

## KAPITEL I

# TVÆRFAGLIGHED OG PERSPEKTIVERING AF FYSIKFAGET

*Martin Niss*

I en situation med stigende fagspecialisering er der behov for fagperspektivering, dvs. at studerende kender såvel deres fags natur og rolle i verden som ligheder og forskelle mellem faget og andre fag samt disses fagligheder. I kapitlet udfoldes en sådan fagperspektivering af universitetsfaget fysik ved at inddrage begrebet *Nature of Science*, som kan bruges til at opstille nogle forholdsvis håndfaste læringsmål i forhold til fagperspektivering, f.eks. med hensyn til modeller og modellering. Kapitlets hovedargument er, at fagperspektivering kan opnås gennem tværfaglighed i projektarbejde, hvor projekterne angår *Nature of Science*-problemstillinger. Der er nærmere bestemt tale om såkaldt støttefaglighed, idet en didaktisk motiveret problemstilling angående fysikfaget belyses med tilgange, metoder og begreber fra andre fag og fagligheder, f.eks. historie og filosofi. Argumentet illustreres og diskuteres med udgangspunkt i to konkrete caseprojekter udarbejdet ved fysikuddannelsen på RUC, hvor henholdsvis historie og filosofi inddrages i behandlingen af projektets problem.

# FAGPERSPEKTIVERING OG TVÆRFAGLIGHED

Man møder typisk to opfattelser af fags stilling i verden. Den ene siger: ”Verden består ikke af fag”, mens den anden siger: ”Verden består rigtig nok ikke af fag, men der eksisterer fag i verden”. Implikationen af den første opfattelse er lidt firkantet sagt, at undervisning på et givent niveau skal tage udgangspunkt i virkelige problemer, hvor fagene så byder ind i det omfang, de har noget at tilbyde til løsningen af problemet. Dette fører typisk til tværfaglighed, fordi flere fag bidrager til løsningen. Her begrundes tværfaglighed altså med slagordet ”sag frem for fag”, som man nogle gange møder. Den anden opfattelse anerkender, at virkeligheden som udgangspunkt ikke er opdelt i fag, men at der alligevel findes (videnskabs)fag i virkeligheden. Nogle gange bruges en analogi: Ligesom verden ikke er opdelt i stater, er stater alligevel i høj grad reelle størrelser i den virkelige verden. Tilsvarende er fag højst reelle størrelser, som er med til at skabe en fysisk, økonomisk, social og kulturel virkelighed (Niss 1990). Med denne insisteren på eksistensen af fag kommer fagene oplagt i centrum. Men fag er forskellige, da de eksisterer i de skikkelser, de nu engang har, og det er væsentligt at kende sit fag og kunne se forskel på forskellige fag. Her er det vigtigt at understrege med fysikdidaktikeren Jens Højgaard Jensens ord, at forskellen mellem fag ikke udelukkende er et spørgsmål om, at fagene beskæftiger sig med forskellige genstandsområder, men også, at fag handler om de måder, emnerne ansues på (Højgaard Jensen 2012). Dette ses f.eks. i forskellen mellem fagene kemi og fysik (både undervisnings- og videnskabsfagene), hvis genstandsområder har store emnemæssige overlap, men hvor emnerne tilgås meget forskelligt. Alt i alt, lyder argumentet, er der behov for, at undervisning giver den lærende indsigt i det pågældende fag, dets egenart og forskelle til andre fag samt dets rolle i verden (f.eks. Niss 1990). Fysikdidaktikeren Karin Beyer taler i denne forbindelse om ”perspektivudvidelse af fagstudiet” (Beyer 1978, s. 74), hvilket senere er blevet til det mere mundrette *fagperspektivering*. Her sættes aspekter af faget selv altså på dagsordenen.

