

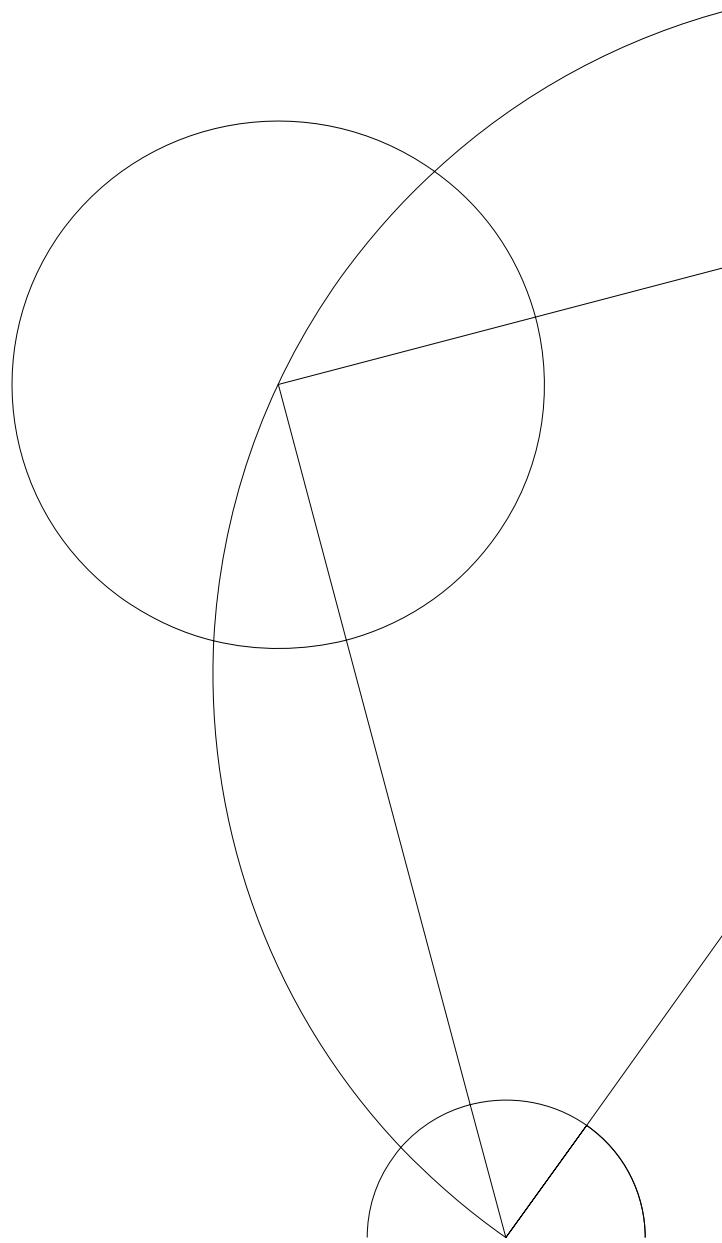


Effekten og brugen af narrative læringspil og simuleringer i gymnasiet

Jesper Hansen
Fysikdidaktisk kandidatspeciale

Vejleder: Jesper Bruun

IND's studenterserie nr. 93, 2020



INSTITUT FOR NATURFAGENES DIDAKTIK, www.ind.ku.dk

Alle publikationer fra IND er tilgængelige via hjemmesiden.

IND's studenterserie

55. Laura Mark Jensen: Feedback er noget vi giver til hinanden - Udvikling af Praksis for Formativ Feedback på Kurset Almen Mikrobiologi (2017)
56. Linn Damsgaard & Lauge Bjørnskov Madsen: Undersøgelser baseret naturfagsundervisning på GUX-Nuuk (2017)
57. Sara Lehné: Modeling and Measuring Teachers' praxeologies for teaching Mathematics (2017)
58. Ida Viola Kalmark Andersen: Interdisciplinarity in the Basic Science Course (2017)
59. Niels Andreas Hvitved: Situations for modelling Fermi Problems with multivariate functions (2017)
60. Lasse Damgaard Christensen: How many people have ever lived? A study and research path (2018)
61. Adonis Anthony Barbaso: Student Difficulties concerning linear functions and linear models (2018)
62. Christina Frausing Binou & Dorte Salomonsen: Integreret naturfag i Danmark? (2018)
63. Jesper Melchjorsen & Pia Møller Jensen: Klasserumsledelse i naturvidenskabelige fag (2018)
64. Jan Boddum Larsen, Den lille ingeniør - Motivation i Praktisk arbejdsfællesskab (2018)
65. Annemette Vestergaard Witt & Tanja Skrydstrup Kjær, Projekt kollegasparring på Ribe Katedralskole (2018)
66. Martin Mejlhede Jensen: Laboratorieforsøgs betydning for elevers læring, set gennem lærernes briller (2018)
67. Christian Peter Stolt: The status and potentials of citizen science: A mixed-method evaluation of the Danish citizen science landscape (2018)
68. Mathilde Lærke Chrøis: The Construction of Scientific Method (2018)
69. Magnus Vinding: The Nature of Mathematics Given Physicalism (2018)
70. Jakob Holm: The Implementation of Inquiry-based Teaching (2019)
71. Louise Uglebjerg: A Study and Research Path (2019)
72. Anders Tørring Kolding & Jonas Tarp Jørgensen: Physical Activity in the PULSE Exhibit (2019)
73. Simon Arent Vedel: Teaching the Formula of Centripetal Acceleration (2019)
74. Aputsiaq Bent Simonsen: Basic Science Course (NV) (2019)
75. Svenning Helth Møller: Peer-feedback (2019)
76. Lars Hansen & Lisbeth Birch Jensen: Feedbackformater på Mulernes Legatskole (2019)
77. Kirsi Inkeri Pakkanen: Autobiographical narratives with focus on science (2019)
78. Niels Jacob Jensen: Engineering i naturen og på naturskolen (2019)
79. Yvonne Herguth Nygaard: Diskursanalyse af litteraturen og hos lærer i forbindelse med brugen af eksterne læringsmiljø, med en underviser tilknyttet (2019)
80. Trine Jørgensen: Medborgerskab i naturfagsundervisningen på KBHSYD (2019)
81. Morten Terp Randrup: Dannelse i Fysik C (2019)
82. Thomas Møllergaard Amby: Undersøgelser baseret naturfagsundervisning og science writing heuristic (2019)
83. Freja Elbro: Important prerequisites to understanding the definition of limit (2019)
84. Mathilde Sexauer Bloch Kloster: Inquiry-Based Science Education (IBSE) (2019)
85. Casper Borup Frandsen: Undersøgelser baseret undervisning i idrætsundervisningen på gymnasieskolen (2019)
86. Vibeke Ankjer Vestermarken: An Inquiry Based Introduction to Binomial Distributions (2019)
87. Jesper Jul Jensen: Formativ evaluering og faglige samspil i almen studieforberedelse (2020)
88. Karen A. Voigt: Assessing Student Conceptions with Network Theory - Investigating Student Conceptions in the Force Concept Inventory Using MAMCR (2020)
89. Julie Hougaard Overgaard: Using virtual experiments as a preparation for large scale facility experiments (2020)
90. Maria Anagnostou: Trigonometry in upper secondary school context: identities and functions (2020)
91. Henry James Evans: How Do Different Framings Of Climate Change Affect Pro-environmental Behaviour? (2020)
92. Mette Jensen: Study and Research Paths in Discrete Mathematics (2020)
93. **Jesper Hansen: Effekten og brugen af narrative læringsspil og simuleringer i gymnasiet (2020)**

IND's studenterserie omfatter kandidatspecialer, bachelorprojekter og masterafhandlinger skrevet ved eller i tilknytning til Institut for Naturfagenes Didaktik. Disse drejer sig ofte om uddannelsesfaglige problemstillinger, der har interesse også uden for universitetets mure. De publiceres derfor i elektronisk form, naturligvis under forudsætning af samtykke fra forfatterne. Det er tale om studenterarbejder, og ikke endelige forskningspublikationer.

Se hele serien på: www.ind.ku.dk/publikationer/studenterserien/



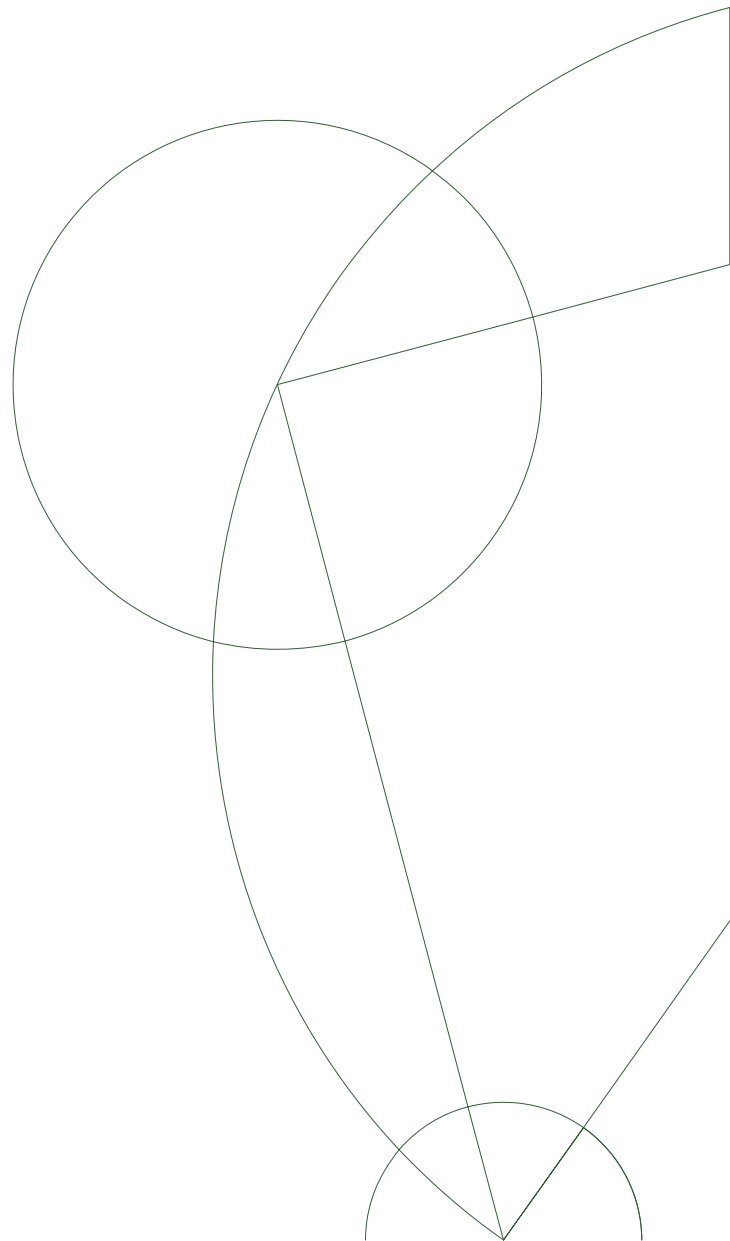
Effekten og brugen af narrative lærings spil og simuleringer i gymnasiet

Jesper Hansen

Fysikdidaktisk kandidatspeciale - et casestudie under Marsbasen

Vejleder: Jesper Bruun

21. december 2020



Abstract

This case study covers the development, testing and analysis of a teaching module with physics teachers and students at the C-level in the danish upper secondary school as the target group. The teaching module is developed with a combination of the following parts of the didactic litterature: Inquiry Based Science Education (IBSE), Scenario Didactics and digital games as an educational tool. Using a nuclear power plant simulator embedded in a Twine-story, three groups of students were monitored during the teaching module. Three levels of network analysis ranging from a classroom perspective of the learning situation to the student interaction with the simulation exercise was carried out. The network analysis shows signs of development and training of 21st century skills as well as classic scientific skills such as formation of hypotheses. Along with semi-structured interviews of the participating students and their teacher, this study finds, that the intention of creating a narrative interactive and inquiry based teaching module, which stimulates development of necessary science skills using a digital simulation model, can be realized.

Indhold

1	Indledning	1
2	Det udviklede undervisningsscenarie	5
2.1	Udvikling af kraftværkssimuleringen	6
2.2	Inkorporering i Twine	14
2.3	Strukturen i undervisning	15
2.4	Undervisningen som didaktisk transposition	19
3	Teoretisk grundlag og planlægning	20
3.1	IBSE/UBNU og 6F-modellen	20
3.1.1	Hvorfor benyttes UBNU og 6F-modellen?	22
3.2	Scenariobaseret undervisning	23
3.2.1	Hvorfor benyttes scenariendidaktik?	24
3.3	Spillignende læring	25
3.3.1	Hvorfor benyttes spillignende læring?	27
3.4	Overvejelser ift. kompetenceudvikling i undervisningen	27
4	Test af undervisningen	29
4.1	Indsamling af data	29
4.2	Behandling af data	31
4.2.1	Observation fra klassekameraet	34
4.2.2	Observationer fra gruppekameraer	36
4.2.3	Observation af elevinteraktion med simulering	36
5	Netværksteori og -analyse	40
5.1	Netværksteoretiske mål	41
5.1.1	Modularitet	41
5.1.2	Pagerank	42
5.1.3	Infomap	43
6	Resultater og analyse	44
6.1	Observation fra klassekamera	44
6.2	Observation fra gruppekameraene	47
6.2.1	Sammenligning af analyser fra gruppekameraene og klassekameraet	56
6.3	Observation af elevinteraktion med simulering	58
6.3.1	Sammenligning af gruppernes interaktion med simuleringen . . .	68
6.4	Fokusgruppeinterviews	69

7	Diskussion	73
7.1	Diskussion af resultaterne	73
7.2	Diskussion af undersøgelsesmetoden	75
7.3	Forslag til ændringer	75
8	Konklusion	81
A	Forklaring af variabelnavn til simulering	86
B	Observationsprotokol	87
C	Fokusgruppeinterviewguide	88
D	Netværk i fuld størrelse	89
E	Moduler og indeholdte knuder fra Infomap	101

1 Indledning

En af de store udfordringer for undervisere - især på ungdomsuddannelserne - er manglen på motivation hos eleverne (Sørensen m.fl., 2014). Blandt grundene til denne motivationskrise nævnes bl.a., at den didaktiske ramme for undervisningen i gymnasiet ofte er karakteriseret ved ensformig tavleundervisning, hvor læreren er en ekspert, der skal formidle viden til eleverne. En karakterisering der endda omtales som en forældet undervisningsform fra industrisamfundet (Sørensen m.fl., 2014, kap. 4). Som bud på løsninger til denne motivationskrise foreslås der bl.a. et øget fokus på elevdeltagelse, autonomi, konkurrenceelementer og inddragelse af digitale medier. Det er i særdeleshed med udgangspunkt i disse punkter, at jeg i denne opgave vil udvikle et undervisningsmodul til brug i fysik C på STX. Valgene for design af undervisningsmodulet vil bygge på nyere didaktiske teorier, der netop understøtter den slags undervisning, som Sørensen efterspørger. En særlig årsag, til at fysik C er et glimrende sted at starte løsningen af en evt. motivationskrise, hænger sammen med, at man uanset studieretning på det almene gymnasium (STX) har fysik som obligatorisk fag modsat de øvrige naturvidenskabelige fag (UVM, 2020). Det kan være en af forklaringerne på, at der blandt fysiklærere opleves en grundlæggende manglende interesse for faget og dets metoder. Samtidig kan det også skyldes, at en stor del af eleverne på forhånd anser fysik som værende svært og derfor ikke tror på deres egne evner til at have succes inden for faget (Dolin, 2014, s.62). Som obligatorisk fag har fysik en fundamental rolle i det almene gymnasium, hvor det repræsenterer den naturvidenskabelige almendannelse foruden sine mere fagspecifikke emner. Og udfordringen består derfor i at få især de mindre fysikglade eleverne til at opnå et øget og meningsfuldt udbytte af undervisningen.

Marsbasen

Marsbasen er et narrativt scenariebaseret blended-learning environment lærings-spil, som består af scenarier eller spilgange af ca. 90 minutters varighed svarende til et almindeligt undervisningsmodul. I alt vil der i projektet udvikles scenarier svarende til de ca. 75 undervisningstimer, der er i gymnasiet. Scenariernes om-drejningspunkt er pensum fra fysik på C-niveau, og kan spilles individuelt eller sammenhængende. Vælger læreren at spille scenarierne sammenhængende, vil eleverne opleve en samlet historie om etableringen af en marsbase samtidig med at hele fysik C pensum dækkes. Læringsspillet er i særdeleshed tiltænkt at være målrettet mod mindre fysikinteresserede elever. Projektet udvikles i et tredelt samarbejde mellem Institut for Naturfagernes Didaktik ved Københavns Univer-sitet, Copenhagen Game Lab samt tre deltagende gymnasier med økonomisk støtte fra NOVO Nordisk (Brunn, 2020).

Under forskningsprojektet Marsbasen har jeg haft mulighed for at indgå i udvikling og test af et undervisningsscenarie (også senere omtalt som spilgang). Med termen 'scenarie' dækkes der over et undervisningsmodul, som har en scenariedidaktisk tilgang (Bundsgaard m.fl., 2017). Derudover vil undervisningsscenarierne være opbygget som undersøgelsesbaseret undervisning; ofte i en struktur baseret på 6F-modellen (Madsen m.fl., 2020). Undervejs i Marsbasen er der opbygget et narrativ, hvor eleverne i undervisningsscenariene har rollen som pionerer på Mars. De skal hver spilgang håndtere udfordringer relateret til fysik C pensum. Det specifikke scenarie, der er udviklet her, vil foregå på skjult marsbase, som pionererne opdager. På den skjulte base findes en raket med et tilhørende raketbrændstofsanlæg. Dette anlæg skal have tilført energi for at køre, og dertil findes et atomkraftværk på basen. Udfordringen for eleverne inkluderer at kontrollere og drive atomkraftværket gennem en simulator. Denne simulator er programmeret på baggrund af et ældre simulatorspil, hvori man styrede et atomkraftværk for at lave strøm til en by. (Berggren, 1980)

Undersøgelsesbaseret undervisning er en betegnelse for undervisning, hvor eleverne er deltagende, aktive og ofte arbejder i grupper med et givet problem eller fænomen. Der lægges vægt på brug af typiske naturvidenskabelige kompetencer såsom opstilling af hypoteser, indsamling af data og validering/falsificering af hypotesen. Denne arbejdsform har vist sig at kunne hjælpe med at øge elevens motivation i faget pga. større ejerskab over forsøg og en nysgerrig udforskende tilgang til emnerne. (Frisdahl & Dolin, 2014, s.11). Inklusion af spilelementer i undervisning - undertiden kaldet 'gamification' - samt deciderede læringspil har ligeledes vist sig have en positiv effekt på motivation og læring (Girard m.fl., 2013). Blandingen af en undersøgelsesbaseret tilgang til

simulationsspil koblet med et narrativ er derfor en spændende kombination ift. at drive motiverende undervisning. Det er dog ikke sikkert, at denne kombination er helt unik, da den har mange ligheder med Goal-Based Scenarios (Schank m.fl., 1994). Heri omtales fire missionskategorier: *Design, Explanation, Discovery & Control* og beskrivelsen *Control-scenario* dækker da over et missionsfokus, hvor eleverne fx styrer et komplekst system såsom et kernekraftværk og undersøger, hvordan visse valg påvirker nogle parametre direkte og indirekte (Schank m.fl., 1994, s.331-332).

Opbygning af opgaven

Undersøgelsen og opgaven er opbygget på baggrund af en struktur, der følger opdelingen af pensum som beskrevet af (I. V. K. Andersen, 2017). Opdelingen har en overordnet skildring af pensum i det intenderede, realiserede og lærte pensum (Dolin & Ingerslev, 2020) med en underliggende topologi fra (van den Akker m.fl., 2010). Denne opdeling kan ses i tabel 1.

Intenderede pensum	Formelle	Hvad skal læres? Disse krav til læringen er typisk beskrevet som kernestof og faglige mål i bekendtgørelser for uddannelser.
	Idealiserede	Hvordan skal det læres? Vision og filosofi, der ligger til grund for hvordan læring af det formelle pensum skal foregå.
Realiserede pensum	Opfattede	Hvordan mener underviseren at det intenderede pensum skal fortolkes og benyttes?
	Operationelle	Hvordan blev det intenderede pensum realiseret?
Lærte pensum	Oplevede	Hvad har eleverne lavet og hvad syntes de om det?
	Opnåede	Hvad lærte de rent faktisk? I relation til de intenderede læringsmål og kompetencer for eleverne.

Tabel 1: Model over niveauer i pensum startende fra det intenderede pensum, der her behandles som undervisningsudvikling. Dernæst følger det realiserede pensum, som er underviserens fortolkning og brug af læringsmaterialet. Til slut optræder det lærte pensum, som omhandler elevernes oplevelse og udbytte af interaktionen med læringsmaterialet.

I dette studie vil det formelle pensum tage udgangspunkt i læreplanen for fysik C STX (UVM, 2017), der fastsætter, hvad der skal læres.

Det idealiserede pensum vil da være mit forslag til, hvordan pensum kan formidles på baggrund af den udvalgte didaktik. Denne del vil også omtales senere som en ekstern

didaktisk transposition (Winsløw, 2006). Det vil blive beskrevet i kapitel 2, hvor en introduktion til kernekraftværkssimuleringen også uddybes. Kapitel 2 skal forhåbentlig give læseren en idé om intentionen med den planlagte undervisning. Nemlig en undervisning der er ledet af et narrativ, som sætter tonen ift., hvad der skal laves og hvorfor. En undervisning der er opbygget efter 6F-modellen og i store dele er elevcentreret og undersøgelsesbaseret. Og til slut en undervisning som gør brug af et simulationsspil, som eleverne selv spiller. Herefter vil man i kapitel 3 kunne finde et teoretisk resumé af de dele af den didaktiske litteratur, som relaterer sig til min undervisning.

Det opfattede pensum, der beskriver lærerens opfattelse af pensum, er naturligvis vigtig, da min designede undervisning fungerer som et tilbud til lærere, og derfor gerne skal opfattes som brugbart. Da undervisningen kun er udført en enkelt gang af én lærer, analyseres denne del dog ikke videre.

I stedet vil det store fokus for undersøgelsen ligge på det operationelle pensum, der dækker over, hvordan undervisningen rent faktisk blev udført, og hvordan det stemmer overens med det intenderede. I forbindelse med dette gennemgås dataindsamling i kapitel 4 og databehandlingsmetode i kapitel 5, inden resultaterne og analysen præsenteres i kapitel 6.

Den sidste tredjedel af modellen i tabel 1 omhandler det lærte pensum. På baggrund af to fokusgruppeinterviews af de seks elever som oplevede undervisningen, vil der i kapitel 6 inddrages citater til at berette om, hvordan eleverne oplevede undervisningen. Samtidig blev eleverne også spurgt om, hvad de mente at have lært og arbejdet med, hvilket giver indblik i det opnåede pensum.

Gennem opgaven vil jeg derfor forsøge at behandle og besvare følgende forskningsspørgsmål:

- Hvordan kan man blande scenariebaseret undervisning med undersøgelsesbaseret naturfagsundervisning samt spillignende læring til fysik C på STX?
- Hvordan kan undervisningsscenariet ses som en didaktisk transposition?
- Hvordan kan man karakterisere elevs interaktion med det udviklede undervisningsmateriale?
- Hvilke dele af det udviklede undervisningsmateriale kan/kan ikke benyttes i læringsspillet Marsbasen?

2 Det udviklede undervisningsscenarie

Selvom vi i Danmark for adskillige år siden tog en politisk beslutning om ikke at have atomkraft, er energiformen stadig udbredt i mange andre lande; heriblandt lande vi har et tæt europæisk samarbejde med som fx Tyskland og Frankrig. Samtidig tilbyder atomkraft sig som en skalérbar, pålidelig og grøn energikilde, som kan indgå i løsninger til et af FN's 17 verdensmål for bæredygtig udvikling (FN, 2015) - nemlig bæredygtig energi. I bekendtgørelsen for fysik C på STX nævnes der desuden under supplerende stof, at læreren bør inkludere ”... *samfundsrelevante eller globale problemstillinger, herunder aspekter af bæredygtig udvikling*” (UVM, 2017). Selvom atomkraft ikke findes i Danmark, mener jeg derfor alligevel, at atomkraft er et relevant fysikfagligt emne for elever at stifte bekendtskab med sammen med de andre energikilder. Samtidig udfolder Marsbasens historie sig på Mars, hvor fremtidig brug af kernekraft er valgt af NASA til at være den mest pålidelig energikilde i forbindelse med en kolonisering (NASA, 2020). Det planlagte undervisningsscenarie vil dog ikke beskæftige sig eksplicit med radioaktivitet eller kernefysik, da det først er pensum for fysik B. I stedet vil det fokusere på kernekraft som energiform og energikonvertering i et kraftværk. Skulle man som underviser ønske at inkludere emner inden for kernefysik og radioaktivitet, vil det dog være oplagt at fortsætte med det efter dette undervisningsscenarie.

