> in a laboratory environment. These interactive simulations enable the pupils to actively change or define different parameters and observe the consequences of their actions. Virtual laboratories are primarily being used in universities and upper secondary schools (Lewis, 2014; Achuthan, 2018) but are used in lower secondary schools as well (Implement, 2018). This paper concentrates on the educational setting of lower secondary schools in Denmark, which is the empirical focus of my research. I have performed field work at three schools, where I have done video-based observations, screencast the pupils while they work with virtual laboratories and interviewed pupils and teachers.

There has been a political push to implement virtual laboratories in Denmark as a part of science teaching in lower and upper secondary

<sup>1</sup> Science, Technology, Engineering and Mathematics



schools. The 'Action Plan for Technology in Teaching', published in 2018 by the Ministry of Education, states, 'Virtual simulations can increase pupil's motivation and learning in science. They can supplement the traditional (physical) experiments' (Undervisningsministeriet, 2018, p. 19). This goal is closely connected to a STEM agenda to increase the pupil's motivation and learning in science teaching. The Ministry of Children and Education has launched different initiatives to stimulate virtual laboratories in schools. One initiative involves free access to a selection of virtual laboratories from the Danish company Labster from May 2019 to June 2020. Furthermore, a development project with ten schools was launched in 2019 to experiment with and develop different didactic and technical approaches to integrate virtual laboratories in science teaching (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019).

As stated above, there are different political expectations and aims regarding the use of virtual laboratories in education. STS scholar Estrid Sørensen (2009) argues that research should not focus on what we would like learning technologies to do, rather on how technologies form and change teaching practice in often unexpected manners. New learning technologies must be understood in the situated, social and material contexts in which they are embedded and should be studied ethnographically. The research field of virtual educational laboratories is primarily quantitatively oriented, e.g. it uses pre- and post-test or control groups. These studies focus on different matters, such as the impact that virtual laboratories have on the learning outcome or motivation, for example, in comparison to traditional teaching (Dyrberg et al., 2017; Makransky et al., 2016; Smetana and Bell, 2012; Vogel et al., 2006). This paper makes the case that there is a need for an ethnographically and STS-inspired approach to studying virtual educational laboratories to understand which situated educational practices come about.

In the first part of the paper, I propose distinguishing between four kinds of laboratories to conceptualise the understanding of laboratory work and highlight my contribution to STS. First, I argue that there is a significant difference between the laboratories used for scientific

purposes versus those used for educational purposes. While the first is concerned with the production of knowledge, the second is concerned with replicating knowledge for learning purposes. When considering virtual laboratories in education, how knowledge is replicated becomes important. Inspired by learning theory, I suggest a distinction between a more instructive approach to learning and a more explorative one. The distinction is used to discuss and conceptualise which kind of learning is enacted with a virtual laboratory. Second, I distinguish between virtual and physical laboratories. While STS have traditionally focused on the physical laboratory, I pay attention to the virtual laboratory.

In the second part of the paper, I draw on and synthesise perspectives from the STS literature on laboratory work and experimentation and examine how these insights can propose research questions for further ethnographical research. First, I argue that the virtual laboratory, like the physical one, is a part of a broader socio-material network, such as the materiality of the classroom, interactions among pupils and teachers, teaching styles, etc. It is crucial to shed light on these networks to understand which learning situations are constructed with the virtual laboratory. Second, based on STS studies on computer models and simulations, I argue that one must pay attention to the role of the medium that virtual laboratories work through, i.e. the computer, and to which affordances and constraints the medium brings about. Third, the STS literature has demonstrated that mangling, mishaps, contingency and tacit knowledge are essential elements of experimental and scientific practice. All the hands-on mangling practice is left out in the virtual laboratory, and the knowledge is conceived utilising a simulated laboratory. It is vital to examine how the above-mentioned aspects of the physical laboratory work are affected when the experimental practice is moved to a virtual laboratory. Towards the end of the paper, I argue that the virtual laboratory can be conceptualised as a hybrid between explorative and instructive learning.

## Four ways of distinguishing between laboratories

To nuance and specify the understanding of laboratory work, I make some distinctions to relate my contribution to the field of STS and laboratory studies. The first distinction is between the laboratories used for scientific purposes and those used for educational purposes. The fields of STS and laboratory studies have been engaged with scientific laboratory work and scientific knowledge production (Sismondo, 2010). However, they have not paid attention to laboratory work in an educational setting. A central distinction between these two kinds of laboratories is that scientific laboratory work is concerned with producing new knowledge. In contrast, laboratories in an educational setting are designed to reproduce established knowledge. This distinction is inspired by Estrid Sørensen, who argues that there is an essential difference between Bruno Latour's understanding of scientific and educational knowledge. Latour argues that knowledge is produced based on circulating references, such as diagrams, maps and samples, where this circulation establishes it as factual (Latour, 1987). Here, scientific knowledge is new because it is not yet established and must circulate to accomplish the quality of being knowledge (Latour, 1999). Hence scientific knowledge is new not only to the scientist but also to the science community and society.

In school, knowledge is already established as knowledge and is only new to the learner. The references that make up the knowledge in school are already accepted as valid, and learning is achieved when pupils connect to these references (Sørensen, 2009). The knowledge produced in and around laboratory work in an educational setting is connected to certain representations of knowledge and understandings of learning. In the educational laboratory, the purpose is to introduce the learner to established knowledge within teaching plans, curricula and other learning activities. This goal makes it relevant to investigate which learning situation the virtual laboratory creates and is embedded in to understand which kind of learning practice is enacted. It is important to note that the distinction between the two kinds of laboratories is not

as strict as stated above. For example, some scientific laboratories are used for educational purposes, and, sometimes, established knowledge is reproduced in the scientific laboratory. Similarly, in educational laboratories, especially in higher education, new knowledge can be discovered and contributed to the scientific community. But the distinction is useful for defining and conceptualising the characteristics of knowledge production in education and science, respectively

The second distinction is between virtual laboratories and physical laboratories. The STS literature has been occupied, for the most part, with work conducted in a physical laboratory. Some scholars have addressed the entry of 'dry'<sup>2</sup> or 'virtual' laboratories in science and how this new laboratory setting affects the production of knowledge (Merz, 2006). However, the field of STS has not paid attention to the virtual laboratory in an educational context. The distinction between the two laboratories is not clear-cut. There are different 'virtual' or technological elements in most physical laboratories, including simulations, apparatuses and computer visualisations. The virtual laboratory is physically embedded in a learning situation and the interpersonal dynamics between pupils and teachers. But the central point is that the STS literature has focused the most on the knowledge production embedded in a physical laboratory and has paid less attention to the virtual laboratory. In other words, four central distinctions or quadrants can be constructed to conceptualise the different laboratories referred to in this paper, which are illustrated in the diagram below.

---

<sup>2</sup> Dry labs are laboratories in which computers are used for data collection, modeling and simulation, in contrast to wet labs, in which various liquids and chemicals are tested and analysed.

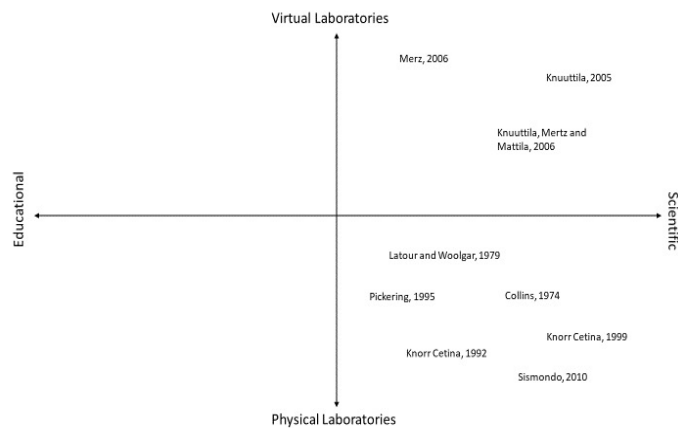


Diagram 1: Laboratories and the field of STS

Note. The diagram is visualised as a continuum where the arrows on the x-axis and y-axis indicate that a laboratory can be more or less on one side of the diagram. Examples of STS scholars focused on physical and virtual scientific laboratories have been inserted in the diagram.

While the field of STS has been occupied with the right side of the diagram, i.e. physical and virtual laboratories in science, the left side of the diagram, i.e. the virtual and physical laboratories in education, have been ignored<sup>3</sup>. This paper aims to shed light on the upper left quadrant, virtual educational laboratories.

## The virtual laboratory in education

Virtual laboratories are computer simulations, which, as the name suggests, take place in a virtual context and are designed to give the user the experience of performing experiments in a laboratory setting (Jones, 2018). Virtual laboratories are a part of a broader field of computer

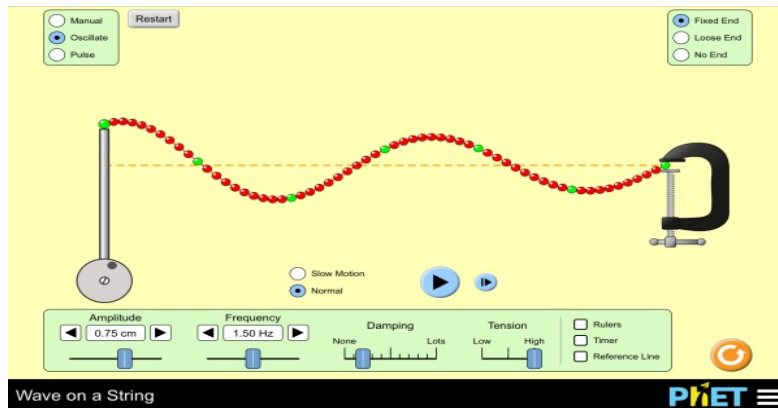
<sup>3</sup> STS scholars, such as Fenwick and Edwards (2010), have studied education and learning through an Actor–Network Theory (ANT) lens. Further, Sørensen (2009) has focused on the digital technologies, such as the online 3D virtual environment and weblogs, in education from a socio-material perspective. But these scholars have not addressed virtual educational laboratories.

simulations in science education. These simulations are defined as computational models of a physical phenomenon, where the user can change different parameters to observe the consequences of their actions (Clark et al., 2009). Simulations differ from static visualisation (e.g., an illustration in a textbook) because they are interactive (Plass et al., 2009). There are different nuances in the definitions in the research literature on interactive simulations, but a common thread is that it is not enough for pupils to observe a simulation; they must engage with it to achieve a better learning outcome (Stoney & Wild, 1998). The user must be able to choose or define actions in the simulation and observe the created sequence (Vogel et al., 2006).

However, how interactive the virtual laboratories are varies a great deal. Some simulations give the user concrete instructions, while others are more openly designed and call for a freer inquiry. Some simulations even allow the user to access the software system and remodel the simulation with an easy-to-use programming language (Honey & Hilton, 2011). In other words, the element of interactivity is broadly interpreted in practice. Furthermore, some are simple 2D visualisations, while others are 3D game-like simulations. In certain virtual laboratories, the emphasis on immersive and game-based elements is prioritised to create engagement and motivation (Jones, 2018). To illustrate the diversity in the field, I focus on two virtual laboratories used in science education: Physics Education Technology (PhET) and Labster. These are also the objects of my ethnographic study of science teaching with virtual laboratories in lower secondary school.

The University of Colorado Boulder developed PhET. It offers a large online library of virtual interactive simulations that are freely available for science education. The simulations are designed so that pupils and teachers can use them with minimal prior training (Honey & Hilton, 2011). Each simulation is designed to target a core science concept, such as wave physics. The pupils can create their own waves, watch how they interact in various ways, and learn about the basics of wave physics. The amount of freedom pupils have varies within the simulations. While some are quite open and allow the user to explore more freely, others

do not encourage much free exploration. The simulations have simple graphics and no specific focus on gamification elements (Jones, 2018).



Note. <https://phet.colorado.edu/en/simulation/wave-on-a-string>. Illustration from the PhET Interactive Simulation, University of Colorado Boulder, 'Wave on a String' for Physics.

Labster was developed by a Danish company by the same name. It was primarily developed for upper secondary schools and universities but is also used in lower secondary schools. Like PhET, a large selection of virtual laboratories is accessible online, but schools need to buy a license to get access. There is a strong focus in Labster simulations on immersive or game-based elements, such as a storyline that the simulation is built around and a mission that the pupils need to fulfil to make it more engaging. The user can 'walk around' the laboratory, and when a procedure involves a physical act, they must be mimicked by the user, such as picking up a pipette, using it, putting it back, etc. Unlike PhET, there is a strong focus in Labster on making the user feel as though they are in a real laboratory (Jones, 2018).

The Labster simulations also include multiple-choice questions, and the pupil can read the associated theory to answer the questions. There is a scoring system in which the pupil gets a final score depending on how well he or she answers the questions. Labster simulations are quite story-boarded or instructive: the user is often guided through the

technical steps for carrying out laboratory procedures by a voice-over. There are also experiments where the user can change the variables and experiment more freely, but the learning is still more guided than in PhET, which often allows for a high degree of freedom. In contrast, Labster simulations have a strong focus on creating an authentic laboratory environment, game-based elements and context around the experimental practice, which is not the focus of PhET.



Note. <https://www.labster.com/simulations/light-and-polarization/>. Illustration from the Labster simulation 'Light and Polarization' for Physics.

Laboratory studies have not been occupied with learning since it is not the focus of the knowledge production conducted in scientific laboratories. But the notion of learning becomes a key focus when studying virtual educational laboratories, where the technology is intended to enhance and support learning. In order to conceptualise the virtual educational laboratory, the diagram below summarises four learning modes that can be said to characterise the virtual laboratory. I have inserted examples of the virtual educational laboratories used in upper secondary schools in Denmark. The diagram is visualised as a continuum where the arrows on the x-axis and y-axis indicate that the different virtual laboratories can be placed more or less on one

side of the diagram.

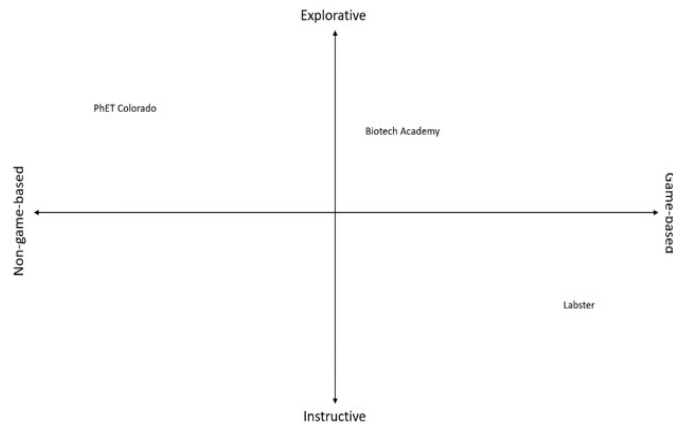


Diagram 2: Virtual laboratories and learning modes

Note. PhET Colorado, Biotech Academy, and Labster are the most frequently used virtual laboratories in lower and upper secondary schools in Denmark (Implement, 2018). The virtual laboratories designed by Biotech Academy are 3D laboratories developed for biology and biotech. Biotech Academy can be placed in a spectrum between PhET and Labster. The simulations are more instructive than PhET since the user needs to follow a predefined Experiment Guide. The Biotech Academy simulations offer a more open-ended space for actions than Labster, and they are less instructive but do not focus much on game-based elements.

Here, PhET can be placed on the upper left side of the diagram as explorative and non-game-based learning, and Labster on the lower right side as instructive and game-based learning. This characteristic is quite simplistic, and how explorative versus instructive PhET and Labster are is open for discussion. This issue is not the aim of this paper; rather, I argue that different designs of virtual educational laboratories are embedded in and constitute different learning modes. In this paper, I pay particular attention to the distinction between explorative and instructive learning.

## Explorative and instructive learning

To develop my understanding of explorative learning, I draw on perspectives from constructivist learning theory. Philosopher of education John Dewey espouses the idea of learning as an affair of interacting with the world, as captured by Dewey's famous 'learning by doing' principle. By doing things, Dewey (1916) argues, we experience the consequences of our actions. One cannot know the world without being an actor in it, and it is through acting in the world, one obtains new experiences. In the Deweyan perspective, experience is understood as bodily and sensory experiences of the world in which one must interact directly with objects in practice (Brinkmann & Tanggaard, 2012). Because learning is essentially experience-based, teaching must focus on the pupil's active investigation and experimentation. Dewey divides experience-based learning into four stages: 1) sensing a problem, by being in doubt or frustrated, and starting to think about how to change it; 2) investigating the problem and formulating solutions; 3) reaching a conclusion based on the investigation; 4) testing and experimenting with the new knowledge. Learning, in this sense, is about active construction and participation instead of a passive transfer of knowledge (Beck et al., 2014). This focus on experiencing and doing is also the core concept of the central didactics used in science education today, such as 'inquiry-based science'. In inquiry-based science, the pupil explores and develops explanations for the phenomenon under investigation and evaluates their understandings by experimenting and observing (Gillies & Nichols, 2014).

Another source of inspiration comes from the mathematician and computer scientist Seymour Papert, who, in line with Dewey, puts active doing at the centre of learning. Papert focuses on the role of technology, especially the computer, as an important artefact for creation and participation. He sees computer technology as an effective and useful tool for constructing meaningful products (the 'doing' element) because computer technology has opened up new possibilities for creation (Papert, 1980), such as experimentation in a

virtual laboratory. Explorative learning is now understood as a learning mode that focuses on the experience-based, active and free exploration and investigation of a scientific phenomenon. For example, this is the case when pupils in a virtual laboratory can experiment freely, observe the consequences of their actions and test hypotheses. In this regard, the focus is on open-ended experimentation, and the 'doing' element is highlighted' here.