I dette kapitel vil jeg argumentere for, at fagperspektivering kan opnås gennem tværfaglighed, dvs. at tværfaglighed kan være middel til fagperspektivering. Jeg vil fokusere på fagperspektivering af faget fysik i undervisning på universitetsniveau, nærmere bestemt fysikuddannelsen på RUC, hvor fagperspektivering spiller en væsentlig rolle i projektarbejdet. Jeg ønsker at vise, at fagperspektivering kan opnås gennem arbejdet med projekter, som undersøger problemstillinger angående videnskabsfaget fysik, og disse problemstillinger belyses ved inddragelse af metoder og tilgange fra andre fagligheder end fysik, typisk historie eller filosofi. Jeg vil argumentere for, at disse projekter kan kaldes tværfaglige, og at de har karakter af

såkaldt støttefaglighed, og at det netop er i kraft af denne tværfaglighed, at de kan bruges til fagperspektivering. For at gennemføre denne argumentation vil jeg først kigge nærmere på opfattelser af tværfaglighedsbegrebet, hvorefter jeg vil komme ind på begrebet *Nature of Science*, som kan bruges til at udfolde, hvad der kan forstås ved fagperspektivering, idet man kan beskrive nogle læringsmål angående fysikkens natur ud fra didaktiske overvejelser om *Nature of Science*-begrebet. Derefter vil jeg gennemgå to eksempler på projekter gennemført på fysikuddannelsen på RUC. Jeg analyserer disse to caseprojekter og argumenterer for, at de er tværfaglige, og at det er tværfagligheden, som gør, at *Nature of Science*-læringsmålene opnås.

## OPFATTELSER AF TVÆRFAGLIGHED

For nærmere at indkredse tværfagligheden af sådanne projekter og karakterisere den i forhold til andre typer og formål med tværfaglighed er det relevant at kigge nærmere på tværfaglighedsbegrebet.

Der eksisterer stor uenighed om begreberne tværfaglighed og fagligt samspil. Jeg vil tage udgangspunkt i filosofen Søren Harnow Klausens forholdsvis brede definition af fagligt samspil og tværfaglighed. Han definerer fagligt samspil:

som overbegreb for alle mulige måder, hvorpå fag kan kombineres eller integreres, eller faggrænser overskrides. Selvom det i de fleste tilfælde også drejer sig om samarbejde mellem flere fagpersoner, dækker det i princippet også tilfælde, hvor en enkelt forsker eller elev selv kombinerer elementer fra flere fag (Harnow Klausen 2011a, s. 14).

Harnow Klausen definerer altså tværfaglighed som en særlig samspilsform, der sigter mod et fælles resultat eller mål, og hvor de enkelte fag ikke kan klare problembehandlingen alene, dvs. hvad han kalder ”fællesfaglighed”. Men, fortsætter han, tværfaglighed bruges også i en lidt løsere betydning som samlebetegnelse for alle lidt mere ambitiøse former for fagligt samspil. Jeg vil bruge begrebet i denne sidste løsere betydning.

Den australske astrofysiker Eric Jantsch er ophavsmand til den klassiske forståelse af, hvilke måder fagligt samspil kan finde sted på (Jantsch 1972). Matematikdidaktikeren Kasper Bjerling Søby Jensen sammenfatter Jantschs position på følgende vis (Jensen 2011):

Mangefaglighed: To eller flere fag eksisterer samtidig.

Flerfaglighed: To eller flere fag arbejder samtidig, med en begrænset koordination.

Støttefaglighed: Et konstituerende fag styrer ensidigt arbejdets mål, mens yderligere et eller flere støttefag bidrager til at opnå målene. Støttefagene tilpasses det konstituerende fags behov.

Mellemfaglighed: To eller flere fag underlægges i samme proces fuldstændig ydre krav, f.eks. en problemstilling.

Overskridende faglighed: Alle faggrænser udviskes, og der arbejdes alene på at løse en ydre problemstilling.

Særligt støttefagligheden vil blive brugt i det følgende, og Harnow Klausen udfolder denne samspilsform (som han kalder hjælpedisciplin) på følgende vis:

Et eller flere fag bidrager til at behandle en enkeltfaglig problemstilling. Her er et af fagene klart styrende, idet det definerer problemstillingen, der også klart hører til det pågældende fags emneområde. Til at løse dele af problemet inddrages efterfølgende andre fag, som giver deres velafgrænsede bidrag og derefter forlader scenen, hvorefter det er op til det styrende fag at drage konklusionen og dermed forhåbentlig besvare problemstillingen. Besvarelsen kan dermed også siges at være enkeltfaglig (Harnow Klausen 2011b, s. 71-72).