Foruden det faglige aspekt var det også nødvendigt at finde et narrativ, der kunne passe ind i Marsbasen som helhed; der skulle skabes et mål med scenariet. Målet blev at producere energi nok til en returmission. Scenariet udspiller sig nemlig på en skjult base, hvor et anlæg, der kan producere raketbrændstof, er tilgængeligt. For første gang i spillet er det altså muligt for pionerne at komme tilbage til Jorden. Produktion af metan og ilt som raketbrændstof på Mars er baseret på en tredelt artikelserie (Hoeser, 2018a, Hoeser, 2018b, Hoeser, 2018c). I denne artikelserie vurderes det, at den nødvendige energimængde til et raketbrændstofsanlæg vil være 16,4 GWh, hvis man vil fylde brændstoftanken på ét *SpaceX Starship* (tidligere kaldt *BFR*). Pga. den høje energimængde er der dermed en begrundelse for at benytte en atomreaktor som energikilde.

Naturligvis kan man ikke lade elever udforske et rigtigt atomkraftværk. En undersøgelsesbaseret tilgang blev derfor inkluderet ved en simulering af et atomkraftværk. Samtidig håbede jeg også, at det ville give eleverne en interaktiv spiloplevelse.

Det skal dog nævnes, at der er elementer af undervisningsscenariet, der ikke er helt realistiske. Fx afbildes kernekraftværket som en alm. letvandsreaktor. Det er ganske usandsynligt, at dette design vil være repræsentativt, hvis et atomkraftværk skulle opsendes og opereres på Mars. Det skyldes især at vand, som benyttes i kølesystemerne, ikke er tilgængeligt i samme omfang på Mars som på Jorden. Letvandsreaktorer

udgør dog stadig størstedelen (>80%) af de operative reaktorer i dag (World Nuclear Association, 2020), og jeg vil derfor mene, at det er et fint kompromis ift. realisme kontra relevans.

2.1 Udvikling af kraftværkssimuleringen

En simulator vil i denne opgave være betegnet som et interaktivt system, som efterligner eller modellerer et rigtigt system. Kraftværkssimuleringen er en computersimulering, der er styret af input fra eleverne. Ved opdatering af en række variable i en kode på baggrund af inputvariablene, vil simulatoren efterligne responsen fra et rigtigt atomkraftværk.

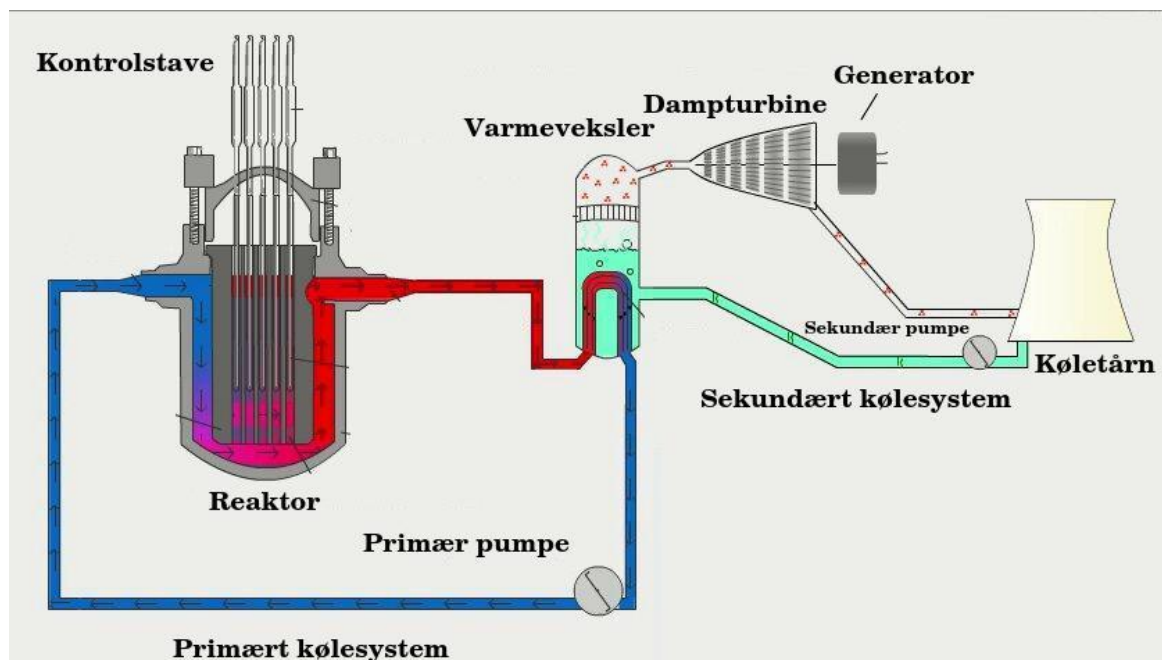
Idéen om at simulere et atomkraftværk udsprang fra en eksisterende simulator (Noles, 2003). Denne viste sig dog ikke at være brugbar, da den er skrevet i et forældet flash-format, og derfor måtte jeg opbygge en simulering selv. Noles' simulator var dog selv opbygget på baggrund af en endnu ældre simulator til en Apple II (Berggren, 1980). Da kildekoden til denne var offentliggjort, var det muligt at genopbygge en lignende simulator til mit eget behov og integrere den i undervisningen.

Interaktionen med kernekraftværkssimuleringen er relativt simpel. Hver dag i simuleringen indgår fem variable; fire kontrolvariable, der kan indstilles af spilleren, og én der ikke kan.

1. Indstilling af kontrolstave
2. Pumpekraft i det primære kølesystem
3. Pumpekraft i det sekundære kølesystem
4. Pumpekraft i backup-kølevæske
5. Tilbageværende brændsel i reaktoren

Disse fem variable eksisterer som et heltal fra 0 til 100 og på baggrund af dem, udføres der en række beregninger, som vil blive gennemgået mere detaljeret senere. Den femte parameter vil falde i takt med, at kraftværket opereres. Det skal simulere, at mængden af fissile atomer i reaktoren falder. På baggrund af disse fem variable og eventuelle skader på kraftværket beregnes der hver spildag en temperaturændringer i kraftværkets tre hovedkomponenter: reaktoren, varmeveksleren og køletårnet. Hver af disse komponenter har en maksimal temperaturgrænse, og overstiges denne, vil der ske skader på dele af kraftværket. Skaderne kan udbedres, men det kræver, at man bringer reaktortemperaturen ned under 100 grader. Dermed ender man altså med at producere mindre energi pga. nedlukningen. Simulatoren inkluderer også et diagram

over kernekraftværket, som kan ses i figur 1. Her kan man få et overblik over, hvordan kraftværkets hovedkomponenter er forbundet med kølesystemer og en dampturbine.



Figur 1: Diagram over kernekraftværket, som er en revideret version af det diagram Geoffrey Noles gør brug af i sin simulering (Noles, 2003). Det fjerde system, backup-kølesystemet, fremgår ikke i diagrammet. Dette diagram benyttes i den fjerde passage i Twine.

Beregningerne i programmet indeholder ingen kernefysiske beregninger og er egentlig ganske simple udtryk. Det betyder, at de kan udføres af software med begrænset beregningskraft, hvilket var nyttigt i mit tilfælde. Denne simplicitet i beregningerne og programmets grundlæggende struktur betyder dog også nogle kompromiser ift. realisme. Som (Berggren, 1980) selv nævner det, tager det jo ikke en hel dag for et kraftværk at reagere på fx øget køling. Samtidig vil moderne atomkraftværker nok have flere sikkerhedsforanstaltninger end et enkelt backup-kølesystem, som denne simulator har. Derfor er der ingen tvivl om, at simulatoren repræsenterer en forsimplet model af et atomkraftværk. Men af denne model vil man stadig kunne opleve alm. karakteristika ved et atomkraftværk såsom effekten af kontrolstænger, varmetransport gennem kølesystemer og øget effekt i dampturbinen som funktion af højere temperaturer. Og det er netop disse emner, særligt energitransporten, som simulatoren skal understøtte. Beregningerne bag simuleringen er her opdelt i tre dele, som vil blive gennemgået. Hvis man ønsker at forstå de senere eksempler på koden bag simuleringen, kan man i bilag A finde en tabel over variabelnavne og en kort forklaring. I koderne benyttes der sommetider en kompakt måde at definere fx en nedre grænseværdi som i $GO = GO * (GO > 0)$ hvor $(GO > 0)$ er en boolsk værdi, som enten evalueres til 0 eller 1. Dermed sikrer udtrykket at GO altid er positiv eller 0. På den måde ender man ikke med en

negativ effekt fra dampturbinen, som GQ -variablen dækker over. De tre dele af beregningerne foregår alle, hver gang man opdaterer simuleringen ved at klikke på en knap i programmet med teksten ”Gå til næste dag”. Derefter opdateres statusrapporten og en spildag i simuleringen vil være gået. Simuleringen vil fortsætte indtil én ud af tre ting sker:

1. Eleven genstarter selv simuleringen
2. Reaktoren er beskadiget og nedsmelter
3. Det tilbageværende brændselsniveau når 5%

Opdatering af advarsler og skader

Kraftværkets komponenter og dele har en skadesparameter tilknyttet. Misligholdelse af kraftværket såsom overskridelse af temperaturgrænser i hovedkomponenterne leder til, at skadesparameteren for de relevante dele af kraftværket stiger. Hvis skadesparameteren overstiger et givet niveau, ødelægges komponenten. Et eksempel på dette kan være dampturbinen i kraftværket, der ikke bør generere mere end 2000 kW. Hvis denne effekt-parameter, som i koden kaldes GQ overstiger 2000, udløses en `if`-statement. Herefter vil advarslen om en overbelastet dampturbine blive vist i statusrapporten. Samtidig vil dampturbins egen skadesparameter, GD og det sekundære kølesystems skadesparameter, SD begge stige med 1. Koden omkring advarsler kan findes i box 2.1 på side 9.

Eleverne har ingen information om at disse skadesparametre eksisterer. Sammenhængen mellem fx en overbelastet dampturbine og et beskadiget sekundært kølesystem efterlades dermed fuldt ud til eleverne. Intentionen med dette er, at man i tilfælde af sådanne skader er nødt til at fortolke dem gennem diskussion og komme med bud på, hvorfor de forekom, og hvad man kunne gøre for at undgå dem.

Advarslerne skal i didaktisk forstand ses som en feedback-mekanisme, som evaluerer elevernes drift af kraftværket. Deres formål er at eksplicitere problemerne ved driften af kraftværket, som skal fordre eleverne til at løse dem ved fornuftige ændringer af kontrolindstillingerne.

Ved simulatorstart er der faktisk allerede en advarsel printet. Da den daglige effekt (GQ fra begyndelsen er 0, vil programmet skrive advarslen: ”Effekten af kraftværket er for lav til at drive brændstofanlægget”. Advarslen skal fordre eleverne mod en løsning til at øge effekten. Dette mål bør eleverne allerede have, når de møder simulatoren, men advarslen blev alligevel beholdt, sådan som den fremstod i den originale kode af (Berggren, 1980).

Box 2.1: Advarsler

```
if(RT <= 800 & XT <= 500 & CT <= 300 & GO <= 2000 & GO >= 1000 &
EV >= 200 & PV >= 100 & SV >= 100):
    Print( "Ingen.")
if(RT > 800): #Feedback5
    Print( "Reaktoren er overophedet.")
if(XT > 500): #Feedback6
    Print( "Varmeveksleren er overophedet.")
    XD = XD + 1 + (XT>600) # g skadesparameter
    PD += 1 # g skadesparameter
    SD += 1 # g skadesparameter
if(GO > 2000): #Feedback8
    Print( "Dampturbinen er overbelastet.")
    GD = GD + 1 + (GO>2500) # g skadesparameter
    SD += 1 # g skadesparameter
if(CT > 300): #Feedback7
    Print( "Temperaturen i k letarnet er for h j.")
    SD += 1 # g skadesparameter
if(GO < 1000): #Feedback1
    Print( "Effekten af kraftv rket er for lav til at drive
br ndstofanl gget.")
if(EV < 200): #Feedback2
    Print( "M ngde af k lev ske i backup-k lesystemet er lav.")
if(PV < 100): #Feedback3
    Print( "M ngde af k lev ske i det prim re k lesystem er
lav.")
    PD += 1 # g skadesparameter
if(SV < 100): #Feedback4
    Print( "M ngde af k lev ske i det sekund re k lesystem er
lav.")
    SD += 1 # g skadesparameter
```

Opdatering af kølevæskebeholdning og udskrift af alvorlige skader

I tilfælde af skader på kølesystemerne opstår der lækager, og man mister kølevæske. Når man har under 100 L kølevæske tilgængeligt i et kølesystem, vil det ikke være muligt at have fuldt kraft på pumperne. Dermed nedsættes den maksimale pumpekraft. Hvis der fx er en lækage i det primære kølesystem, som har sænket niveauet af kølevæske fra de oprindelige 120 L til 80 L, vil man ikke kunne operere pumpen på fuld kraft. Dvs. at selvom man sætter sin primære pumpe til at køre på 100%, vil simulatoren omsætte variabelen til 80%, da det er den maksimale pumpekraft, man har til rådighed. De alvorlige skader printes i statusrapporten, hvis en skadesparameter er tilpas høj, som det fremgår af koden i box 2.2 på siden 11. Hvis den primære pumpe fx har en skadesparameter højere end 4 - i koden er det: $PD > 4$ mister man en mængde kølevæske svarende til variabelen PD En anden mulighed er, at en skadesparameter er så høj, at komponenten anses for beskadiget. Det tolkes i koden som fx $PB > Q$ hvilket sker når $PD > 5$ I det tilfælde udregnes den tilgængelige pumpekraft som en procentdel af den normale pumpekraft.

De alvorlig skader skal eksplicere fejl i den måde, man har drevet kraftværket på. Og er man endt med mange alvorlige skader, er det muligt, at et nyt delmål for nogle elever vil blive at undgå en nedsmeltning af kraftværket ved at køle det sikkert ned. Det vil være muligt at udbedre skaderne gennem reparation af kraftværket, men at få nedkølet et beskadiget atomkraftværk vil i sig selv være en udfordring. Dermed kan der opstå forskellige situationer i hver gruppe, og spiloplevelsen ændrer sig dermed på baggrund af elevernes valg.

Box 2.2: Opdatering af kølevæskebeholdning og udskrift af alvorlige skader

```

if(RD <= 3 & PD <= 4 & SD <= 4 & ED <= 2 & PB==0 & GB==0 &
XB==0):
    Print( "Ingen.")
if(RD > 3): #Feedback9
    Print( "Reaktorkernen er beskadiget.")
if(PD > 4): #Feedback10
    Print( "L kage i det prim re k lesystem. Der mistes", PD,
"L per dag.")
    PV = (PV-PD) * (PV-PD > 0)
if(SD > 4): #Feedback11
    Print( "L kage i det sekund re k lesystem. Der mistes", SD,
"L per dag.")
    SV = (SV-SD) * (SV-SD > 0)
if(ED > 2): #Feedback12
    Print( "L kage i backup-k lesystemet. Der mistes", 2*ED,
"L per dag.")
    EV = (EV-2*ED) * (EV-2*ED > 0)
if(PB > 0): #Feedback13
    Print( "Pumpen i det prim re k lesystem er beskadiget.
Pumpen fungerer p a",
(100-(10*PD * (PD < 10) + 100* (PD >= 10)),
"% af normal styrke.")
if(SB > 0): #Feedback14
    Print( "Pumpen i det sekund re k lesystem er beskadiget.
Pumpen fungerer p a",
(100-(10*SD * (SD < 10) + 100* (SD >= 10)),
"% af normal styrke.")
if(XB > 0): #Feedback15
    Print( "Varmeveksleren er ude af drift.")
if(GB > 0): #Feedback16
    Print( "Dampturbinen er ude af drift.")

```

Opdatering af temperaturer

Som bruger af simulatoren indstiller man de fire kontrolindstillinger: kontrolstave, pumpekraft i primært kølesystem, pumpekraft i sekundært kølesystem og pumpekraft i backup-kølesystem. Da backup-kølevæsken kun er tilgængelig i en begrænset mængde, opdateres denne variabel som det første i koden, der kan ses i box 2.3 på side 13. Dernæst tilskrives der også en hhv. 5% og 8% sandsynlighed for, at man beskadiger pumperne, hvis de opereres på mere end 90% af deres styrke. Desuden opdateres der også en parameter, RL, der fungerer som mål for brændselsstavens kvalitet. Denne vil løbende stige, og når den når 95, er brændselsstavene i atomreaktoren udbrændte. I simulatoren printes det tilbageværende brændsel til at være: $100-RL\%$.

For at udregne de nye temperaturer i hver hovedkomponent udregnes der nogle såkaldte *heat flows*. Disse heat flow variable indgår sammen med de forrige temperaturer i beregningen af den nye temperatur. F.eks. beregnes reaktorens heat flow (RH) på baggrund af de tre seneste dages indstillinger af kontrolstavene (A,A1,A2) samt det tilbageværende brændselsniveau (RL). Det skal skabe en mere dynamisk simulering og skal give indtrykket af, at kontrolstavene ikke bare kan ændres fra den ene yderlighed til den anden, uden at denne effekt vil vare ved et par dage efter. Og det skaber også en form for uforudsigelighed for enhver, der ikke kender til denne sammenhæng.

Til slut kan temperaturene i hovedkomponenterne beregnes. Der vil desuden være en sandsynlighed for, at skader på varmeveksler eller damp turbine leder til at komponenten ødelægges. Kraftværkets effekt beregnes ligeledes, inden programmet til slut vurderer, om skadesparametre for reaktoren og de tilhørende systemer skal øges på baggrund af reaktortemperaturen.

Box 2.3: Opdatering af temperaturer

```

if(EF > EV):
    EF = EV
EV = EV - EF - 2 * ED * (ED > 3)
PD = PD + (PF > 90) * (randomFloat(1.0)>0.95)
SD = SD + (SF > 90) * (randomFloat(1.0)>0.92)
PB = (PD > 5) # del g prim r pumpe, hvis skadeparameter er over 5
SB = (SD > 5) # del g sek. pumpe, hvis skadeparameter er over 5
if(PF > (100-PD*10) & PB>0):
    PF = (100-PD*10) * ((100-PD*10) >0)
if(SF > (100-SD*10) & SB>0):
    SF = (100-SD*10) * ((100-SD*10) >0)
RL = RL + RH/50
RH = (A*30 + A1 * 60 + A2*10) / 2500 * (100-RL)
PH = PF * (100 * (PV > 100) + PV * (PV <= 100) ) / 350
EH = EF / 200 * (RT - 25)
RT = RT + RH - EH - PH - 5*(RT>25)
RT = 25 + (RT-25)*(RT>25)
XT = ( (RT - 25) * PF + (CT-25)*SF ) / (PF + SF + 1) + 25
SH = SF*(100*(PV>100)+PV*(PV <= 100)) / 350 *(XT - CT)
if(XB > 0):
    XT = RT * 0.8 + 5
    SH = SH * 0.2
GO = SH / XT *(XT-CT) * 2 / 3
if(GO > 2600):
    GO = 2600
GO = GO * (GO>0)
CT = 25 + ((XT - 25)*(SH-GO) / (SH+1)*0.75)
CT = 25 * (CT <= 25) + CT * (CT > 25)
if(XB < 0):
    XB = (XD > 2)*(randomFloat(1.0)>0.90)
if(GB < 0):
    GB = (XD > 4)*(randomFloat(1.0)>0.90)
TT = TT + GO
if(RT > 800):
    RD = RD + 1 + (RT>850) + (RT>900) + 2*(RT>950)
    PD += 1
    ED = ED + 1 + (RT>850)

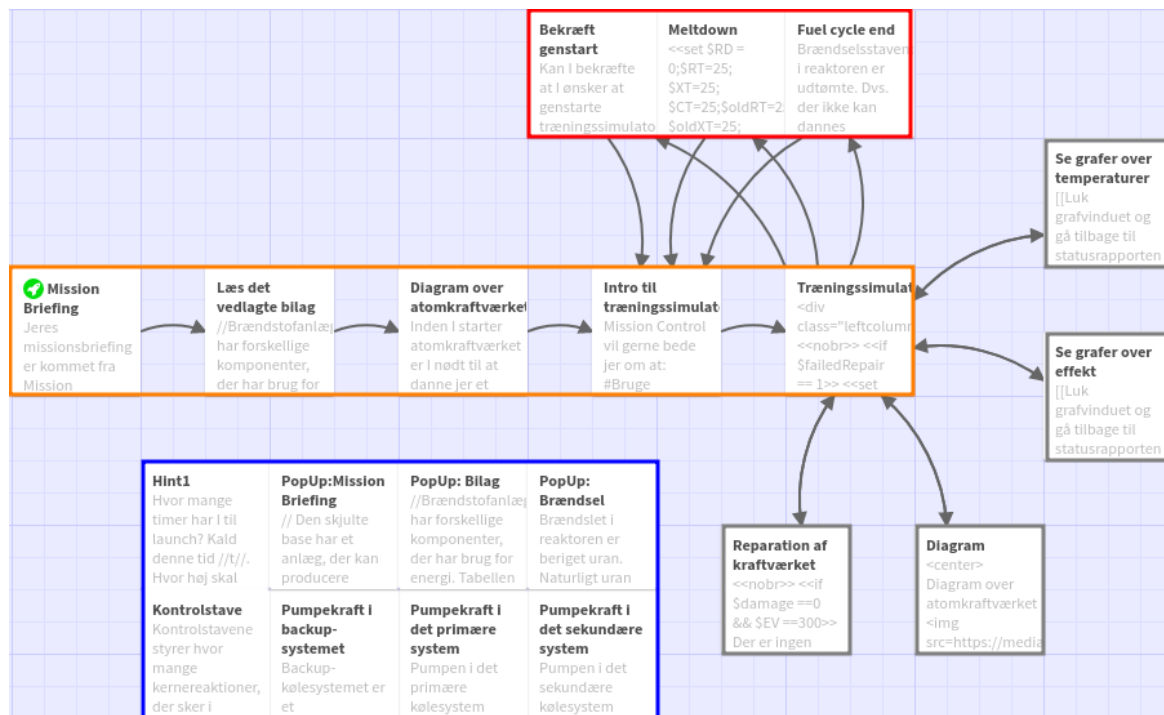
```

2.2 Inkorporering i Twine

Twine (Klimas, 2009) er et gratis softwareprogram, som kan benyttes til at skabe og strukturere historier, narrative rollespil eller tekstbaserede 'adventure games'. Twine tillader også brug af programmering i historierne, og det færdige format publiceres som html, hvilket gør det muligt for de fleste at benytte det. Dermed tilbød Twine en blanding af mange af de elementer, som jeg eftersøgte til undervisningen. Der kunne skabes et narrativ, en simulering kunne indlejres i historien, og udgivelsesformatet ville være tilgængeligt for alle. Generelt opbygges en historie i Twine ved brug af passager og led imellem dem. Fx kunne første passage indeholde teksten "Du er i et rum med 3 døre" og tre klikbare tekster af typen "Gå ind ad dør nr. #", som vil lede videre til en ny passage alt efter, hvad spilleren klikkede på. Et overblik over undervisningen, som det er opbygget i passager i Twine, kan ses i figur 2.

Jeg kunne godt lide det grafiske element fra Noles' oprindelige design, der giver et livagtigt billede af kraftværkets kontrolrum. Men jeg måtte dog gå på kompromis med det visuelle, når det kom til, hvad egne programmeringsevner og Twine ville tillade. Til gengæld blev det muligt at skræddersy simuleringen netop til dette undervisnings-scenarie. Siden Berggrens oprindelige simulering var skrevet til en Apple II, var det derimod ikke svært at holde sig til det tekstbaserede format, der var kendetegnet for datidens hjemmecomputere. De fire kontrolindstillinger til kraftværket, som spillere skal angive som input, var muligt at lave som mere brugervenlige knapper på samme måde, som Noles har gjort det. På denne måde sikres simuleringen også imod uhen-sigtsmæssige input.

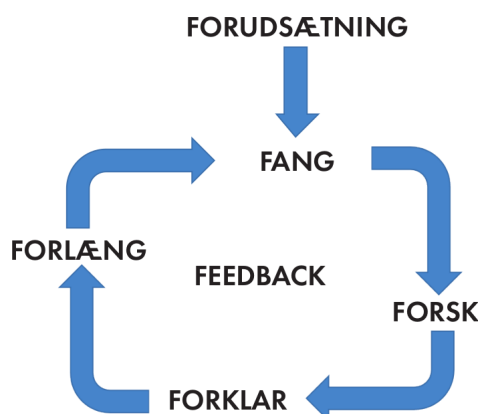
Twine tillader også, at man kan inkorporere mere avanceret programmering i JavaScript. Dette er senere blevet brugt i forbindelse med en opsætning, som giver spilleren mulighed for at se en graf over temperaturer og effekt for hver dag i simulatoren. Grafen kunne laves ved brug af chart.js-pakken, og de relevante data blev blot gemt som lister i Twine. Inkludering af grafer i simulatoren anses som et væsentligt værktøj ifm. udvikling af elevernes repræsentationskompetence (se nærmere i kap. 3.4), og det var noget, som ingen af de tidligere simulatorer fra 1980 eller 2003 havde kunnet tilbyde.