The term instructive learning is inspired by the behaviourist theories of learning. In this context, learning is regarded as a causal connection between stimuli and response, where the learner's actions will be corrected or rewarded according to the correct response (Selwyn, 2011). The psychologist B. F. Skinner developed what he called 'teaching machines', which should engage the pupils and give them immediate responses. For Skinner (1958), the learning process is divided into several small steps, and the pupil reviews the feedback received after each step. This behaviouristic approach has played an important role in developing computer-assisted instructions (Selwyn, 2011). In relation to virtual laboratories, this mode of learning becomes particularly visible in step-by-step guidance, where the pupils are guided through the different steps in the experiment without much individual freedom. This kind of experimenting is more controlled, and there are 'rules' for what is desired or possible to do. Here, the focus is more on the transmission or acquisition of certain laboratory skills or procedures.

The divide between explorative and instructive learning is an analytic distinction used to illustrate a spectrum of learning modes that can help discuss which kind of learning virtual laboratories bring about. However, it is important to note that the learning process is far more complex than expressed by this divide. Different socio-material factors affect the learning situation, which will be elaborated upon in the paper. In the next section, I address what we know about laboratory work from STS and how these findings can help us conceptualise and nuance the understanding of virtual laboratories in education.

## How is knowledge produced in a laboratory?

Early laboratory studies and the sociology of scientific knowledge (SSK) ask the central question: how are scientific facts made, and how are they made stable? The answer to this question is that the production of knowledge is essentially carried out socially and culturally. Scientific facts are not natural givens discovered by science but, rather, products of social dynamics. As Sismondo (2010) writes, '(...) decisions about claims are negotiated, a matter for different actors to decide through micro-sociological or political interactions' (p. 107). This point means that conversations and negotiations between scientists and other actors decide what is being established and communicated as scientific knowledge. What is stated as scientific claims cannot be predicted in advance, and the laboratory work must be studied through a cultural and social lens. In this sense, laboratory work and the production of scientific knowledge are no different from other interactions in our everyday life: they are just as messy and complex as any other social interaction (Sismondo, 2010).

In the second wave of laboratory studies represented by ANT, the material perspective of laboratory work is introduced. As Latour and Woolgar (1979) demonstrate in *Laboratory Life*, the laboratory becomes an important source for the construction of facts since the whole material setup in the laboratory enables the scientist to manipulate and arrange natural objects in certain ways. It is the social and cultural factors that are interesting in the construction of science and the equipment and technical instruments used in the laboratory, i.e. the non-human actors. As per this perspective, scientific claims are negotiations between different actors: materials, techniques, technologies, scientists, and others (Knorr-Cetina, 1992). The laboratory is an association machine that establishes connections between different entities.

Latour and Woolgar (1979) illustrate how natural objects and phenomena are translated into figures, numbers, graphs, etc., via inscription devices, which are the different instruments and apparatuses

used to produce data about the object and phenomena in question. Furthermore, these inscriptions are translated into scientific claims. Laboratory studies show a discrepancy between what the textbooks say makes science valid and how science works in practice. As Merz (2006) writes, 'In this perspective, knowledge production is closely associated with the laboratory as a site of locally embedded practice' (p. 157). These studies make it scientifically relevant to shed light on how the order is produced out of the seemingly messy network of things and actions (Latour and Woolgar, 1979; Pickering, 1995). Which learning situations unfold around virtual laboratories should therefore be empirically questioned. The distinction between entities cannot be made a priori (Latour, 1987) but must be made based on the connections between human and non-human actors constructed locally in the classroom. How this plays out in a context with computer simulations will be further elaborated below.

## **The rise of dry or virtual laboratories**

In recent years, a new kind of laboratory has emerged in the production of scientific knowledge: 'dry labs' and 'virtual laboratories'. The field of STS has raised the questions 'How do computer simulations influence the production of scientific knowledge?' and 'Does the computer simulation bring about a new way of doing science?' (Knuuttila et al., 2006; Merz, 2006). One response to these questions is provided by Merz (2006), who investigates the use of computer simulators in particle physics. She argues that scientific practice in a virtual laboratory is just as messy and complex as work in physical laboratories. The simulation activities are embedded in a wider material and social network and are entangled with 'other endeavours in experimental physics, theoretical physics, or other fields of practice; the relations, rankings, and hierarchies of different data types; and so forth' (Merz, 2006, p. 166).

Thus, instead of understanding the virtual laboratory as a delineated practice, it must be understood as being intertwined in a broader

network of things, understandings and actions. The learning situations that will be created cannot be predicted by reading the teacher guidelines or lesson plans. The use of virtual educational laboratories must be studied as being embedded in a broader sociocultural and material context. When studying these laboratories, we need to ask how the sociality and local cultures in the classroom, such as teaching styles and interactions among pupils and teachers, affect and form the use of virtual laboratories. For example, the framework and guidelines provided by the teacher play a central role in a concrete learning situation. In my pilot study, the teachers provided different guidelines for how pupils should interact with the virtual laboratory. These included providing questions related to the simulation, letting the pupils work in pairs and participating in follow-up discussions in class. In this way, the teacher counteracts some of the more individualised and instructive elements when working with virtual laboratories in education. In other words, technology makes some understandings of learning easier or more difficult than others. However, it is essential to investigate the situated empirical context around the use of virtual laboratories. Moreover, a material perspective must be adapted to investigate how learning situations are constructed in a network of both human and non-human actors. A question to ask from a material perspective is how the technology brings about a certain ordering of things that affects the learning situation (the role of the medium), which will be discussed in the next paragraph.

## **Affordances and constraints of the virtual laboratory**

STS scholars Knuuttila and Voutilainen (2003) have examined the use of computer models in science. They argue that the models must be understood as material artefacts and not just as an abstraction or concept. They define the models as 'epistemic artefacts': that is, 'as intentionally constructed things that are materialised in some medium

and used in our epistemic endeavours in a multitude of ways' (Knuuttila, 2005, p. 1266). It is especially important to consider the media through which models are materialised and pay attention to their affordances and constraints, which are often tied to the medium through which they work. As materialised things, models are not open to all possible uses and understandings.

Furthermore, a model is not representative in and of itself but will be interpreted and unfolded in multiple ways when implied in a specific context. This perspective allows actors to hold different conceptions of the same artefact and serve multiple purposes (Knuuttila, 2005). Like computer models, virtual laboratories are tied to the computer and representation through computerised algorithms (the medium). Consequently, virtual laboratories will always be constrained by how they are programmed and designed. The virtual laboratory is configured and programmed according to existing knowledge or theory associated with the field. There are rules or limitations for actions in a simulated world, and exploration done in a virtual laboratory will never be as free as that in a physical laboratory, where the range of possible outcomes are endless. Therefore, one could argue that the virtual laboratory work cannot be fully explorative: it will always be instructive or controlled to some extent due to the medium through which it is materialised.

Virtual laboratories can be compared with flight simulators to illustrate this perspective. Simulations in aviation have been used for a long time since the novice pilot needs a safe environment to learn how to fly without putting himself or others at risk (Aebersold, 2016). The flight simulator is not designed to accumulate new knowledge but to imitate the real experience of piloting an aeroplane. Here, the pilot can learn from his mistakes without real danger and repeat the simulation until he is good enough to fly a real aeroplane<sup>4</sup>. But it is when the pilot flies in a real aeroplane, he will discover new knowledge that is not a part of existing theory or perception of the world.

As with pilot training, the use of virtual laboratories provides the

<sup>4</sup> There are also other areas in which simulations are used for training purposes, such as in health education (e.g., training for surgery) and military training (e.g., war games) (Aebersold, 2016).

opportunity for pupils to interact with processes that otherwise would be too dangerous or impossible in the physical laboratory. Virtual laboratories in education are often used as a supplement or a rehearsal for physical experiments and a safe training environment in which the pupils can learn from their mistakes and refine their skills (Honey & Hilton, 2011). But the medium implies an epistemological problem. On the one hand, the virtual laboratory gives the pupils a sense of hands-on experience by simulating the experience of being in a laboratory, mimicking the working procedures, interacting with materials and apparatuses, etc.

On the other hand, the practice in the virtual laboratory is essentially not a hands-on experience, but a simulation of a reality wherein the pupil's actions are mediated by a computer. In my pilot study, the pupils experienced or sensed that the physical interaction with the materials was essential to their learning; as one pupil put it, 'It is easier to incorporate when it is physical (...). I think that it matters that you are actually doing it and not just clicking with this one [the mouse], and then it falls down in this one (...), but it is something I do myself' (Interview Anna, 26.08.2020). The direct interaction with objects in practice is essential to experienced-based learning, as described by Dewey, which can be said to be problematised with virtual laboratories. So, the medium (the computer) possesses both essential affordances, such as a safe training environment, and constraints and limitations to possible actions and discoveries. In the next section, I turn to the STS literature on the epistemology of experimental practice and how these perspectives can inform and conceptualise our understanding of virtual experiments in education.

## The (unnatural) experimental practice

There is a long tradition in STS of dealing with the relationship between experiments and laboratories (Knorr-Cetina, 1992; Sismondo, 2010). Shapin and Schaffer (1985) unfold the concept and role of experimental



practice in modern science. They investigate the controversy between chemist Robert Boyle and philosopher Thomas Hobbes over Boyle's experiment with an air pump in the seventeenth century. Boyle's experimental practices can be regarded as the beginning of modern science, where phenomena are taken out of their natural environment and isolated in a laboratory context: 'proper natural philosophical knowledge should be generated through experiment and the foundations of such knowledge were to be constituted by experimentally produced matters of fact' (Shapin & Shaffer, 1985, p. 22). By performing experiments, it becomes possible to replicate and validate the results. Hobbes was very sceptical about this practice and denied that experiments done in an artificial setting, such as in a laboratory, could lead to scientific facts. Despite Hobbes's opposition, Boyle's experimental paradigm eventually became the beginning of modern laboratory experimental practice. Experiments came to be seen as a phenomenon where natural objects could be isolated, manipulated and observed.

Knorr-Cetina (1992) unfolds this relationship between the experiment and the laboratory. STS has shown that the experimental practice in the laboratory 'rests upon the malleability of natural objects (...). In fact, laboratories rarely work with objects as they occur in nature' (p. 116). In the laboratory, scientists work with for instance visualisations of objects, isolated components and extractions – in other words, purified versions. Knorr-Cetina identifies three central features of natural objects that are changed when working in the laboratory. First, laboratory science does not need to work with the object as it is. Second, the scientist does not need to work with the object where it is (i.e., in nature) but can bring it home to the laboratory context. Third, the scientist does not need to attend an event when it happens; they can speed up a natural process or make it happen more frequently (Knorr-Cetina, 1992). The epistemological advantage of the experiment is that it does not need to accommodate objects within a natural order and the scientific phenomenon can be investigated in a controlled and manipulated laboratory setting.

## Enhanced purification and manipulation?

With these characteristics of the experiment in mind, it is time to discuss experimental practice in the school. In a school setting, one could argue that the field studies related to observing, for example, insects or fauna in nature, are as close as we get to Hobbes's understanding of investigating scientific phenomena in their natural environment. But most scientific practice in schools is performed as experiments in laboratory settings, where the pupils conduct small experiments in groups (Hodson, 1990). Here, the scope of the experimental practice is to (re)produce scientific facts or established knowledge in a controlled environment or, as Knorr-Cetina (1992) puts it, using a purified and malleable version of the natural object.

In the virtual laboratory, one could argue that natural objects become even more purified since the objects are not physical but virtual representations. When the experimental practice occurs in a virtual and programmed setting, the reality can be adapted to specific learning outcomes. Virtual laboratories can be designed to simplify learning by removing confusing details and focusing on core elements (De Jong et al., 2013). As illustrated earlier, as a computer-programmed object, the virtual laboratory enables a learning setting that is safe and designed for specific learning outcomes (affordances). However, it also limits the range of actions and possible outcomes (constraints).

Furthermore, the virtual laboratory offers efficiency since processes can be sped up without authentic delays, and the pupils can experience photosynthesis with one click of the mouse. In other words, restrictions of time and space are abolished in the virtual laboratory. As we can see, it becomes empirically relevant to investigate how the features of the virtual laboratory affect the learning situation in multiple ways. In the next section, I unfold the concept of tacit and embodied knowledge and discuss how this kind of knowledge might be affected by experimentation in a virtual setting.

## Tinkering and tacit knowledge

Even though experiments are set in a manipulated and 'designed' environment, laboratory work is not as smooth as one might expect. Hacking (1983) argues that 'laboratory work is not merely about representation but about invention' (Sismondo, 2010, p. 108). The scientist is actively engaged in manipulating the object because materials do not behave as one expects, apparatuses do not work, etc. Thus, laboratory work is indeed about tinkering (Knorr-Cetina, 1981) or bricolage (Latour & Woolgar, 1979) in order to make disobedient materials act how we want them to act (Sismondo, 2010). Here, the embodied and tacit knowledge becomes important to create successful scientific procedures (Knorr-Cetina, 1992). Collins (1974) argues that not all knowledge travels easily. In his study on the transfer of knowledge about building a TEA laser, Collins shows that no scientist could build the laser by only following a manual: the passing on of skills from an experienced informant is essential to building a functioning laser. He argues that some knowledge is essentially tacit. The transfer of knowledge requires a socialisation process (or is enculturated) in opposition to 'algorithmic' knowledge that can be formalised and standardised and, thereby, travels more easily (Sismondo, 2010).

In physical laboratories, the pupils interact with real materials, apparatuses and chemicals, and the tinkering component is essential to the outcome of the experiment. For example, it can be crucial if the pupil adds a little too much acid, heats something for too long, etc. Here, pupils encounter real errors, failures and unexpected results since they cannot just redo it, as is the case in the virtual laboratory (Tho & Yeung, 2018). The pupils also articulated this lack of real errors and mishaps in the pilot study. They claim that they are more focused when doing experiments in a physical laboratory than in a virtual one since their actions are irreversible and have real consequences. As one of the pupils said, '(...) In here [in the virtual laboratory] you know you cannot do it wrong, but in there [the physical laboratory] you need to focus in another way, because you do not want to spill sulphuric acid

all over' (Interview Astrid and Simone, 20.02.20). This situation makes it interesting to further investigate how the lack of real errors and irreversible consequences affect the learning situation.

Moreover, in physical experiments, pupils are faced with unexpected events, such as measurement errors, whereas 'in virtual laboratories, students are not distracted by aberrations in the equipment or unanticipated consequences' (De Jong et al., 2013, p. 306). The tinkering element is essential for acquiring a practical knowledge of how materials and objects behave in unexpected ways. But even though pupils in the virtual laboratory interact not with physical materials but virtual representations, one could assume that there is just as much 'tinkering' going on in virtual laboratory as in the physical one; it is just another kind of tinkering. When pupils are working with virtual laboratories, they interact with the medium, such as the computer, the mouse and so on. Furthermore, they navigate through the laboratory mediated by the medium. In this sense, the pupils interact with the virtual laboratory in a double sense – both in the laboratory and with the laboratory (i.e. the technology that allows it to function). When investigating educational practices involving virtual laboratories, it becomes interesting to explore how embodied, or tacit knowledge becomes important for creating successful learning situations. Since knowledge cannot be transferred easily, what kind of tools, guidelines, skills and social interactions are needed to allow knowledge to travel into the classroom and beyond when working with virtual laboratories?

## Discussion and concluding remarks

This paper offers an investigation into the virtual educational laboratory based on perspectives from the STS literature on laboratory work and my ethnographic pilot study. In contrast to virtual scientific laboratories, I have argued that virtual educational laboratories are concerned with established knowledge instead of producing new knowledge. In education, the focus is on learning already established knowledge

with specific learning goals. Therefore, the focus shifts from a scientific production of knowledge to a learning perspective. Moreover, I point to a continuum between explorative and instructive learning, which is inspired by the constructivist and behaviourist learning theories. This distinction allows for a discussion of which learning modes are constructed and made possible with virtual laboratories. Even though virtual laboratories are shaped by different design principles and understandings of learning, as illustrated using Labster and PhET, there are some shared characteristics of the virtual laboratory.

Based on insights from STS studies, the paper makes the case that virtual laboratories, like the physical ones, must be understood as being intertwined with a broader network of social and material relations. We have learned from laboratory studies that actual knowledge production is always far messier and more complex than what the textbooks tell us. This insight also applies to the study of virtual laboratories in education, where learning must be understood in the situated, social and material contexts in which the learning practice is embedded, such as lesson plans, curricula, teaching styles, the materiality of the classroom and so on.

Moreover, STS scholars Knuuttila and Voutilainen (2003) argue that models must be understood as intentionally constructed things that can be used and understood in multiple ways. It is especially important to pay attention to the medium through which they are materialised and which affordances and constraints are tied to the medium. When studying virtual laboratories, we need to investigate how the medium through which it is materialised, i.e. the computer, implies some constraints and affordances. On the one hand, the computer can expand the scope of actions in science teaching. It allows pupils to conduct experiments and take actions that would not be possible in real life because they are too dangerous, expensive or just impossible to do so. This point is often stated as one of the great advantages of virtual laboratories (Honey & Hilton, 2011). For example, pupils can take a sample from Mars and go back and analyse it in the virtual laboratory, or they can get close to micro-biological processes that are not possible

to observe in real life.

Moreover, the virtual laboratory offers efficiency since natural processes can be sped up, and the restrictions of time and space are abolished. In this sense, the virtual laboratory enables the exploration of problems and concepts in a way that would not have been possible in the physical laboratory. It also becomes more effective to do experiments in the class since the virtual laboratory does not require the pupils to find the materials, set up the experiment, etc. Furthermore, the virtual laboratory makes it easier to work with specific and delineated learning objectives because it is possible in a virtual environment to isolate a part of a natural phenomenon or work with specific elements of an experiment. In this context, learning can be targeted, and some more complex matters can be simplified to be made more understandable for pupils.