Harnow Klausen mener, at støttefagligheden er den mest enkle og udbredte form for fagligt samspil. Jantschs taksonomi bliver nogle gange opfattet normativt (dette gælder dog ikke for Harnow Klausen) som ”jo mere fagintegration, jo bedre”, men taksonomien siger ikke meget om begrundelsen for tværfaglighed i en undervisningssammenhæng. I modsætning hertil tager Jens Højgaard Jensen udgangspunkt i netop spørgsmålet om, hvorfor tværfaglighed er brugbart. Højgaard Jensen identificerer tre forskellige former for tværfaglighed, som har hver deres begrundelser. Skemaet nedenfor sammenfatter hans opfattelse.

<b>Fagintegration på grænseområdet mellem to fag</b>	<b>Fagintegration bestemt af et praktisk problem- og funktionsfelt</b>	<b>Forståelse og overblik på tværs af fag</b>
F.eks.: Matematisk økonomi mellem matematik og økonomi; biokemi mellem biologi og kemi; geofysik mellem geologi og fysik	F.eks.: Erhvervsøkonomi, der integrerer økonomi, sociologi, jura osv.; lægevidenskab, der integrerer kemi, fysiologi, psykologi osv.; ingeniørvidenskab, der integrerer matematik, fysik, geologi osv.	F.eks.: RUC's kombinationsuddannelses-struktur
Dvs. Tværfaglighed = specialisering	Dvs. Tværfaglighed = integration af grundfagselementer til et anvendt fag	Dvs. Tværfaglighed = at være faglig kosmopolit
Tværfagligheden efterspørges: for at understøtte etableringen af nye specialiserede fag.	Tværfagligheden efterspørges: for at fremme anvendeligheden af grundfag i sammenhæng med praktisk problemløsning.	Tværfagligheden efterspørges: for at imødegå uheldige konsekvenser af fagspecialisering.

**Figur 1.** Tre slags tværfaglighed (Højgaard Jensen 2012).

I 1991 skriver han:

Som jeg ser det, skyldes efterspørgslen efter tværfaglighed i de videregående uddannelser siden 60'erne den stigende specialisering af forskningen og de videregående uddannelser siden Anden Verdenskrig og tabet af overblik forbundet med denne udvikling. Altså: Råbet efter tværfaglighed hænger sammen med betydning 3) [tværfaglighed = sprængning af faglige spændetrøjer] af ordet (Højgaard Jensen 1991, s. 4 f.).

I 2012 beskriver han denne betydning som ”Tværfaglighed = at være faglig kosmopolit”, hvilket er en anden måde at kommunikere det samme indhold på. Højgaard Jensen argumenterer altså her for en omfattende og krævende form for fagperspektivering, nemlig at de studerende bør blive faglige kosmopolitter, som føler sig hjemme på tværs af faggrænser, og som har forståelse og overblik på tværs af fag. En måde at indløse dette på er, ved at den studerende kender flere fag indefra og derfor kan bruge disse fags ligheder og forskelle til at få indsigt i hvert fags egenart. Som Højgaard Jensen ser det, er det ideelt det, der sker i RUC's

kombinationsstruktur, hvor de studerende kombinerer to ligestillede fag. Herved får de forhåbentlig indsigt i ligheder og forskelle mellem disse to fag, således at fagene gensidigt perspektiverer hinanden. Her er tværfaglighed altså indsigt på tværs af fag ved et kendskab til fagenes indre natur.

Den variant af fagperspektivering, som jeg vil argumentere for, er en mindre krævende variant af fagperspektivering end Højgaard Jensens faglige kosmopolitter, men påstanden er stadig, at den kan opnås gennem tværfaglighed, som dog også er af en anden slags end den, som Højgaard Jensen har foreslået. I sidstnævnte opnås tværfagligheden i kraft af, at individet lærer to fag, men uden et fagligt samspil mellem de to fag. I førstnævnte sker der et fagligt samspil af typen støttefaglighed, og tværfagligheden opnås i dette samspil.