Figur 2: Overblik over spillets storyline, som det er opbygget i Twine. Selve undervisningen følger fra passagen ”Mission Briefing” i den grønne boks frem til træningssimulatoren. Herfra kan man besøge diagrammet eller foretage reparationer i en anden passage og gå tilbage til træningssimulatoren. Senere blev der også tilføjet passager med grafer over effekt og temperaturer, som kunne besøges. Passagerne indrammet i blå er pop-op-funktioner, der kan hjælpe undervejs og tilgås fra træningssimulatoren. De tre passager indrammet i rød er tre af de mulige afslutninger på simuleringen, hvorfra man kan gå tilbage og prøve simulatoren igen.

2.3 Strukturen i undervisning

Det designede undervisningsmodul er opbygget på baggrund af 6F-modellen (Madsen m.fl., 2020), som uddybes senere i kap. 3.1. Denne undervisningsmodel er opdelt i seks faser, hvoraf de fem foregår én ad gangen. Den sidste, feedback-fasen, foregår løbende (se evt. figur 3). Jeg vil derfor nu beskrive undervisningssceneriet opdelt efter disse faser. Bemærk at rækkefølgen på fang og forudsætningsfaser til tider kan ombyttes eller blandes, hvilket muligvis ikke fremstår tydeligt af figur 3.



Figur 3: 6F-modellen og dens faser. (Madsen m.fl., 2020, s.2)

Fang

Den første passage i Twine indeholder en besked fra *Mission Control*, en fiktiv enhed man ofte rapporterer til i Marsbasen. Beskeden forklarer, at missionen handler om at lave nok energi til det brændstofanlæg, der findes på basen. Og det bliver elevernes opgave at vurdere, om de kan være klar om 17 måneder. Scenariets narrativ og det overordnede mål med spilgangen igangsættes altså. Der omtales desuden et bilag og ved at klikke på dette, føres man videre til næste passage.

Jeres missionsbriefing er kommet fra Mission Control.

I er ankommet til den skjulte base, som har et anlæg, der kan producere raketbrændstof. Raketbrændstof består af flydende methan (CH_4) og oxygen (O_2). Det bliver produceret ved at udnytte Sabatiers Reaktion:

$$CO_2 + 4 H_2 \rightleftharpoons CH_4 + 2 H_2O$$

så man kan omdanne CO_2 og brint til methan og vand. Vandet kan derefter opdeles ved elektrolyse til hydrogen og oxygen.

$$2 H_2O \rightleftharpoons 2 H_2 + O_2$$

Begge reaktioner kræver dog energi, og der er et atomkraftværk tilknyttet anlægget som energikilde. For at producere raketbrændstof nok til en raket kræves enorme energimængder (se vedlagte bilag).

I bedes derfor

1. Finde ud af hvordan atomkraftværket fungerer
2. Afgøre om I kan være klar med energi nok om 17 måneder, hvor Jorden og Mars opnår en optimal position til affyring.

[Læs det vedlagte bilag](#)

Figur 4: Første passage i Twine, der fungerer som fangfase ift. 6F-modellen.

Forudsætning

I anden passage præsenteres en tabel over den nødvendige energimængde, der skal produceres for at lave brændstof nok til en returmission. Eleverne får så til opgave at lave en simpel udregning af den gennemsnitlige effekt, som de har brug for, hvis de vil producere de nødvendige 16,4 GWh over 17 måneder. Med denne udregning sætter eleverne deres eget mål, som de skal opnå i det senere arbejde med kraftværkssimu-

latoen. Da der samtidig ikke skal bruges uhensigtsmæssig meget tid på udregningen, er der også indlejret en hjælpefunktion til at støtte elevernes udregning. Den anden passage kan ses i figur 5.

Den tredje passage indeholder et diagram over kernekraftværket, og eleverne bliver bedt om at diskutere energitransport og energiformer i kraftværket. På den måde stilles der krav til, at de overvejer, hvordan energien transporteres fra reaktoren til turbinen i kraftværket, hvilket er en forudsætning for at forstå, hvordan man driver et kraftværk. Samtidig er der lagt op til, at energi-delen af pensum (UVM, 2017) bliver eksplicit dækket. Den tredje passage består foruden opgaveteksten og diagrammet i figur 1 af en liste af energiformer,

- Strålingsenergi
- Kerneenergi
- Kemisk energi
- Termisk energi
- Potentiel energi
- Elektrisk energi
- Kinetisk energi

som eleverne kan tage udgangspunkt i, når de forsøger at placere energiformer i kraftværket ud fra diagrammet.

Brændstofanlægget har forskellige komponenter, der har brug for energi. Tabellen opsummerer hvor meget energi der i alt skal produceres for at lave brændstof nok til raketten.

Komponent	Energi krævet
Produktion af flydende methan	4,1 GWh
Produktion af flydende ilt	6,0 GWh
Udvinning af H ₂ O fra Mars og CO ₂ fra atmosfæren	2,0 GWh
RWGR til at optimere processen	2,2 GWh
I alt	14,3 GWh
+ Ekstra 15% til resterende systemer	16,4 GWh

• Udregn den gennemsnitlige effekt, I er nødt til at operere kraftværket med for at være klar til launch om 17 måneder. Angiv jeres svar i kW. (Hint)

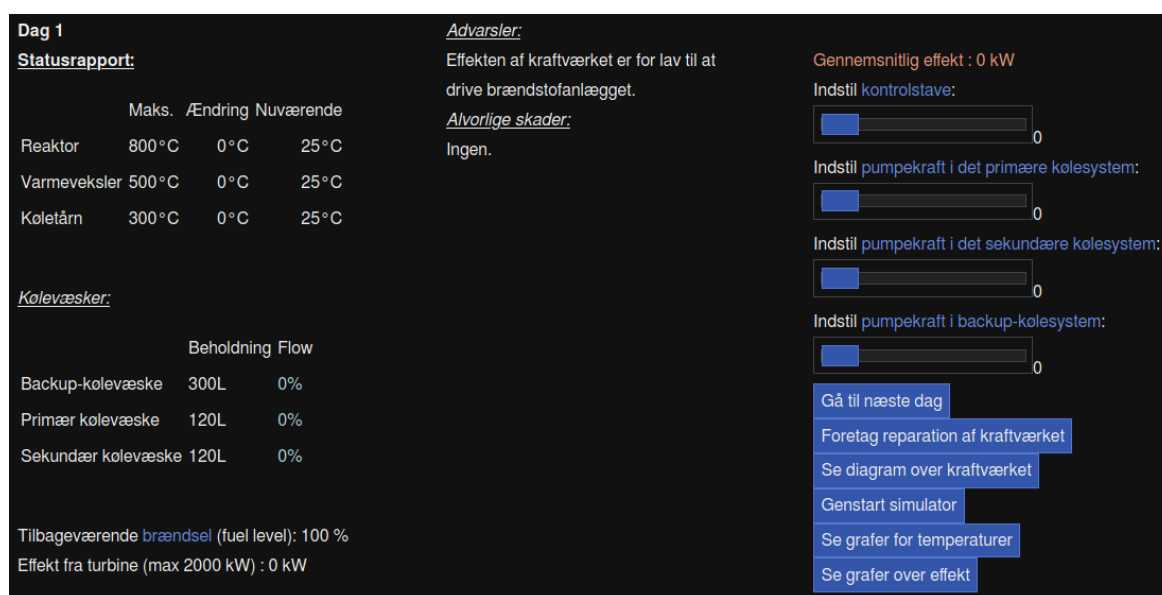
Når I har besluttet hvor høj en gennemsnitlig effekt I har brug for at drive kraftværket med, kan I gå videre til et Diagram over atomkraftværket.

Figur 5: Anden passage i Twine, der fungerer som en del af forudsætningsfasen ift. 6F-modellen. Heri præsenteres den nødvendige energimængde, som skal genereres, samt en regneopgave.

Forsk

Den fjerde passage giver en kort introduktion til træningssimulatoren, der foregår i den femte passage, og det meste af undervisningstiden bør foregå her. Træningssimulatoren er opbygget i tre kolonner, hvoraf de to første udgøres af en statusrapport over driften af atomkraftværket. I den første kolonne er der oplysninger om temperaturer

i kraftværkets hovedkomponenter og tilbageværende mængder af kølevæsker. Den anden kolonne udgøres af advarsler, og i den tredje kolonne kan eleverne ændre deres kontrolindstillinger af kraftværket og gå til næste dag. Når man gør det, opdateres statusrapporten, og udforskningen bliver derfor centreret om at finde ud af, hvordan kraftværket reagerer på kontrolindstillingerne. Foruden advarslerne i statusrapporten er eleverne styret af deres eget mål om en høj gennemsnitlig effekt. Denne parameter er fremhævet på skærmen i tredje kolonne. Et billede af simulatoren, som den optræder i femte passage, kan ses i figur 6.



Figur 6: Femte passage i den opbyggede Twine historie, der indeholder træningssimulatoren til atomkraftværket. Simulatoren er opdelt i tre kolonner. Den venstre indeholder informationer om temperaturer i kraftværkets tre hovedkomponenter: Reaktor, Varmeveksler og Køletårn, der opdateres dagligt i simuleringen. Den midterste kolonne indeholder skader og advarsler, som printes hver dag. Kolonnen yderst til højre indeholder kraftværkets fire kontrolindstillinger samt seks klikbare tekster til fx at gå et trin videre i simuleringen eller få vist diagrammet fra figur 1.

Forklar

Denne fase foregår uden for spillet. Læreren vil lave en opsamling på gruppernes resultater og erfaringer. Grupperne kan også dele deres umiddelbare vurdering om, hvorvidt det er muligt at drive atomkraftværket med en så høj effekt, at man kan lave brændstof nok til en returmission. Det er ikke forventet, at alle grupper er lykkedes med at drive kraftværket hensigtsmæssigt nok, men alle grupper bør have lært noget om, hvordan temperaturen i kraftværkets hovedkomponenter reagerer på baggrund af indstillingerne og hvorfor.

Forlæng

Såfremt at der er tid til det, vil den resterende tid benyttes på en diskussion om brugen af atomkraft i denne situation. Hvad bør man være særligt opmærksom på ved atomkraft, og hvad tænker eleverne om det? Mange vil sikkert påpege noget omkring radioaktivitet og måske farligt affald. Man bør også sammenligne med alternative energikilder, der er til rådighed på marsbasen og anskue diskussionen fra et energimæssigt synspunkt. Det vil desuden også være nærliggende at lade eleverne diskutere hvilke af de brugte argumenter, der holder eller ikke holder, hvis diskussionen i stedet omhandlede atomkraft på Jorden.

2.4 Undervisningen som didaktisk transposition

Undervisningen er opbygget omkring et narrativ, hvor man skal skaffe energi nok til at producere raketbrændstof til returmission. Dette narrativ er relateret til en nyere forskning (Hoeser, 2018a, Hoeser, 2018b, Hoeser, 2018c), der repræsenterer faglig viden, som nok vil være ukendt for de fleste fysiklærere. Omdannelsen af denne nye faglige viden til et undervisningsmateriale er et eksempel på ekstern didaktisk transposition, der af Winsløw er defineret som

Ekstern didaktisk transposition: Flytning og omformning af viden fra kilde(r) til den officielt fastlagte undervisningsfaglige viden (læreplaner, lærebøger mm.).

- (Winsløw, 2006, s.19)

Brugen af kernekraft som energikilde til længere bemandede missioner og koloniseringer i rummet er planlagt af NASA til Mars (NASA, 2020) men også til de kommende måne-missioner, som omtales under Artemis-programmet (Warner, 2020). Og som det kort nævnes i spilllets første passage, er raketbrændstoffet en blanding af methan og ilt, som SpaceXs interplanetare Starship raketter benytter. Der er altså en række eksempler på, at helt ny og moderne viden omkring rumfart og energiproduktion uden for Jorden bringes ind i en undervisningsmæssig sammenhæng. Det sker samtidig med øje for det formelle pensum fastlagt ved læreplanen i fysik C STX, hvor kerne-stoffet energi samt faglige mål og kompetencer vedrørende modellering inkluderes. Når undervisningsmaterialet bliver benyttet i undervisningssituationer af underviserne, er der tale om en intern didaktisk transposition. Som udvikler af undervisningsmaterialet kan det være svært på forhånd at vide, hvordan den enkelte lærer vil fortolke og bruge undervisningsmaterialet. Det er bl.a. et af de områder, som vil blive undersøgt i løbet af dette case-studie, da undervisningen blev realiseret. Dog har jeg med opbygningen af et delvist tilrettelagt undervisningsscenarie foreslået nogle valg ifm. brugen af fx

kraftværkssimulatoren. Her besluttede jeg eksempelvis ikke at give nogen introduktion til de fire kontrolindstillinger i simulatoren. Udforskning af disse og deres effekt på kraftværket skulle nemlig efterlades til eleverne. Strukturen af et helt undervisningsmodul nærmer sig derfor et forslag til den interne didaktiske transposition, da jeg også har foretaget valg om, hvordan det formelle pensum (energi og modelleringskompetencer) skal læres gennem en undersøgelsesbaseret interaktion med en simulator. Undervisningen er i dette case-studie kun testet én gang, og begrænser sig dermed i sagens natur til at undersøge, hvordan den didaktiske transposition er foregået i dette tilfælde; eksternt såvel som internt.

3 Teoretisk grundlag og planlægning

Det udviklede undervisningsscenarie er især opbygget på baggrund af tre dele af den didaktiske litteratur: 1) Undersøgelsesbaseret Naturfagsundervisning (UBNU), 2) Scenariedidaktik og 3) Spillignende læring. Disse tre dele vil her blive introduceret, og jeg vil undervejs argumentere for brugen af dem sammen og i mit konkrete undervisningsscenarie.

3.1 IBSE/UBNU og 6F-modellen

Inquiry Based Science Education (IBSE) eller Undersøgelsesbaseret Naturfagsundervisning (UBNU) har fået øget opmærksomhed som undervisningsmetode over de sidste to årtier (Gillies, 2020, s.1). Undervisningsmetoden tager udgangspunkt et konstruktivistisk læringssyn, hvor eleverne som de lærende i en undervisningssituation drager fordel af at være aktive og udforskende i modsætning til mere klassiske passive undervisningssituationer såsom tavleundervisning. Den undersøgelsesbaserede naturfagsundervisning fokuserer på, hvordan man arbejder og forsker naturvidenskabeligt fremfor primært eller udelukkende at fokusere på formidling af pensum. De mange kompetencer ved naturvidenskabelig forskning opbygges ved at lade eleverne selv deltage i fx design af eksperimenter, opstilling og verificering/falsificering af hypoteser på baggrund af data i modsætning til fx de såkaldte ”køgebogsøvelser”, hvor disse elementer i høj grad er udført af øvelsesvejledningens forfatter. Effekten af UBNU beskrives af Robyn Gillies

In inquiry-based science, students not only learn the relevant content but also learn the discipline-specific reasoning skills and practices by collaboratively engaging in authentic problems or questions with their peers. In so doing, students are cognitively challenged to make sense of the phenomena under investigation, develop explanations that are based on evidence, and

communicate their findings in discipline-specific language as to why certain solutions to a problem work and others do not.

- (Gillies, 2020, s.2)

I et forsøg på at støtte undervisere i at begynde at bruge UBNU er der udviklet skabeloner og modeller til at planlægge lektioner og forløb omkring. Én af disse er 6F-modellen, der er udviklet ved Institut for Naturfagene Didaktik ved Københavns Universitet. I sin helhed lægger den sig i tæt forlængelse af Bybee's 5E-model (Bybee, 2015), hvor der dog er tilføjet et ekstra fokuspunkt i form af en *forudsætningsfase*, samt at man har ændret fokus fra *evaluation* til *feedback*. Særligt denne sidste ændring lader til at fokusere på at benytte konstruktiv og formativ feedback til eleverne som et værktøj til at forbedre deres kompetencer og motivation for faget. En uddybning af 6F-modellen kan findes i (Frisdahl & Dolin, 2014, Del 1) eller i (Madsen m.fl., 2020), men her gives en opsummering af de seks faser og deres funktion.

- **Forudsætning:** Elevernes forforståelse for de relevante emner i undervisningen skal afstemmes. På denne måde forventningsafstemmes der mellem eleverne og underviseren, hvad der er nødvendigt at vide for at kunne deltage i den følgende undervisning, og læreren kan få et tidligt indblik i, hvilke forudsætninger eleverne (ikke) besidder. Ofte vil man tage udgangspunkt i, hvad eleverne allerede ved fra deres personlige erfaringer eller tidligere erfaringer i undervisningen.

I mit undervisningsscenarium udgøres denne del således af et møde med energiformer og omdannelsen af disse i et kraftværk. Energiformer og energiomdannelse skal have været dækket inden dette forløb igangsættes, og derfor består forudsætningsfasen i at genopfriske disse dele af pensum for at kunne benytte dem senere i undervisningen.

- **Fang:** Elevernes interesse for forløbet skal øges, så de bliver mere motiverede til at deltage. Det kan gøres ved brug af billeder, videoklip, nyhedsartikler mm. omkring et problem eller en situation, som undervisningsforløbet er relateret til. I mit tilfælde er det narrative element fra scenariet åbenlyst at benytte til at skabe en situation, som undervisningen skal omhandle. Men også den spillignede tilgang er et forsøg på at fange elevernes interesse og øge deres motivation for at deltage.
- **Forsk:** Denne fase vil ofte være præget af elevstyret undervisning, hvor elever fx udfører opgaver, diskuterer hypoteser eller laver forsøg, mens læreren optræder i en mere tilbagetrukket og konsulterende rolle. Samtidig er det ofte tidsmæssigt den længste af faserne.

Her er elevernes interaktion med simulatoren set som en udforskning. De har

fået ganske lidt information om, hvordan kraftværket egentlig fungerer, inden de selv skal kontrollere det, og deres interaktion må derfor bero på en 'trial and error'-tilgang, hvor de løbende udvikler og tester hypoteser omkring kraftværkets funktioner.

- **Forklar:** På baggrund af den forrige fase vil der som regel være resultater, konklusioner eller lign., som deles med andre og diskuteres. Eleverne skal altså formidle deres arbejde og foreløbige resultater, mens læreren og de øvrige elever vil kunne stille spørgsmål og bidrage med øvrig viden eller erfaring.

Når eleverne har udforsket simulatoren, er det tanken, at de udfører en videns- og erfaringsdeling med andre grupper eller i en plenumsdiskussion. Der vil være en forventning om, at de deler erfaringer, de er kommet frem til, men i lige så høj grad også hvordan de har tilgået udfordringen om at kontrollere et kernekraftværk. Dermed bør alle kunne byde ind med noget, da der også diskuteres undersøgelsesmetode.

- **Forlæg:** De ting, man indtil nu har lært, skal genanvendes i form af fx en lign. problemstilling eller en generalisering for at eksemplificere, at det man har lært også kan anvendes i en anden kontekst.

En mindre diskussion omkring argumenter for og imod brugen af atomkraft kan her følge baseret på, hvad eleverne allerede har af forudgående viden og tanker omkring det. Herfra kan der opstå nye spørgsmål og dilemmaer, der kan undersøges, og klassen kan sammenholde argumenternes validitet afhængig af om diskussionen omhandler atomkraft på marsbasen eller på Jorden.

- **Feedback:** Denne fase optræder undervejs i undervisningsforløbet i situationer mellem både lærer/elev samt internt mellem eleverne. Især den feedback læreren modtager er et vigtigt værktøj til undervejs at vurdere læringsforløbet og evt. skabe differentieret undervisning.

Gennem simulatoren er de indbyggede hjælpefunktioner en form for feedback, der tilbyder ekstra information. Desuden er advarslerne fra statusrapporten også en form for feedback, som det tidligere er nævnt. Og igennem undervisningsmodulet vil læreren formentlig besøge grupperne og indgå i faglige dialoger, hvorved han/hun kan bidrage med feedback.

3.1.1 Hvorfor benyttes UBNU og 6F-modellen?

Begrundelsen for at strukturere undervisningen efter 6F-modellen er, at 6F tilbyder en simpel og klar struktur, der søger at skabe de ønskværdige rammer for undervisningen som fx øget motivation for faget. Da den tiltænkte målgruppe for undervisningen

er fysik C elever, forventes det, at motivationen for fysikundervisning ofte ikke er overvældende. At UBNU skulle tilbyde en mere motiverende naturfagsundervisning beskrives af (Frisdahl & Dolin, 2014) ved sammenligning med CARTAGO-modellen (Krogh & Andersen, 2020), der er en model for opbyggelse af motivation i undervisning. CARTAGO-modellen er udviklet på baggrund af flere motivationsteorier og forsøger at opsummere nøglebegreber bag motivation i undervisning under akronymet CARTAGO.

- **Competence** (Kompetence-drivkræfter herunder *self-efficacy*)
- **Autonomi** (Selvbestemmelse og indflydelse)
- **Relatedness** (Relationer og tilhørsforhold)
- **Task value** (Opgaveværdi)
- **Attributions** (Årsag til succes og/eller fiasko)
- **Goal Orientation** (Målorienteringer)

Et eksempel på brug af disse motivationsbegreber i mit designede undervisningsscenarie ses fx, når eleverne selv skal udregne den nødvendige gennemsnitlige effekt, der er nødvendig at operere kraftværket med. Det er en målorientering, hvor eleverne selv opstiller deres mål, som de skal sigte efter i simuleringsdelen. Mange af nøglebegreberne og dertilhørende anbefalinger til at skabe motivation i klasseværelset afhænger dog kraftigt af gymnasielæreren måde at fortolke og bruge undervisningsscenariet - altså en intern didaktisk transposition (Winsløw, 2006, del 2).

3.2 Scenariebaseret undervisning

Begrebet scenariebaseret undervisning har flere overlappende fortolkninger i en ellers sparsom litteratur. Fælles for dem er dog et fokus på meningsfuld undervisning, hvor elever indtager aktive og ofte selvbestemmende roller ift. scenariet. Den scenariebaserede undervisning vil ofte have et problem eller forskningsområde som hovedfokus og eleverne har typisk en problemløsende rolle i scenariet. De kan fx være ingeniører, der skal tage beslutninger ift. brug af materialer og arbejde med modeller. I modsætning til curriculumbaseret undervisning tilbyder scenariebaseret undervisning en simuleret situation, hvor faglige mål og kompetencer, som det ønskes udviklet hos eleverne, benyttes ifm. det specifikke scenarie. Dermed adresseres et nok for mange undervisere velkendt fænomen, hvor elever med undren spørger: "Hvad skal vi bruge det til?"

Af (Bundsgaard m.fl., 2017) defineres de mere specifikke didaktiske scenarier som undervisningsmetoder, der kan spænde fra problembaseret projektarbejde, case-baseret

undervisning, simulationer og computerspil. Ved brug af undervisningsformer som disse sættes elever nemlig i situationer af mere eller mindre fiktiv karakter. Situationerne vil kræve, at de bruger og udvikler færdigheder for at løse et givent problem. Opgaverne og løsningerne hertil kan varieres efter hvor åbent og kreativt, man ønsker at bedrive undervisningen. På denne måde er der et fint samspil med de tre former for inquiry - structured, guided & open - som (Frisdahl & Dolin, 2014) beskriver i den undersøgelsesbaserede naturfagsundervisning.

Undervisningsfag i gymnasiet følger undervisningsministeriets bekendtgørelser, der fagspecifikt lægger vægt på hvilket kernestof, der skal gennemgås, og hvilke kompetencer eleverne forventes at udvikle og mestre. Dette vil typisk være det formelle pensum, der er beskrevet i læreplanen (UVM, 2017) under *kernestof* og *faglige mål*. Her kan planlægning af fysikundervisning nemt forfalde til et for stort fokus på kernestoffet, hvorved undervisningen for mange elever hurtigt bliver distanceret fra det, de kender og kan relatere til. Mennesker i de fleste aldersgrupper kan dog som oftest relatere til et narrativ, som de gør de i deres fritid i form af fx spil, film og bøger. De forskellige - og for eleverne arbitrære - emner fra kernestoffet kan derfor bindes sammen vha. et overordnet narrativ inddelt i kapitler eller scenarier. Læreplanen for fysik C på STX nævner under de didaktiske principper

Som hovedregel opbygges undervisningen af forløb, der hver for sig er styret af et perspektiverende tema, som inddrager forhold uden for fysikken.
- (UVM, 2017)

Så der lægges i forvejen op til at tage fysikken ud af sin fagfaglige form og benytte en tematiseret struktur af undervisningen. Scenariedidaktik eller scenariebaseret undervisning kan muligvis bidrage med den struktur, som læreplanen eksplicit opfordrer til. Ligesom meget andet udvikling af undervisning, er det dog meget ressourcekrævende, men bør fremme meningsfyldte læringsaktiviteter (Bundsgaard m.fl., 2017).