But there are also some constraints related to virtual laboratories that need to be addressed. When pupils are conducting experiments in a virtual setting, they encounter more purified versions of the objects. They do not experience the contingency, mishaps and errors – the tinkering element – that is essential to get a practical understanding of how materials, objects and apparatuses behave in a physical laboratory, as STS studies have demonstrated. In the virtual laboratory, pupils do not experience the lack of smoothness of the physical experiment, i.e. when the apparatus suddenly does not work, or a tube is too small and so on. One could argue that the learning with virtual laboratories become too smooth: the pupils do not experience the valuable feeling of frustration and the process of understanding why things are not working as expected.

Moreover, pupils do not interact physically with the materials and miss the tactile and physical elements of doing experiments. The hands-on interaction with objects and the experience of frustration and unexpected discoveries are essential to acquiring new knowledge within experience-based learning. In the two versions of virtual laboratories described in the paper, Labster and PhET, the problem and the learning outcome is formulated in advance. In Labster, the simulations

are often built around a mission, so the element of problematisation and inquiry is incorporated into the simulation. But the inquiry is not based on the pupils formulating a hypothesis from their own musings and interactions with the world, which again is at the core of experienced-based learning. Other more open-ended simulations, which allow the pupils to access the software system and re-design or code the simulation, can be more explorative and supportive of creation and participation, as Papert advocates. However, the simulation is still tied to the restrictions of how it is programmed and is a representation of reality.

The virtual laboratory can be understood as a hybrid between explorative and instructive learning. In the virtual laboratory, some of the central elements of the experimental physical practice are removed, as stated above. The pupils interact with representations or visualisations of objects and do not learn the craft or practical skills of experimenting in a physical laboratory. The pupils experience tinkering in the virtual laboratories and interact both with (the medium) and in the laboratory. But it is another form of tinkering than the hands-on interaction with the objects in the physical laboratory. Experience-based learning is simulated, and the practice of experimenting is translated into a virtual setting, which is another form of learning practice.

On the one hand, one could argue that the virtual laboratory cannot be a fully explorative practice due to the medium; on the other hand, virtual laboratories can be both designed and used in more explorative manners. Further, compared to other learning materials, such as textbooks, static illustrations or videos, the virtual laboratories offer a more interactive and explorative approach to learning. Moreover, the virtual laboratory allows for exploring phenomena and discovering processes that only are made possible because of the medium, e.g. working with and exploring cells or atoms. In this sense, the virtual laboratory can be a hybrid between instructive and explorative learning.

To give a more nuanced and comprehensive answer regarding which learning situations come about with virtual laboratories, they must be understood as being embedded in a wider cultural, social and

material context. Even though technology is intentionally constructed, the situated learning practices with virtual laboratories cannot be predicted. Which network revolves around the use of virtual laboratories is fundamentally an empirical question. In other words, educational virtual laboratory practices must be studied ethnographically in the local cultural context in which they are used. Therefore, it is essential to study how learning is constructed around virtual laboratories and how it plays out in the classrooms. How does the sociality in a classroom affect the use of the virtual laboratory? Is it so strong that it leads to using the virtual laboratory in other ways than the originally intended use of the technology? Or does the virtual laboratory have such a strong agency that it forces a specific ordering in the classroom? And how can tacit and embodied knowledge travel in learning situations with virtual laboratories? Questions like these are important to address in more in-depth ethnographical studies, where the sociality and materiality around virtual laboratories are explored and unfolded..

## Acknowledgements

I wish to thank Anders Kristian Munk, the anonymous reviewers and the editors for their constructive and useful feedback on this paper.

## References

Aebersold, M. (2016). The history of simulation and its impact on the future. *AACN Advanced Critical Care*, 27(1), 56–61.

Beck, S., Kaspersen, P., & Paulsen, M. (2014). *Klassisk og moderne læringsteori. [Classic and modern learning theory]*. Hans Reitzels Forlag.

Brinkmann, S., & Tanggaard, L. (2013). An epistemology of the hand: Putting pragmatism to work. In P. Gibbs (Ed.), *Learning, work and practice: New understandings* (1st ed., pp. 147–163). Springer Science+Business Media. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4759-3\\_11](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4759-3_11)

Børne- og Undervisningsministeriet [Ministry of Children and Education] (2019, April 25). Press release on purchase licenses to enhance the use of interactive laboratories. Børne- og Undervisningsministeriet. <https://www.uvm.dk/aktuelt/nyheder/uvm/2019/apr/190425-frikoeb-af-li-censer-skal-styrke-anvendelsen-af-interaktive-laboratorier>

Clark, D. B., Nelson, B., Sengupta, P., & D'Angelo, C. (2009). 'Rethinking Science Learning Through Digital Games and Simulations: Genres, Examples, and Evidence'. Presented to the National Research Council Workshop on Gaming and Simulations, October 6–7. 2010. [http://www7.nationalacademies.org/bose/Gaming\\_Sims\\_Commissioned\\_Papers.html](http://www7.nationalacademies.org/bose/Gaming_Sims_Commissioned_Papers.html)

Collins, H. M. (1974). The TEA set: Tacit knowledge and scientific networks. *Science Studies*, 4(2), 165–185.

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. (1916). *Democracy and education: An introduction to the philosophy of education*. The Macmillan Company.

Dyrberg N. R., Treusch, A. H., & Wiegand, C. (2017). Virtual laboratories in science education: Students' motivation and experiences in two tertiary biology courses. *Journal of Biological Education*, 51(4), 358–374.

Fenwick, T., & Edwards, R. (2010). *Actor-network theory and education*. Routledge.

Gillies, R. M., & Nichols, K. (2014). How to support primary teachers' implementation of inquiry: Teachers' reflections on teaching cooperative inquiry-based science. *Research in Science Education*, 45(2), 171–191.

Hacking, I. (1983). *Representing and intervening: Introductory topics in the philosophy of natural science*. Cambridge University Press.

Hodson, D. (1990). A critical look at practical work in school science. *School Science Review*, 71(256), 33–40.

Honey, M. A., & Hilton, M. L. (2011). *Learning science through computer games and simulations*. The National Academies Press.

Implement Consulting Group. (2018). *Forundersøgelse til indsats vedr. understøttelse af eleveres adgang til virtuelle laboratorier [Feasibility study to support actions regarding pupils' access to virtual laboratories]*. <https://www.uvm.dk/publikationer/2019/190425-fo-rundersoegelse-og-vidensnotat-om-anvendelsen-af-interak-laboratorier-i-naturfagsundvis>

Jones, N. (2018). Simulated labs are booming. *Nature*, 562, 5–7.

Knorr-Cetina, K. (1999). *Epistemic cultures: How the sciences make knowledge*. Harvard University Press.

Knorr-Cetina, K. (1992). The couch, the cathedral, and the laboratory: On the relationship between experiment and laboratory in science. In A. Pickering (Ed.), *Science as practice and culture* (113–138). University of Chicago Press.

Knorr-Cetina, K. (1981). *The manufacture of knowledge: An essay on the constructivist and contextual nature of science*. Pergamon Press.

Knuuttila, T., Mertz, M., & Mattila, E. (2006). Computer models and simulations in scientific practice. *Science Studies/The Finnish Society for Science Studies*, 19(1), 3–11.

Knuuttila, T. (2005). Models, representation, and mediation. *Philosophy of Science*, 72(5), 1260–1271.

Knuuttila, T., & Voutilainen, A. (2003). A parser as an epistemic artefact: A material view on models. *Philosophy of Science*, 70(5), 1484–1495.

Latour, B., & Woolgar, S. (1979). *Laboratory life: The social construction of scientific facts*. Sage.

Latour, B. (1987). *Science in action: How to follow scientists and engineers through society*. Harvard University Press.

Latour, B. (1999). *Pandora's hope: Essays on the reality of science studies*. Harvard University Press.

Makransky, G., Bonde, M. T., Wulff, J. S. G., Wandall J., Hood, M., Creed, P. A., Bache, I., Silahtaroglu, A., & Nørremølle, A. (2016). Simulation-based virtual learning environment in medical genetics counseling: An example of bridging the gap between theory and practice in medical education. *BMC Medical Education*, 16(1), 1-9.

Merz, M. (2006). Locating the dry lab on the lab map. In J. Lenhard, G. Küppers, & T. Shinn (Ed.), *Simulation: Pragmatic construction of reality* (155-172). Springer.

Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books, Inc.

Pickering, A. (1995). *The mangle of practice: Time, agency, and science*. University of Chicago Press.

Plass, J. L., Homer, B. D., & Hayward, E. O. (2009). Design factors for educationally effective animations and simulations. *Journal of Computing in Higher Education*, 21, 31–61.

Selwyn, N. (2011). *Education and technology: Key issues and debates*. Continuum.

Shapin, S., & Schaffer, S. (1985). *Leviathan and the air pump: Hobbes, Boyle and the experimental life*. Princeton University Press.

Sismondo, S. (2010). *An introduction to science and technology studies* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.

Skinner, B. (1958). Teaching machines. *Science*, 128(3330), 969–977.

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.

Sørensen, E. (2009). *The materiality of learning: Technology and knowledge in educational practice*. Cambridge University Press.

Stoney, S., & Wild, M. (1998). Motivation and interface design: Maximizing learning opportunities. *Journal of Computer Assisted Learning*, 14, 40–50.

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.

Undervisningsministeriet [Ministry of Education], (2018). *Handlingsplan for teknologi i undervisningen [Action Plan for Technology in Teaching]*. Undervisningsministeriet.

Vogel J. J., Vogel, D. S., Cannon-Bowers, J., Bowers, C., Muse, K., & Wright, M. (2006). Computer gaming and interactive simulations for learning: A meta-analysis. *Journal of Educational Computer Research*, 34(3), 229–243.

### Artikel 3

Lisborg, S., & Tafdrup, O. Virtual Laboratories and Posthuman Learning. *Techné: Research in Philosophy and Technology*.

Tak til Techné: Research in Philosophy and Technology for at tillade publicering af artiklen i afhandlingen.



# VIRTUAL LABORATORIES AND POSTHUMAN LEARNING

## Abstract

The increasing use of virtual laboratories in education raises new philosophical – and perhaps especially phenomenological - questions related to how this type of technological mediation affects the user's sense of situated embodied being, sensory perception. The empirical basis of this phenomenological enquiry is a case study conducted in a Danish school setting. This allows us to compare analogue laboratory work with virtual. Inspired by Merleau-Ponty, we describe how pupils' bodily and multisensory interactions with the laboratory tools differ across the physical and virtual setting. The main thesis of the paper is that virtual laboratories are complex sociotechnical - and often non-transparent - practices that affect the pupils' sense of embodiment, thus prompting the need for *in situ* development of hermeneutical strategies for bridging the gap between the simulated laboratory and the physical world. In the final section we discuss how these strategies can be considered *posthuman learning processes*.

**Keywords:** Virtual laboratories, phenomenology, posthuman learning, multistability, science education

## 1.0 Introduction

In a grade nine physics class, the pupils are creating a heating curve for water. Caroline and Peter melt a container with ice cubes on a heat plate to create a heating curve. They push the start button; the heat plate becomes warm, and the ice starts to melt. A heating curve slowly starts to be created on a whiteboard on the computer screen (Screen recording, Caroline and Peter, 5.09.19).

The above sequence is from a Danish secondary school. Physics is being taught, and the pupils are performing an experiment in a virtual laboratory (VL). Traditionally, physics, chemistry and biology experiments have been carried out in analogue laboratories, where the pupils touch and interact with materials, chemicals, and apparatus. However, with the implementation of new VL-technologies in schools, simulated experiments can now be carried out in virtual spaces that come with promises of a safe environment, where pupils can experiment and fail without the consequence of using sometimes expensive

material resources. Also, the ethical concern of saving of animal lives when doing e.g. frog corpse dissection virtually is put forward in the defence of computer simulations (Rosenberger, 2011). Virtual laboratories are in other words computer simulations where the pupils can do experiments in a virtual world (Jones 2018). A central characteristic of the virtual laboratory is that it is interactive (Clark et al. 2009). The pupils must actively engage and be able to change different parameters and observe the consequences of their actions (Stoney and Wild 1998). Virtual laboratories are increasingly used in science teaching in education (Lewis 2014; Achuthan 2018), especially with the COVID-19 epidemic and online teaching (Millward 2020). In the latest OECD report, *Digital Education Outlook* (2021), game-based simulations such as VL are described as a promising assessment tool. Knowledge can be evaluated in a more standardized and authentic manner. In Denmark, virtual laboratories have been the object of political attention since 2018 where virtual laboratories are inscribed in the *Action Plan for Technology in Teaching* (Ministry of Education, 2018a) and the *National Science Strategy* (Ministry of Education 2018b) to enhance pupils' motivation and learning in STEM subjects. A central reason for introducing virtual laboratories is that they can supplement the traditional (physical) experiments (Ibid.) and enable pupils to conduct experiments that otherwise would be too dangerous, expensive or simply not possible in the physical world (Honey and Hilton 2011). Virtual laboratories are thus technologies that are deeply entangled with political agendas, thus the proliferation of VL technologies in Danish classrooms. From a philosophical perspective, virtual laboratory practices raise interesting phenomenological questions: How do virtual simulations alter the pupils' experience of doing experiments? How does the altered state of embodiment and sense perception that emerge in users' *being-in-the-virtual-world* affect learning processes? In this paper we address these questions through a theoretical prism inspired by the phenomenology of Merleau-Ponty and the newer wave of philosophy of technology found in postphenomenology. As we will argue through the paper, these related theoretical positions offer conceptual resources for investigating the perceptual and bodily implications of being situated in a virtual space as well as understanding how the sociocultural embeddedness becomes an important aspect of how the virtual laboratories are used and how the learning process can be understood. The paper thus contributes to the still narrow body of literature that addresses educational practices from a postphenomenological perspective, though there are exceptions e.g. Hasse (2020; 2008) Röhl (2018), Adams & Turville (2018), Aagaard (2017).

These epistemological interests can be summarized in the following thesis: The virtual laboratory must be considered a complex phenomenon that both configures and is configured by the sociocultural and material context it is embedded in. And we therefore ask the following research question: *How does the virtual laboratory mediate the pupils bodily experience and sense of presence of the world?* This

is philosophically interesting since it raises question about the relation between the analogue setting and the virtual space. As we will argue below, the successful extension of analogue space with virtual space is dependent on a series of complex hermeneutical processes that must be executed for the virtual space to emerge as a meaningful and present-to-hand prolongation of the analogue space. First, we provide an account of how virtual simulations have been conceptualised and perceived in phenomenological studies to position our contribution. Next, we present the applied methodology and the case study of a virtual laboratory in a Danish classroom setting. In the first part of the analysis, the embodiment and perception with VL are described by comparing the physical and virtual experimental practice. In the second part of the analysis, the virtual laboratory is conceptualised as a new hermeneutic technology relation or strategy. Finally, we discuss how to understand these hermeneutical strategies as posthuman learning processes.

### **1.1 (Post)Phenomenology and computer simulations**

Virtual worlds, computer simulations and Virtual Reality (VR) have been the object of Philosophy of Technology analyses for some time (e.g. Friesen 2011a; Gualeni 2015; Wellner 2020; Coeckelbergh 2021). These studies have raised questions such as: What is the ontology of the virtual space? Which kind of embodiment and world relation are mediated with new immersive technologies? And in an educational context, how do computer simulations affect the learning situation? In *Bodies in technology*, post-phenomenologist Don Ihde argues that virtual simulation-technology often strives to minimize the gap between the real-life body (here-body) and the virtual body (image-body) by constructing *virtual embodiment* (Ihde 2002). Ihde uses VR as an example of a highly immersive and embodied techno practice. However, VR can never, no matter how well it is designed, achieve the same sensory feedback and ambiguity for which the here-body allows. Ihde points out a fundamental *epistemological moral*; embodied technologies expand our perception of the world and limit the perfect transparency or embodiment; “all remain simply more permanently attached ready-to-hand tools” (Ihde 2002, 14). This lack of sensory and bodily feedback is also pointed out by educational technology scholar Norm Friesens (2011a & 2011b). He compares “the sensory and experiential intensity” (2011b, 186) of frog corps dissection in a physical and a virtual setting. Friesen is critical toward the virtual dissection, which he argues is too smooth and missing the sense impressions from the physical dissection of the frog, no smell of formaldehyde, no blood, and no handling of the scalpel. He argues that the physical dissection offers the pupils multiple relational strategies, e.g., how to cut the frog precisely and pin the different body parts. The computer-mediated one only offers one strategy: navigating the computer. He concludes that the educational value of the dissection is reduced with the computer simulation.

Postphenomenologist Robert Rosenberger (2011) responds to Friesens critique and argues that the offline and online dissection are essentially two different learning contexts, both possessing pedagogical affordances and limitations. The assessment of the educational value of computer simulation: “should not be reduced to how well a computer program can imitate classroom laboratory procedure” (Rosenberger 2011, 255). As a defence for the computer simulation Rosenberger introduces the term *expanded simulations* emphasising that the affordance of the simulation, e.g. including interactive information, explore the subject in motion and training of computer interface skills. STS researcher Estrid Sørensen (2011) also comments on Friesens essay and criticises him for only describes the virtual simulation through an imaginary generalized ‘user’. She advocates that the online dissection, like the physical one, is always embedded in a rich socio-material practice that needs to be included and unfolded if the comparison between the two practices is to be symmetric.