## NATURE OF SCIENCE-LÆRINGSMÅL SOM FAGPERSPEKTIVERING

For at konkretisere fagperspektiveringens nærmere indhold er det frugtbart at benytte begrebet *Nature of Science*, som er en samlebetegnelse for viden om og opfattelser af, hvad naturvidenskab er, dvs. hvordan man kan karakterisere naturvidenskabelige fag som menneskelige aktiviteter, herunder hvad der i særlig grad karakteriserer disse fag og gør, at visse arbejdsmetoder, tilgange og vidensområder kan klassificeres som naturvidenskabelige. Begrebet har i mange år været promoveret som en væsentlig del af undervisning i naturvidenskab (se f.eks. Lederman 2007; Lederman & Lederman 2014; Schulz 2014), faktisk i et sådant omfang, at Dagher og Boujaoude kan skrive følgende om den seneste udvikling: ”improving students’ and teachers’ understanding of the *Nature of Science* has shifted from a desirable goal to being a central one for achieving scientific literacy” (Dagher & Boujaoude 2005, s. 378).

Naturfagsdidaktikerne Fouad Abd-El-Khalick og Norman G. Lederman argumenterer for, at hvis den studerende skal udvikle forståelse for *Nature of Science*, er det nødvendigt med et eksplicit-refleksivt framework, idet denne forståelse ikke kommer af sig selv (Abd-El-Khalick & Lederman 2000). Eksplicit forstår de som, at læreplanen skal indeholde specifikke læringsmål relateret til de studerendes *Nature of Science*-forståelse, mens de med refleksivt forstår, at undervisningen er rettet mod at hjælpe de studerende til at reflektere over deres oplevelser med at lære naturvidenskab fra et epistemologisk perspektiv.

For undervisningsfaget fysik svarer dét at lære om *Nature of Science* til, at studerende/elever skal kunne:

- undersøge og analysere de teoretiske og eksperimentelle metoder, som fysikere bruger til at opnå viden
- diskutere, kritisere og bedømme den empiriske status af fysikviden
- undersøge og diskutere forholdet mellem fysik og andre videnskaber
- undersøge og kritisk bedømme fysiks særlige natur og dennes udvikling og samspil med kultur, samfund og andre videnskaber.

## FAGPERSPEKTIVERING I FYSIKUDDANNELSEN PÅ RUC

I fysikuddannelsen på RUC indgår der forskellige former for fagperspektiver i projektarbejdet. Jeg vil fokusere på et videnskabsteoretisk perspektiv, hvor de studerende undersøger en videnskabsteoretisk problemstilling angående videnskabsfaget eller undervisningsfaget fysik; disse projekter kaldes *refleksionsprojekter*, idet der reflekteres over fysik. Af studieordningen fremgår følgende:<sup>1</sup> ”Formålet med projektet er, at den studerende gennem arbejde med et repræsentativt eksempel bringes til at reflektere over fysik som en samfundsmæssig, kulturel eller videnskabelig aktivitet, herunder også i forbindelse med undervisning og formidling.” Det går altså ud på at betragte fysikfaget som et objekt, der kan underkastes et studium ved inddragelse af forskellige perspektiver, herunder videnskabsteoretiske og historiske, af reflektorisk karakter. Der er således en eksplicit reference til læringsmål angående *Nature of Science* for fysik. De studerendes læringsoplevelse angående fysik opnås ved et konkret ophæng i et specifikt problem, som adresserer aspekter ved *Nature of Science* for fysik på en sådan måde, at det er forankret i fysiks indhold (dets begreber, metoder, teorier, grundlag osv.).

I udgangspunktet er refleksionsprojekterne ikke tværfaglige, idet de angår perspektiver på faget. I det følgende vil jeg imidlertid præsentere to repræsentative caseprojekter, som jeg vil argumentere for i praksis er tværfaglige, og som viser, at det netop er tværfagligheden, der muliggør opnåelsen af læringsmålene angående *Nature of Science*. Mere overordnet er caseprojekterne altså eksempler på et svar på spørgsmålet om, hvorfor tværfaglighed er relevant ud fra, hvad dette kan bidrage til i et undervisningsmæssigt perspektiv.