3.2.1 Hvorfor benyttes scenariedidaktik?

Min egen undervisningsidé er udsprunget af en simulation af et atomkraftværk. Da det oprindeligt er et simulationsspil, er der allerede mål og udfordringer. Hvad der mangler, er en årsag til at interagere med spillet. Der er brug for en meningsfyldt kontekst. Det er i denne forbindelse, at en scenariebaseret tilgang kan bidrage. Indledningsvis introducerer (Bundsgaard m.fl., 2017, s.11) fire scenarieteoretiske perspektiver:

1. John Deweys teori om *inquiry*
2. Kognitionsteoretisk tilgang
3. Narrative forståelser
4. Curriculum-teoretisk tilgang

Det fjerde såkaldte *curriculum-teoretiske* perspektiv omhandler brugen af konkrete situationer til at omdanne *undervisningens indhold til overvejelser over, hvordan de faglige metoder, tilgange, begreber og forståelser kan bruges i sammenhænge, altså scenarier, uden for skolen* (Bundsgaard m.fl., 2017, s.13). Min undervisningsidé havde altså allerede en idé om, hvad der skulle læres og hvordan. Man skulle lære, hvordan et atomkraftværk virker gennem et simulationsspil. Men jeg havde ikke overvejet, hvorfor eleverne skulle finde det interessant eller meningsfyldt at deltage i undervisningen. Da målgruppen for undervisningen er fysik C med adskillige ikke-fysikinteresserede elever, virker denne overvejelse særdeles vigtig. Og forhåbentlig vil det narrative element kunne bruges til at fange flere elevers interesse.

En interessant bemærkning ved samspillet mellem scenariedidaktik og UBNU er, at begge felter har referencer til den amerikanske filosof John Dewey. Deweys læringsteori om erfaringsdannelse og inquiry er grundlaget for den store forsk-fase i 6F-modellen. Samtidig berettes der om, at Deweys læringsteori kan forstås som en scenariebaseret læringsteori, hvor forestillingsevnen udgør en central forudsætning for menneskers evne til at danne betydning. (Bundsgaard m.fl., 2017, s.11) Det lader derfor ikke til at være tilfældigt, at disse to teoretiske dele - UBNU og scenariedidaktik - passer glimrende sammen i design af undervisning.

3.3 Spillignende læring

I litteraturen findes adskillige termer og underkategorier såsom gamification, edutainment, serious games, it-støttede læringsspil og mange flere. At danne sig et overblik over denne skare af termer er bestemt ikke let, og jeg har valgt at læne mig op ad den introduktion, som gives af (Hanghøj, 2019). I artiklen gives der kort en introduktion til begreberne, og der fokuseres på især den danske forskning af digitale spil i undervisning.

De digitale spil opdeles af (Hanghøj, 2019) i fire overordnede kategorier

1. Læringsspil
 - (a) Simple færdighedsbaserede læringsspil
 - (b) Mere avancerede læringsspil (Serious games i den engelske litteratur)
 - (c) IT-støttede læringsspil
2. Kommercielle computerspil
3. Gamification
4. Programmer til spildesign

Baseret på kriterierne for hver kategori mener jeg, at selve kraftværkssimuleringen hører til i kategorien af de mere avancerede læringspil. De er karakteriseret ved at være anvendt til at simulere og undersøge komplekse sammenhænge. Samtidig vil undervisningsscenariet i sin helhed indgå som én af de mange spilgange i Marsbasen, der af projektet selv er klassificeret som blended-learning environment læringspil. Her er Hanghøjs kategori *IT-støttede læringspil* nok den tættest beslægtede, da denne kategori er karakteriseret ved forskellige typer af spil, hvor spillernes interaktion i det fysiske rum understøttes af en computer. (Hanghøj, 2019, s.5). Dette vil fx være tilfældet i en spilgang, der er præget af et fysisk forsøg, hvor computeren ikke er lige så integreret en del af undervisningen, som den er i mit undervisningsscenarie.

Læringspils effekter på undervisning og læring er ikke entydig og endda ikke nødvendigvis veldokumenteret endnu. Der er dog alligevel mange grunde til at tro på, at læringspil kan have mange positive effekter. Et af de oftest nævnte argumenter følger idéen om at et godt spil er underholdende; underholdende undervisning giver motiverede elever, og motiverede elever lærer mere. Den kausale sammenhæng mellem engagerede motiverede elever og øget læring er generelt accepteret. (Girard m.fl., 2013, s.216) Undervisning er dog en kompleks størrelse, og der er derfor eksempler på eksperimentelle studier af brugen af læringspil i klasser, som ved sammenligning med kontrolklasser giver forskellige resultater. Fx rapporterer (Papastergiou, 2009) om et eksperimentelt studium af 88 elever i alderen 16-17 år fordelt på seks klasser, der modtog hhv. spillignende og ikke-spillignende undervisning i et forløb omkring computerhukommelse. Konklusionen var, at den spillignende læring havde givet større udbytte og skabt større motivation i undervisning. Læringsudbyttet blev vurderet på baggrund af en statistisk signifikant højere post-test score hos de elever, der modtog undervisning ved læringspil. Elevernes holdninger blev vurderet via spørgeskemaer. Omvendt fandt (Wrzesien & Alcañiz Raya, 2010) i et lignende studie med 48 elever i alderen 10-11 år ingen signifikant forskel i pre/post-test scores mellem de elever, der havde været udsat for spillignende undervisning om Middelhavets miljø, og de der modtog traditionel undervisning. De to studier skal ses som et eksempel på, at læringspil kan have positive effekter på undervisning og læring, men det er ikke garanteret. Spil har dog alligevel nogle ligheder med uddannelse og læring, som (Gee, 2013) frem sætter. Spil kan både være langvarige og svære. Alligevel betaler folk penge for dem, hvorefter de frivilligt skal lære spillets regler og mekanik at kende for at udvikle færdighederne til at gennemføre det. Den umiddelbare konklusion på denne succes er, at gode spiludviklere benytter metoder, hvor læring bliver underholdende, og udnytter, at læring under de rette omstændigheder er naturligt tilfredsstillende for mennesker. (Gee, 2013, s.29)

Generelt har spil fastsatte mål og regler samt feedbackfunktioner, der fordrer spilleren nærmere mod målet. Desuden har mange spil også et narrativt element, der skal engagere spilleren til at nå målet. Disse karakteristika er eksempler på nærliggende samspil med UBNU og scenariedidaktik. En anden parallel kan drages til 6F-modellen, der er et eksempel på en læringscyklusmodel. Læringscykler optræder ligeledes i spillitteraturen, hvor de fx nævnes som et af de elementer, der skal til, for at spillet bliver godt. Af (Gee, 2013, s.155) omtales det i stedet som *the cycle of expertise*.

3.3.1 Hvorfor benyttes spillignende læring?

Oprindeligt gik den originale atomkraftværkssimulator fra 1980 ud på at generere strøm nok til en by ved at styre atomkraftværket. Det er et ganske simpelt narrativ. Undervejs modtager man rapporteringer om skader og advarsler, der fungerer som automatiseret feedback til spilleren. Og til slut modtager man så en evaluering på baggrund af den strøm man har produceret til byen og de skader, man har forvoldt på kraftværket. Dele af disse pilelementer er beholdt i deres originale form i det designede undervisningsscenarie, netop fordi fx feedback ikke blot er vigtigt i en spilsammenhæng men også i en undervisningsmæssig sammenhæng. Den spillignende tilgang tilbyder altså at facilitere mange af de elementer, som scenariedidaktikken og UBNU allerede argumenterer for som gode undervisningselementer. At opleve hands-on learning om et atomkraftværk er normalt ikke muligt af åbenlyse grunde. Men ved brug af en simulation åbnes denne mulighed som en fri udforskning, og simuleringen af et atomkraftværk kan derfor facilitere en forsk-fase, som nævnt i 6F-modellen. Ift. scenariedidaktikkens fokus på et narrativ og iscenesættelsen af problemorienterede situationer tilbyder en simulering af et atomkraftværk på Mars en pseudo-realistisk situation, hvor der er et formål med at beskæftige sig med et atomkraftværk.

3.4 Overvejelser ift. kompetenceudvikling i undervisningen

Kompetencebegrebet er tiltagende, når det kommer til at definere mål i dansk naturfagsundervisning (Frisdahl & Dolin, 2014, s.18). Rapporter fra Undervisningsministeriet har fx opstillet særligt fire naturfaglige kompetencer (N. O. Andersen m.fl., 2003, s.42), som gengives her.

- Empirikompetence
- Repræsentationskompetence
- Modelleringskompetence
- Perspektiveringskompetence

I det udviklede undervisningsscenarie forsøger jeg at inddrage empirikompetencen ved elevernes interaktion med træningssimulatoren af atomkraftværket. Her vil de eksperimentere, mens de skal beskrive, hvordan kernekraftværket reagerer på kontrolindstillingerne. Og på baggrund af deres observationer af træningssimulatoren skal de vurdere, om det er muligt at genere nok strøm til en returmission. Interaktionen er ikke et klassisk fysisk forsøg, og der er derfor heller ikke en decideret dataindsamling. Alligevel vil temperaturerne og effekten af kraftværket blive gemt og kunne fremvises som grafer, som repræsenterer empirisk data.

Repræsentationskompetencer inddrages gennem præsentationen af elevernes udarbejdede planer, hvor de deler deres observationer og vurdering med resten af klassen samt læreren. Samtidig er der en smule matematisk repræsentation i form af deres simple beregning af den ønskede gennemsnitlige effekt. Grafer over temperaturer og effekt er desuden et forsøg på at øge elevernes repræsentationskompetence ved at arbejde med en ny repræsentationsform. Denne funktion blev dog første udviklet efter test af undervisningen, og det er derfor ikke klart, hvordan det fungerede.

I undervisningsscenariet vil eleverne arbejde med en model af et kernekraftværk; både når de beskriver energitransport og -konvertering, og når de forsøger at kontrollere kraftværket gennem af simulatoren. Kraftværket i spillet er muligvis en atypisk og kompliceret model ift. fx Hookes lov, men ikke desto mindre en model, hvori meget af det relevante fysik fra læreplanen kan inddrages.

Ved brug af diskussionen som afslutning på modulet inddrages perspektiveringskompetencen, da atomkrafts relation til omverden sættes til diskussion med relevante synspunkter for elevernes situation. Samtidig kan man kort perspektivere holdningerne om atomkraft på marsbasen til atomkraft på Jorden.

De tre førnævnte didaktiske teorier har alle et øget fokus på kompetencer ift. læringsindhold og emner. Som (Frisdahl & Dolin, 2014) nævner, er der overvejende sket en udvikling fra fokus på pensum til øget fokus på elevernes kompetencer i Danmark, og UBNU understøtter dette fokus rigtig godt. Den scenariebaserede undervisning har især fokus på at skabe en meningsfuld situation, hvori den lærte kompetence skal bruges for at øge konkretiseringen for eleverne. Det tydelige fokus på kompetencer kan ses i en af formuleringerne af scenariendidaktik

I scenariebaseret undervisning udvikles kompetencer i en kontekst, der er sat i scene for at give en meningsfuld klangbund for det, der skal læres.
- (Bundsgaard m.fl., 2012, s.31)

Spillignende læring - især kategori 1b og 1c - har mindre fokus på færdigheder og større fokus på at udvikle faglige kompetencer (Hanghøj, 2019, s.10). Det kan bl.a. skyldes, at succes i ethvert spil er bundet til de kompetencer, der skal til for at vinde

spillet. I det designede undervisningsscenarie får eleverne ganske få instruktioner til, hvordan atomkraftværket bør opereres. Og kontrolindstillingerne i simulatoren kan ved første møde virke fremmede for de fleste. Alligevel er det bevidst valgt sådan for at fremme elevernes frie tilgang til simulatoren. Undervejs vil de have adgang til hjælp fra læreren samt indbyggede hjælpefunktioner på fremmedord i simulatoren. Pop-op-funktioner vil kort forklare, hvordan fx kontrolstave påvirker reaktoren, og at en indstilling på 100 svarer til at kontrolstavene er trukket helt ud af reaktoren. Håbet er, at de få inputvariable og hjælpefunktionerne hurtigt sætter eleverne i gang med at prøve sig frem og lære af deres fejl. Denne forhåbning understøttes af Gee, der omtaler effekten af hjælpefunktioner (omtalt som: "smart tools") i læringsspil

It (smart tools, red.) allows the player to begin to act, with some degree of effectiveness, before being really competent – "performance before competence". The player thereby eventually comes to gain competence through trial, error and feedback, not by wading through a lot of text before being able to engage in the activity.

- (Gee, 2013, s.27)

Eleverne bør altså opnå en gradvist større kompetence til at styre de forskellige kontrolindstillinger, så kraftværket drives optimalt. Men det vil kræve en 'trial and error'-tilgang samt feedback fra kraftværkssimulatoren og læreren.

4 Test af undervisningen

De deltagende gymnasier, som er med i forskningsprojektet Marsbasen, har bl.a. den funktion at tilbyde klasser, hvor de udviklede spilgange kan blive testet og evalueret. En lille gruppe elever bestående af tre drenge og tre piger fra 2.G var gennem deres første gymnasieår en del af en testklasse. De meldte sig frivilligt til at besøge Institut for Naturfagernes Didaktik og deltage i flere spilgange over en weekend. I denne weekend indgik mit undervisningsscenarie som et af de testede moduler. Det bør nævnes, at eleverne derfor havde kendskab til Marsbasen og havde færdiggjort fysik på C-niveau et par måneder forinden. Undervisningen blev som sædvanlig forestået af deres egen lærer, men foregik i andre fysiske rammer end de var vant til.

4.1 Indsamling af data

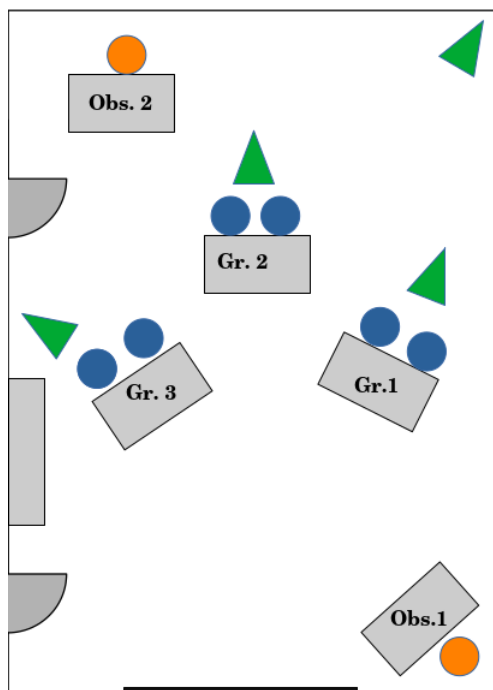
Under selve undervisningen var de seks elever opdelt i tre grupper. Hver gruppe havde en bærbar computer stillet til rådighed af forskerholdet, hvorpå de kunne tilgå spillet. På disse computere var der installeret software som optog, hvad der foregik på

skærmene. Derudover var et videokamera sat til at optage hver gruppe, mens et fjerde kamera optog hele undervisningen fra et hjørne i lokalet. Disse vil være herefter blive omtalt som hhv. *gruppekamera 1, 2 og 3* samt *klassekameraet*. En plantegning over undervisningslokalets opsætning kan ses i figur 7. Der var desuden også placeret en diktafon ved hver gruppe samt én ved tavlen til at opfange lyd, som måske ikke blev opfanget tydeligt nok af videokameraene. Ved undervisningens start lavedes der en høj lyd med et klaptræ sådan, at de forskellige optagelser senere kunne synkroniseres.

Mens undervisningen foregik, blev der også indsamlet data ud fra en observationsprotokol, som hidtil har været brugt til at analysere spilgange i Marsbasen. Senere revision af disse observationsprotokoller gav anledning til en redefinering af observationsparametrene, og nye observationer kunne laves på baggrund af det indsamlede video- og lyddata. Observationsprotokollen, der kan ses i bilag B, er et stort skema, hvor der hvert 30. sekund markeres hvilke af de foruddefinerede observationsparametre, der blev observeret.

Efter endt undervisning deltog eleverne og læreren også i et fokusgruppeinterview. Af praktiske årsager blev de seks elever delt i to grupper og interviewet af to medarbejdere i projektet, mens jeg selv foretog interview af læreren. Interviewformen var semi-strukturerede interviews (Kvale, 2014) og blev lavet ud fra en interviewguide, som kan findes i bilag C. Der var en blanding af åbne og lukkede spørgsmål med forslag til opfølgende spørgsmål, hvor interviewerens gerne måtte indtage en naiv rolle for at lade eleverne uddybe deres svar. De semi-strukturerede interviews skulle give indblik i, hvad eleverne syntes om undervisningen, hvad de selv mente at have lært og hvilke dele af undervisningen der evt. kunne ændres/forbedres.

Under forudsætningsfasen af undervisningsscenariet, hvor eleverne skulle diskutere og placere energiformer på figur 1, foreslog læreren, at jeg kunne verificere elevernes konklusioner, inden de gik videre til næste del. Dermed indtog jeg kortvarigt en aktiv rolle i undervisningen, hvor jeg interagerede med eleverne. Hvad angår senere observationer og databehandling, har jeg valgt at anse dette som en lærer/elev-interaktion, da jeg overtog en rolle, som læreren kunne have dækket. I en mere veludviklet version af spilgangen vil det ikke være nødvendigt for læreren at besøge hver gruppe, da denne verificering kan integreres i spillet. En uddybning af dette forslag vil følge i kapitel 7.



Figur 7: Skitse over klasseværelsets opsætning. Elever er markeret med blå cirkler. Observatører er markeret med orange cirkler. Videokameraer er grønne trekanter. Hver gruppe var tildelt et gruppekamera, mens kameraet bagerst i lokalet indfangede den samlede undervisningssituation. Dette videokamera kaldes *klassekameraet*.

4.2 Behandling af data

Optagelsen af undervisningssceneriet fra klassekameraet er blevet gennemset, og observationsprotokollen fra bilag B er benyttet. Denne protokol benyttes generelt i databehandlingen af spilgange under Marsbasen. De to observationsprotokoller, der blev indsamlet undervejs i undervisningen, havde lidt forskellige resultater. Disse forskelle i observationerne gav anledning til at redefinere, hvad man faktisk kan observere på baggrund af klassekameraet. Og samtidig ændredes et par observationskategorier til den nuværende observationsprotokol i bilag B. Det er således på baggrund af denne protokol, at optagelser fra de tre gruppekameraer og klassekameraet er blevet analyseret.

Kategorierne kernestof og faglige mål i observationsprotokollen er taget fra læreplanen til fysik C STX (UVM, 2017). Det gør det muligt at benytte samme protokol på samtlige udviklede spilgange under Marsbasen og undersøge, at man samlet set får dækket kernestoffet og de faglige mål. Dog skal man ikke forvente at én spilgang vil kunne dække samtlige af disse kategorier. Protokollens observationsparametre kan ses i tabel 2.

Ramme	Beskrivelse
Tavlecentreret (Tc)	Tavlen er central, ting tegnes på tavlen, projektor/smartboard/storskærm anvendes, person (typisk lærer) står og fortæller ved tavle.
Bordcentreret (Bc)	Det bord man sidder ved er centralt for undervisningen. Typisk ved gruppediskussioner, pararbejde, eller individuel opgave. Men ikke forsøg.
Computercentreret (Cc)	En computerskærm er centralt (ikke tavle-agtig). Typisk ved online simulationer, vores spil, eller online informationsøgning
Forsøgscentreret (Fc)	Et forsøg (demo eller noget eleverne beskæftiger sig med) er det centrale, også i forbindelse med planlægning/hypotese-dannelse
Elevaktivitet	
Lytte og se (E-ly&se)	De fleste elever er passive, men laver dog ikke noget ikke-fagligt.
Læse og søge information (E-søin)	Eleverne er sat til at læse noget eller søge information (fx i bog eller på nettet).
Udføre opgave (E-udopg)	Eleverne regner, tegner, udfører opgaver på computer el lign.
Hypoteser og planlægning (E-hypl)	Eleverne planlægger at udføre en opgave eller et forsøg.
Udføre forsøg (E-udfo)	Eleverne udfører et forsøg.
Fremlægge (E-frem)	Eleverne fremlægger resultaterne af et stykke arbejde. Det kan fx være fremlæggelse af noget de har læst, observeret eller planlagt.
Verbal interaktion	
Lærer spørger, lærer svar (L-sp-L-sv)	Lærer stiller spørgsmål, der besvares af læreren selv.
Lærer spørger, elev svarer (L-sp-E-sv)	Lærer stiller spørgsmål, der besvares af elev
Elev spørger, lærer svarer (E-sp-L-sv)	Elev stiller spørgsmål, der besvares af læreren.
Lærer spørger gruppe (L-sp-G)	Læreren stiller spørgsmål til en gruppe
Lærer-statement (L-st)	Læreren laver et statement. Et statement er fx en forklaring, en forelæsningsbid, en evaluering eller lignende.
Elev-statement (E-st)	Elev laver et statement. Et statement er fx en forklaring, en forelæsningsbid, en evaluering eller lignende.
Gruppe faglig dialog (G-fd)	Gruppe har en faglig dialog. En faglig dialog er kendetegnet ved fx holdninger og argumenter.
Gruppe/lærer faglig dialog (G-L-fd)	Gruppe og lærer har en faglig dialog. En faglig dialog er kendetegnet ved fx holdninger og argumenter.
Kernestof	
(uni)	Grundtræk af den nuværende fysiske beskrivelse af Universet og dets udviklingshistorie, herunder Universets udvidelse

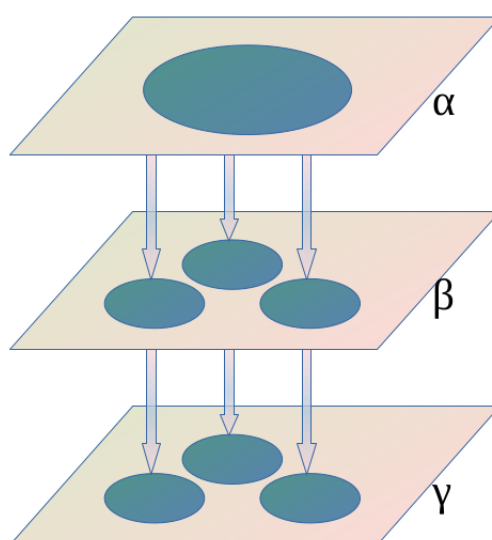
(sol)	Jorden som planet i solsystemet som grundlag for forklaring af umiddelbart observerbare naturfænomener
(ato)	Atomere som grundlag for forklaring af makroskopiske egenskaber ved stof
(enbe)	Energi: beskrivelse af energi og energiomsætning, herunder effekt og nyttevirkning
(enex)	Energi: eksempler på energiformer og en kvantitativ behandling af omsætningen mellem mindst to energiformer
(bølg)	Lyd og lys: grundlæggende egenskaber: bølgelængde, frekvens og udbredelsesfart
(EM)	Det elektromagnetiske spektrum
(Fell)	Fysiske egenskaber ved lyd og lys
Faglige mål	
Modeller (F1)	Kende og kunne anvende enkle modeller, som kvalitativt eller kvantitativt kan forklare forskellige fysiske fænomener eller kan føre til løsninger af problemstillinger, hvor faglige begreber og metoder anvendes
Eksperiment (F2)	Kunne beskrive og udføre enkle kvalitative og kvantitative fysiske eksperimenter, herunder opstille og teste enkle hypoteser
Præsentere eksp. (F3)	Kunne præsentere eksperimentelle data hensigtsmæssigt og ved hjælp af blandt andet it-værktøjer behandle data med henblik på at afdække enkle matematiske sammenhænge mellem fysiske størrelser
Perspektivering (F4)	Gennem eksempler kunne perspektivere fysikkens bidrag til såvel forståelse af naturfænomener som teknologi- og samfundsudvikling
Formidling (F5)	Kunne formidle et emne med et elementært fysikfagligt indhold til en valgt målgruppe
Identitet og metode (F6)	Kunne demonstrere viden om fagets identitet og metoder
Samspil (F7)	Kunne behandle problemstillinger i samspil med andre fag.
(Ikke-fagligt)	Ikke fagligt indhold

Tabel 2: Observationsparametre som optræder i observationsprotokollen (se evt. bilag B) samt en beskrivelse af hvad de dækker over og hvornår de benyttes.