In this paper, we focus on the embodied and perceptual consequence of the technological mediation with virtual laboratories. We are thus not arguing for or against simulated laboratories per se. We are rather trying to expand the phenomenological vocabulary and sensitivity towards the type(s) of embodiment that emerges qua virtual laboratory spaces. In line with Friesen we argue that when studying educational technological practices there is a need for a vocabulary sensitive to the *experiential qualities* and not just its informational value (Friesen 2011a, XV (preface)). That said, we agree, as shown above, with Sørensen’s emphasis on the embeddedness of virtual spaces in socio-material contexts. We examine which concrete sociotechnical practices are established when VL enters the classroom and which world relations are constructed. This analysis is done through an ethnographic case study where the users are not generalized or imagined users but real-life pupils in a wider socio-material context.

## 2.0 Methodology

The methodology of the study is an ethnographic collective case study (Creswell and Guetterman 2021) performed at three Danish lower secondary schools. The case study is the prevalent methodology for post-phenomenological studies investigating concrete human-technology relations. As Rosenberger and Verbeek write: “This case study approach reflects postphenomenology’s commitment to the “empirical turn” and its pragmatic antifoundationalism” (2015, 32). Moreover, the case study functions as further development and nuancing of post-phenomenological concepts (Ibid.). In the paper, the post-phenomenological case study approach conceptualises and discusses the human-technology relation established with VL.

More concretely, a science teacher from three schools and 1-2 upper secondary classes per school have participated in the study.<sup>1</sup> The study was conducted in the period June 2019 to February 2021. Virtual methods are used in the form of video observation both when pupils were working in the virtual and the physical laboratory. A detailed analysis of the learning practice (Heat and Hindmarsh 2002) and focus on the bodily actions were made possible (Raudaskoski 2010) by doing a filmed fieldwork (Rehder and Møller 2021). After each observation, fieldnote descriptions were written to capture the impressions, moods and feelings (Emerson et al. 1995) that are difficult to observe retrospectively on video. Another form of the visual method used as a part of the fieldwork is screencasts of the pupils' computers while working with virtual laboratories. Moreover, interviews with the pupils and teachers were conducted, both formalized semi-structured interviews (Brinkman and Kvale 2015) and more casual conversations (Creswell and Guetterman 2021) when walking around with the camera. In the interviews with the pupils sequences from their screencast are used as an *elicitation device* (Harper 2002) to stimulate their memory and anchor the dialogue in a concrete learning practise. In the figure below, an overview of the fieldwork is illustrated:

**Figure 1: Overview of fieldwork**

	<b>CASE 1</b>	<b>CASE 2</b>	<b>CASE 3</b>
Video observation	8 (1 virtual)	3 (1 virtual)	4 (1 virtual)
Screen recordings	5		4
Pupil interviews	4 with 8 pupils		3 with 6 pupils
Teacher interviews	4	2	4

### **3.0 Towards an empirical exploration of worlds as referential structures**

Discussions of space have been a part of the phenomenological tradition since Husserl who as a part of the published lectures *Die Idee der Phänomenologie: Fünf Vorlesungen* dedicated a lecture – which he referred to as the *Dingvorlesung* – to the investigations of the topic (n.d.). Space is also a major theme in Heidegger's *Sein und Zeit* (Heidegger 1977). In §14-24 Heidegger initiates a discussion of the

---

<sup>1</sup> The case study is conducted by the first author.

concept of ‘world’ where he criticises the Cartesian notion of space as *res extensa* consisting of things (res) with physical extension and properties. Rather than (just) being situated in a geometrical space, *Dasein* is precisely a *being-in-the-world*. Heidegger – arguably the philosopher of hyphens – uses this rhetorical device to emphasize the ontological connection between *Dasein* and its world. In the famous ‘tool-analysis’ in *Sein und Zeit* (§18), Heidegger uses terms such as *Verwiesenheit* (‘directedness’) and *Bewandtnis* (‘relevance’ or ‘deployment’) to describe the mode of being that he calls *ready-to-hand* (1977, 112). When practically engaged in the world, e.g., in an activity of hammering, *Dasein* is acting within a meaningful structured context. The hammer is directed towards the nail and the piece of wood, it is in a workshop where the activity of hammering is carried out, the hammer is deployed to carry out the activity that again has a certain telos – perhaps constructing a new table. The world is disclosed through a referential structure. The hammer in this sense is not ‘a thing’ that stands out but a referential element that is integrated in a referential whole (*Verweisenszusammenhang*), until it is broken and emerges as *present-to-hand*. Space is thus, as philosopher Dan Zahavi puts it, “a feature of ready-to-hand, and not an empty container which can subsequently be filled out with objects” (2019, 75). The disclosing of the world as ready-to-hand, however, presupposes a familiarity with the tools or equipment encountered as well as the activity that is to be carried out. One question that arises is how one can conduct empirical research into how these kinds of activities that play out in worlds as ‘referential wholes’. Postphenomenology, as a newer branch of phenomenology, has developed a theoretical vocabulary, that arguably enables a type of analysis that is more sensitive to the situated use of concrete technological artefacts. Husserl, the founder of modern phenomenology, developed a type of phenomenological analysis that sought to describe phenomena as they are ‘given to the consciousness’ – hence the motto ‘To the things themselves!’. Through ‘bracketing’ the natural attitude – a step Husserl called ‘the epoché’ – and stripping away all accidental feature through a variational analysis, Husserl sought to reduce phenomena to their essences. In this regard, postphenomenology differs from the ‘classical’ phenomenological tradition. As Ihde, points out, postphenomenology is rooted in an antiessentialist ontology (2009 p. 12). Rather than essences, it is interested in *multistability*, the idea that phenomena do not have an ontological essence. Technologies can stabilize in different ways, as Ihde’s example of the Necker Cube illustrates. This implies, among other things, that a postphenomenological analysis is sensitive to how cultural relations - worlds - co-shape the uses of technological artefacts.<sup>2</sup> This is one of the reasons why postphenomenologists utilize case studies. They show how concrete technological artefacts are embedded in cultural worlds and how technological

---

<sup>2</sup> For a more nuanced discussion of the relation between ‘classical’ phenomenology and postphenomenology see e.g. (Ihde 2009, p. 5ff; Aagaard et al. 2018, p. XIff.).

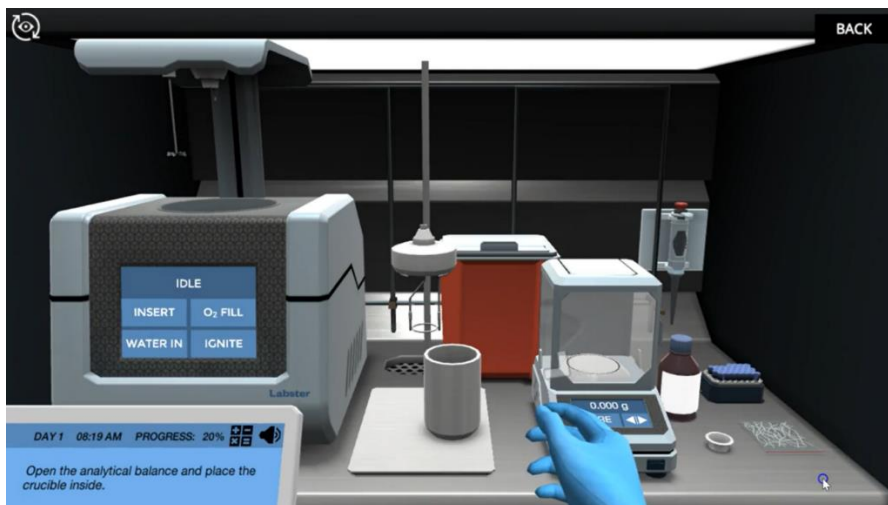
artefacts in return co-shape these and the spaces they are used in. Postphenomenology thus apply ethnographic tools to analyse how human-technology relations are established in referential worlds. Despite this difference, postphenomenology has maintained a strong analytical sensitivity of the embodiment concept and draws on inspiration from both Heidegger and Merleau-Ponty. Through our analysis of virtual laboratories, we continue this tradition of empirical based philosophical analysis. We understand virtual laboratories as technological artefacts that are embedded in referential worlds where their embodied use and meanings are shaped by cultural relations. More specifically we will show how, the pupils' attempt to embody, make sense of and utilize the virtual laboratories, and how these attempts can be understood as a non-linear process towards making it ready-to-hand. That is, for the virtual laboratory to emerge as meaningful and ready-to-hand (a stage that is not always reached), the pupils must go through learning processes that lets them adjust their interactions and their interpretations of the virtual laboratory. Before we elaborate in these points, we will give a more thorough presentation of the virtual laboratories that is utilized in the case.

### **3.1 Case: Labster**

The virtual laboratory subject to the analysis are the computer simulations developed by the Danish company *Labster*. Labster is primarily used in higher education but also in upper secondary school. They are 3D simulations where the user walks around in a laboratory setting. A voiceover guides the pupils through the simulation, where they must answer multiple-choice questions and do experiments. They have access to a lab pad where they can read the instruction for carrying out experiments, theory and answer multiple-choice questions. The Labster simulations are instructive or instrumental in the sense that the pupils must fulfil a predefined experimental procedure. In other words, the pupils can only end up producing the right, or pre-coded, outcome of the experiment. Some Labster simulations can be utilised with VR-technologies, but in the case study the simulations are used on a laptop.

There is a strong focus in the simulations on immersive or game-based elements, such as a storyline that the simulation is built around and a mission that the pupils need to fulfil to make it more engaging (Jones 2018). The user is imitated as a right hand and carries out the different movements, e.g., picking up and move around materials and push buttons on the apparatus by navigating with the mouse (see figure 2).

**Figure 2: Labster simulation**



Note. Screenshot of the Labster simulation Basic Chemistry Thermodynamics: Solve the challenge of storing renewable energy.

### 3.2 Embodied perception and multistability

In the first part of the analysis, we investigate which kind of bodily and sensory perceptions emerge in the physical contra the virtual laboratory. In his *Phenomenology of perception* (2012), Merleau-Ponty argues against the dualistic conception of the body as an external and objective phenomenon and the consciousness as an internal subjective phenomenon. The bodily subject does not reflect upon how it engages in the world but acts and perceives the world through a bodily orientation. Intentionality is non-cognitive but constituted by: “bodily skills and dispositions” (Carman 2012, 5 (x)). We experience the world through our multiple senses and absorb phenomena through the experience with which our senses provide us. Merleau-Ponty’s concept of *body schema* is essential to the subject’s bodily orientation (Merleau-Ponty 2012, 100). Our body schema is our experienced-based or habitual body and is developed through our life as an intuitive frame of reference for our actions. When engaging with objects, we can take up residence in them and incorporate them as a part of our body schema, expanding our perception of the world (Merleau-Ponty 2012, 144-145). In the physical school experiment, a central element of the practice is setting up the experiment and interacting physically with the materials. This multisensory and bodily access to the objects allows for an embodied perception of the materials and their characteristics, which is illustrated in this observation from a physics class:



The pupils are walking around in the classroom setting up an experiment to create a lead storage battery. Suddenly a girl stops at the teacher's desk. She has a lead plate in her hand, which she carefully bends back and forward, she looks up at the teacher, and asks: "Why is it so soft?". The teacher answers: "It is a special quality of that sort of metal". They start a conversation where the teacher explains that the old Roman Empire used lead to build with because of its malleable quality (Fieldnotes, 7.10.20).

In the sequence, the bodily and multisensory perception of the world, as described by Merleau-Ponty, is visible. The perception of the quality of the metal, its softness, is clearly not just a cognitive process, but indeed a bodily and sensory matter, where the perception of the metal arises from her hand to her mind. If perceiving the metal only through her gaze as a virtual representation on a computer screen, this perception of the world would not have occurred. Tactile access to the world stimulates the pupil's curiosity and makes her engage in a dialogue with the teacher. In the virtual laboratory, the pupils interact with visual representations of the materials by clicking and dragging with the mouse. The multisensory access and the possibility for incorporating the materials as a part of their body schema are diminished. But despite this the exploration process has been mimicked in the Labster simulations. Here the pupils are asked to explore the virtual representations of the materials before starting the experiment, as illustrated with the example below where two pupils are to perform an experiment on storing renewable energy (see figure 2):

Toke and Emma are working together. They sit beside each other with their attention directed toward the computer screen. It is Tokes computer, and he is navigating it. They have reached a point in the simulation, where they are to perform an experiment to find out if gasoline is a suitable chemical for storing energy. To do so they must determine how much energy is stored in a chemical compound by burning it and measure how much heat is released by using a calorimeter. They stand in front of the worktable with different materials and apparatus. The lap pad pops up saying: "Check out the items in the fume hood". Toke clicks "continue" on the lap pad, but shortly after a white arrow points at the lab pad in the lower left corner of the screen, and Toke clicks on it. A text box pops up saying: "Are you done exploring?". Toke says: "Let's explore some more". He moves the mouse over the different materials on the table. When he hits an object, a text box pops up with the name of the object. After a short while, Toke says: "Okay, let's see if we can do anything here". He quickly moves the mouse over an illustration of pipet

tips and says: “What happens if we take one of these pipet tips”. He tries to click on the pipet tips, but nothing happens. After some time, the white arrow points at the lab pad, a text box pops up saying, “Are you done exploring?”. Toke says: “Well, it says that I must finish exploring, it keeps pointing at that one (the lab pad) (laughs insecurely). Emma says: Then click on it (Screen recording, Toke and Emma, 30.01.20).

Toke tries to be explorative and clicks on the materials, e.g. picking up a pipet tip. However, when he cannot physically interact with the materials, touch them, pick them up, combine them in different manners, the exploration process becomes amputated and purposeless. As Merleau-Ponty argues, it is because we can move around objects, pick them up, and so on, we perceive them as not only two-dimensional but multidimensional (Merleau-Ponty 2012, 84). As a pupil says: “I think with a physical experiment it becomes a little more, because you actual see it in 3D. There you can both turn it around and see it from all sides (...) you cannot really do that on the app [the virtual laboratory].” (Line, pupil, 15.09.20). In the physical laboratory the pupils can bodily interact with the materials and turn them around to grasp their invisible back to apprehend their full shape and functionality. When interacting with virtual representations, the pupils can only move the mouse over an object, and the name pops up. They cannot perceive the objects as multidimensional or get an embodied understanding of how they work. Moreover, the materials socio-cultural meaning changes when the artefacts are no longer placed in analogue but in virtual space. They become present-to-hand given that they do not share the same properties as they would have in the analogue world and they do not share the same references to other artefacts in the room. When virtualized the artefacts are suddenly placed in a new *bedeutsamkeit* to use a Heideggerian term. This has hermeneutical consequences ‘You cannot turn it around and see it from all sides’ as the pupil states.’ The virtual artefacts thus need to be interpreted again – the pupils need to come up with hermeneutical strategies – that is new functional interpretations of the artefacts, if they are to engage with them during class.

Ihde distinguish between *micro-perception* (the sensory and embodied perception) and *macro-perception* (the cultural and hermeneutic aspect of perception) (Ihde 1990; Hasse 2008). With VL, both the micro and the macro-perception, e.g. the socio-cultural perceptions are affected. The post-phenomenological concept of *multistability* will be used to elaborate further on this limitation of the macro-perception with the virtual laboratory. Multistability implies that artefacts have no inherent essence and cannot be separated from the user context. An artefact can only be granted an identity concerning how it is used and interpreted. Ihde uses the example of the Necker cube to illustrate that the figure allows for different interpretations and becomes stable in multiple ways (Ihde 1990). The

computer visualizations of the materials with a fixated knowledge or understanding of the objects make it difficult to perceive them differently from how they are constructed or intended. It is in other words a case of *forced stability*. In the example with the lead plate, the pupil explores new metal characteristics, which changes her concept of what it is. This richness of appearances is reduced when interacting with fixed computer representations that do not allow them to become something else than how they are designed or programmed. As Friesen concludes:

The virtual object is designed by someone for explicit human (educational) purposes, whereas its physical counterpart develops on its own for purposes that are (at best) implicit and are not directly reducible to human instructional ends (Friesen 2011a, 197).

Friesen's observation points at a central pedagogically affordance and limitation of the virtual laboratory. The virtual laboratory expands the scope of perception, allowing pupils to experience processes and phenomes, e.g. building an atom or get inside a cell that would be impossible in real life or do experiments that would be too dangerous or expensive to do in the school laboratory. Conversely, the bodily sense of how the materials work and should be treated is diminished, as well-described by the pupil Line cited earlier.

Ihde calls this aspect the essential ambiguity of technologies. Technologies magnify and reduce aspects of our world relations, as is the case with the virtual laboratory. If the technologies only replicated the bodily world perception: “they would be of little use and ultimately of little interest” (Ihde 1990, 76). The virtual laboratory cannot, and should not, strive to imitate a multisensory interaction. On the contrary, the quality of VL is that it can go beyond the limitations and restrictions of the real-life experiment. This is perhaps especially the case if augmented reality technologies (AR) are integrated in the VL practices. Liberati and Nagataki (2015) argue that the mediation of AI glasses enables the subject to access a new ‘informational background’ in the human-world relation as well as new informational and virtual objects are integrated in the subject’s perception (Ibid., 136). In line with their argument Wellner (2020) argues that AR technologies practically *shape* reality. She sees AR as an extreme version of Verbeek’s “composite intentionality” (2008), where both the human and the technology possess intentionality. She imagines a near future where AR technologies shape our perception, thoughts and behaviour. In other words, the intentionality of the technology dominates our world perception. This kind of mediation certainly adds an interesting perspective to the discussion of VL given that AR would affect the embodied experience of working in a virtual laboratory. However, given that 1) no AR technologies are used in the empirical case we

describe, and 2) that AR technologies have still not become ubiquitous, as Liberati and Negataki in 2015 argued it would be soon, we will not go further into this discussion. Instead, we focus on the kind of VL experience that is mediated through a laptop and a mouse. In the next paragraph, the human-technology-relation mediated by this kind of virtual laboratory is unfolded and conceptualised.