Begge de caseprojekter, jeg vil beskrive, handler om modeller og modellering i fysik. Fysik bruger i udstrakt grad modeller, dvs. forenklede systemer, der repræ-

---

<sup>1</sup> Studieordningen, der nævnes her, er den, som var gældende på det tidspunkt, hvor caseprojekterne blev udarbejdet; den er siden blevet revideret.

senterer og tilnærmer sig det betragtede fysiske objekt. Modellering, hvor man indfanger et fysisk fænomen med modeller, spiller en således væsentlig rolle i både videnskabs- og undervisningsfaget. Naturvidenskabsdidaktikerne Rosária Justi og John Gilbert påpeger i den forbindelse, at et mål med naturfagsundervisning må være et *Nature of Science-læringsmål*, dvs. at naturfagselever og -studerende forstår modellens rolle i opnåelsen og udbredelsen af viden inden for videnskabs- såvel som undervisningsfaget ud over mere fagfaglige mål om, at de kender de væsentligste modeller og lærer at lave og teste deres egne modeller (Justi & Gilbert 2003). Jeg har i en tidligere artikel (Niss 2006) rettet det første mål specifikt mod fysik, og jeg har udfoldet det til at inkludere nedenstående underpunkter:

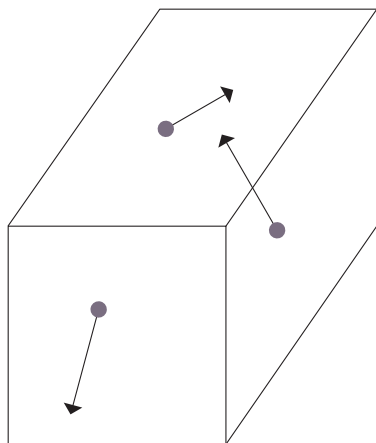
1. Hvad udgør en god model?
2. Hvad skal en model kunne?
3. Hvilken type træk ved den fysiske verden ønsker vi at fange med modellen?
4. Og hvad vil det sige at forstå et fysisk fænomen?

Ovenstående perspektiver angår i princippet alle undervisningsniveauer, men det er klart, at det nærmere indhold under hvert punkt tager sig forskelligt ud alt efter niveau.

### **Første caseprojekt**

Det første caseprojekt hedder ”Modeller i fysik – simplificeringer i modeller af gassers kinetik” og blev udarbejdet på fysikuddannelsen på RUC af to 5. semesterstuderende under min vejledning. Udgangspunktet var, at de to studerende i gruppen ønskede at opnå en forståelse som Justi og Gilbert ovenfor, dvs. at forstå modellens rolle i opnåelsen og udbredelsen af viden i videnskabsfaget fysik, særligt udfoldningen beskrevet ovenfor. Projektet omhandlede mere præcist modeller for gassers opførsel, hvor man prøver at udlede kendte empiriske sammenhænge mellem størrelser, som man kan måle (f.eks. idealgasligningen  $pV = NKT$ , som angiver en sammenhæng mellem trykket ( $p$ ), volumenet ( $V$ ), og ( $T$ ) er temperaturen udtrykt ved antallet af gaspartikler ( $N$ ) og en universel konstant ( $K$ )) ud fra modeller af gassernes bestanddele – dvs. en udpegning af de relevante træk ved de atomare gaspartikler. Et eksempel på en gasmodel er vist i figur 1.1, hvor man opfatter gaspartiklerne som hårde billardbolde, der bevæger sig rundt mellem hinanden.





**Figur 2.** Et eksempel på en gasmodel.

De studerende undersøgte følgende problemformulering:

Med udgangspunkt i udvalgte modeller for gassers kinetik, hvordan anvendes og begrundes simplificeringer og antagelser i modeller? (Friisberg & Christiansen 2012, s. 4).