Jeg har desuden valgt at undersøge spilgangen i flere niveauer. Observationen fra klassekameraet udgør øverste lag af undersøgelsen. Dernæst har jeg valgt at genanvende observationprotokollen på 30 sekunders intervaller af undervisningen, men set fra hver enkelt gruppes perspektiv gennem gruppekamera 1, 2 og 3. Formålet med denne undersøgelse vil da være at afdække forskelle blandt de to niveauer, hvorpå undervisningen observeres, samt forskelle mellem grupperne. Ved en enkelt gruppeobservation er man i modsætning til observationen fra klassekameraet i stand til at lytte til hver enkelt udsagn. Til sidst har jeg også forsøgt at zoome endnu længere ind på den del af undervisningsscenariet, som jeg har brugt flest timer på at udvikle - kraftværksimu-

leringen. Det er gjort efter en lignende metode som de øvrige observationer; dog med andre observationsparametre og med en samplingtid på 5 sek under elevernes interaktion med simuleringen. Disse observationer omsættes til koder, som beskriver, hvad der blev observeret. Koderne vil da kunne indgå som data til dannelse af netværk, og analyse heraf vil følge i kapitel 6.

Undersøgelse og analyse af undervisningsscenariet vil dermed foregå i tre niveauer, som det er forsøgt illustreret ved figur 8. Heri markerer det øverste lag α observationen set fra klassekameraet, laget β symboliserer undervisningen set fra de tre gruppekameraer, og det sidste niveau γ illustrerer undersøgelsen af elevernes interaktion med simuleringen.



Figur 8: Undersøgelsesplan, hvor α , β og γ markerer de niveauer af undersøgelse, som der udføres af undervisningsscenariet. Observation af optagelse fra klassekameraet er α -planen, observation af optagelse fra gruppekameraerne er β -planen og observation af elevinteraktion med simuleringen foregår i γ -planen.

4.2.1 Observation fra klassekameraet

Kategorierne i observationsprotokollen er valgt sådan, at man bør være i stand til at genere en kort kode, der kan beskrive, hvad man observerede i et givet tidsrum. Under denne undersøgelse er der lavet en observation hvert 30. sekund under hele undervisningen. Et eksempel, som typisk vil finde sted i starten af et modul, vil være, at læreren lige skal give en kort besked. Dvs. at den overordnede ramme er tavlecentreret (Tc), imens eleverne blot lytter og ser (E-ly&se) på, at læreren giver en besked (L-st) omkring noget generelt (Ikke-fagligt). På denne måde vil man med de små forkortelser kunne beskrive observationen af de første 30 sek ved én kode: Tc_E-ly&se_L-st_Ikke-fagligt.

Dette var naturligvis et ganske tilforladeligt eksempel, og til mere komplekse situatio-

ner er man nødt til at skabe nogle overordnede retningslinjer for anføring af protokollen for at øge reliabiliteten. For den overordnede ramme kan der fx kun anføres én af de fire. I tilfælde af at undervisningsrammen skifter, må man derfor vente med at anføre dette til næste 30 sekunders interval og leve med den usikkerhed, som er forbundet med en samplingtid på 30 sek. Omvendt er det svært at have en faglig dialog uden brug af spørgsmål og svar. Disse kategorier skal forstås sådan, at man ved en faglig dialog i en gruppe fra gruppekameraets perspektiv ikke kan høre alt, der bliver sagt. Man kan kun observere en generel diskussion omkring den pågældende opgave. Så hvis læreren stiller et spørgsmål i en typisk tavlecentreret ramme, der besvares af en elev, får det mærkatet L-sp-E-sv (Lærer spørger, elev svarer). Det er nemlig en klar observerbar spørgsmål/svar-interaktion, som resten af klassen også er en del af, da de typisk lytter til både svar og spørgsmål. Omvendt vil læreren under gruppearbejde ofte indgå i en faglig dialog med en gruppe vha. spørgsmål og svar, men de er ikke klart observerbare og involverer sjældent resten af grupperne, som arbejder videre, og derfor vil dette få mærkatet G-L-fd (Gruppe/lærer faglig dialog).

Under observationerne har jeg desuden valgt at klassificere elevaktiviteten under elevernes arbejde med simulatoren som E-udfo (elev udfører forsøg). Det er på trods af, at simulatoren ikke udgør et fysisk forsøg, men i stedet er et interaktivt digitalt læremiddel. Alligevel er der i arbejdet med simulatoren lagt op til en udforskende aktivitet, hvor eleverne selv forsøger sig frem, og derfor bør have samme tilgang til opgaven, som de vil have ved et forsøg. Her er undersøgelsens fokus blot en model af et atomkraftværk frem for et klassisk fysisk forsøg af fx en fjeder. Effekten af traditionelle fysiske forsøg i naturfagsundervisning kontra digitale eller virtuelle forsøg er fortsat et emne, hvor der ikke er konsensus. (Lazonder & Ehrenhard, 2013) beskriver et fysikforsøg omkring faldende objekter, der blev testet som fysisk og digitalt eksperiment. Her fandt man, at elevs misforståelser var sammenlignelige på tværs af grupper, der havde udført forsøget digitalt og fysisk. Dog var der flere misforståelse, når det kom til indflydelsen af objekters masse. Muligvis fordi forskellen mellem objekters størrelse nemt kan gengives digitalt, mens masse var reduceret til et tal. (Lazonder & Ehrenhard, 2013) konkluderer derfor, at tabet af elevernes taktile sans er essentiel, når man udfører et forsøg digitalt. Til gengæld er der nærmest ingen forskel på at udføre en forsøg fysisk eller digitalt, hvis de fysiske parametre kan gengives repræsentativt.

(Brinson, 2015) finder ligeledes i sit review af empiriske studier over sammenligninger af læringsudbyttet mellem traditionelle og ikke-traditionelle forsøg, at de ikke-traditionelle forsøg resulterede i et læringsudbytte, der enten var højere eller på samme niveau som de traditionelle forsøg i 89% af studierne.

4.2.2 Observationer fra gruppekameraer

I kontrast til observationen fra klassekameraet er der i observationerne fra gruppekameraene især følgende forskelle

1. Koden G-L-fd vil nu kun blive benyttet, når det er den observerede gruppe, der er en del af gruppe/lærer-dialogen.
2. Koderne L-sp-E-sv og E-sp-L-sv benyttes, når lærer eller elev indleder en dialog med et spørgsmål. Dog skiftes der fortsat til at benytte koden G-L-fd, hvis spørgsmål/svar-interaktionen faktisk igangsætter en dialog.
3. Elevaktiviteten for hypotese/planlægning af forsøg (E-hypl) og udførsel af forsøg (E-udfor) kunne benyttes mere nøjagtigt, da man kunne høre, hvad gruppen diskuterede. Her vil koden E-hypl markere at gruppen fx diskuterer, hvordan simuleringen virker, og hvad de tror, de skal gøre for at øge effekten af kraftværket. Samtidig vil koden E-udfor markere, at de afprøver deres indstillinger ved i spillet at trykke på knappen "Gå til næste dag". Inden for 30 sek nåede begge ting ofte at ske, og begge koder kan derfor godt optræde samtidig.

Samtidig er der indført to ekstra koder: K-st og L-sp-K-sv, hvor K står for klassekammerat. Disse er indført for at kunne skelne i fx plenumsdiskussioner. Her skal koden L-sp-E-sv således tolkes som, at det var en elev fra den observerede gruppe, der besvarede lærerens spørgsmål. Koden L-sp-K-sv benyttes i stedet, hvis lærerens spørgsmål blev besvaret af en elev fra en anden gruppe.

4.2.3 Observation af elevinteraktion med simulering

Fra de forrige undersøgelser viste det sig svært at fortolke elevernes arbejde med simulatoren dybere end en kombination af faglig dialog, hypotese og planlægning samt udførsel af forsøg. I et forsøg på at afdække elevernes interaktion med simulationen bedre har jeg derfor forsøgt mig med en mere grundig undersøgelse. Formålet med undersøgelsen vil være at danne et netværk over elevernes interaktion med simulatoren. Altså hvilke emner, parametre og valg diskuterer de, inden de går til et nyt. For at nå at fange de interaktioner, som foregår under simulationsøvelsen, har jeg reduceret samplingtiden til 5 sek. I ethvert 5 sekunders interval blev gruppens verbale udsagn udvalgt til at repræsentere elevaktiviteten. Dette udsagn blev derefter kategoriseret efter to dele: 1) Hvilken form for udsagn var der tale om, og 2) Hvad omhandlede udsagnet. Disse to kategorier blev slået sammen til én kode, der repræsenterer de 5 sekunders aktivitet. Når samplingtiden reduceres så kraftigt, vil der dog også være

adskillige tidsintervaller, hvor intet bliver sagt. I de tilfælde lod jeg observationen bero på, hvad eleverne lavede ud fra videooptagelsen og skærmoptagelsen. En typisk ting ville fx være, at eleverne justerede kontrolindstillinger i simulatoren og opdaterede værdierne. Det blev markeret med koden `indstillingSimulator`. Dog er kodningen af observationerne udført sådan, at verbale udsagn har højere prioritet; så hvis en gruppe diskuterer meget, kan det sagtens være, at de samtidig justerer en masse på simulatoren, uden at det vil vise sig i observationen, da deres udsagn har fået tildelt andre koder i stedet for `indstillingSimulator`. Denne prioritering er valgt, da jeg fandt det mere interessant at analysere, hvad eleverne siger og giver udtryk for i deres interaktion med simulatoren, da det muligvis kan give et indblik i baggrunden for deres handlinger.

I tabel 3 kan man læse om de kodninger, jeg har defineret for gruppernes interaktion med simulatoren. Enhver verbal kategori, på nær `selv-evaluering`, vil derefter blive sat sammen med en sekundær kode, der dækker over, hvad udsagnet omhandlede. Koderne er udviklet løbende i analysen af observationerne. Fx var koden `forslag` en af de første, jeg indførte, da jeg ser et forslag som et bud på en løsning. Og i opgaven er eleverne stillet over for en udfordring om at drive et kraftværk gennem simulatoren, hvilket vil kræve forslag til, hvad man kan gøre. Det repræsenterer derfor bud på aktioner, som grupperne finder passende i den givne situation. Omvendt vil et forslag ofte lede til en diskussion i gruppen inden det implementeres, og det gav anledning til koden `diskussion`. Der forekom dog også mange korte udsagn, hvor grupperne blot refererede til fx en temperaturstigning i reaktoren gennem en sætning som: *"Nu steg den 80."* Sådan et kort udsagn bærer efter min mening ikke nogen klar indikation af, hvad eleven fortolker, men mere hvad eleven bemærker. Det fortæller derfor noget om, hvorhen fokus blev rettet lige efter, at de har klikket på knappen "Gå til næste dag", og er gået en dag videre i simuleringen. Derfor blev koden `fokusering` indført til sådanne korte udsagn. Hvis gruppen derimod kom med en mindre forklaring, der gav udtryk for en sammenhæng, som fx *"Okay, så når vi skruer op for kontrolstavene, så hæver vi temperaturen i reaktoren"*, fandt jeg det mere passende at oprette koden `fortolkning`, da udsagnet nu bærer tydeligt præg af, at eleven mener at have forstået en sammenhæng. Der forekom desuden også udsagn som *"Det ved jeg ikke"*, der naturligt gav anledning til koden `tvivl`. Og endelig optrådte der sommetider udsagn, hvor grupperne enten sammenlignede deres indsats med deres tidligere forsøg eller de andre grupper. Det kunne fx være *"Tror du de andre har gjort det? (løst opgaven, red.)"* eller *"Det går da meget godt."* Udsagn som disse blev placeret under koden `selv-evaluering`.

Verbal kategori	Beskrivelse
fokusering	Kort statement uden fortolkning eller forslag til ændring. Benyttes når elever retter opmærksomhed på en parameter eller ved identificering af nuværende/fremtidig problem ifm. parameter.
I ser	Når udsagnet ikke er elevens egne ord men i stedet en oplæsning fra skærmen. Fx oplæsning af opg eller advarsel.
forslag	Når udsagnet har et konkret forslag til at udføre en aktion eller ændre en parameter.
fortolkning	Når udsagnet bærer præg af at eleven forsøger at få et emne eller en parameter til at give mening. Ses som regel i forbindelse med en forklaring af hvad eleven mener.
diskussion	Bruges når eleverne taler videre omkring fx et forslag eller en fortolkning uden at bringe nye forslag ind som modforslag. Som regel ses det som opfølgende spørgsmål og udtryk for (u)enighed.
tvivl	Når der eksplicit gives udtryk for ikke at vide hvad man skal gøre eller hvordan noget hænger sammen.
selv-evaluering	Når eleven taler om hvordan det går med opgaven og muligvis også sammenligner sig med andre grupper.
Ikke-verbal kategori	
refleksion	Bruges når der ikke siges noget, men eleverne lader til at reflektere over deres tanker og svar i modsætning til stilhed . Kan tit bemærkes ved at eleven siger: ”hm-mm”.
stilhed	Bruges når eleverne ikke lader til at reflektere over noget, men fx sidder og venter på hjælp eller blot forholder sig inaktive.
indstillingSimulator	Hvis der intet siges imens eleven justerer på inputvariable og/eller går til næste dag og dermed opdaterer statusrapporten.
skiftVindue	Hvis der intet siges, imens eleven skifter mellem forskellige vinduer som fx åbner et hint eller genstarter

Tabel 3: Observationskategorier, der er benyttet til at klassificere elevaktiviteten hvert 5. sekund under arbejdet med kernekraftværkssimuleringen.

De fleste af de sekundære kodestykker bør være selvforklarende ord såsom ”kontrolstave” eller ”kølesystem”, der er komponenter og centrale dele i kraftværkssimuleringen. Der er dog også nogle kodninger, som kræver en forklaring, og denne kan findes i tabel 4.

Sekundær kode kategori	Beskrivelse
opg	Opgaven som helhed. Indgår typisk sammen med l ser i begyndelsen.
alle	Alle kontrolstillingerne. Altså både kontrolstave samt primært, sekundært og backup-kølesystem på én gang. Optræder typisk sammen med forslag , når eleverne foreslår at ændre alle indstillinger på én gang.
opdatering	Med opdatering refereres der til opdatering af værdier i simuleringen, hvilket sker ved at trykke på "Gå til næste dag-knappen. Den optræder typisk i kombination med forslag , når en elev spørger: "Skal vi prøve at gå til næste dag?"
operationstid	Dette er en henvisning til enten antallet af dage man har opereret kraftværket eller det de dage man ønsker at operere kraftværket.
genstart	Her refereres der til en genstart af simuleringen.
reparation	Reparation af kraftværket, som kan gøres ved brug af en knap i simuleringen, hvis reaktortemperaturen er under 100 grader.
generelStrategi	Når et udsagn omhandler en mere generel tanke om hvad der skal ske. Fx er sætningen: "Måske kan vi bare leve med at effekten er lidt lavere, men så brænder det hele ikke sammen." kategoriseret som forslag_generelStrategi .
Fe#	Enhver advarsel og skade er en slags feedback, og der er 16 forskellige af disse. Hvis fx advarslen "Damp turbine er overbelastet" bliver læst, tildeles koden: Fe6 og denne kobles med den verbale kategori l ser . De forskellige feedback-numre kan ses i koden i box 2.1 og 2.2.
hint	De fire kontrolindstillinger samt ordet 'brændsel' har indbyggede pop-op-vinduer med uddybende information. Disse er samlet under kategorien hint , der ofte kobles sammen med l ser . Disse hints findes som passagerne i den blå indrammede boks i figur 2.
slutrapport	Hvis man er løbet tør for brændsel i simuleringen eller har forårsaget en nedsmeltning, ender man ved en slutrapport. Slutrapporterne findes som passagerne i den røde indrammede boks i figur 2.
diagram	Her henvises der til diagrammet over kraftværket, som det ses i figur 1. Det har eleverne mulighed for at genbesøge under arbejdet med simuleringen.

Tabel 4: Udvalgte sekundære kodekategorier, der dækker over hvad udsagnet omhandler. De sekundære koder sættes sammen med en primær kode fra tabel 3.

I observationerne er der ikke skelnet mellem hvilket gruppe-medlem, der kommer med udsagnet. Men hvis udsagnet kommer fra læreren, vil udsagnet blive kategoriseret på samme måde som beskrevet hidtil blot med et L_sat forrest i koden. På denne måde

dækker koden `L_fokusering_hint` altså over, at det er læreren, som retter fokus mod en hjælpefunktion i spillet, som eleverne måske ikke havde opdaget.

5 Netværksteori og -analyse

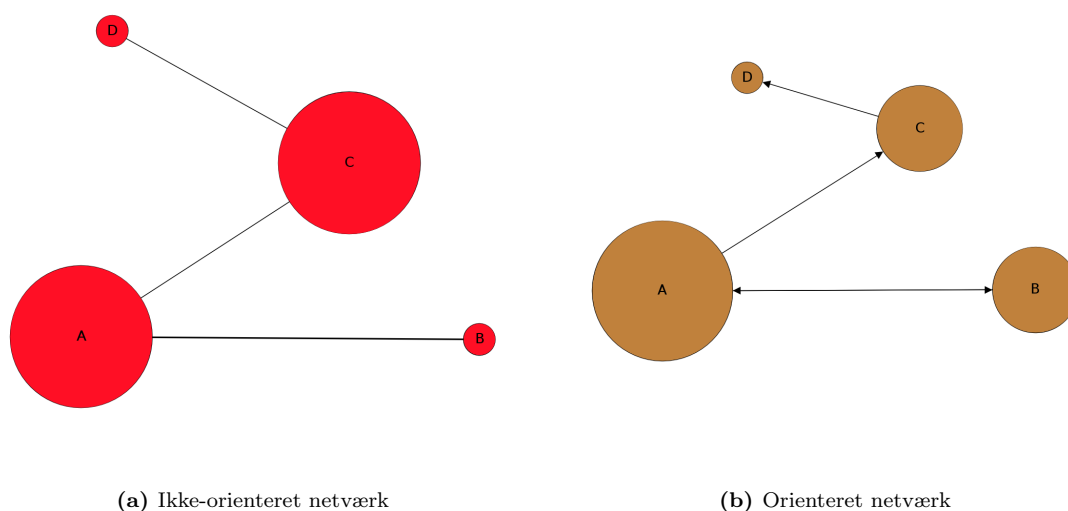
Netværksteori er et felt, der beskæftiger sig med analyse og beskrivelse af komplekse netværk og relationerne deri. Det rummer teoretiske og beregningsmæssige værktøjer fra matematisk grafteori og anvendes i dag i meget forskellige videnskabelige grene. Eksempler på disse er fx smittespredning af vira, sociale relationer og websider på internettet (Barabási, 2016). Siden undervisningssituationer ligeledes er komplekse størrelser, når det kommer til analyse og vurdering, så er netværksteori det seneste årti også blevet foreslået som analytisk værktøj inden for didaktik. (Bruun m.fl., 2018, Bodin, 2012)

I sin enkelthed består et netværk af nogle cirkler og streger eller pile imellem dem. Disse cirkler kaldes i dansk grafteori *knuder*, mens stregerne kaldes *kanter* (Lützen, 2019). Som repræsentationsform tilbyder netværket mange muligheder. Som eksempel er der i figur 9 lavet to netværk ud fra samme simple datasæt. Den hovedsagelige forskel er, at det ene netværk er et ikke-orienteret netværk, hvilket vil sige, at kanterne imellem to knuder ikke er specificeret ved nogen retning. Et orienteret netværk er omvendt kendetegnet ved, at kanterne har en retning. Derfor repræsenteres netværket i figur 9a med streger mellem knuderne mens netværket i 9b har pile. Begge netværk er lavet ud fra det samme lille datasæt, som består af fire par: (A,B), (B,A), (A,C) og (C,D). Her skal (A,B) fortolkes som, at A har en relation til B. I et ikke-orienteret netværk vil man dog ikke kunne skelne mellem (A,B) og (B,A), og derfor markeres denne multiple kant mellem A og B i figur 9a blot ved at tegne kanten tykkere end de øvrige. Dermed kan man også tale om, at kanten har en vægtning, der er dobbelt så stor, som de andre kanter. I figur 9b markeres relationen med en dobbeltpil.

I dette eksempel har jeg også valgt at rangere størrelserne af knuderne på baggrund af knudens valens. Denne størrelse beskriver antallet af kanter, der har endepunkt i knuden (Lützen, 2019). I 9a har A og C samme størrelse, da de begge har to kanter, og B og D har samme størrelse, da de hver har én kant. I figur 9b er det dog B og C, der har samme størrelse, da de begge optræder to gange i datasættet, imens A optræder tre gange og D kun én. A har altså 3 kanter - én dobbeltpil, der tæller for to, og en pil mod C. Det er også muligt, at en knude kan være forbundet til sig selv. Det vil fx være gældende for et datapunkt (A,A), og sådan en relation kaldes for en løkke. Desuden er der i orienterede netværk også mulighed for at skelne mellem ud-valens og ind-valens. Altså om man skal tælle kanter tilhørende en knude baseret på, om pilen peger ind i

eller væk fra knuden.

Eksemplet i figur 9 er blot en af mange muligheder for at tilskrive diverse mål og karakteristika til netværket på baggrund af datasættet. Disse kriterier kan være beregnede og statistiske størrelser og ved brug af fornuftige valg af disse, kan man skabe repræsentative netværk over sine data. Netværksteorien tilbyder dermed både en grafisk repræsentation af et komplekst og ofte stort datasæt samt kvantitative og statistiske mål, som kan benyttes i en analyse. (Bruun & Evans, 2018)



Figur 9: Eksempler på to netværk med 4 knuder og 4 kanter dannet ud fra datasætter: (A,B), (B,A), (A,C), (C,D).

5.1 Netværksteoretiske mål

På baggrund af observationskoderne, som dækker over den observerede undervisning, har jeg dannet netværk over dem. Det er gjort ved at liste observationskoderne i den observerede rækkefølge. På den måde dækker listen af observationskoder hele undervisningen kronologisk. Lister af observationskoder kan omdannes til netværk af programmet Gephi (Bastian m.fl., 2009). Under arbejdet med netværksrepræsentationerne har jeg gjort brug af nogle beregninger eller netværksteoretiske mål for at præsentere og analysere netværkene. Det er disse mål, der her vil blive introduceret.

5.1.1 Modularitet

Større og mere komplekse netværk vil på trods af sin kompleksitet ofte have nogle mønstre. Et af disse mønstre er, at nogle af knuderne lader til at være mere forbundne end andre. Man kan da tale om, at denne gruppe af knuder i det totale netværk udgør

en undergruppe. Og ved beregning af modulariteten kan man inddele netværket efter disse undergrupper. (Barabási, 2016, kap. 9.4). I min planlægning af undervisnings-scenariet har jeg bl.a. lagt mig opad 6F-modellen, der jo består af faser. I min senere analyse af optagelserne fra klassekameraet vil jeg bruge inddelingen af undergrupper til at undersøge de forskellige faser af undervisningen, som jeg håber på at kunne de-tektere gennem modulariteten.

Et netværks modularitet er et reelt tal M , der maksimalt kan være 1. Hvis modulariteten er 0, betyder det, at netværket er ét samlet netværk uden underliggende netværk. Omvendt vil en højere modularitet give anledning til en inddeling af den underliggende netværksstruktur af det totale netværk (Barabási, 2016, kap. 9.4). Såfremt modulariteten af et netværk er klart større end 0.3, vil jeg desuden anse opdelingen i undergrupper som signifikant jf. (Clauset m.fl., 2004).

I praksis er beregning af modulariteten af mine netværk udført af en algoritme, der er indbygget i Gephi. Metoden til at bestemme netværkets modularitet består i en sammenligning mellem det oprindelige netværk og et netværk, hvor kanterne er blevet fordelt tilfældigt. Med denne sammenligning undersøger man derfor, om der er belæg for, at en given undergruppe i netværket ikke blot er en tilfældighed. Beregningen af modulariteten kan udføres ved

$$M = \frac{1}{2L} \sum_{i,j=1}^N \left(A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2L} \right) \delta_{c_i, c_j}, \quad (1)$$

hvor $L = \frac{1}{2} \sum_{i,j} A_{ij}$ er antallet af kanter i netværket, A_{ij} er antallet af kanter mellem knuderne i og j , $k_i = \sum_j A_{ij}$ er valensen af den i 'ende knude. Kroneckers delta δ_{c_i, c_j} sørger desuden for kun at summere knuderne i og j , hvis de er en del af samme undergruppe; altså når $c_i = c_j$.