#### 4.0 A new world-technology-world relation

Ihde operates with a continuum of different ways that technologies can mediate the human perception of the world. At the one end of the scale, the technology allows for total transparency, where the technological transformation of human intentionality is minimal. On the other end, the technology is non-transparent, and the mediated relation between human beings and the world is characterized by opacity (Ihde 1990). One of the technology relations put forward by Ihde is the *hermeneutic* relation, where the technology becomes a representation of the world but without transparency. The technologies must be read or interpreted, and the world is perceived utilizing the artefact (Verbeek 2005)<sup>3</sup>. Ihde schematizes the hermeneutic relation as:

$$I \rightarrow (\textit{technology-world})$$

He gives the example of the thermometer. Instead of putting our hands out of the window to feel the cold (a sensory experience), we only need to interpret the numbers on the thermometer. As Ihde writes: “A hermeneutic relation mimics sensory perception insofar it is also a kind of seeing as \_\_\_\_; but it is a referential seeing (...)” (Ihde 1990, 85). The thermometer reading is quite simple. When one knows how to read the decimals, hermeneutic transparency is established unless the thermometer breaks. With the virtual laboratory, different layers of hermeneutic relations or readings must be established to obtain a transparent world relation. First, the pupils interact with the virtual laboratory in a double sense. As pointed out by philosopher Johnny H. Søraker (2012) in his phenomenological investigation of virtual worlds, one interacts both with the computer, the technology enabling us to enter the virtual world and with *virtual entities* within the virtual world, which can be perceived as technologies themselves within another technology. In both technology relations, interpretations must be made, and breakdowns or non-transparency can occur. When interacting with the computer, it can run out of power, or the screen can freeze, which also happened doing the observation and too much frustration to the pupils. But more importantly, the pupils often experienced a lack of

---

<sup>3</sup> Verbeek (2008) develops Ihdes technology relations to encompass new emerging technologies. In these relations the amalgamation between the human and the technology is more radical. Verbeeks extensive relations compass well with highly immersive technologies such as VR and AR, but not so well with VL mediated through a computer.

transparency when interacting with the virtual entities in the virtual laboratory. We are now returning to the example from before, where the pupils are experimenting on restorable energy in the Labster-simulation:

“Toke moves the mouse over a small crucible on the worktable and a text box pops up saying: “Hold the sample inside the oxygen vessel”. He picks it up and now has it in his virtual hand. Toke says: “Okay, in with that one”. He first quickly tries to put it in the analytical balance, but nothing happens, because he has not opened it. There are two places on the screen where a see-through shadow of the crucible is illustrated indicating where to place it. Toke says: “Aha it must go there” and puts it in the other apparatus where the see-through shadow is pictured. Nothing happens, and Emma asks: “What should we do now?”. Toke reads what it says on the lab pad: “Open the analytical balance”. But none of the pupils know what an analytical balance is. Toke starts moving the mouse over the different objects on the table, so the names of the objects pop up, but they cannot find it. He clicks at the lab pad, which says click on the “arrow button” to open the analytical balance. Toke says: “There is something about clicking on an arrow” and Emma replies: “Yes, I cannot see where it is, let's look around”. Toke tries to click on different materials on the table and suddenly hits the button, and the analytical balance opens. He picks up the crucible and put it in, but he cannot get it in. He tries to click on different places on the analytical balance. Suddenly he clicks at a place on the apparatus, and the crucible pops out of his hands and into the apparatus” (Screen recording, Toke and Emma, 30.01.20).

In the sequence above there are different layers of non-transparency that the pupils need to overcome. First, they do not know what an analytical balance is. As the pupils tell in the follow-up interview seeing the sequence, they have no prior knowledge of an analytic balance since they have never used it in the physical laboratory (Interview, Toke and Emma, 20.02.20). This discrepancy between the materials that the pupils use in the physical laboratory and the virtual entities in the virtual laboratory make it difficult to transfer knowledge from one domain to another, and new hermeneutic relations need to be established. Second, they cannot just open the apparatus or pick up the crucible even though pictured right in front of them. Instead, it becomes a question of where to click with the mouse and follow jumping arrows and see-through shadows on the screen. Here the technology stands between the pupils and the world they are to perceive, and the technology becomes *present-at-hand*. Emma also points out in the follow-up interview, that she misses an overview of the whole experimental

process “So you know the small steps you must go through instead of it just come in small bites” (Ibid.). Other pupils are also addressing this lack of overview in the interviews, and they miss an experiment guide like they have when caring out a physical experiment. This also adds to the experience of non-transparency, since the purpose of the small steps become blurry.

The example also shows how the pupils, Toke and Emma, are forced to negotiate a collective interpretation of the virtual space that does not emerge to them as transparent and meaningful. This negotiating of a hermeneutical strategy for acting in the virtual space entails an oscillation back and forth between the analogue and the virtual world or with Ihde’s concepts: Between the here-body and the image body. Friesen argues that the computer simulation offers a smoothness and *uninterrupted transparency*, where pupils operate in an *intentionally directed flow* (2011a, 105). This however is not the case with the Labster-simulation, where the pupils’ interactions with the simulation cannot be seen as an uninterrupted and intentionally directed flow, quite the contrary. The example also shows how the virtual worlds are imbedded in a sociocultural context where the ‘right’ actions in the virtual space and how this space is embodied is negotiated by two pupils that only engage with the virtual laboratory because they are situated as precisely pupils that are engaged in a school setting.

Moreover, the design of the Labster simulations, where the pupils must do things in a pre-defined order, also requires the pupils to decode the *interface intentionality* in order to navigate correctly, as the example illustrates. Over time, one can argue that the pupils will incorporate or embody the technology to a greater extent. Dreyfus model of acquiring skills illustrates how the novice acts accordingly to rules and trial and error (as in the example). However, when moving beyond the beginner stage, the pupils will get a more embodied and practical understanding of how to navigate (Dreyfus and Dreyfus 1986). This fact is obviously true, but the hermeneutic relation in question is not just a matter of digital skills but also an inherent consequence of virtual representations of objects. Even though virtual laboratories were designed more open-ended and enabling the pupils to interact with the materials in a more complex manner than the Labster simulations, the multistability offered by the multisensory access cannot be imitated in the virtual laboratory.

The virtual laboratory encompasses a complex set of hermeneutic relations, where breakdowns on different levels can occur, making the world perception or the *being-in-the-virtual-world* blurry. This kind of technology relation can be schematized as a variant of the hermeneutic relation, but with an extra world relation:

$$I \rightarrow (\textit{world-technology-world})$$

The pupils must first make connections between the real-life world and the technological entities, e.g. the physical materials and apparatus and the technological entities in the virtual laboratory. But also, by establishing a relation between the scientific phenomenon and the virtual representations, e.g. when protons and electrons are visualized as red and blue jumping dots. When the pupils have established a connection between the world and the technology, they must then connect back to the world in order to translate the knowledge they have obtained in the virtual laboratory to another domain, e.g. when the pupils are practising a laboratory procedure before doing a real-life experiment in the physical laboratory. This double hermeneutic relation also encompasses breakdowns in both translation processes, and opacity can occur. To help the pupils create transparency, the teacher plays a significant role. In the case study, the teachers have different didactical approaches to help the pupils bridge the different knowledge domains, such as reflecting with the pupils on the difference between an experiment carried out in the physical and the virtual laboratory. The teacher Simon explains how he helps the pupils to connect and translate between the virtual and the physical laboratory setting:

It is a challenge that the equipment used in the simulation is naturally top of the line gear, a chromatography that costs 20.000 DKK. The one we have in our laboratory is school equipment. They must learn to translate what they see. We have a calorimeter (...) but it looks much different than the one they use in the simulation. But this you can use to ask [the pupils]: Okay, where are they different and where are the similar? What is the essence of the experiment? This one [the calorimeter in the simulation] is much better, since the water is better contained and it is then more precise. But basically, what happens is that we heat some water, we burn something, and we see how much it heats up the water (...) They can see that there is a taxonomy in the equipment that we use (...) depending on how precise we must be. So, we have had some good talks about this (Simon, teacher, 20.02.2020).

In the quote Simon addresses the importance of the pupils learning to translate or make connections between the perception in the virtual and the physical laboratory, where the equipment they use is much different from the virtual representations. The double hermeneutic relation becomes visible since the pupils must connect back to the world and translate the simulation mediated experience into the school laboratory setting. The teacher uses the virtual experience in a didactical and pedagogical manner to talk about and reflect upon the differences in the learning domains their potentials and restrictions. Translating from the virtual domain to the physical then become a central

competence. This *translation competence* is equivalent to what Don Ihde calls the computer as an *epistemology engine* (Ihde 2002, p. 134). Computer simulations produce constructed and manipulated realities which make it possible to perceive a reality that was not possible before. But because the reality is produced the observer cannot just swallow this new constructed reality. Ihde argues that it becomes central to question how the simulated reality or constructability is connected to the lifeworld. This is also the question we will take up in discussion below. The relation between simulated reality, and the human lifeworld can of course be addressed from many different angles. Given that 1) our case has been conducted in an educational context and 2) that our analysis has addressed how the pupils develop hermeneutical strategies to cope with the sense of *present-to-handness* that the attempt to utilize the virtual laboratory produces, an interesting – and perhaps obvious – point of discussion is how the described technopractices relate to *learning*.

## **5.0 Discussion – the posthuman learning process of virtual laboratories**

The production of hermeneutical strategies that the pupils develop to situate and embody themselves in the virtual laboratories can arguably be understood as a type of learning process. The concept of learning has not been one of the major themes of postphenomenological theory development. An exception is, however, the works of anthropologist Cathrine Hasse who has developed a theory of posthuman learning process. Rooted in Vygotskian learning theory but inspired by the new materialism of Karen Barad and the postphenomenology of Don Ihde, Hasse has developed a description of leaning processes that emphasises the profound socio-cultural and material nature of embodiment and subjectivity (Hasse 2019). We find this perspective useful for supporting our thesis that virtual laboratories must be understood in relation to the larger socio-cultural context that they are integrated in. To expand on this argument, let us first outline why Hasse draws upon the concept of the ‘posthuman’ in order to characterize the type of learning processes in question. Against the Cartesian separation of mind and body in two distinct ontological domains, Hasse argues that we are constantly engaged in learning processes that changes how we embody, perceive, and interpret the world. We are first and foremost embodied creatures placed in a context characterized by culturally shaped artefacts such as words, technologies, language etc. These shape the way we think, act, and make sense of the world. Learning is precisely this shaping of our consciousness. Hasse characterizes this view as posthuman given that it breaks with the conception of ‘the human’ as a rational individual agent. Before being an individual, the subject is moulded by culture. Or as Hasse writes:



However, these bodies are, so to speak, already in place as individual bodies in an ‘intersubjective’ world. I add to this that, from a learning perspective, we are also collective learners embodied in collective surroundings. These surroundings are not just conceptual, but also material. When we learn, we not only transform our mental processes or bodies, but the material we engage with as well—just as materials transform us. (2019, 358).

When the pupils engage with the virtual laboratories, they meet the artefacts based on an already established frame of cultural experience and embodiment. They are (more or less) used to working in a physical lab setting, and they carry the norms and rationalities as well as their embodied habits related to the physical setting with them to the virtual setting. As the examples from the analysis indicate they, however, discover that the virtual setting is structured in another way than the physical setting. Using Heidegger’s term, the virtual world is another - though related – referential whole (*verweisungszusammenhang*). This of course places the pupils in a situation where they must adapt to the new circumstances for the virtual world to become meaningful for them and for them to embody the new setting, so interactions become meaningful and the virtual laboratory tools ready-to-hand. In this process, as Hasse points out in the quote above, both the mental processes of the pupils but also the materials are transformed in a way that is:

Not about an a priori abstraction, nor about simple cause and effect, but about culturally informed meaningful causes and effects that arise within phenomena. [...] the posthuman learning perspective, this means that technology is not just a mediator, but takes part in the co-creation of a collectively shared socio-cultural material world. Even seemingly abstract symbols are in this view materials entangled in phenomena that include the prior learning in the body of the driver as well as a whole community of drivers (2019, 363).

When we describe how the pupils engage in the development hermeneutical strategies in order to make sense of the virtual laboratories, it is precisely the development of cultural informed causes and effects in the concrete sociotechnical praxis. The pupils work in pairs where they discuss with each other how to carry out the educational tasks in the virtual setting, the teacher intervenes in order to facilitate the task, the pupils engage their bodies – their visual, tactile, locomotoric sense etc. – in order to gain an embodied knowledge of how to use the virtual laboratory artefacts, and how to use the hardware of the computer – especially the mouse – to manipulate the virtual setting. As they carry out this process, they gradually learn what works and what doesn’t. They also develop a common language to describe and discuss the processes with each other and the

teacher. In the process the virtual setting becomes interwoven with the physical setting. The physical and virtual worlds, in other words, become entangled domains of a culturally produced *verweisungszusammenhang* where technological artefacts and human bodies co-constitute each other. The cultural entanglement of technological artefacts, human bodies, and hermeneutics strategies constitutes what could be called a posthuman learning process. This point emphasises the need to recognise virtual laboratories – and perhaps virtual worlds and simulations in general – not as world ‘in themselves’ but rather extension of an already culturally constructed sociotechnical setting.

## 6.0 Conclusion

This paper is based on the postphenomenological assumption that technologies like the virtual laboratory are not representations of reality but rather sociotechnical phenomena. We have argued that the perception and embodiment with VL are different from the multisensory embodiment in the real laboratory. The bodily sense of how materials work and should be treated cannot be imitated in the virtual laboratory. This point, however, does not mean that the pupils cannot learn about experimental practice using a simulation, but different learning practices produce different ranges of knowledge and affordances. The virtual simulation allows for another perception of the world. The pupils can e.g. discover processes and phenomena unobservable to the human eye or practice their laboratory skills in a safe environment. Moreover, we argue that the world relation mediated through VL is a type of *double hermeneutic relation*. First, connections between the world and the technology need to be established to create hermeneutic transparency. This is done by exploring the virtual spaces and – as illustrated in the examples – through the pupils’ active discussion of how the virtual spaces should be interpreted. Second, the pupils need to connect back to the world to bridge the different knowledge domains. We have formalized this relation as *I à (world-technology-world)* and thus contributed with a development of the postphenomenological vocabulary for describing and analysing the hermeneutics of virtual worlds. Our argument has further emphasised the need for understanding virtual spaces as dependent on analogue – cultural - spaces. The successful use of virtual laboratories is thus dependent on posthuman learning processes that combine embodiment with the sociocultural context and material and digital artefacts. When engaged in the virtual laboratories the pupils shuffle back and forth between being situated in the physical space and the virtual space in order to address each other and negotiate a common understanding of the virtual space and the tasks they are to carry out there. This shuffling back and forth becomes an integral part of their learning processes given that it forces them to reflect on their tasks and which actions they should take.

## References

- Achuthan, Krishnashree, and Shyam Diwakar. 2018. "Using virtual laboratories in chemistry classrooms as interactive tools towards modifying alternate conceptions in molecular symmetry". *Education and Information Technologies*, (23): 2499–2515.
- Adams, Catherine, and Joni Turville. 2018. "Doing Postphenomenology in Education". In *Postphenomenological Methodologies - New Ways in Mediating Techno-Human Relationships*, ed. Jesper Aargard, Jan Friis Berg Kyre, Jessica Sorenson, Oliver Tafdrup, and Cathrine Hasse, 3-25. New York: Lexington Books.
- Brinkmann, Svend, and Steiner Kvale. 2015. *Interviews: Learning the Craft of Qualitative Research Interviewing*. 3th ed. Thousand Oaks, CA.: Sage Publications.
- Carman, Taylor. 2012. "Foreword". In *Phenomenology of Perception*, Maurice Merleau Ponty. Vii-xxx. London and New York: Routledge.
- Clark, Douglas, Brian Nelson, Pratim Sengupta, and Cynthia D'Angelo. 2009. *Rethinking Science Learning Through Digital Games and Simulations: Genres, Examples, and Evidence*. Presented to The National Research Council Workshop on Gaming and Simulations, October 6–7, 2010. [http://www7.nationalacademies.org/bose/Gaming\\_Sims\\_Commissioned\\_Papers.html](http://www7.nationalacademies.org/bose/Gaming_Sims_Commissioned_Papers.html).
- Coeckelbergh, Mark. 2021. *Introduction to Philosophy of Technology*. Oxford University Press Inc.
- Creswell, John W., and Timothy C. Guetterman. 2021. *Educational Research: Planning, Conducting, and Evaluating Quantitative and Qualitative Research*. 6th ed. United Kingdom: Pearson.
- Dreyfus, Hubert L., and Stuart E. Dreyfus. 1986. *Mind Over Machine: The Power of Human Intuition and Expertise in the Era of the Computer*. New York: Free Press.
- Emerson, Robert. M., Rachel. I. Fretz, and Linda L. Shaw. 1995. *Writing Ethnographic Fieldnotes*. Chicago: University of Chicago Press.