For at besvare dette problem undersøgte de fire sådanne modeller for gassers kinetik, som blev fremsat i perioden fra 1660 til 1900, og hvordan disse modeller blev indført og undersøgt af videnskabsfolk. Mere specifikt undersøgte de studerende ræsonnementerne i fire originale artikler, en for hver model, hvor en fysiker argumenterede for relevansen af modellen samt undersøgte modellen. De studerende analyserede videnskabsfolkenes arbejde mht. følgende aspekter:

1. Baggrunden for opstillingen af den pågældende model
2. Hvilken empiri var til rådighed på det pågældende tidspunkt?
3. Hvilke antagelser og idealisering om gassens bestanddele indgik i modellen?

Som et eksempel på deres analyse vil vi kigge nærmere på deres undersøgelse af den ene model. Denne model blev fremsat af den skotske fysiker James Maxwell i 1867 med et ønske om at beskrive og forstå gassers viskositet, dvs. gassens modstand mod at bevæge sig. Mere præcist havde Maxwell en hypotese om, at viskositeten for en gas er proportional med temperaturen.

For at gennemføre ovenstående analyse gennemgik de studerende Maxwells (temmelig komplicerede) ræsonnementer i den originale artikel i detaljer med hjælp fra en historisk gennemgang af en fysikhistoriker (Brush 1962). De studerende nåede frem til, at Maxwell fulgte følgende procedure: Først forkastede han

tidligere antagelser om, at gaspartiklerne er små hårde kugler (som på figur 2), der kun interagerer med hinanden, når de støder ind i hinanden. I stedet beskrev han dem matematisk som uendeligt små partikler, der hele tiden påvirker hinanden med en kraft, hvis styrke afhænger af afstanden mellem partiklerne. Han indførte en variabel  $n$ , som siger noget om, hvordan størrelsen af denne kraft mere præcist afhænger af afstanden, men hvis værdi han i første omgang lod være uspecificeret. Maxwell opstillede dernæst nogle matematiske udtryk, men han var ikke i stand til at gennemføre en matematisk analyse med en uspecificeret værdi for  $n$ . Han fandt imidlertid, at hvis han noget vilkårligt antog, at  $n$  er 5, kunne han udlede et udtryk for viskositet, som viste, at hans hypotese var korrekt. Maxwell lavede altså en simplificering, som hovedsageligt var begrundet ud fra, at den gjorde de matematiske beregninger simple. Det var en stor overraskelse for de studerende at se, at store videnskabsfolk, som elektricitetslærens hovedmand, Maxwell, måtte ty til en sådan antagelse på et så svagt grundlag. Indhøstningen af en sådan pointe var i høj grad en funktion af projektets historiske tilgang, idet man nok skal have set det ved selvsyn, dvs. beskæftiget sig med Maxwells faktiske ræsonnement i artiklen, for at pointen for alvor synker ind. Det er stærkt tvivlsomt om en andenhåndsoverlevering ville være tilstrækkeligt.

På baggrund af deres undersøgelse af dette og de andre eksempler nåede de studerende frem til følgende konklusion om modellering i fysik:

Med antagelser og simplificeringer i en model ønsker man at opnå en simple repræsentation af et fænomen, men hvor fænomenet stadig kan genkendes. Simplificeringen skal altså ske i sådan en grad, at modellen stadig repræsenterer fænomenet. Man kan for eksempel sammenligne fænomenet med et smukt landskab, og modellen med et billede af landskabet opbygget af pixels; der skal således være et vist antal pixels i billedet, for at man kan ane strukturen i billedet, mens der skal en del flere til, for at man kan beundre det fulde motiv, og flere endnu, hvis man skal få øje på det lille eger i træet (Friisberg & Christiansen 2012, s. 54).

Her har de lært en væsentlig pointe angående modeller i fysik fra et *Nature of Science*-synspunkt, nemlig at man i fysik bruger modeller til at repræsentere fænomener på en simpel vis, men også på en måde, så fænomenet stadig kan genkendes. Det, at de for alvor har internaliseret denne væsentlige pointe, fremgår af den sidste sætning i ovenstående citat, hvor de med egne ord formulerer pointen og skærper den i retningen af, at den grad af nøjagtighed, vi kræver af modellen, afhænger af det fænomen, vi ønsker at undersøge.