5.1.2 Pagerank

For at forklare begrebet Pagerank adopteres den tilgang, som gives af (Bruun & Brewe, 2013). I et netværk kan man forestille sig en vandrer (eng:*random walker*), der kan bevæge sig mellem knuderne via kanterne. I orienterede netværk er der naturligvis ensretning på kanterne, og kanter med en højere vægtning har en tilsvarende højere sandsynlighed for at blive valgt af vandreren. Hvert valg af kant, som vandreren skal lave, er altså bestemt af en sandsynlighedsfordeling over de forbunde udadgående kanter med vægtning. Desuden findes der også en sandsynlighed for, at vandreren ikke vælger en rute, men i stedet teleporterer sig til en tilfældig knude i netværket. Denne mekanisme skal sikre, at vandreren ikke sidder fast i en knude. Numerisk set vil

Pagerank være et tal mellem 0 og 1, der markerer sandsynligheden for, at vi på et tilfældigt tidspunkt ville kunne finde vandreren i den pågældende knude. Matematisk set beregnes Pagerank ved

$$PR_i = \frac{1-\alpha}{N} + \alpha \cdot \sum_{j \in k_{in}} p(i|j) \cdot PR_j, \quad (2)$$

hvor PR_i er Pagerank af knude i , α er sandsynligheden for at vandreren vælger en ny kant og ikke teleporterer, N er antallet af knuder i netværket, $p(i|j)$ er sandsynligheden for at vandreren gå fra knude i til knude j og PR_j er Pagerank af knude j . I alle senere beregninger af Pagerank er $\alpha = 0.85$.

Pagerank er et centralitetsmål for knuder i et netværk. Og størrelsen af en knudes Pagerank afhænger særligt af naboknuderne men også naboknudernes Pagerank. Når vandreren bevæger sig rundt i et netværk efter de foreskrevne regler, vil den have en tendens til at besøge centralt forbundne knuder meget, men også de naboknuder der er tæt forbundet med stærke kanter. På denne måde stiger en knudes Pagerank, når den ofte besøges af vandreren, hvilket ofte sker, når den er stærkt forbundet til andre velbesøgte knuder. Dermed er Pagerank et centralitetsmål, som også fanger vigtigheden af naboknudernes centralitet. I mange af de senere netværk vil knuders størrelse være rangeret efter knudens Pagerank.

5.1.3 Infomap

Infomap er en algoritme, der finder undergrupper og strukturer i netværk og rearrangerer det i et overordnet netværksskørt (Bohlin m.fl., 2014). Netværksskørtet samler undergrupper i moduler, og i hvert modul vil der således gemme sig et underliggende netværk af de knuder, der udgør undergruppen. Desuden beregnes Pagerank af alle knuderne i netværket. I ethvert Infomap-genereret netværksskørt vil modulets størrelse være proportionalt med modulets Pagerank. Pagerank af et modul er blot summen af hver enkelt knudes Pagerank i det underliggende netværk. Tykkelsen af kanterne mellem moduler er proportional med sandsynligheden for at den tilfældige vandrer bevæger sig langs kanten ifølge Pagerank-beregningen (Bohlin m.fl., 2014, s.11). Det er i de senere netværk observeret, at der generelt findes flere undergrupper/moduler, når et netværk behandles med Infomap-algoritmen, end når det opdeles efter modularitet. En fordel ved Infomap er desuden også dets brugervenlighed. Det er gratis og kan opereres via en hjemmeside (<https://www.mapequation.org/infomap/>), hvor man kan uploade en netværksfil og begynde at analysere sit netværksskørt.

I den senere analyse vil Infomap-algoritmen være brugt til at danne netværksskørt og

analysere de strukturer og moduler, der er fundet. Herfra vil jeg benytte ordet 'modul' om en knude i et netværkskort, der er simplificeret af Infomap-algoritmen, og har et underliggende netværk. Derimod vil ordet 'knude' benyttes om en enkelt knude i de netværk, som jeg danner på baggrund af observationskoder.

6 Resultater og analyse

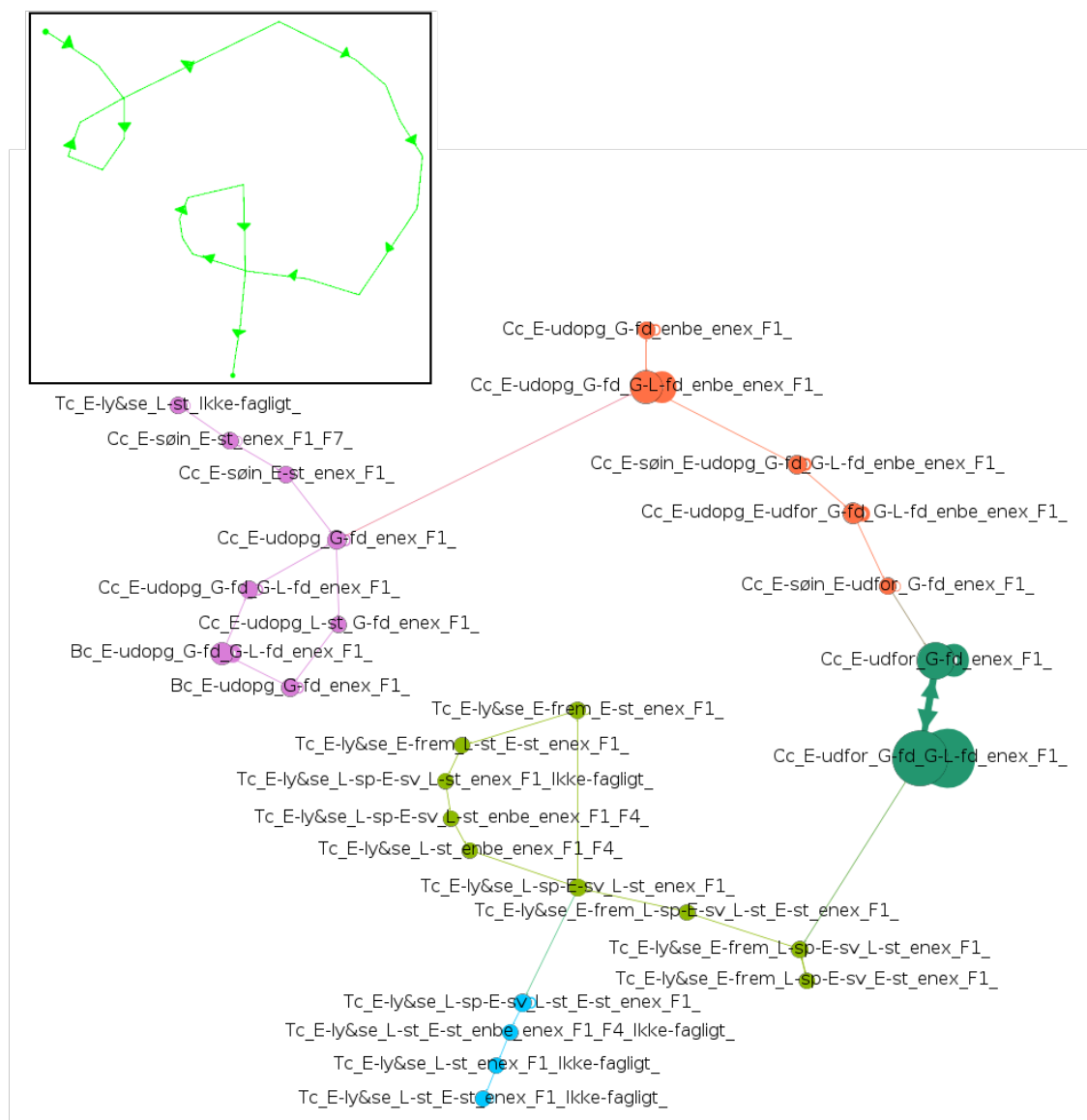
Ethvert netværk og netværkskort, der præsenteres i dette afsnit, findes også i en helsidet version i bilag D. Netværkene bliver generelt større og mere komplicerede gennem analysen. Derfor skal bilagene ses som et tilbud til den interesserede læser, der ønsker at følge analysen nøje.

6.1 Observation fra klassekamera

Som beskrevet i kapitel 4.2 er hver observation i 30 sekunders intervaller blevet reduceret til en kode. Ved at sætte disse koder sammen sådan at de følger hinanden i den observerede rækkefølge, kan man altså få en liste af koder, som beskriver observationen af hele undervisningsscenariet. På baggrund af disse koder har jeg dannet et orienteret netværk, hvor hver knude repræsenterer en observationskode, og hver kant repræsenterer et spring frem i undervisningen på 30 sek til den næste observation. Ved brug af programmet Gephi har jeg da udregnet modulariteten af netværket og inddelt netværket i farver for hver undergruppe. Samtidig har jeg ladet størrelsen af hvert knudepunkt være rangeret efter den udgående valens med vægtning. Dette mål er direkte relateret til antal gange, en observationskode er blevet benyttet og dermed et mål for, hvad undervisningstiden er forløbet med. Netværket over den samlede klasseobservation kan ses i figur 10.

Undervisningsscenariet forløber gennem observationskoderne startende med Tc_E-ly&se_L-st Ikke-fagligt øverst fra venstre. Dvs. at undervisningen er startet med en tavlecentreret undervisning, hvor eleverne har lyttet og set på, at læren laver et ikke-fagligt statement. Kort herefter er undervisning fortsat med andre aktiviteter, og forløbet af disse aktiviteter er, hvad netværket illustrerer. Den generelle forløbsretning i netværket er skitseret i boksen øverst til venstre af figur 10. Efter kort tid nås den fjerde knude med koden Cc_E-udopg_G-fd_enex_F. Koden markerer en observation af, at undervisningen er blevet computercentreret, og eleverne udfører opgaver, imens de har en faglig dialog. Desuden er de i gang med at behandle kernestoffet omkring eksempler på energi samt det første faglige mål, der omhandler modeller. Denne del af undervisningen fortsætter gennem fire knuder inden den igen vender tilbage til Cc_E-udopg_G-fd_enex_F. Undervejs har de fire knuders koder varieret ganske lidt,

men man kan aflæse, at der undervejs også blev bordcentreret undervisning (koderne starter med BC), og læreren undertiden indgik i dialog med grupperne (G-fd udskiftes med G-L-fd). Hele denne start på netværket dækker den magenta undergruppe, som repræsenterer elevernes arbejde gennem de to første passager i Twine. Dvs. at de fik en kort intro af læreren, læste opgaven og beregnede den gennemsnitlige effekt.



Figur 10: Netværk dannet på baggrund af observationskoder fra klasseobservationen hvert 30. sekund. Netværket består af 28 knuder og 28 vægtede kanter. Øverst til venstre i en boks er den overordnede orientering i netværket markeret. Knuders størrelse er rangeret efter antallet af udadgående kanter (med vægtning) og repræsenterer dermed mængden af undervisningstid. Netværket er opdelt i undergrupper og tildelt farver på baggrund af modularitet. Netværks modularitet er $M=0.648$.

Den orange undergruppe, som følger lige efter den magenta, udmærker sig fra de øvrige koder ved også at indeholde koden *enbe* der dækker over beskrivelse af energi-

former. Det genkendes derfor som opgaven, hvor eleverne sidder ved passage 3 i Twine og diskuterer konvertering og transport af energi. Som tidligere nævnt indgik jeg selv i dialog med grupperne for at verificere deres konklusioner i denne del af undervisningen på opfordring af underviseren. Det kommer til udtryk i knuden Cc_E-udopg_G-fd_G-L-fd_enbe_enex_F1 ved koden G-L-fd, der markerer min interaktion med grupperne som en lærerrolle. Denne aktivitet har desuden foregået ganske længe. Det kan ses, da størrelsen af knuden er relativt stor ift. de øvrige knuder. Samtidig tegnes der en masse løkker på knuden Cc_E-udopg_G-fd_G-L-fd_enbe_enex_F1 Det sker, da samme observationskode er kommet mange gange i træk, og er altså et udtryk for, at undervisningssituationen har været den samme i længere tid. Disse to første undergrupper kan tolkes som faserne *fang* og *forudsætning* ift. 6F-modellen. Fang-fasen er dog som planlagt mere indirekte indlejret i spilgangen ved brug af et narrativt læringsspil, så de to undergrupper er i grunden nok mere udtryk for de to opgaver fra hhv. passage 2 og 3 i Twine.

En anden tydelig ting, man kan bemærke fra netværket i figur 10, er dobbelpilen mellem knuderne Cc_E-udfor_G-fd_enex_F1 og Cc_E-udfor_G-fd_G-L-fd_enex_F1. Den eneste forskel mellem disse er tilføjelsen af G-L-fd. Dvs. at der har været observationsintervaller, hvori læreren indgik i faglig dialog med grupperne. Sommetider vil der dog også forekomme observationsintervaller uden at læreren indgår i faglig dialog, og derfor opstår der en meget klar dobbelpil mellem de to knuder. Man kan altså af denne del tolke, at eleverne har udført forsøg på computeren i en stor del af undervisningstiden (knudernes relative størrelse), og det har vekslet mellem, at grupperne diskuterede med og uden læreren (dobbelpilen mellem knuderne). Samtidig udgør disse to knuder den mørkegrønne undergruppe og tolkes til at repræsentere forsk-fasen fra 6F-modellen, som også forventedes at være den tidsmæssigt største.

Herefter følger knuder opdelt i yderligere to undergrupper. Det er oplagt at tænke sig, at disse så repræsenterer hhv. forklar- og forlæng-faserne i 6F-modellen. Hvis det er korrekt, vil man bemærke, at den sidste undergruppe generelt er karakteriseret ved bl.a. at ende med koden Ikke-fagligt . Forlæng-fasen, hvor man skulle diskutere brugen af atomkraft på marsbasen, lader derfor til ikke at være gået som planlagt. Omvendt var forlæng-fasen på testtidspunktet ikke særlig veludviklet, og kunne bl.a. benyttes som en aktivitet, der kunne skæres fra i tilfælde af, at forsk-fasen trak ud. Jeg anser det derfor ikke som overraskende, at forlæng-fasen kræver yderligere planlægning. I samme tråd kunne forklar-fasen sandsynligvis også struktureres yderligere. På baggrund af knuderne i den lysegrønne undergruppe tolker jeg, at fasen har været kortvarig (pga. små knuder). Samtidig indgår der enten lærerspørgsmål eller lærer-statements i 8 ud af de 9 knuder, og det lader derfor til, at læreren generelt har ledet forklar-fasen

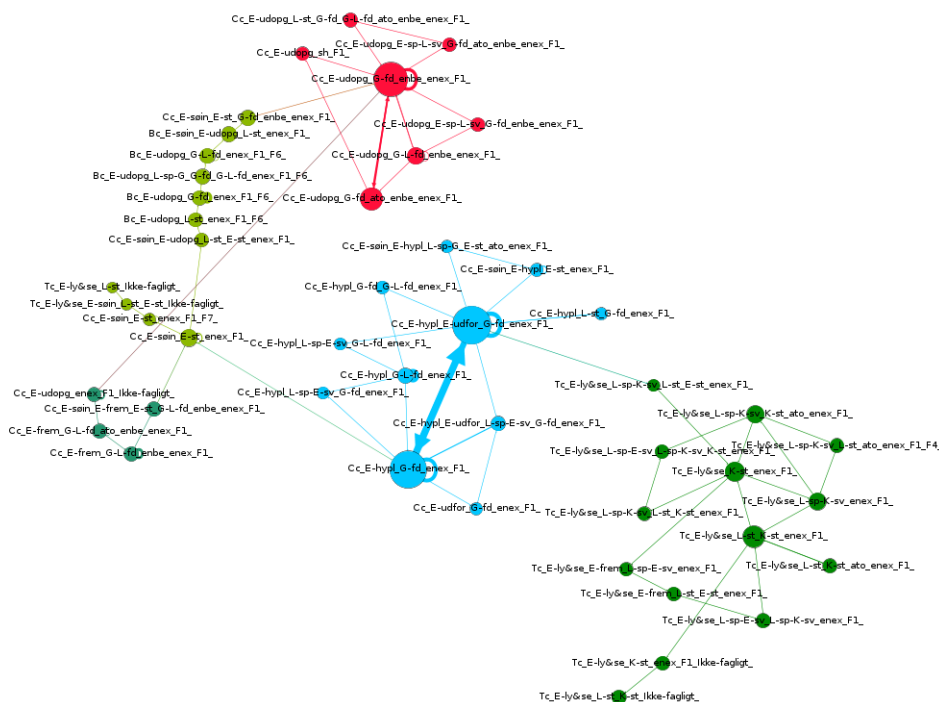
meget. Det har ledt til en meget passiv rolle for eleverne, som observeres ved koden E-ly&se, og generelt er det noget, som jeg har forsøgt at designe undervisningen til at undgå. Lige i en fremlæggelsessituation behøver denne undervisningsform måske ikke at være uønsket, men den store lærer-indgriben anses som et udtryk for, at eleverne muligvis ikke får formidlet nok om deres undersøgelse men i stedet besvarer spørgsmål.

6.2 Observation fra gruppekameraene

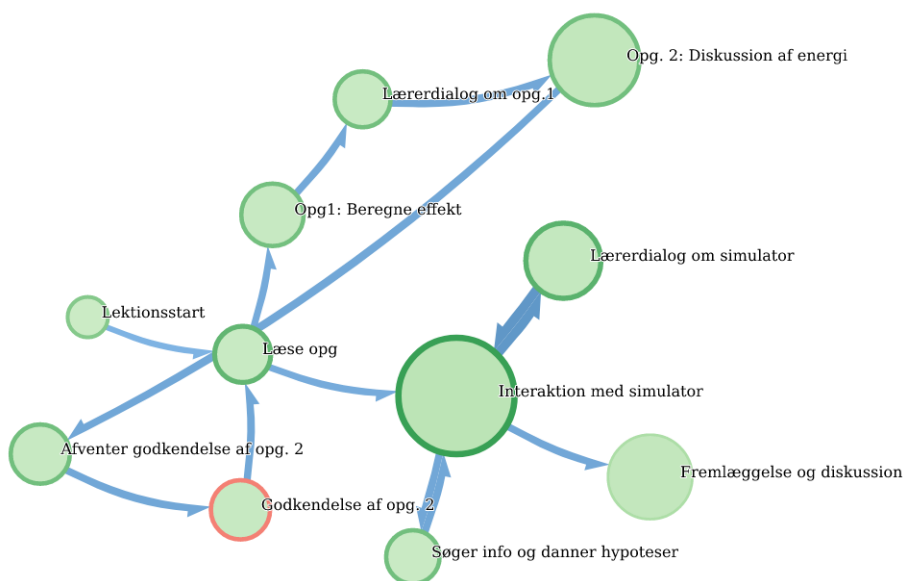
Netværkene, der er dannet på baggrund af observationerne fra gruppekamera 1, 2 og 3, er ligesom klasseobservationen lavet i Gephi og tildelt en inddeling i farver efter en udregning af modulariteten. Netværkene for de tre gruppeobservationer kan ses i figur 11, 14 og 16. De tre netværk er desuden også blevet behandlet med InfoMap-algoritmen for at afdække tematiske undergrupper. Disse netværk kort er for hver gruppe også inkluderet og giver et mere overskueligt billede af gruppernes ageren i løbet af undervisningen. Ved at gøre knuderne i netværkene proportionale med deres Pagerank benyttes der samme kriterium knuders størrelse som i netværk kortene dannet med Infomap. Samtidig vil Pagerank som et netværksteoretisk mål repræsentere knudens/modulets relative vigtighed baseret på knudens/modulets placering i netværket.

Den forrige analyse af observationen fra klassekameraet gav et indtryk af en opdelt undervisning, som kunne tolkes til at passe sammen med de fem planlagte faser fra 6F-strukturen. Formålet med nu at analysere samme undervisning fra et gruppeperspektiv består i særdeleshed i at skabe en mere nøjagtig analyse, som kan støtte eller modsige analysen, der blev beskrevet i forrige afsnit. Analysen anses som mere nøjagtig, da jeg gennem gruppekameraene og skærmoptagelserne nu får et mere præcist indblik i, hvad den enkelte grupper lavede og talte om.

Gruppe 1



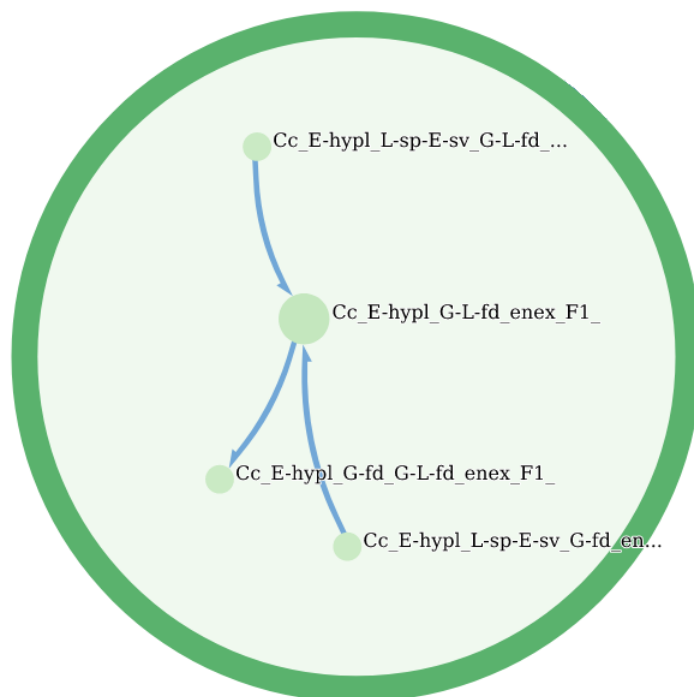
Figur 11: Netværk dannet på baggrund af observationskoder hvert 30. sekund gennem undervisningen for gruppe 1. Netværket består af 47 knuder. Knudernes størrelse er rangeret efter deres Pagerank. Netværket er opdelt i undergrupper og tildelt farver på baggrund af modularitet. Netværkets modularitet er $M=0.677$.



Figur 12: Netværksskørt med 11 moduler som er dannet ved brug af Infomap på netværket fra figur 11. Modulernes størrelse er rangeret efter den summerede Pagerank af de underliggende netværks knuder i hvert modul.

Af figur 11 kan man se nogle grupperinger af knuder, som også er markeret af farvekodningen på baggrund af modularitet. Øverst er knuden `Cc_E-udopg_G-fd_enbe_enex_F1` centralt placeret i den røde undergruppe. Ved at konferere med undervisningsplanen kan man identificere den røde undergruppe som opgaven, hvor eleverne diskuterer energiformer samt konvertering og transport af energi i kernekraftværket ud fra figur 1. Denne identificering sker på baggrund af observationskoden, hvor undervisningen var computercentreret (Cc), og gruppen arbejdede med en opgave (E-udopg), mens de havde en faglig dialog (G-fd). Desuden bearbejdes både eksempler og beskrivelse af energi i kernetoffet samtidig med det første faglige mål omkring modeller (enbe_enex_F). Samtidig har den centralt placerede røde knude også en tydelig kant, der fører nedad til en anden knude. Denne knude har en næsten identisk kode, men adskiller sig ved også at indeholde `ato`. Denne kode dækker over kernetoffet vedrørende atomers opbygning. Selvom der i undervisningen ikke er lagt op til at tale om kernefysik, bevægede diskussionen omkring energiformer sig altså alligevel i retning af atomer. Faktisk kan man ved at fortolke koderne i de to øverste røde knuder i netværket se, at diskussionen omkring atomer også involverede spørgsmål til læreren og en lærer/elev faglig dialog, der bl.a. omhandlede atomer.

I figur 12 ses det netværksskort, som er resultatet af at benytte Infomap-algoritmen på netværket i figur 11. Algoritmen har detekteret 11 moduler, og på baggrund af en analyse af de underliggende knuder og netværk i hver af de 11 moduler har jeg givet hvert modul en titel. Et eksempel på denne procedure er fx modulet med titlen *Lærerdialog om simulator*. Zoomer man ind i netværket gennem Infomap, kan man nemlig se det underliggende netværk, som her er præsenteret som figur 13.



Figur 13: Indre netværk i modulet *Lærerdialog om simulator* fra netværket i figur 12.

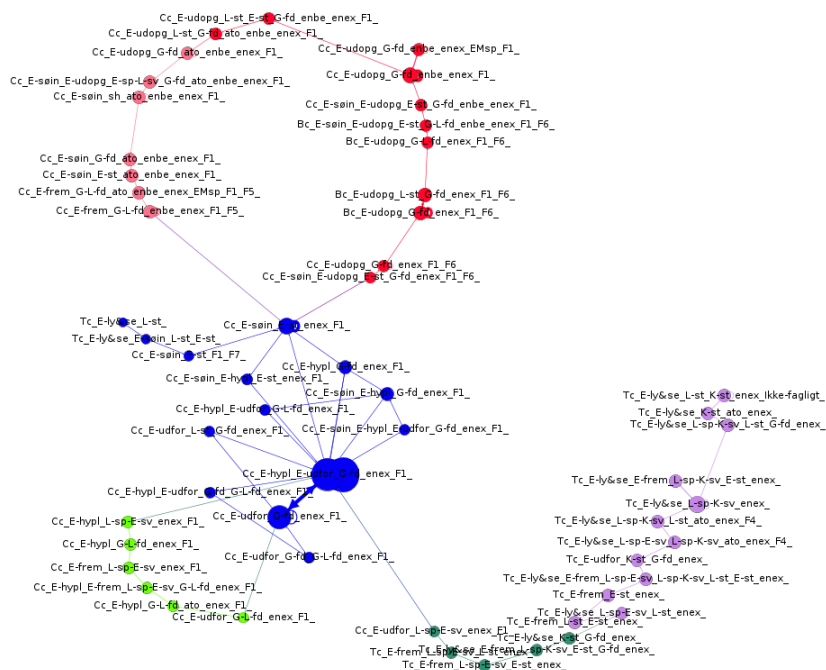
De fire knuder, der indgår i det underliggende netværket inde i modulet, har ganske ens koder. Hvad der adskiller dem fra hinanden er forskellige varianter af lærerinteraktioner såsom koderne L-st, G-L-fd og L-sp-E-sv. Da alle de fire koder begynder med Cc_E-udfor, og modulet er tæt forbundet med *Interaktion med simulatoren*, tolkes dette modul derfor som en *Lærerdialog om simulator*. Ønsker man at se hvilke knuder, der er blevet samlet under de respektive moduler, henvises der til bilag E.