- Friesen, Norm. 2011a. *The Place of the Classroom and the Space of the Screen: Relational Pedagogy and Internet Technology. New Literacies and Digital Epistemologies*. New York: Peter Lang Publishing.
- Friesen, Norm. 2011b. “Dissection and Simulation: Brilliance and Transparency, or Encumbrance and Disruption?”. *Techné: Research in Philosophy and Technology*, 15(3), 185-200.
- Gualeni, Stefano. 2015. *Virtual Worlds as Philosophical Tools - How to Philosophize with a Digital Hammer*. New York: Palgrave Macmillan.
- Harper, Douglas. 2002. “Talking about pictures: A case for photo elicitation”. *Visual Studies*, 17(1), 13-26.
- Hasse, Cathrine. 2008. “Postphenomenology: Learning Cultural Perception in Science”. *Human Studies*, 31(1): 43-61.
- Hasse, Cathrine. 2019. “Posthuman Learning: AI from novice to expert?”. *AI and Society* 34(3), 355-364. DOI: 10.1007/s00146-018-0854-4
- Hasse, Cathrine. 2020. *Posthumanist learning: what robots and cyborgs teach us about being ultra-social*. London: Routledge.
- Heath, Christian, and Jon Hindmarsh. 2002. “Analysing Interaction: video, ethnography and situated Conduct”. In *Qualitative research in action*, ed. Tim May, 99-121. London: SAGA Publications.
- Heidegger, Martin. 1977. *Sein und Zeit*. Frankfurt am Main: Klostermann
- Honey, Margaret A., and Margaret L Hilton. 2011. *Learning science through computer games and simulations*. Washington D.C.: National Academies Press.
- Ihde, Don. 1990. *Technology and the Lifeworld: From garden to earth*. Indianapolis: Indiana University Press.
- Ihde, Don. 2002. *Bodies in Technologies*. London: University of Minnesota Press.
- Ihde, Don. 2009. *Postphenomenology and Technoscience – The Peking Lectures*. Suny Press.
- Jones, Niccola. 2018. *Simulated labs are booming*. *Nature*, 562: 5–7. <https://www.nature.com/articles/d41586-018-06831-1>.

- Lewis, David I. 2014. *The pedagogical benefits and pitfalls of virtual tools for teaching and learning laboratory practices in the biological sciences*. The Higher Education Academy: STEM.
- Liberati, N., and Shoji Nagataki. 2015. "The AR glasses' "non-neutrality": their knock-on effects on the subject and on the givenness of the object". *Ethics and Information Technology*, 17(2), 125–137.  
<https://doi.org/10.1007/s10676-015-9370-0>
- Merleau-Ponty, Maurice. 2012. *Phenomenology of perception*. London: Routledge Classics.
- Millward, Wade Tyler. 2020. *COVID-19 Forces Science Labs Online and in Homes*. Accessed July 5, 2021. <https://www.edsurge.com/news/2020-04-15-covid-19-forces-science-labs-online-and-in-homes>.
- OECD. 2021. *OECD Digital Education Outlook 2021: Pushing the Frontiers with Artificial Intelligence, Blockchain and Robots*. Paris: OECD Publishing, <https://doi.org/10.1787/589b283f-en>
- Raudaskoski, Pirkko Liisa. 2010. "Observationsmetode (herunder videoobservation) [Observation Method (including video observation)]". In *Kvalitative metoder og tilgange – en grundbog [Qualitative methods and approaches – a textbook]*, ed. Svend Brinkmann, and Lene Tanggaard Pedersen, 81-95. Copenhagen: Hans Reitzels Forlag.
- Rehder, Mads Middelboe, and Thilde Emilie Møller (2021). "Visuelle etnografiske analysemetoder: fra filmoptagelser til skrevne analyser [Visual ethnographic analytical methods: from film to written analysis]". In *Kvalitative undersøgelser i læreruddannelsens BA-projekt: inspiration fra praksisnær skoleforskning [Qualitative studies in Teacher Educations BA-Projects: inspiration from practice-related school research]*", ed. Hanne Møller, Margit Eva Jensen, Vibeke Schøder, and Annette Søndergaard Gregersen, 131-143. Copenhagen: Samfundslitteratur.
- Rosenberger, Robert, and Peter-Paul Verbeek (eds). 2015. *Postphenomenological Investigations: Essays on Human–Technology Relations*. Lanham, MD: Lexington Books.
- Rosenberger, Robert. 2011. "A Phenomenological Defense of Computer-Simulated Frog Dissection". *Techné: Research in Philosophy and Technology*, 15(3): 215-228.

- Röhl, Tobias. 2018. "Inviting and interacting: Postphenomenology and the microsociology of Education". In *Postphenomenological Methodologies – new ways in Mediating Techno Human relationships*, ed. Jesper Aagaard, Jan Kyrre Berg Friis, Jessica Sorenson, Oliver Tafdrup, and Catrine Hasse, 27-44. New York: Lexington Books.
- Sorensen, Estrid. 2011. "Comment on Norm Friesen's: Dissection and Simulation: Brilliance And Transparency, or Encumbrance and Disruption?". *Techné: Research in Philosophy and Technology*, 15(3): 206-208.
- Stoney, Sue, and M. Wild. 1998. "Motivation and interface design: Maximizing learning Opportunities". *Journal of Computer Assisted Learning*, 14(1): 40–50.
- Søraker, Johnny Hartz. 2012. "Virtual Worlds and Their Challenge to Philosophy: Understanding the "Intravirtual" and the "Extravirtual"". *Metaphilosophy*, 43(4), 499-512.
- Ministry of Education [Undervisningsministeriet]. 2018a. *Handlingsplan for teknologi i undervisningen [Action Plan for Technology in Teaching]*. Copenhagen: Undervisningsministeriet.
- Ministry of Education [Undervisningsministeriet]. 2018b. *National naturvidenskabsstrategi [National Science Strategy]*. Copenhagen: Undervisningsministeriet.
- Verbeek, Peter-Paul. 2008. "Cyborg intentionality: rethinking the phenomenology of human- technology relations". *Phenomenology and the cognitive sciences*, 7(3), 387-395.
- Verbeek, Peter-Paul. 2005. *What Things Do: Philosophical Reflections on Technology, Agency and Design*. University Park, Pennsylvania: The Pennsylvania State University Press.
- Wellner, Galit. 2020. "Postphenomenology of Augmented Reality". In *Relating to Things: Design, Technology and the Artificial*, ed. Heather Wiltse, 173-187. London: Bloomsbury Publishing.
- Zahavi, Dan. 2018. *Phenomenology – The Basics*. Francis & Taylor.
- Aagaard, Jesper. 2017. "Introducing postphenomenological research: a brief and selective". *International Journal of Qualitative Studies in Education*, 30(6): 519-533.

Aagaard, Jesper, Jan Friis Berg Kyrre, Jessica Sorenson, Oliver Tafdrup, and Catrine Hasse. (2018). "An Introduction to Postphenomenological Methodologies". In Aagaard, Jesper, Jan Friis Berg Kyrre, Jessica Sorenson, Oliver Tafdrup, and Catrine Hasse (eds). *Postphenomenological Methodologies – New Ways in Mediating Techno-Human Relationships*. Lexington Books.

## Artikel 4

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

[https://learningtech.laeremiddel.dk/wp-content/uploads/2022/08/Learning-Tech-11\\_Artikel-6.pdf](https://learningtech.laeremiddel.dk/wp-content/uploads/2022/08/Learning-Tech-11_Artikel-6.pdf)

Tak til Learning Tech – Tidsskrift for læremidler, didaktik og teknologi for at tillade publicering af artiklen i afhandlingen.



# 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-Skatpark* i en lektion om energiformer. I det virtuelle laboratorie 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 laboratorie. 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 laboratorium

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 laboratorium, 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 laboratorium 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 laboratorium, 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 bunder 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 forbedelse, 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 laboratorium 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 laboratorium først. Det virtuelle laboratorium bliver således brugt til at understøtte elevernes begrebsforståelse. Læreren Sigurd oplever også, at eleverne får en *hands on*-forståelse af teorien i det virtuelle laboratorium, 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 laboratorium 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 laboratorium 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 laboratorie, hvor eleverne kan bevæge sig fra et risikofrit til et risikofyldt domæne. Spørgsmålet er, om det er muligt at imitere fare i et computersimuleret laboratorie, 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 undersøgelses-kompetencer/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 elevers 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.** & 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/uvmm/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.

## Artikel 5

Lisborg, S., Daphne Händel, V., Schröder, V., & Middelboe Rehder, M. (2021). Digital competences in Nordic teacher education: an expanding agenda. *Nordic Journal of Comparative and International Education (NJCIE)*, 5(4), 53–69.  
<https://doi.org/10.7577/njie.4295>

<https://journals.oslomet.no/index.php/nordiccie/article/view/4295/4151>

Tak til Nordic Journal of Comparative and International Education (NJCIE) for at tillade publicering af artiklen i afhandlingen.



## Digital competences in Nordic teacher education – an expanding agenda

**Sanne Lisborg**<sup>1</sup>

University College Copenhagen (KP) and Aalborg University

**Vici Daphne Händel**

University College Copenhagen (KP) and Aalborg University

**Vibeke Schrøder**

University College Copenhagen (KP)

**Mads Middelboe Rehder**

University College Copenhagen (KP)

Copyright the authors

Received 19 March 2021; accepted 19 September 2021

### Abstract

We investigate how digital competences are being integrated into teacher education (TE) across the Nordic countries - Denmark, Sweden, Norway, and Finland in this article. We make the case that there has been an expansion of the agenda for digital competences in education. Digital competences have developed from an information and communication technology perspective to also include a critical, social, and creative understanding of digital technologies and computing competences. Methodologically, we make use of document analyses, qualitative questionnaires, and interviews with participants in the field. With an emphasis on Danish TE, we explore how TE in the Nordic countries has responded to this agenda on policy and institutional levels. We suggest that the Danish approach to the expanded agenda can augment tendencies and challenges in Nordic responses to digitalisation in TE. A key finding is that Nordic countries respond to the expanded agenda in different ways regarding policy regulation, content areas, and how digital competences are organised and distributed on a local level. Tendencies and challenges identified across Nordic countries are valuable to ensure the continual development of teachers' digital competences.

**Keywords:** Teacher education, digital competences, computational thinking, technology comprehension, Nordic perspective.

### Introduction

Digitalisation of education should be understood as formed by various understandings, interests, and agendas, according to sociologist of education Neil Selwyn. He argues that it is important to pay attention to these perspectives when studying the growth of digital

---

<sup>1</sup> Corresponding author: [sali@kp.dk](mailto:sali@kp.dk)

technology in education (Selwyn, 2013). Moreover, the political focus on digital technologies has grown at all levels of education, as Selwyn and Facer state:

Governments of nearly every country in the world now have well-established policy drives and programs seeking to encourage and support the use of digital technologies in schools, colleges, and universities (Selwyn & Facer, 2013, p. 1).

Teacher education (TE) is no exception. In this paper, we pay attention to how the agenda on digital technologies has expanded in recent years from focusing on the use of information and communication technology (ICT) in teaching to include critical, social, and creative aspects of digital technologies. The expansion of digital competences is an international development. In 2006, the European Parliament recommended that all Member States establish key competences with lifelong learning, one of which is ICT. At this point, emphasis was on the ‘confident and critical use of Information Society Technology (IST) for work, leisure, and communication’ (European Parliament, 2006). In 2018, the recommendation was updated, and the definition of digital competence was expanded to include topics such as:

Digital competence involves the confident, critical and responsible use of, and engagement with, digital technologies for learning, at work, and for participation in society. It includes information and data literacy, communication and collaboration, media literacy, digital content creation (including programming), safety (including digital well-being and competences related to cybersecurity), intellectual property related questions, problem solving and critical thinking (European Council, 2018).

In the European Union’s understanding of digital competences, developing a broader perspective of digital technologies in learning means including competences such as creating, problem-solving, and critical thinking. Furthermore, the focus on developing digital competences in education is reflected in the extensive amount of international policy initiatives and frameworks (e.g., OECD, 2016; Ferrari, 2013; Redecker, 2017).

ICT in education has more recently been pushed to also include programming and computational thinking in education. *Computing education* was included in the EU’s new digital action plan for 2021–2027. Basic digital skills and competences are described as needed from an early age and include digital literacy, computing education, and knowledge and understanding of data-intensive technologies (European Commission, 2020). This introduction of computing into educational strategies is also seen in the US strategy of ‘computer science for all’ (Smith, 2016). More generally, several philanthropic and charitable organisations, companies, academic scholars, entrepreneurs, and government agencies have promoted a major educational movement around the idea that young people should learn to code and create digital goods. This movement has spread across educational systems globally (Williamson et al., 2019; Williamson, 2017).

However, studies describe the implementation of ICT in TE as a ‘slow uptake’ (Granberg, 2011; So et al., 2012; Tømte, 2015) and find that teacher educators must improve their ICT competences for pedagogical purposes and invest more in developing students’



digital competences (Tømte et al., 2013; Tømte et al., 2015). An evaluation conducted by the Danish Agency for Research and Education found that even though digital learning materials and IT are included in the competence goals for each subject, there is a significant difference in how systematically and to what extent University Colleges integrate these aspects into the curriculum (Styrelsen for Forskning og Uddannelse, 2018). A Swedish research project reached a similar conclusion, stating that the development of student teachers' digital competences happens on a limited and unsystematic basis. Students encounter digitalisation through individual elements in courses rather than being instilled with a coherent idea of professional digital competence (Hashemi et al., 2019).

The overall picture is that there is still some way to go before TE has effectively incorporated the ICT agenda and systematically integrated digital competences. Moreover, TE is to respond to the expanded agenda for the digital competences by including critical, creative, and computing aspects. In this paper, the consequences of this multiplicity for Nordic TE in educating students to be digitally competent are detailed. In Denmark, TE has undergone increasing change over the last couple of years in preparation for evaluation and political decisions made following the testing of a new subject, 'Technology Comprehension' in compulsory school 2018-2021. The new subject is on the verge of possibly being implemented as either a separate subject, as a new aspect of existing subjects, or a combination of the two in compulsory school and TE. Danish TE is at a crossroads where different approaches are being tried out to decide which path to follow in the future. The Danish approach towards digital competences makes an interesting case since the testing has caused an intensified focus on digital competences in both compulsory school and TE. We describe how different approaches to integrating digital competences have been applied and point towards new challenges for TE with special attention to the transitions in Danish TE. We raise the following research question:

*How has Nordic teacher education responded to the expanded agenda on digital competences on a political and institutional level?*

## **Digital competences in Danish teacher education**

Digital technology was first included in the Danish TE curriculum in 1991. The policy language from then on referred to technology as ICT and has been described in metaphors of craftsmanship, using notions such as 'tool', 'instrument', and 'device' (Arstorp, 2015). This framing of digital technologies as ICT use is still valid in the current government directives on TE (Uddannelses- og Forskningsministeriet, 2020). Digital learning skills and knowledge are consistently part of all subject descriptions.

In 2018, the Danish Ministry of Education published the 'Action plan for technology in education'. Two general goals were outlined. The first is to uphold the frequent use of ICT in education. The second is to strengthen technology comprehension and 'create opportunities to take a critical stance on technology and create with it, rather than just use it' (Undervisningsministeriet, 2018). This focus on creation and critics connects to the



term ‘technology comprehension’ (*teknologiforståelse* in Danish). This notion was initially introduced in Denmark as a translation of ‘digital literacy’ through a major research project on technology use in professions. The concept includes the use and understanding of technologies as agents in complex material practices in everyday social and working life (Hasse & Wallace, 2020).

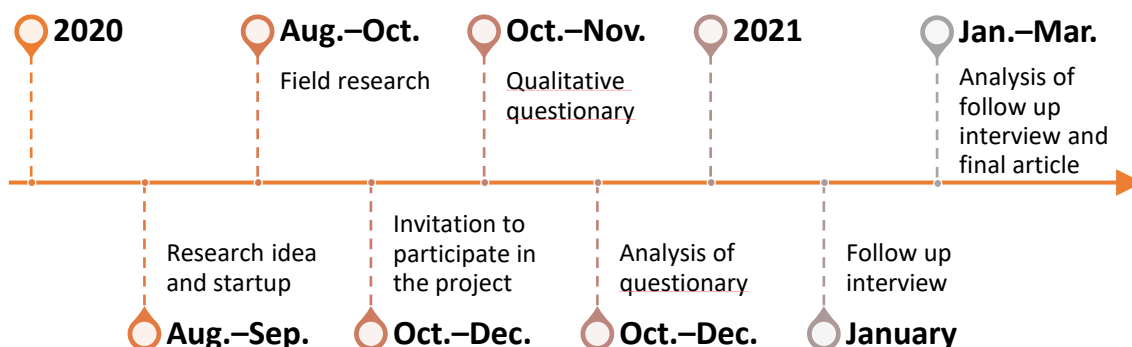
An experimental programme was initiated at compulsory school levels running from 2019–2021. A new subject, ‘Technology Comprehension’, was piloted both as a part of existing subjects and as an individual subject for K–9 pupils in 46 schools. Technology Comprehension comprises four competency areas: digital empowerment, computational thinking, technology capability, and working with digital design and design processes (Caeli & Bundsgaard, 2020). The initiation of this experiment is a core initiative in the Danish computing education agenda. One of the main goals of the experiment is to evaluate whether Technology Comprehension should be implemented as a new subject per se or if the subject matter should be integrated into pre-existing subjects.