De studerende nåede desuden frem til en anden generel konklusion angående, hvordan simplificeringer og antagelser begrundes:

På baggrund af de fire udvalgte modeller i dette projekt kan det altså konkluderes, at simplificeringer og antagelser i modeller generelt begrundes med empiriske observationer og overensstemmelser samt fysiske og matematiske ræsonnementer (Friisberg & Christiansen 2012, s. 55).

Igen var det en væsentlig pointe om modeller i videnskabsfaget fysik. Som allerede nævnt, var især den sidste begrundelse med matematiske ræsonnementer en øjenåbner for de studerende.

Jeg vil derfor konkludere, at de studerende ved at lave dette projekt indhøstede nogle væsentlige fagperspektiveringer. Dette skete netop i kraft af, at de tog en anden vinkel på problemstillingen end en ren intern-faglig, idet det er ved selvsyn af videnskabsfolkernes faktiske ræsonnementer, at disse pointer indhøstes og ikke ved en andenhåndsoverlevering.

### **Andet caseprojekt**

Det andet projekt, jeg vil bruge som case, omhandlede også modellering i fysik, men denne gang var det med et filosofisk perspektiv. Projektet hed ”Notationens rolle i fysisk modellering – en sammenligning af netværks- og ligningsrepræsentation af et dynamisk system” og blev udarbejdet af en gruppe bestående af tre studerende. Udgangspunktet var, at de studerende inden projektets start havde fulgt et kursus i modellering i fysik; her opstillede man modeller af fysiske systemer ved at identificere og karakterisere et systems elementer, og hvordan disse elementer påvirkede hinanden med henblik på at undersøge systemets egenskaber. Systemet kunne f.eks. være en højttaler og dennes dele, såsom magnet, spole, membran osv.; disse elementer spiller sammen, ved at strøm gennem spolen får en magnet til at bevæge sig; hvis der sidder en membran på magneten, vil denne også bevæge sig og danne lydbølger. På kurset brugte man netværksdiagrammer til at formulere disse modeller. Et sådant diagram (tænk f.eks. på et diagram for et elektrisk kredsløb, hvori der løber en strøm igennem nogle elektriske modstande) er en simplificeret grafisk repræsentation af netværk, som viser netværkets komponenter som symboler samt forbindelsen mellem disse komponenter. Ved at undersøge diagrammerne kan man udlede egenskaber for den bagvedliggende model, dvs. hvordan modellen beskriver opførslen af det oprindelige system. Kurset står herved for en anden modelleringstilgang end den traditionelle (og langt mere udbredte) tilgang i fysik, hvor man går direkte til at opstille matematiske ligninger for en

model uden at tage omvejen i form af diagrammer. Med gruppens prægnante udtryk var det altså at ”tegne” over for ”regne”. I lyset af, at brugen af netværksdiagrammer til modellering er udbredt blandt RUC’s eksperimentalfysikere, fandt gruppen det relevant at undersøge, hvorfor diagramteknikker er anvendelige i modellering af fysiske systemer.

De studerende interviewede fire eksperimentalfysikere om deres brug af netværksdiagrammer for at undersøge, hvorfor disse fandt diagram-omvejen relevant. Fysikerne gav udtryk for, at de foretrak at tænke om systemet i termer af elektriske kredsløb frem for i ligninger, og de fremhævede, at et netværksdiagram appellerer til den fysiske intuition og giver dem et overblik, f.eks. over konsekvenser af ændringer af værdien af fysiske størrelser. Den ene eksperimentalfysiker talte om diagrammet ”som en *kognitiv organisator* – et billede, som indfanger hans forståelse af et system” (Sylvest-Nielsen, von Leunbach & Kofod 2014, s. 38). For at komme dybere ned i problemstillingen om at tegne versus at regne, og hvorfor den første tilgang giver en indsigt, som den anden måske ikke giver, trak gruppen nu på to filosoffer, nemlig Charles S. Peirce og Immanuel Kant:

En analyse, der gør brug af C.S. Peirces semiotiske kategorier af modelrepræsentationerne sammenholdes med netværksteknikkens fordele, som de fremlagdes af de adspurgte brugere af energibåndsteknikken [dvs. teknikken med de elektriske kredsløb]. De fundne potentialer ved et ikonbaseret modelleringsværktøj sættes i relation til Kants transcendentalfilosofi og forholdet mellem form og forståelse (Sylvest-Nielsen, von Leunbach & Kofod 2014, s. 2).