Gennem figur 12 kan man få et overskueligt overblik over gruppe 1's ageren i løbet af undervisningsscenarioet. Infomap-algoritmen detekterer bl.a., at læreren har været forbi gruppen og diskutere deres beregning fra den første opgave. Og som tidligere nævnt indtrådte jeg selv kortvarigt i undervisningen, hvilket er opfanget i modulet *Godkendelse af opg.2*. Hvad der naturligvis ikke er så hensigtsmæssigt, er modulet *Afventer godkendelse af opg. 2*. Gruppe 1 var i løbet af undervisningen den sidste gruppe, som jeg besøgte ifm. en verificering af deres opgave, og det har givet anledning til, at de måtte sidde og vente. Det vil derfor være ønskværdigt at ændre i undervisningsdesignet, sådan at dette modul ikke optræder i fremtidige gennemførsler af undervisningen. Efter 2. besøg ved modulet *Læse opg.* bevæger gruppe 1 sig imod den anden halvdel af netværkskortet, som består af fire moduler. Her er *Interaktion med simulator* den største og mest centrale, hvilket passer med forventningen ift. planlægningen af undervisningsscenarioet. Der er desuden en stærkt dobbeltrelation til *Lærerdialog om simulator*, som kan tolkes som, at gruppe 1 får vejledning af læreren. Gruppe 1 adskiller sig desuden fra de to øvrige, der gennemgås senere, ved at have et særskilt modul

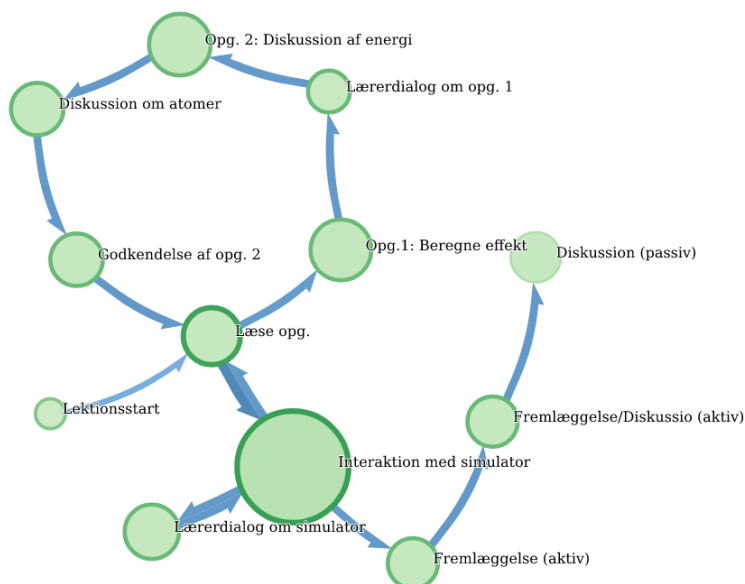
med titlen *Søger info og danner hypoteser*. Dette modul er især karakteriseret ved, at knuder i det underliggende netværk ikke indeholder koden E-udfor på trods af, at det indgår i en tæt relation med *Interaktion med simulator*. Det tolkes derfor som, at gruppe 1 undervejs i interaktionen med simulatoren tager sig tid til at diskutere og reflektere over, hvilke valg de ønsker at foretage. Da tilgangen til simulationsspillet er tiltænkt som 'trial and error', er det interessant at bemærke, at gruppen faktisk prioriterer at diskutere, hvad de laver frem for blot at prøve sig frem.

Det sidste modul, som gruppe 1 er karakteriseret ved, er *Fremlæggelse og diskussion*. Det er en smule overraskende, at disse to dele, som egentlig er tiltænkt at være forskellige faser, er smeltet sammen for gruppe 1. Ved at analysere knuderne i det underliggende netværk, kan det ses, at koderne heri overvejende indeholder K-St frem for E-St og L-sp-K-sv frem for L-sp-E-sv. Det lader derfor til, at gruppe 1 under fremlæggelse og diskussion har haft ordet meget lidt, da det især er klassekammerater, som siger noget. På grund af gruppe 1's passivitet i diskussionen og fremlæggelsen, samles disse dele derfor under samme modul af Infomap-algoritmen. Da undervisningstesten er udført blandt kun tre grupper, anses dette som en advarsel om, at fremlæggelses- og diskussionsdelen skal struktureres bedre, sådan at flere grupper kommer til orde.

Gruppe 2



Figur 14: Netværk dannet på baggrund af observationskoder hvert 30. sekund gennem undervisningen for gruppe 2. Netværket består af 55 knuder. Knudernes størrelse er rangeret efter deres Pagerank. Netværket er opdelt i undergrupper og tildelt farver på baggrund af modularitet. Netværkets modularitet er $M=0.672$.



Figur 15: Netværksskørt med 12 moduler som er dannet ved brug af Infomap på netværket fra figur 14. Modulernes størrelse er rangeret efter den summerede Pagerank af de underliggende netværks knuder i hvert modul.

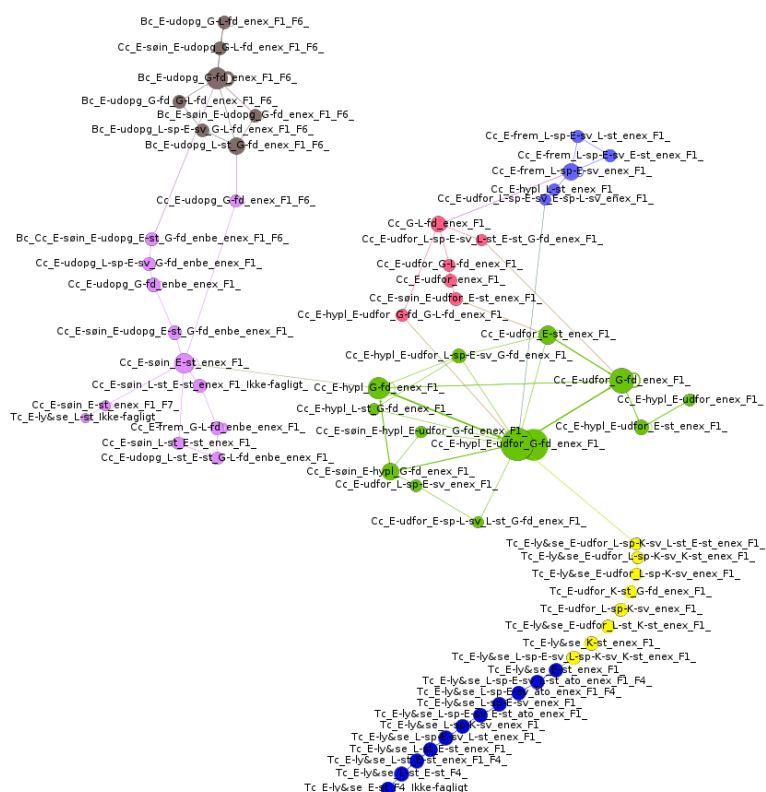
I netværket for gruppe 2, der ses i figur 14, indtager knudepunktet med koden `Cc_E-hypl_E-udfor_G-fd_enex_F1` en stor og central placering i netværket og har også en meget tydelig dobbeltrelation til knuden `Cc_E-udfor_G-fd_enex_F1`. Dvs. at disse to koder både optræder tit og også ofte efter hinanden. På baggrund af koderne og undervisningsplanen kan det genkendes som elevernes arbejde med simuleringen. Tildelingen af knudernes farver på baggrund af en opdeling efter modularitet lader desuden til igen at opfange de overordnede dele af undervisningen. Fx er den store overordnede løkke startende fra `Cc_E-s in_E-st_enex_F1` opdelt i røde og lyserøde knuder. De røde knuder adskiller sig ved undertiden at være bordcentreret undervisning (BC), hvilket kan genkendes som den første opgave med beregningen af den gennemsnitlige effekt. De lyserøde knuder er kendetegnet ved at indeholde koden `enbe`. Dvs. kernestoffet omkring beskrivelse af energi behandles. Dette sker i særdeleshed under den anden opgave, hvor eleverne diskutere energiformer. Bemærk dog at opdelingen ikke er helt perfekt, da nogle af koderne med `enbe` også optræder i den røde undergruppe. Opdelingen efter modulariteten bekræftes af netværksskottet fra figur 15, hvor Infomap er blevet benyttet på netværket. Dog giver Infomap flere opdelinger i moduler end modularitetsberegningen. Forløbet i første halvdel af netværksskottet er sammenligneligt med det forløb, som gruppe 1 havde jf. figur 12. Dog har gruppe 2 et anderledes modul kaldet *Diskussion om atomer*. Undervejs i deres diskussion af energi - eller måske imens de venter på, at jeg fik tid til at godkende deres opgave - drejer deres diskussion sig altså især om kernestoffet omkring atomer. Fra videoobservationen af gruppe 2 ved jeg, at denne del helt specifik omhandler fission og fusion, og hvor de to fænomener optræder. Fra figur 11 så vi, at gruppe 1 også diskuterede atomer, men der udgjorde det altså ikke et selvstændigt modul i netværksskottet. Det er et eksempel på de detaljer, som kan mistes ved udelukkende at analysere netværksskottene. Siden en diskussion om atomer detekteres som et selvstændigt modul for gruppe 2, kan man dog tolke, at denne diskussion har været mere adskilt fra deres opgave 2, hvorimod gruppe 1 kun diskuterede atomer ifm. med opgave 2.

I anden halvdel af netværksskottet er simulationsøvelsen centralt placeret ligesom ved gruppe 1. Dog har gruppe 2 intet selvstændigt modul for hypotesedannelse. Dette kan muligvis skyldes observationsmetoden. Hvis der inden for samme 30 sek. observationsinterval observeres både hypotesedannelse og udførsel af forsøg, markeres både `E-hypl` og `E-udfor` i koden for observationen. Da man i denne øvelse kan "udføre et forsøg" ved et tryk på en knap, sker det derfor ofte, at eleverne indenfor 30 sek. både kan nå at komme med en ny hypotese og afprøve den. Derfor er der ikke belæg for at opfatte manglen på et selvstændigt modul om hypotesedannelse som udtryk for, at gruppe 2 blot prøver sig ukritisk frem. Det er mere sandsynligt, at de blot laver og tester

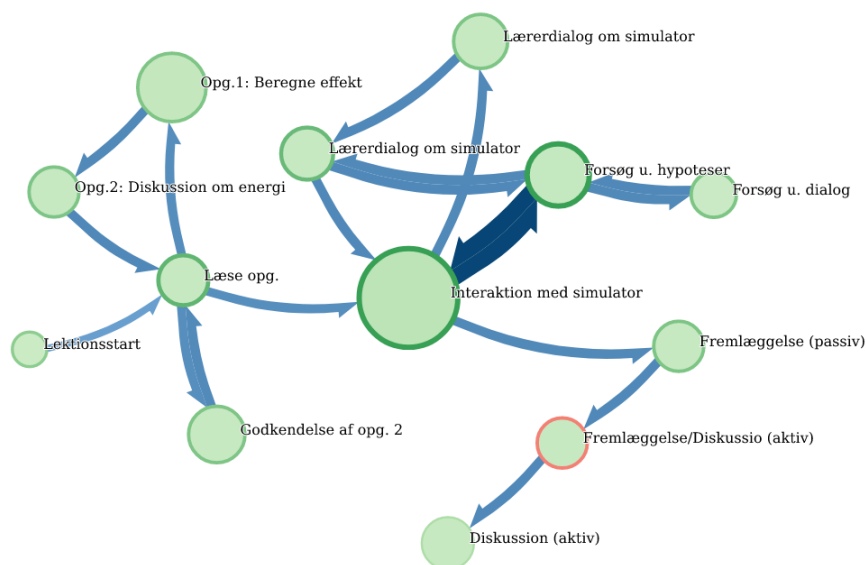
en hypotese inden for 30 sekunder. Om hypoteser genereret på under 30 sekunder er tilpas velovervejede kan naturligvis betvivles. Og her vil det næste niveau af analysen for gruppe 2's interaktion med simulatoren bidrage til at undersøge det.

Modsat gruppe 1 er fremlæggelse og diskussion her opdelt i tre mindre moduler. Modulerne *Fremlæggelse (aktiv)* og *Fremlæggelse/Diskussion (aktiv)* indeholder hver et underliggende netværk af seks knuder. I disse netværk indeholder over halvdelen af knuderne koder, hvori E-st eller L-sp-E-sv optræder. Dvs. at under fremlæggelsesfasen og starten af plenumdiskussionen kommer gruppe 2 ofte til orde og besvarer en stor del af lærerspørgsmålene. Derfor anses gruppe 2 for at være overvejende aktive i disse dele. Omvendt er de overvejende passive i det sidste modul *Diskussion (passiv)*, hvor knuderne i det underliggende netværk markerer, at det er klassekammerater fra de øvrige grupper, der har ordet, mens gruppe 2 lytter.

Gruppe 3



Figur 16: Netværk dannet på baggrund af observationskoder hvert 30. sekund gennem undervisningen for gruppe 3. Netværket består af 61 knuder. Knudernes størrelse er rangeret efter deres Pagerank. Netværket er opdelt i undergrupper og tildelt farver på baggrund af modularitet. Netværkets modularitet er $M=0.693$.



Figur 17: Netværkskort med 13 moduler som er dannet ved brug af Infomap på netværket fra figur 16. Modulernes størrelse er rangeret efter den summerede Pagerank af de underliggende netværks knuder i hvert modul.

I netværket i figur 16 for gruppe 3 ser man ligeledes en central placeret knude, der markerer elevernes arbejde med simulatoren. Den er stærkt forbundet til de to næststørste knuder i den grønne undergruppe. Disse to knuder har næsten identiske koder: `Cc_E-hypl_G-fd_enex_F1` og `Cc_E-udfor_G-fd_enex_F1`. Forskellene mellem disse er, at gruppe 3 sommetider laver hypoteser uden at teste og vice versa. Gruppe 3 udmærker sig fra gruppe 1 og 2 ved at have flere undergrupper/moduler, både når de er opdelt efter modularitet og efter Infomap-algoritmen. I figur 17 kan man i første halvdel af netværkskortet bemærke, at der i modsætning til de andre grupper ikke er nogen lærerdialog omkring opg. 1. Samtidig følger *Godkendelse af opg. 2* ikke umiddelbart efter *Opg.2: Diskussion om energi*. Dette er en konsekvens af, at gruppe 3 i undervisningen misforstod lærerens besked om, at opg. 2 skulle godkendes, inden man gik videre. Og derfor var gruppe 3 gået i gang med at læse opgaveteksten til simulatoren.

Den anden halvdel af netværkskortet i figur 17 ser dog også markant anderledes ud end de tilsvarende netværkskort for gruppe 1 og 2. Modulet *Interaktion med simulator* udgør stadig den største og mest centrale del, men der er flere forbundne moduler under simulationsøvelsen. Det næststørste modul har fået titlen *Forsøg u. hypoteser* og er forbundet med *Forsøg u. dialog*. Valg af titlerne beror på at koderne i de underliggende netværk gradvist mister hhv. koderne `E-hypl` og `G-fd`. Eksempelvis indeholder modulet *Forsøg u. dialog* et netværk med kun en enkelt knude med koden `Cc_E-hypl_E-udfor_E-st_enex_F1` og udtrykker derfor umiddelbart en observation, hvor kun det ene af gruppemedlemmerne laver et statement og forsøger at teste en hypotese. På samme måde indeholder modulet *Forsøg u. hypoteser* et lille netværk af

to knuder med koderne: Cc_E-udfor_G-fd_enex_F1bg Cc_E-udfor_E-st_enex_F1 Den sidstnævnte af disse koder markerer ligeledes, at den faglige dialog sommetider ikke er til stede, men i stedet er udskiftet med et elev-statement. Og det kan derfor tolkes som, at der er et uligevægtigt forhold mellem gruppemedlemmernes input til den faglige dialog. Og dialogen mangler i sin helhed hypotesedannelser.

Når undervisningssituationen skifter til en tavlecentreret fremlæggelse, er den sidste del af figur 17 opdelt i tre moduler; det samme som vi så for gruppe 2. Her starter gruppe 3 med at være passive under en fremlæggelse. Det passer godt med de øvrige observationer, da gruppe 2 starter med at være aktive i fremlæggelsen, mens gruppe 1 og 3 lytter. Titlerne på de to moduler *Fremlæggelse (passiv)* og *Fremlæggelse/Diskussion (aktiv)* er tildelt på baggrund af de underliggende netværk. Her adskiller de sig fra hinanden ved, at det enten er eleverne fra gruppe 3, som svarer på lærerspørgsmål og laver statements (aktiv), eller om det er klassekammerater, der er verbale aktører, mens gruppe 3 primært lytter (passiv). I modulet *Fremlæggelse/diskussion (aktiv)* får gruppe 3 altså mulighed for at deltage aktivt i samtalen gennem svar på lærerspørgsmål og statements. Og de fortsætter med at være den umiddelbart eneste aktive gruppe i det seneste modul *Diskussion (aktiv)*.

6.2.1 Sammenligning af analyser fra gruppekameraene og klassekameraet

Hvis man sammenligner de tre netværk kort i figur 12, 15 og 17, er der overordnet set en meget ens struktur frem til elevinteraktionen med simulatoren. Kun gruppe 3 adskiller sig, da de bl.a. misforstod en del af instruksen fra læreren. Men de samme overordnede observationskoder kunne alligevel findes. Der optræder dog nogle mere væsentlige forskelligheder når man sammenligner netværk kortene omkring modulet *Interaktion med simulator*. Her kunne man se, at gruppe 1 havde et unikt modul omkring dannelse af hypoteser. Gruppe 2 derimod havde kun et relativt lille modul *Lærerdialog om simulator*, som adskilte sig fra deres arbejde med simulatoren. Og gruppe 3 havde adskillige ekstra moduler tilknyttet *Interaktion med simulator*. Baseret på disse sammenligninger kunne det tolkes som, at gruppe 2 har arbejdet ret selvstændigt og ensformigt i forsk-fasen ift. gruppe 3. Det har gruppe 1 sådan set også, men der har været en væsentligt højere del af hypotesedannelser og diskussion uden udførelse af forsøg, end det blev observeret ved gruppe 2. Og gruppe 3 udmærker sig desuden ved at have hele to moduler, der er klassificeret som lærerdialog. Og der detekteres moduler hvori hypoteser og faglig dialog ikke var til stede. Umiddelbart tolkes det altså som om, at særligt gruppe 3 har haft svært ved at få opgaven med simuleringen til at give mening. Forsøg uden en hypotese må generelt tolkes som en fremgangsmåde, som ikke er ønskværdig. Omvendt er det måske netop, hvad en åben opgave med en 'trial and

error'-tilgang kan resultere i; det kunne det i hvert lignende ud fra netværkskortet over gruppe 3.

Ift. netværket for klasseobservationen var forskfasen kun opdelt i to knuder. Og det var det i særdeleshed på baggrund af, hvad det faktisk er muligt at observere fra hjørnet af undervisningslokalet. Det er derfor ikke overraskende, at man i samtlige af gruppeobservationers netværk (figur 11, 14 og 16) kan se, at forsk-fasen består af flere knuder med mere 'spindelsvæv'-struktur. Altså én eller to centralt placeret knuder med flere forbundne knuder udenom.

Hvis et undersøgelsesfokus omhandler hvorvidt eleverne danner hypoteser i en åben undersøgelsesbaseret opgave, viser resultaterne, at en overordnet klasseobservation kan have svært ved at besvare det. Det hænger sammen med, at man ikke med rimelig nøjagtighed, kan høre hvad der siges i alle grupper. Men man kan undersøge det fra et gruppeperspektiv. Baseret på gruppernes netværkskort vil man så se, at gruppe 1 indimellem danner hypoteser adskilt fra deres undersøgelse af simulatoren, gruppe 2 gør det i forbindelse med deres undersøgelse af simulatoren og gruppe 3 indimellem har undersøgelser uden hypoteser.

Analyse af observationen fra klassekameraet giver altså et fint overblik over, hvad undervisningstiden er gået med, og hvordan den generelle elevaktivitet og undervisningsramme har været. Men en nærmere undersøgelse af grupperne giver et mere nøjagtigt billede, hvor man fx kunne se, at kernestoffet omkring atomer også blev berørt i diskussioner. Derudover kan den andet niveau af undersøgelsen give anledning til at finde steder til forbedring. Især ved at bestemme hvor en gruppes ageren er afvejet ift. det forventede. Det er således især på baggrund af analysen af gruppe 3, at jeg har fået idéer til stilladsering af forskfasen, mens gruppe 1's passivitet under fremlæggelses- og diskussionsdelen har givet anledning til ændringer af forklarfasen. Disse ændringer af undervisningssceneriet præsenteres senere i kapitel 7.

Opdelingen af alle de fire netværk efter modularitet anses som rimelig, da modulariteterne alle er ganske høje, som det kan ses af tabel 5. Jeg har i denne undersøgelse benyttet modulariteten til at underbygge postulatet om en 6F-struktureret undervisning. Feedback-fasen kom dog ikke til udtryk som en undergruppe i netværket fra klassekameraets optagelse. Det skyldes nok, at observationskoderne for lærerinteraktioner (fx G-L-fd) blev benyttet hver gang læreren indgik i dialog med en gruppe. Der kan dog sommetider i netværkene for de enkelte elevgrupper optræde unikke undergrupper, når der opstår en lærerdialog med gruppen. Disse kan ift. 6F-modellen tolkes som feedback-faser.

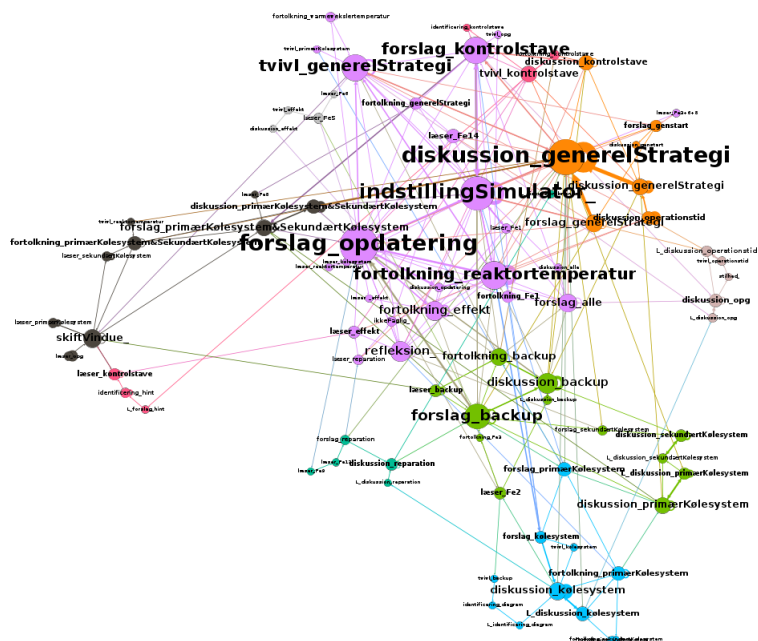
	Knuder	Modularitet	# Undergrupper
Observation fra klassekamera	28	0.648	5
Observation fra gruppekamera 1	47	0.670	5
Observation fra gruppekamera 2	55	0.672	6
Observation fra gruppekamera 3	60	0.693	7

Tabel 5: Antal knuder, undergrupper samt netværkenes modularitet for de netværk, der er præsenteret i figur 10, 11, 14 og 16.