With the national experiment of Technology Comprehension as a compulsory subject in schools, there has been a call for action in Danish TE to meet the demands posed if Technology Comprehension is implemented as a subject in compulsory school. Moreover, as described earlier, there is a general demand for TE to further include digital learning practices to help future teachers become digitally competent. Different initiatives have been launched in Danish TE to further develop student teachers’ digital competences. One key initiative is a developmental project led by the University College Copenhagen (KP) to create a national mandatory module (10-ECTS) in Technology Comprehension. The project is funded by the Danish Ministry of Higher Education and Science. The project aims to establish a field of study and a module that cuts across subjects and general teacher competences in TE. The module consists of four content areas that correspond closely to the experimental subject in compulsory school: empowerment and Bildung in a digitalised society; technology comprehension (society, pedagogy, and school didactics); computational thinking; and digital design and design processes (Rehder et al., 2019). Throughout the paper, we use the module as a case to discuss and highlight tendencies and differences across Nordic TE.

## Method and coding

The methods used in this study are document analysis, a qualitative questionnaire, and follow-up interviews. Three participants representing some of the largest TE institutions in the Nordic countries (Sweden, Norway, and Finland) answered the questionnaire and participated in the follow-up interviews. An overall process and timeline of the research are given in Table 1. The criterion for selecting the participants was that they hold central positions in the research and development of digital technologies in education. The study was conducted over eight months.

Table 1. An overall timeline of the data collection



The participants answered a qualitative questionnaire with a series of open-ended questions (Braun & Clarke, 2013; Braun et al., 2020). The key themes were: 1) political visions and ambitions of digital competences, 2) central discourses concerning digital competences in education, and 3) how digital competences are organised and distributed locally. The participants also pointed at relevant institutional and political documentation.

The documents provided by the participants were supplemented with other materials, such as policy documents, journal articles, book chapters, webpages, press releases, and organisational and institutional reports. There seem to be four types of documents being included in similar comparative studies across TE, (Weisdorf, 2020; Gohde, 2019; Krumsvik, 2011). These documents are divided into 1) regulation documents, such as from the Department of Education (e.g., Norway, White Papers; Denmark, Bekendtgørelsen), 2) evaluation documents from TE, 3) European directions or guidelines, and 4) course descriptions. The authors provide all relevant Danish documents. They are employed in TE at University College Copenhagen (KP) as part of the research programme Digitalisation in the Schools (DiS).

An overview of the key documents is given in Table 2. The countries are listed by level of regulation from the most detailed national regulations (Norway) to the highest level of autonomy (Finland). Concerning Norway the regulations, guidelines, and framework used in the analysis all operationalise the White Papers (McGarr et al., 2021), which themselves are not included in the analysis.

Table 2. An overview of key documents used in this study

Country	Name of document, original Title [Title translated into English]	Type of document
Norway	Forskrift om rammeplan for grunnskolelærerutdanningene for trinn 1- 7 + 5- 10 [Regulations for Primary and Lower Secondary Teacher Education Programmes for Years 1-7 + 5-10]	These two regulations apply to universities and university colleges which offer primary and lower secondary teacher education programmes for Years 1-7 and 5-10' (Kunnskapsdepar- tementet, 2016a; 2016b).
	Nasjonale retningslinjer for femårig grunnskolelærerutdanning, trinn 1-7 + 5-10 [National guidelines for the primary and lower secondary teacher program for years 1- 7 + 5- 10]	'These two guidelines complement the reg- ulations and are intended to ensure a teacher education programme that is coordinated at a national level, and that satisfies the quality requirements' (Universitets- og høg- skolerådet, 2018a; 2018b).
	Rammeverk for lærerens profesjonsfaglige digitale kompetanse. [Professional Digital Competence Framework for Teachers in Norway]	'A guidance document that policy develop- ers, heads of department, teacher educators, teachers, student teachers and others can use as a reference in their work on improving the quality of teacher education and system- atic continuing professional development of teachers' (Kelentrić et al., 2017).
Denmark	Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om uddannelsen til professionsbachelor som lærer i folkeskolen. [Ministerial order about the changes of ministe- rial order on the education of Bachelor of Edu- cation]	The ministerial order regulates the educa- tion of Bachelor of Education (Uddan- nelses- og Forskningsministeriet, 2020).
Sweden	Högskoleförordningen [Higher Education Ordinance]	The ordinance regulates universities and colleges for which the state is the principal (Sveriges Riksdag, 1993).
Finland	Statsrådets förordning om universitets-examina [Government Decree about university degrees]	The ordinance regulates the lower and higher university degrees and scientific and artistic postgraduate degrees (Finlex, 2004).

We conducted online semi-structured interviews with the three participants based on the answers from the questionnaires and sampling of documents (Brinkmann & Kvale, 2015). The interviews were held on an online communication platform chosen by the participant. The researchers ensured there was an institutional agreement that these chosen platforms could be used securely. All participants gave fully informed consent, which they had the opportunity to withdraw at any time before publishing. The participants are not mentioned by name in the article, as they represent the institutions at which they are employed.

Inspired by Grounded Theory, our coding strategy was an iterative process. We went back and forth between the data and the analysis, thereby letting the analytical categories emerge from the empirical data (Charmaz, 2014). On this basis, we established the meanings of the different empirical materials and determined how they contribute to the aim of the study (Bowen, 2009).

In the next section, we present different themes across TE in Nordic countries regarding digital competences. The two themes are 1) Education policy frames according to digitalisation, and 2) Meeting increasing demands of digitalisation in TE.

## Education policy frames according to digitalisation

In this part of the analysis, we show how education policy at different levels creates different frames for TE to meet the demands of digital competences. We look at some of the overall national frameworks of TE regulation in the four Nordic countries and investigate the content according to digital competences in national policy documents.

### The national regulation and policy documents

In Norway, the two governing documents are the ‘Regulations for Primary and Lower Secondary Teacher Education Programmes’ for Years 1–7 and 5–10 (Kunnskapsdepartementet, 2016a; 2016b). These regulations complement the ‘National guidelines for the primary and lower secondary teacher education programme’ for years 1–7 and 5–10 (Universitets- og høyskolerådet, 2018a; 2018b). The guidelines are translated and elaborated into local course regulations. In addition, the framework for teachers’ professional digital competence is a guideline that cuts across all subjects and deals with how teachers can apply digital competences in teaching (Kelentrić et al., 2017).

In Norway, digital competency has been considered a basic educational competence since 2006 and is integrated into all subjects and levels, including TE. Since 2020, computational thinking and programming have been included in the mathematics, science, arts and crafts, and music curricula. In the National guidelines for the primary and lower secondary teacher program’, it is stated that all subjects should include some basic digital skills as part of developing teacher students’ academic knowledge and competence. In addition, similar to Denmark, the subjects that include digital competences are described. For example, in science, technology, engineering, and mathematics (STEM), there is a focus on digital learning resources. In social science, there is a focus on social issues linked to pupils’ everyday digital life (Uddannelses- og Forskningsministeriet, 2020, Universitets- og høyskolerådet, 2018a; 2018b). Moreover, in the professional digital competence framework, digital competences are specified as seven important interrelated competence areas: the school in society, subject and basic skills, pedagogics and subject didactics, and ethics (Kelentrić et al., 2017).

Denmark has a similar way of structuring the regulation of TE. Danish TE is regulated through a national curriculum. The content of each subject is described under the general headings of competences, skills, and knowledge (see Table 1). The TE programmes elaborate this in their individual course regulations (Uddannelses- og Forskningsministeriet, 2020).

The recurrent description of digital competences in the Danish national TE curriculum from 2020 consists of practical skills and productive, creative, and critical competences. The content descriptions of subjects in the Danish curriculum promote varied forms of digital competences concerning ethics on the Internet, improving digital literacy, and critical assessment of digital learning resources. In addition, there is a stance on digital technologies in the social science curriculum that goes beyond seeing the technologies only

as learning tools. Social science includes the pupil's use of digital media to develop their critical thinking (Uddannelses- og Forskningsministeriet, 2020).

In addition to using ICT as a learning tool, a focus on creating with technologies has emerged in the national TE curriculum. The technical, social, and critical understanding of technologies is included in the mandatory subject of pedagogy. One of the skill descriptions for student teachers is that they should be able to:

Plan, teach and develop instruction through and about information technology and media, promoting a pupil's ability to act as a critical investigator, an analysing receiver, a goal-oriented and creative producer, and a responsive participant (Uddannelses- og Forskningsministeriet, 2020).

In Sweden, TE is regulated by the Higher Education Ordinance (Sveriges Riksdag, 1993). The ordinance describes the national purpose and structure for the universities and university colleges but not the content. A general remark is attached to the content descriptions in the 'Higher Education Ordinance' in Sweden. It says student teachers should 'Show the ability to safely and critically use digital tools in the educational activity and consider the importance of different media and digital environments for the activity' (Sveriges Riksdag, 1993).

In Finland, TE is regulated in 'Government Decree about university degrees' (Finlex, 2004). These decrees set the overall regulations of the bachelor's and master's degrees (Weisdorf, 2020). Finnish universities have a strong degree of autonomy in organising TE locally and designing their curricula. The regulation states that 'higher education institutions decide independently on the content of teacher education' (Ministry of Education and Culture, 2016). Therefore, there is no detailed national curriculum of TE (OECD, 2016; Zuljan & Vogrinc, 2011). Under the high degree of autonomy in Finnish TE, digital competences are not described at a national level (OECD, 2016).

TE programmes are, thus, regulated differently across the Nordic countries, from systems with high professional autonomy in the organisation of programmes to systems where the form and content of the education are closely regulated by a central authority (Weisdorf, 2020). What the degree of regulation entails concerning digital competences will be pursued in the discussion section.

When we compare the Nordic national policy documents, we find very different degrees of prescription regarding the content of digital competences. We find the most detailed descriptions in Norwegian TE. Digital competence, skills, and knowledge are described in all subjects in the national curriculum, and professional digital competence is outlined in the framework of teachers' digital competences. The national curriculum of Danish TE includes various digital competences in different subjects, while in Sweden, digital competence in the national curriculum is described in general terms. In Finland, responsibility for the content, including digital competences, is entrusted to the local TE programmes.

In Norway and Denmark, the two countries with the most detailed national regulations regarding digital competences, three kinds of digital agendas in the policy documents can

be identified. The first concerns the use of digital tools for learning purposes, where digital competences are understood as mastering digital tools (the ICT agenda). The second regards more critical, investigative, and creative ways to handle digital technologies. The third, computing, is entered as a central agenda. Computational thinking recently became part of mathematics, science, arts and crafts, and music in the Norwegian national curriculum. The second and third agendas may be answers to the increasing demands of digital competences in TE. The second form of expansion of digital competences applies to all subject areas, while the third only appears as content in selected subjects on a national level in Norway.

### **Meeting increasing demands of digitalisation in teacher education**

In this part of the analysis, we examine how Nordic TE on a local level responds to the expanded agenda to see how it materialises in TE practice. First, we give two examples of which kind of content knowledge is applied when teaching digital competences. The first is how TE has responded to the agenda on computing, where Denmark has applied a more design-orientated approach than the other countries. The second is how critical thinking and ethics are central elements in the Nordic approach to digital competences and how the countries have emphasised and implemented these aspects in different ways. Second, we investigate how digital competences are organised and distributed in different TE programmes.

### **Design processes and computational thinking**

Through the ‘Technology Comprehension’ module, KP implements the expanded agenda in TE curricula. Design thinking and design processes are a central didactic approach to Technology Comprehension in compulsory school and teacher education. The work with digital design is connected to the work with computational thinking. It is an alternative approach to developing computing skills in compulsory school, as described by Tuhkala et al. (2019):

(1) integrating computing and design skills into the learning process as means, rather than viewing these skills as mere learning outcomes; (2) supporting creativity through the development of technology to understand the impacts of technology; and (3) to critically reflect the role of technology in the society more broadly (p. 55).

In this sense, the creative and critically reflective element is put in the foreground, and computing is seen more as a *means* rather than a *learning outcome*. This approach is also adopted in the national module Technology Comprehension at KP (Rehder et al., 2019). None of the Nordic countries other than Denmark has the same emphasis on digital design and design processes as a means to gain digital competences. Computational thinking is understood through understanding and working with algorithms, models, and programming as a part of iterative design processes in teaching (Iversen et al., 2019).



In the other Nordic countries, computational thinking is implemented through the existing subjects, both in compulsory school and teacher education, mostly as a part of STEM subjects and to a lesser extent creative subjects such as music and arts and crafts. In Finland, computational thinking ('algorithmic thinking' in Finnish) and programming have become established parts of mathematics. The focus is on programming and problem solving through programming (interview, Teacher education institution in Finland). In Norway, computational thinking and programming are also a part of mathematics and science, and aesthetic subjects. Here, there is more focus on creative aspects in programming, 'not only as creating the script and the algorithm but also the thinking about sequencing, logic, and de-bugging' (interview, Teacher education institution in Norway). In contrast to other Nordic countries, computational thinking and programming are not mandatory parts of STEM or creative subjects in Danish TE but a part of the Technology Comprehension module. Although recently, Technology Comprehension has been added to all individual subjects at KP. In this way, Denmark differs from the other Nordic countries in terms of TE by adapting design thinking as the didactic approach to computing and by not including computational thinking as a mandatory part of science and/or creative subjects.

### **Critical thinking and ethics**

Nordic TE emphasises critical and ethical perspectives on digital technologies in slightly different ways. In Norway, ethics is one of the seven professional teacher digital competences relating to areas such as copyright, digital judgment, data security, and source criticism (Kelentrić et al., 2017). Our participant at the teacher education in Norway describes the ethical part as an overall theme in teaching digital competences through the study:

If we, for example, teach blogging in English, we try to ensure that we also talk about posting things online. Or if we teach creating multimodal things in Norwegian, e.g., films, we also teach about copyright (interview, Teacher education institution in Norway).

The focus on the critical and reflective use of digital technologies is also cited by our participant at the teacher education institution in Sweden as an important dimension of digital competences in TE, which is stressed in the Swedish Higher Education Ordinance. She explains how she works with the content areas in her teaching:

The critical dimension is reflecting on digital media (...), for instance, reflection about advertisements on the Internet and YouTube. The ethical dimension is in how we communicate with each other and how we take social responsibility in our communication, for instance, on social media (interview, Teacher education institution in Sweden).

The focus on developing a critical and socially responsible approach to our interaction on digital media or digital empowerment is emphasised. Digital empowerment is also a central aspect of the Danish approach to digital competences and is one of the four content

areas in the Technology Comprehension module. Here, the focus is on analysing technologies and their purposes, examining their use, and assessing their consequences. In Technology Comprehension, the ethical and critical dimension is connected to understanding digital technologies and analysing and evaluating possible challenges and problems. Digital competences are not only about being able to use digital technologies (the early ICT agenda) but also about using technologies in a critical, socially responsible, and reflective way and thereby gaining digital empowerment.

Consequently, there is a difference in understanding digital competences as more technical narrow competence, such as knowledge on the copyright, or as a more complex socio-material competence that includes the relationship between technology and communication (the Swedish example) or as assessing consequences (the Danish example). Therefore, these different understandings of digital competences can be related to more or less instrumental or culture-oriented technology comprehension (Borgmann, 2006; Schröder, 2019).

### **Organisation and integration of digital competences**

In this part of the analysis, we examine how TE has integrated digital competences in practice. In a literature review by Kay (2006), ten strategies for introducing student teachers to technology were identified. The two most used strategies were a single-course strategy, typically where a standalone course covers a range of basic computer skills, and a full integration strategy, where the use of technology was applied in all courses in the teacher programme. In Nordic TE, the full integration strategy is commonly used. In all countries, the work involving digital competences is integrated into other subjects. In addition, elective subjects concerning teachers' digital competences are offered in the different TE programmes that cut across subjects.

The participating teacher education from Norway has taken a special approach to the integration of digital technologies in subjects. They have established a separate ICT unit responsible for teaching areas related to ICT and digital competences in the subject. The unit teachers work closely with the subject teachers to ensure that the work with digital technologies is integrated in a meaningful way. As our participant explains:

In English, the students have compulsory coursework, some of which is to show digital media. For example, they must create a blog, so they [the digital assignments] are tailor-made to the specific subject (interview, Teacher education institution in Norway).

This way of implementing digital competences could be seen as a mixture of a single- and a full-integration strategy, where digital technologies are integrated as an independent part of the subjects. A central reason for having a separate ICT unit is that 'the subject teachers are not trained well enough to teach ICT alongside their subject' (Tømte et al., 2009, p. 19). By allocating the ICT teaching to a separate unit, the aim is to ensure that the educators are equipped with sufficient competences.



Danish TE also integrates digital technologies into other subjects. However, a mixture of a single- and a full integration model is also applied in the module ‘Technology Comprehension’ at KP. This module is taught by a technology teacher and a subject teacher (in Danish, English, or Mathematics). The technology teacher is usually from the pedagogical subjects but could also be from other units working with digital technologies. Unlike at the teacher education institution in Norway, there is no separate ICT unit; rather, the digital competences are distributed to different parts of the organisation.

Moreover, the teaching in Technology Comprehension is handled by both the technology teacher and the subject teacher. A guideline is developed to support the teachers in planning how to cover the four elements (Rehder et al., 2019) but not about the individual subjects. It is up to the teachers to ensure that it is subject-related. On the one hand, this model makes it more challenging to streamline the teaching in digital technologies, as done at the teacher education institution in Norway. On the other hand, when the subject teachers are involved in the Technology Comprehension teaching, the integration of digital competences into the subject may become more coherent.

### **Computational thinking competences in teacher education**

Computing and computational thinking are key aspects of the expanded agenda. In this section, we examine which strategies are applied in TE to upgrade and ensure that TE has the competences needed. Danish university colleges and Danish universities have established a capacity-building group (KATEFO). This group conducted a gap analysis and mapped the research and development environments related to Technology Comprehension at all levels of the education system. One of their conclusions was that if Technology Comprehension is implemented as a subject, there is a lack of competency in informatics and Technology Comprehension throughout the entire educational system (Basballe et al., 2021). The need to upgrade the informatics and computational thinking competences within TE is also stressed by Yadav et al. (2017). They argue that TE must offer pre-service teachers’ courses on programming and computational thinking and suggest that education and computer science faculties should ‘work collaboratively, using their complementary expertise in computing and teacher development’ (Yadav et al., 2017, p. 55).