I første omgang konstaterede de, at: ”Diagrammerne indeholder en visuel dimension, som en ligningsrepræsentation ikke gør” (Sylvest-Nielsen, von Leunbach & Kofod 2014, s. 42). Denne konstatering kan man nok foretage uden at inddrage filosoffer, men ved efterfølgende at trække på Peirces semiotiske kategorier ikoner, indicer og symboler kunne de studerende komme et spadestik dybere i forståelsen af, hvorfor dette er tilfældet:

Det skyldes, at en ligning er rent symbolbaseret, mens et diagram består af både symboler, indicer og ikoner. Vi vælger at betragte netværksdiagrammet som primært ikon- og indicebaseret. Det betyder en tilknytning til det modellerede system, som ikke kræver en konvention. Ikonfremstilling relaterer i højere grad til beskuerens erfaringer i kraft af den billedlige reference til det, ikonet repræsenterer. Det er en fordel, såfremt beskuerens *forståelse* bygger på billeder (Sylvest-Nielsen, von Leunbach & Kofod 2014, s. 42, fremhævelse i original).

De konkluderede nu, at netværksdiagrammerne er gode til at give beskueren sådanne billeder i kraft af, at de er ikonbaserede frem for symbolbaserede (som den ligningsbaserede tilgang): ”Fordelen er således, at man uden nærmere introduktion kan se systemets overordnede dynamiske type og ved at kende definitionerne kan forstå den specifikke dynamik (Sylvest-Nielsen, von Leunbach & Kofod 2014, s. 43, fremhævelse i original). De åbnede for, at det måske er heri, at netværkstilgangens overbliksskabende funktion består.

De spurgte så, om en anvendelig notation skaber mest mulig forståelse. Svaret afhænger af, hvordan man betragter forståelse. Det var her, Kant kom ind i billedet; han mente, at der både findes a priori erkendelse og a posteriori erkendelse. Man erkender altså både gennem rationaler og gennem sanseevnen. Den første erkendelse benævnte de ’tænkning’, den anden ’anskuelse’. De studerende anvendte nu denne skelnen til at karakterisere netværkstilgangen over for den ligningsbaserede tilgang. En model inden for sidstnævnte forstås udelukkende ved tænkning, mens netværksmodellering beror både på tænkning og anskuelse. Herved nåede de frem til følgende konklusion:

Ud fra Kants transcendentalfilosofi kan det konkluderes at netværksteknikken appellerer til forståelsen, idet diagrammerne korresponderer med den måde, menneskers forståelse bygger på en kombination af tænkning og anskuelse (Sylvest-Nielsen, von Leunbach & Kofod 2014, s. 47).

De konkluderede desuden, at: ”Netværksdiagrammer er altså særligt forståelige, hvis man har sansemæssig erfaring med teknikens begreb og ikonverden” (Sylvest-Nielsen, von Leunbach & Kofod 2014, s. 46).

Også for dette caseprojekt er der tale om, at det problem, som undersøges, er udpeget af fysikken og angår en fagperspektivering med hensyn til modellering og særligt forskellige notationers rolle i forhold til modellering og undersøgelse af fysiske fænomener. Ligesom historien gjorde i det foregående projekt, spillede filosofien altså andenviolin i forhold til valg af problem, mens den i behandling af problemet spillede en afgørende rolle, idet den fungerede som en linse, som gjorde, at de studerende kunne se nogle aspekter ved problemet, som de ellers ikke ville have kunnet se. De var f.eks. i stand til at karakterisere det særligt visuelle ved netværkstilgangen ud fra Peirces semiotiske teori samt ud fra Kants transcendentalfilosofi den særlige blanding af tænkning og anskuelse, der finder sted i netværksteknikken.