In contrast to Denmark, where TE is anchored in university colleges (Weisdorf, 2020), TE is offered exclusively by universities in Finland. Because of this, competences in programming and computational thinking are covered ‘in-house’. Our participant from the teacher education institution in Finland explains that Finland is normally reluctant to add new subject areas to the educational system. Algorithmic thinking was included as a part of mathematics because many mathematics teachers have studied computer science as a part of their education. Furthermore, a lot has been invested in in-service training in which, for example, universities have offered courses in teaching programming and algorithmic thinking (interview, Teacher education institution in Finland). The link between education and computer science faculties in Finland is already in place as a natural consequence of anchoring TE in universities. Denmark does not have this natural alignment,

but KATEFO might be a step towards closer collaboration between universities and university colleges on the capacity-building of informatics and technology competences. The challenges of ensuring computing and computational thinking capacity will be further elaborated in the discussion below.

## Findings and discussion

This article describes an expansion of the agenda for digital competences in TE. The goal of student teachers being competent users of digital technologies is supplemented with a focus on understanding, creating, and critically reflecting. This expansion is reflected in international strategies, political initiatives, and frameworks, and the international movement of including programming and computational thinking in schools. When the understanding of digital competences is expanded, it becomes interesting to investigate how TE responds to this new agenda. We have identified different political and institutional ways of responding to the expansion of goals for digital competences in TE across the Nordic countries.

In the first part of the analysis, we examined the Nordic TE systems' obligations regarding digital competences. In Denmark and Norway, digital competences are explicitly described in the national subject curriculums. According to the descriptions of the aims and goals in the subjects, the use of digital tools and learning resources is still a central part of the curriculum. However, there are also some tendencies toward a broader understanding of digital competences. In Norway, the understanding of professional digital teacher competences is well-established within the national framework. However, in Sweden and Finland, the obligations of TE concerning digital competences are less explicit. Finland does not have a policy description of how TE is to apply digital competences, and there is great confidence in universities to organise TE locally, including education for digital competences.

The Nordic countries have quite different ways of organising curricula and describing digital competences on a policy level. Further investigation could potentially shed light on the role the different approaches play when implementing digital competences in TE. Is Norway, for example, better at incorporating digital competences because they are well described in various policy documents? Or is the Finnish model with full autonomy vis-à-vis TE programmes better? It is difficult to answer such questions adequately but doing so could reveal new insights into the involvement and organisation of digital competences on a policy level.

The second part of the analysis draws attention to how digital competences are implemented locally in TE programmes. First, it is shown that there are different approaches to integrate computing and computational thinking. In Denmark, the focus on computational thinking is intertwined with a digital design purpose. In the rest of the Nordic countries, computational thinking and programming are integrated as content areas in individual subjects, especially through problem-solving in STEM subjects. Here, computational

thinking is understood as a part of subject content knowledge, whereas the Danish approach is more interdisciplinary. If pursued further, these different strategies might also reveal patterns on how systematically, and to what extent computational thinking is integrated into TE.

Moreover, an ethical and critical perspective on digital technologies (digital empowerment) has been identified in the Nordic countries as a central aspect of digital competences. This focus on digital empowerment can also be understood as a way of moving beyond the focus on using ICT as a tool to a critical, socially responsible, and ethical perspective on digital technologies. There is a comprehensive effort to work in-depth with digital empowerment in the Danish Technology Comprehension module. Again, it can be questioned if, for example, the more specified approach to work with digital empowerment in the subjects at the teacher education institution in Norway is a better way of ensuring a systematic integration. However, a broader understanding of digital empowerment might ensure a richer perspective on digital technologies.

We also examined how TE programmes have organised and integrated digital competences into curricula locally. The most used strategy is ‘full integration’, in which digital competences are part of all subjects. Denmark is the only country that has experimented with creating a mandatory module as a supplement to integration into different subjects. At the teacher education institution in Norway, a separate ICT unit has been established to specialise in teaching digital competences in the subjects. Whereas Finland has computing and programming competences covered in-house at the universities, Danish TE needs more competence capacity in informatics and technology comprehension, especially if the subject is to be mandatory.

Even though the Nordic countries have some of the most advanced digital infrastructure (Randall & Berlina, 2019) and a shared technological point of departure, various policies and practices are applied. This approach emphasises that digital competences is a fluid and expanding term, making it difficult to find a one-size-fits-all approach, and also considering the different traditions of understanding and conducting TE. The technology philosopher Alfred Borgmann defines the dominant perspective on technologies as an ‘engineering sense of technology’, whereas ‘social theorists are interested in technology as a cultural force’ (Borgmann, 2006, p. 353). The point is that understanding technology is never neutral but is rooted in a socio-cultural context. Understanding the different approaches to the expansion of digital competences in TE also includes mapping and analysing the attached perspectives on technology.

Moreover, the implementation of the ICT agenda and use of technologies is not yet realised, as earlier studies have shown. This implementation makes it relevant to ask how TE can integrate the expanded agenda of digital competences when the earlier agenda still challenges it. Perhaps the different technology understandings could contribute to each other in a constructive way instead of being parallel agendas; this approach might be a way to handle the slow uptake of digital competences in TE. Exploring these possibilities is beyond the scope of this article, but reflections on the different approaches in Nordic countries may open up some themes to pursue in future empirical research.

## Acknowledgements

Thanks to our participants from Sweden, Norway, and Finland for participating in our study. You contributed much to clarifying and illuminating the Nordic approach to digital competences.

## References

- Arstorp, A.-T. (2015). *Ph.d.-afhandling: Teknologi på læreruddannelsen - en forestillet eller en realiseret praksis?: En virksomhedsteoretisk analyse af objekter, motiver og rettigheder på samfunds*. Institut for Uddannelse og Pædagogik, Aarhus Universitet.
- Basballe, D., Caspersen, M., Hansen, B. L., Hjorth, M., Iversen, O. S., & Kanstrup, K. H. (2021). *Gap-analyse af teknologiforståelse i det danske uddannelsessystem fra grundskole til ungdomsuddannelser (Resumé)*. Danske Professionshøjskoler & Danske Universiteter.
- Borgmann, A. (2006). Technology as a cultural force: For Alena and Griffin. *The Canadian Journal of Sociology*, 31(3), 351–360. <https://doi.org/10.2307/20058714>
- Bowen, G. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal*, 9, 27–40. <https://doi.org/10.3316/QRJ0902027>
- Braun, V., & Clarke, V. (2013). *Successful qualitative research: A practical guide for beginners*. Sage. <https://doi.org/10.1177/0959353515614115>
- Braun, V., Clarke, V., Boulton, E., Daey, L., & McEvoy, C. (2020). The online survey as a qualitative research tool. *International Journal of Social Research Methodology*. 1-14. <https://doi.org/10.1080/13645579.2020.1805550>
- Brinkmann, S., & Kvale, S. (2015). *InterViews: Learning the craft of qualitative research interviewing* (3<sup>rd</sup> ed.). Sage.
- Caeli, E. N., & Bundsgaard, J. (2020). Computational thinking in compulsory education: A survey study on initiatives and conceptions. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), 551–573. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09694-z>
- Charmaz, K. (2014). *Constructing grounded theory*. Sage.
- European Commission. (2020). *Digital education action plan (2021–2027): Resetting education and training for the digital age*. European Union. [https://ec.europa.eu/education/sites/default/files/document-library-docs/deap-communication-sept2020\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/education/sites/default/files/document-library-docs/deap-communication-sept2020_en.pdf)
- European Council. (2018). *Council recommendation of 22 May 2018 on key competences for lifelong learning, 2018/C 189/01*. European Council. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.C\\_.2018.189.01.0001.01.ENG](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.C_.2018.189.01.0001.01.ENG)
- European Parliament. (2006). *Recommendation of the European parliament and of the council 2006/962/EG on key competence for lifelong learning*. European Parliament. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32006H0962>
- Ferrari, A. (2013). *DIGCOMP: A framework for developing and understanding digital competence in Europe*. Institute for Prospective Technological Studies, JRC Technical Reports. European Union. <https://doi.org/10.2788/52966>
- Finlex. (2004). *Statsrådets förordning om examina och specialiseringsutbildningar vid universitet (SE)*. <https://finlex.fi/sv/laki/smur/2014/20141439>
- Granberg, C. (2011). *ICT and learning in teacher education: The social construction of pedagogical ICT discourse and design*. Umeå Universitet, Department of Applied Education/Interactive Media and Learning (IML).
- Gohde, A. (2019). Digital literacies or digital competence: Conceptualizations in Nordic curricula. *Media and Communication*, 7(2), 25–35. <https://doi.org/10.17645/mac.v7i2.1888>

- Hashemi, S. S., Playa-Koro, C., Brante, E. V., Franck, O., von Otter, A.-M., & Pihl, A.-L. (2019). Lärutbildningen och den digitala kompetensen. In O. Franck (red.), *Vetenskaplighet i högre utbildning: Erfarenheter från lärutbildningen* (261–290). Studentlitteratur AB.
- Hasse, C., & Wallace, J. (2020). *Teknologiforståelse: Mod et nyt begreb om teknologiforståelse*. Technucation: Technological literacy and new employee driven innovation through education. <https://technucation.dk/begreber-og-fokusomraader/teknologiforstaelse/>
- Iversen, O. S., Dindler, C., & Smith, R. C. (2019). *En designtilgang til teknologiforståelse*. Dafolo.
- Kay, R. H. (2006). Evaluating strategies used to incorporate technology into pre-service education: A review of the literature. *Journal of Research on Technology*, 38(4), 383–408. <https://doi.org/10.1080/15391523.2006.10782466>
- Kelentrić, M., Helland, K., & Arstorp, A.-T. (2017). *Professional digital competence framework for teachers in Norway*. The Norwegian Centre for ICT in Education. <https://www.udir.no/contentassets/081d3aef2e4747b096387aba163691e4/pfdk-framework.pdf>
- Krumsvik, R. (2011). Digital competence in Norwegian teacher education and school. *Högre utbildning*, 1, 39–51.
- Kunnskabsdepartementet. (2016a). *Forskrift om rammeplan for grunnskolelærerutdanningene for trinn 1- 7*. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-06-07-860?q=forskrift%20grunnskolel%C3%A6rerutdanning>
- Kunnskabsdepartementet. (2016b). *Forskrift om rammeplan for grunnskolelærerutdanningene for trinn 5- 10*. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-06-07-861?q=forskrift%20grunnskolel%C3%A6rerutdanning>
- McGarr, O., Mifsud, L., & Rubio J. C. C. (2021): Digital competence in teacher education: comparing national policies in Norway, Ireland and Spain, *Learning, Media and Technology*, <https://doi.org/10.1080/17439884.2021.1913182>
- Ministry of Education and Culture. (2016). *Teacher education in Finland*. <https://minedu.fi/documents/1410845/4150027/Teacher+education+in+Finland/57c88304-216b-41a7-ab36-7ddd4597b925/Teacher+education+in+Finland.pdf>
- OECD. (2016). *Skills for a digital world: Policy brief on the future of work*. OECD. <http://www.oecd.org/els/emp/Skills-for-a-Digital-World.pdf>
- Randall, L., & Berlina, A. (2019). Governing the digital transition in Nordic Regions : The human element. <https://doi.org/10.30689/R2019:4.1403-2503>
- Redecker, C. (2017). *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu*. Joint Research Centre. <https://doi.org/10.2760/159770>
- Rehder, M. M., Møller, T. E., Hjorth, M., Fibiger, J., Hansbøl, M., Jensen, J. J., Kornholt, B., Laier, B., Møller, L. D., & Schröder, V. (2019). *Teknologiforståelse og digital dannelse – undervisningsvejledning til et nyt modul på læreruddannelsen*. Københavns Professionshøjskole.
- Schröder, V. (2019). Digitale teknologiers kulturkraft i daginstitutionen: Børn og pædagogers teknologiforståelse. *Forskning i pædagogers profession og uddannelse*, 3(1), 103-119. <https://tidsskrift.dk/FPPU/article/view/113979/162557>
- Selwyn, N. (2013). *Discourses of digital ‘disruption’ in education: A critical analysis*. Paper presented to Fifth International Roundtable on Discourse Analysis, City University, Hong Kong, May 23–25, 2013.
- Selwyn, N., & Facer, K. (2013). Introduction: The need for a politics of education and technology In: N. Selwyn, & K. Facer (Eds.) *The Politics of Education and Technology: Palgrave Macmillan’s Digital Education and Learning* (pp 1-17). Palgrave Macmillan. [https://doi.org/10.1057/9781137031983\\_1](https://doi.org/10.1057/9781137031983_1)
- Smith, M. (2016). *Computer science for all*. <https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2016/01/30/computer-science-all>



- So, H.-J., Choi, H., Lim, W. Y., & Xionga, Y. (2012). Little experience with ICT: Are they really the Net Generation student-teachers? *Computers & Education*, 59(1), 1234–1245. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.05.008>
- Styrelsen for Forskning og Uddannelse. (2018). *Bilag 1 til delanalyse 2 i evaluering af læreruddannelsen. Sammenfatning af professionshøjskolernes redegørelser*. <https://ufm.dk/aktuelt/nyheder/2018/filer/bilag1.pdf>
- Sveriges Riksdag. (1993). *Högskoleförordning (1993:100)*. [https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/hogskoleforordning-1993100\\_sfs-1993-100](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/hogskoleforordning-1993100_sfs-1993-100)
- Tuhkala, A., Wagner, M.-L., Iversen, O. S., & Kärkkäinen, T. (2019). Technology comprehension — Combining computing, design, and societal reflection as a national subject. *International Journal of Child–Computer Interaction*, 20, 54–63. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2019.03.004>
- Tømte, C. E. (2015). Educating teachers for the new millennium? Teacher training, ICT and digital competence. *Nordic Journal of Digital Literacy Special Issue 2006–2016*. 74–89. <https://doi.org/10.18261/ISSN1891-943X-2015-Jubileumsnummer-10>
- Tømte, C., Enochsson, A. B., Buskqvist, U., & Kårstein, A. (2015). Educating online student teachers to master professional digital competence: The TPACK framework goes online. *Computers & Education*, 84, 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.01.005>
- Tømte, C., Hovdhaugen, E., & Solum, N. H. (2009). *ICT in initial teacher training: Norway country report*. Organisation for Economic Co-operation and Development. <https://www.oecd.org/norway/45128319.pdf>
- Tømte, C., Kårstein, A., & Olsen, D. S. (2013). IKT i lærerutdanningen. På vei mot profesjonsfaglig digital kompetanse? Nordic Institute for Studies in Innovation, Research and Education. <http://hdl.handle.net/11250/280429>
- Uddannelses- og Forskningsministeriet. (2020). *Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om uddannelsen til professionsbachelor som lærer i folkeskolen*. BEK nr 1140 af 03/07/2020. <https://www.retsinformation.dk/eli/lt/a/2020/1140>
- Universitets- og højskolerådet. (2018a). Nasjonale retningslinjer for femårig grunnskolelærerutdanning, trinn 1-7. [https://www.uhr.no/f/p1/ibda59a76-750c-43f2-b95a-a7690820ccf4/revidert-171018-nasjonale-retningslinjer-for-grunnskolelærerutdanning-trinn-1-7\\_fin.pdf](https://www.uhr.no/f/p1/ibda59a76-750c-43f2-b95a-a7690820ccf4/revidert-171018-nasjonale-retningslinjer-for-grunnskolelærerutdanning-trinn-1-7_fin.pdf)
- Universitets- og højskolerådet. (2018b). Nasjonale retningslinjer for femårig grunnskolelærerutdanning, trinn 5-10. [https://www.uhr.no/f/p1/iffef9b9-6786-45f5-8f31-e384b45195e4/revidert-171018-nasjonale-retningslinjer-for-grunnskoleutdanning-trinn-5-10\\_fin.pdf](https://www.uhr.no/f/p1/iffef9b9-6786-45f5-8f31-e384b45195e4/revidert-171018-nasjonale-retningslinjer-for-grunnskoleutdanning-trinn-5-10_fin.pdf)
- Undervisningsministeriet (2018). *Handlingsplan for teknologi i undervisningen*. <https://www.uvm.dk/publikationer/folkeskolen/2018-handlingsplan-for-teknologi-i-undervisningen>
- Weisdorf, A. K. (2020). *Læreruddannelsen i globalt perspektiv: Et komparativt studie af læreruddannelsen i Danmark, England, Finland, Holland, New Zealand, Norge, Ontario, Singapore, Sverige og Tyskland*. Danske Professionshøjskoler.
- Williamson, B. (2017). *Big data in education: The digital future of learning, policy and practice*. Sage. <https://doi.org/10.4135/9781529714920>
- Williamson, B., Rensfeldt, A. B., Player-Koro, C., & Selwin, N. (2019). Education recoded: Policy mobilities in the international ‘learning to code’ agenda. *Journal of Education Policy*, 34, 705–725. <https://doi.org/10.1080/02680939.2018.1476735>
- Yadav, A., Stephenson, C., & Hong, H. (2017). Computational thinking for teacher education. *Communications of the ACM*, 60(4), 55–62. <https://doi.org/10.1145/2994591>
- Zuljan, M. V., & Vogrinc, J. (2011). *European dimensions of teacher education: Similarities and differences*. Faculty of Education, University of Ljubljana & The National School of Leadership in Education, Kranj. <https://doi.org/10.13140/2.1.4136.1282>