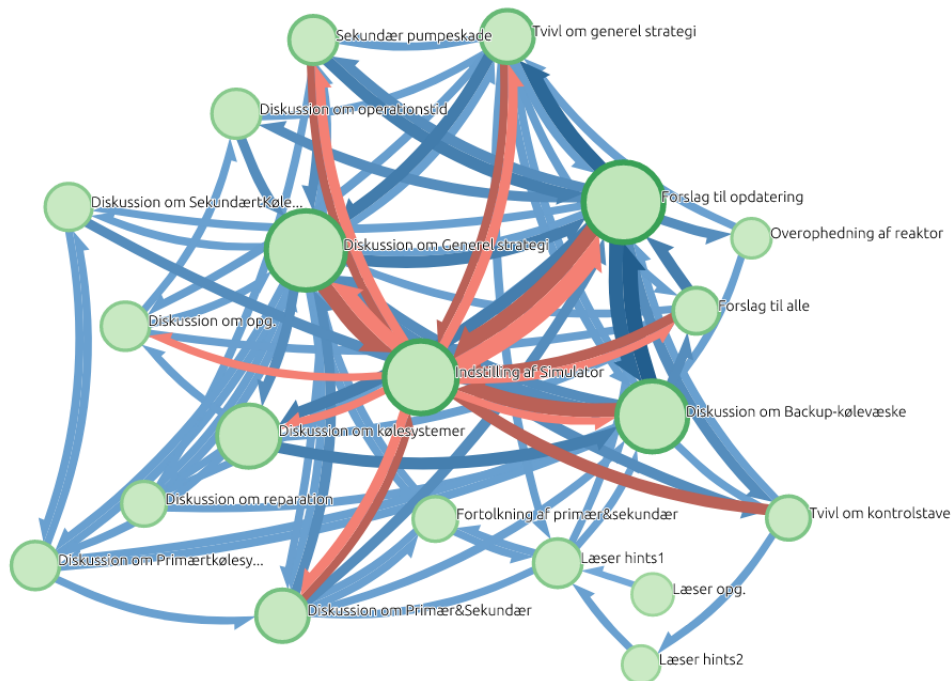
6.3 Observation af elevinteraktion med simulering

De forrige analyser af elevernes ageren i undervisningen viste, at eleverne brugte megen tid på øvelsen omkring simulatoren. For bedre at diagnosticere hvordan eleverne har arbejdet med denne del af undervisningen, er følgende undersøgelse udført. Gruppernes interaktion hver femte sekund under simulationsdelen blev tildelt koder, som forklaret i kapitel 4.2.3. Af disse er der dannet netværk for hver enkelt gruppes ageren under simulatorøvelsen. Disse netværk er alle opdelt i farvergrupperinger efter modularitet og rangeret i knudestørrelser efter Pagerank. Netværkene er større og mere komplicerede end de forrige, og her vil en analyse derfor bero på de netværksskort, som er fremkommet efter brug af Infomap. Hvert modul er tildelt en overskrift, der referer til den knude med højest Pagerank indeni modulet. En komplet oversigt over hvilke knuder, Infomap har inddelt under hvert modul, kan findes i appendiks E sammen med deres respektive Pagerank.

Gruppe 1



Figur 18: Netværk dannet på baggrund af observationskoder hvert 5. sekund under interaktionen med simulatoren for gruppe 1. Størrelsen af knuderne er proportional med knudernes Pagerank og netværket indeholder 84 knuder. Netværket er desuden farveopdelt i 9 undergrupper på baggrund af modularitet. Netværkets samlede modularitet er $M=0.376$.



Figur 19: Netværksskort, der er frembragt vha. Infomap-algoritmen på netværket fra figur 18. Netværksskortet består af 20 moduler og relationerne til modulet *Indstilling af simulator* er fremhævet.

Fra den forrige analyse af gruppe 1's interaktion med simulatoren så vi, at gruppen skilte sig ud ved at have et separat modul omkring hypotesedannelse i figur 12. Man kan af figur 19 genkende denne tendens, da modulet *Indstilling af simulator* er relativt småt ift. samme modul i netværkshortene for gruppe 2 og 3 (figur 21 og 23). Der findes også et unikt modul, *Forslag til opdatering*, der eksisterer i en stærk dobbeltrelation til *Indstilling af simulatoren*, og dette modul beskriver, at gruppen indbyrdes afstemmer, om de er klar til at gå videre med de valgte indstillinger.

Det næststørste modul, der er forbundet til *Indstilling af simulator*, er *Diskussion om Generel strategi*. Og det styrker således billedet af, at gruppe 1 har været meget aktive ift. at diskutere opgaven. Samtidig tolker jeg det som en fordel, at generel strategi er tæt forbundet til deres indstilling af simulatoren. Det gør jeg, da generel strategi især er benyttet som kodning, når emnet har drejet sig om mange sammenhængende dele i kraftværket. Og det tolker jeg derfor som en form for overblik over situationen ift., hvordan eleverne ønskede at få kraftværket til at reagere på deres aktioner. Og det giver en forhåbning om, at interaktionen mellem gruppen og simulatoren faktisk har fungeret.

Der er også et modul kaldet *Forslag til alle*. Det dækker over, at gruppen på én gang foreslår, at ændre alle indstillingerne, hvilket sjældent er en god idé. Det kan selvfølgelig sagtens gøres korrekt, hvis man fx efter en skade ved præcis hvilke indstillinger, der skal op og ned. Men da eleverne aldrig før har prøvet simulatoren, er dette næppe tilfældet. Oftest er det mere et udtryk for, at de prøver at gætte et sæt af indstillinger. Det er naturligvis helt fint i starten, hvor man må prøve sig frem ud fra et udgangspunkt. Men modulet bør ikke blive alt for centralt ift. mere konkrete forslag under hele interaktionen.

Netværkshortets fjerdestørste modul, *Diskussion om Backup-kølevæske*, har også stærke dobbeltrelationer til både *Indstilling af simulator* og *Forslag til opdatering*. Det er altså tilsyneladende en helt integreret del af opdateringen af simuleringen, at man diskuterer brugen af backup-kølevæske. Da det er et kølesystem til nødsituationer, er det selvfølgelig ikke hensigtsmæssigt. På trods af at gruppe 1 undertiden er endt med skader som fx *Overophedning af reaktor*, hvor brugen af et backup-kølesystem er helt på sin plads, bør diskussion om backup-kølesystemet ikke være så central. Når det så alligevel er det, kan det tænkes, at gruppe 1 har været i tvivl om, hvordan backup-kølesystemet bør bruges hensigtsmæssigt. Og det er på trods af, at de har besøgt de indbyggede hjælpefunktioner, som gemmer sig under modulerne *Læser hints1* og *Læser hints2*. Så ud fra dette mønster kunne det lade til, at backup-kølesystemet i særdeleshed skal introduceres bedre, så en gruppe ikke begynder at bruge det uhenigtsmæssigt.

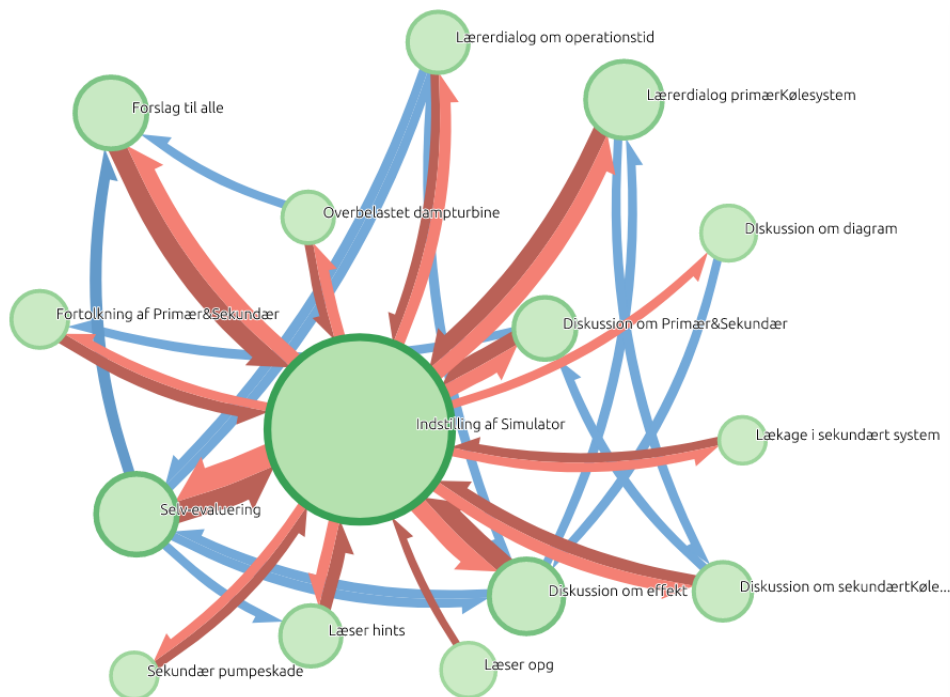
Selvom vi fra forrige undersøgelse havde en antagelse om, at gruppe 1 diskuterede opgaven grundigt på baggrund af det selvstændige modul om hypotesedannelse, vidste vi ikke meget om hvad, der blev diskuteret. I netværksskortet i figur 19 er centrale emner for simulatorøvelsen koblet på. Her ses emner som fx de forskellige kølesystemers indstillinger. I figur 19 findes dog intet modul med titlen *Diskussion om kontrolstave*. Det forekommer besynderligt, da de andre kontrolparametre i simuleringen har et diskussionsmodul. Grunden til dette er, at knuden med koden `diskussion_kontrolstave` eksisterer i modulet *Tvivel om kontrolstave* med en lavere Pagerank end knuden `tvivl_kontrolstave`. Baseret på denne observation fra figur 19 tolker jeg derfor, at gruppe 1 i en stor del af øvelsen har været i tvivl om, hvordan kontrolstavene virkede, og hvad de gjorde. Bemærk dog at det ikke siger noget om, hvorvidt gruppen lærte det undervejs. Har de fx været i tvivl om kontrolstavene i det meste af øvelsen, vil det naturligvis udgøre en stor del af observationen. Men hvis de ender med at forstå kontrolstavenes funktion, er det jo det vigtigste. Og det kan denne undersøgelse ikke svare på. Den kan kun konstatere, at det lader til, at gruppe 1 har været meget i tvivl om brugen af kontrolstave. Det kan derfor være noget, som jeg bør være opmærksom på, ifm. design af simulatoren til undervisningsbrug.

Gruppe 2 havde den simpleste interaktion med simulatoren i den forrige undersøgelse, hvor der kun var en dobbeltrelation til *Lærerdialog om simulator* i figur 15. I denne undersøgelse fortsætter denne tendens, da netværkskortet i figur 21 er mere simpelt, end hvad vi så før ved gruppe 1. Det skyldes især, at der ligeså mange moduler men knap 20 færre forskellige relationer. Lige som ved gruppe 1 indgår *Diskussion om generel strategi* i en meget tæt dobbeltrelation til *Indstilling af simulatoren*. Det styrker altså den antagelse fra forrige undersøgelse om, at gruppe 2 faktisk har hypoteser og god undersøgelsespraksis indlejret i en tæt forbindelse med udførelsen af forsøget. Her tolkes diskussionen om generel strategi nemlig som en repræsentant for hypotesedannelse mens indstilling af simulatoren repræsenterer en udførsel af forsøget ift. koderne fra forrige undersøgelse. Og da samplingintervallet for observation nu er skruet helt ned til 5 sek., adskilles de faktisk i modulerne *Indstilling af simulatoren* og *Diskussion om generel strategi*.

Det tredjestørste modul, som findes i figur 15, er *Diskussion om kontrolstave*. Dette modul indgår samtidig i en stærk trekantsrelation med de to største moduler. Dvs. at modsat gruppe 1 har gruppe 2 haft brugen af kontrolstave helt centralt i deres interaktion med simulatoren. Og ift. at drive et kernekraftværk - simulering eller ej - er det afgørende. Samtidig er to andre moduler, *Diskussion om reaktortemp.* og *Diskussion om effekt*, ligeledes forbundet med dobbeltrelationer til *Indstilling af simulator*. Der begynder dermed at danne sig et billede af en ret fornuftigt praksis ift. drift af kraftværket. Denne tolkning beror på, at gruppe 2 ofte diskuterer både reaktorens temperatur og turbinens effekt, som repræsenterer hhv. en potentiel fare for overophedning og målet med missionen. Deres drift af kraftværket er karakteriseret ved en central generel strategi, og den kontrolparameter, som de fokuserer mest på, er kontrolstavene. Ydermere er der også et modul med titlen *Diskussion om brændsel*. Brændselskvaliteten falder jo løbende under simuleringen, og begrænser dermed den tilgængelige energimængde. Siden dette modul ligeledes indgår i dobbeltrelation til både *Indstilling af simulatoren* og *Diskussion om generel strategi*, tolker jeg, at gruppe 2 faktisk opdager, at brændselsniveauet har en indvirkning på driften.

Gruppe 2 udmærker sig også ved et lidt specielt modul med titlen *forslag til kontrolstavebackup*. Det er de to kontrolparametre, der har direkte indflydelse på reaktortemperaturen. Og derfor giver modulet faktisk rigtig god mening fx i det tilfælde, at man hurtigt skal køle reaktoren ned, da man så vil skrue op for backupkølevæsken og ned for kontrolstave (indsætte dem i reaktoren) på samme tid.

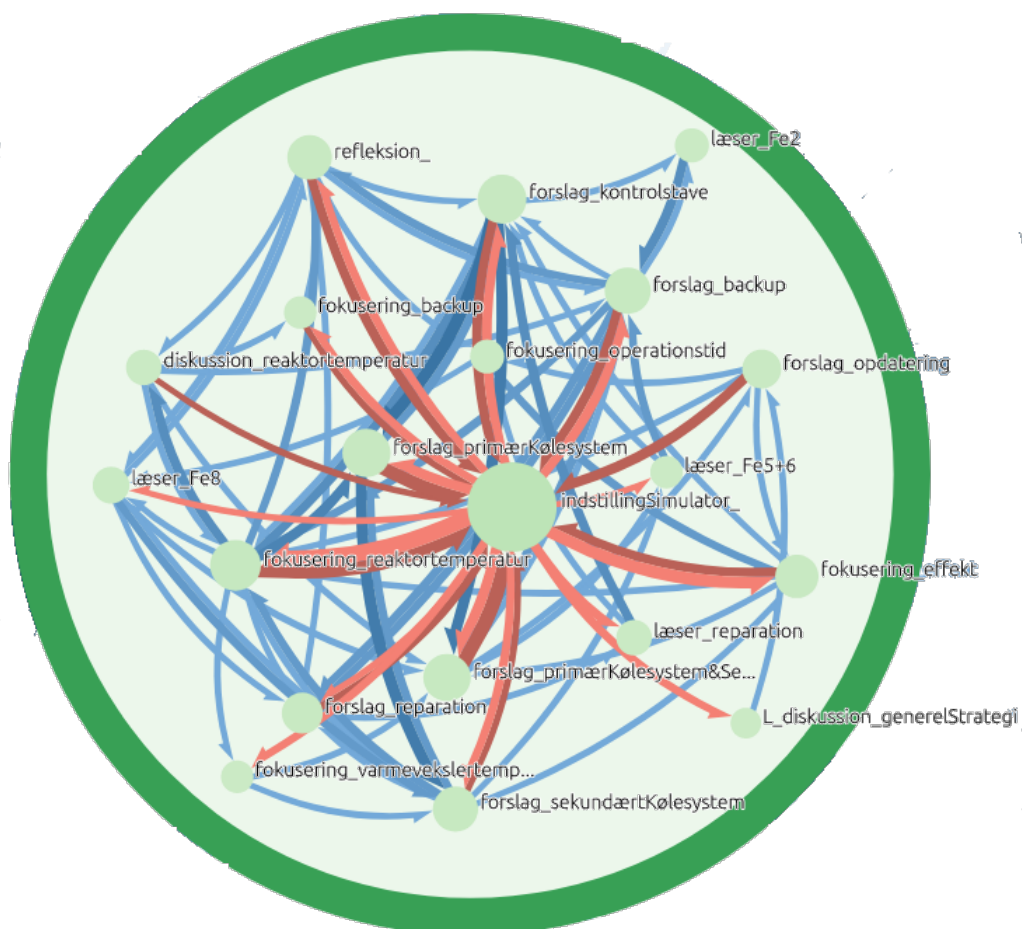
Selvom den forrige undersøgelse havde vist at gruppe 2 arbejdede selvstændigt i forskfasen, har dette niveau af undersøgelsen givet et mere detaljeret billede. Og den elevinteraktion med simulatoren, som jeg tolker af figur 21, er præcis den, som jeg ønskede,



Figur 23: Netværkskort, der er frembragt vha. Infomap-algoritmen på netværket fra figur 22. Netværkskortet består af 15 moduler og relationerne til det største modul *Indstilling af simulator* er fremhævet.

Forsk-fasen fra forrige undersøgelse af gruppe 3, der blev analyseret ud fra netværkskortet i figur 17, gav et indtryk af, at gruppe 3 havde haft problemer i deres interaktion med simulatoren. Håbet er, at dette lag af undersøgelsen kan være med til at afdække nogle af de problemer.

Netværkskortet over gruppe 3's ageren under simuleringsdelen i figur 23 ser meget simpelt ud. Det består af blot 15 moduler og 39 kanter. Til gengæld er modulet *Indstilling af Simulator* meget stort. Det skyldes, at dette modul indeholder et stort underliggende netværk, og modulets Pagerank summeres til 0.667. Eller sagt på en anden måde: hvis den tilfældige vandrer fra Pagerank-beregningen sendes rundt i figur 23, vil vandrerens bopæl være i modulet *Indstilling af Simulator* 66.7% af tiden. Derfor vil jeg undtagelsesvist for gruppe 3 undersøge det underliggende netværk, der er samlet i modulet *Indstilling af Simulator*. Dette netværk kan ses i figur 24.



Figur 24: Det underliggende netværk i modulet *Indstilling af simulator* fra figur 17. Netværket består af 20 knuder med 89 kanter.

Et mønster, der kan bemærkes af netværket i figur 24, er knuderne med forslag til kontrolstave, primær kølesystem og sekundært kølesystem alle er stærkt forbundet både med hinanden, men også med *indstillingSimulator*. Det er ikke så overraskende i sig selv, da det jo er tre ud af fire af de mulige kontrolindstillinger. Men det er interessant, at forslag til backup-kølesystemet ikke indgår lige så stærkt i relation til de andre forslag. Dette tolkes som, at gruppe 3 generelt har lært, at backup-systemet ofte ikke skal bruges i forbindelse med de øvrige kontrolindstillinger, men kun i nødstilfælde. Og da knuder med koderne Fe8 (overbelastet dampturbinen) og Fe5+6 (overophedet reaktor og varmeveksler) optræder i netværket, har gruppe 3 nok også har deres erfaringer med nødstilfælde at lære fra.

Selvom kontrolindstillingerne: kontrolstave samt primær, sekundær og backup-kølesystem kan findes i tætte relationer til *indstillingSimulator*, er det dog altid i forbindelse med forslag. I begge de øvrige grupper forekom kontrolindstillingerne ofte i kombination med den verbale aktion *diskussion* - i hvert fald med en højere Pagerank, som modulet så blev navngivet efter. Manglen på *diskussion* stemmer overens med, hvad vi

så fra forrige undersøgelse af gruppe 3. Næmlig at den faglige dialog, som en diskussion her vil være en del af, nok ikke har stået særlig stærkt i gruppe 3. Og undertiden har den været helt fraværende. Og med manglen på faglig dialog og diskussion kan øvelsen med simuleringen måske hurtigt forfalde til at forsøge at gætte sig frem til nogle kontrolindstillinger. Det kan så være nogle af de mange forslag, der optræder her i netværket uden en tilhørende diskussion.

Det skal dog bemærkes, at gruppe 3 fornuftigt nok fokuserer meget på hhv. reaktortemperaturen og effekten under deres drift af kraftværkssimulatoren. Det kan ses ved de stærke dobbeltrelationer til knuderne `fokusering_reaktortemperatur` og `fokusering_effekt`. Det var samme mønster, vi så fra gruppe 2. Af det tolkes, at gruppe 3 således har et fint overblik over selve simulatorens design eller interface. Men det kniber med at opdage nogle af de underliggende sammenhænge mellem simulatorens kontrolindstillinger; muligvis pga. manglende dialog.

Fokuserer man nu igen på figur 23, kan man bemærke, at der ikke findes noget modul med titlen *Generel strategi*, som der gjorde i de respektive netværksskort for gruppe 1 og 2. Knuder, der indeholder koden `generelStrategi`, findes i stedet i modulet *Diskussion om effekt*. Men da `generelStrategi` har en lavere Pagerank end knuden med koden `diskussion_effekt`, navngives modulet herefter. Undersøger man nærmere, hvilke moduler *Diskussion om effekt* er forbundet til, er det hovedsageligt moduler karakteriseret ved lærerdialoger. Det gælder de to moduler *Lærerdialog om operationstid* og *Lærerdialog om primært kølesystem*, men faktisk også *Diskussion om diagram*. Heri ligger næmlig et underliggende netværk bestående af 4 knuder, hvoraf de 3 er lærerinteraktioner. Dvs. at ikke alene er den generelle strategi meget fjern for gruppe 3, men den forekommer næsten også kun ifm. lærerens besøg ved gruppen.

6.3.1 Sammenligning af gruppernes interaktion med simuleringen

Efter ovenstående analyse af hvordan de tre grupper har ageret i forbindelse med simuleringen, så man tydeligt ved gruppe 2, at den intenderede brug af simulationsøvelsen kan foregå. Dog er det bestemt ikke givet. Observationen af gruppernes arbejde med simuleringen stoppede, da læreren afbrød denne del og skiftede til en opsamling omkring deres resultater. Denne overgang fandt sted, da gruppe 2 opererede kraftværket sikkert og stabilt med en gennemsnitlig effekt over 1300 kW. Det kan ikke forventes, at en øvelse som denne kan løses lige hurtigt af alle grupper. Muligheden for at en af de øvrige grupper også havde nået målet snart eksisterede altså stadig, da læreren skiftede undervisningsramme. Selvom gruppe 1 og 2 opdagede nogle sammenhænge i arbejdet med simulatoren, tolker jeg af deres respektive netværksskorte, at de i store dele af øvelsen ikke havde tilstrækkelig med forståelse for kontrolstavens funktion. Desuden havde gruppe 1 også en overdrevent brug af backup-kølesystemet, som kan være forbundet med manglende forståelse for dette system.

I netværkene for alle grupper kan man desuden se, at de ofte diskuterer to af kontrolindstillingerne samtidigt - nemlig det primære og sekundære kølesystem. Kun hos gruppe 2 så man en blanding af to andre kontrolindstillinger i samme forslag eller diskussion med kombinationen af backup-kølesystemet og kontrolstavene. Hvad der gør, at netop primært og sekundært kølesystem så ofte optræder samtidig, vides ikke med sikkerhed. På baggrund af gentagende kodninger af videomaterialet vil mit bedste bud være, at eleverne undertiden mener, at der skal flyde lige så meget væske gennem det primære kølesystem, som der skal gennem det sekundære kølesystem. Hvis dette er tilfældet, er det dog ikke nødvendigvis rigtigt, da det jo er to separate systemer. Men det kan alligevel være hensigtsmæssigt at have de to indstillinger sat tæt på hinanden i simulatoren. Dermed sender man omtrent lige meget varme af sted til varmeveksleren med det primære kølesystem, som man tager videre ved brug af det sekundære kølesystem. Og så forhindrer man som udgangspunkt en overophedning af varmeveksleren. De oprindelige netværk (figur 18, 20 og 22) af elevinteraktionen med simulatoren er ikke her blevet analyseret i sig selv. I stedet har analysen taget udgangspunkt i de netværksskorte, som Infomap har kunnet tilbyde. Dog skal det nævnes, at dette kan medføre en ekstra usikkerhed i analysen. Det sker da Infomap opdeler netværket i moduler, men de tre netværk er faktisk ikke særlige modulære. Det kan man se fra de beregnede modulariteter af netværkene i tabel 6. Som nævnt i kapitel 5 anses et netværk for at have en modulær struktur - altså god opdeling i undergrupper - hvis modulariteten er større end 0.3. Og de tre netværk i det sidste lag af analysen ligger tæt på denne grænse. Netværket for gruppe 2 (figur 20) har faktisk en modularitet på 0.285, hvorfra vi må konkludere, at der med rimelighed ikke kan findes nogen god

modulær struktur. Selvom det altså har været muligt at finde yderligere belæg for samme tendenser, som de forrige lag af analysen viste, er det altså ikke sikkert, at analysemetoden i det dybeste niveau kan anses som valid.

Netværk over observation af:	Knuder	Kanter	Modularitet	Undergrupper
Gruppe 1's interaktion med simulator	84	283	0.376	9
Gruppe 2's interaktion med simulator	81	289	0.285	6
Gruppe 3's interaktion med simulator	82	283	0.302	6

Tabel 6: Antal knuder, undergrupper samt netværkenes modularitet for de tre netværk over elevinteraktion med simuleringen. Netværkene kan ses i figur 18, 20 og 22.

6.4 Fokusgruppeinterviews

Det første spørgsmål fokusgruppe 1 blev stillet var: "Hvad har vi lavet?", og det resulterede i følgende beskrivelse af den ene elev.

"Vi blev præsenteret for sådan en historie om Marsbasen, hvor at i det her spil, så finder vi en skjult base på Mars, hvor der er et kraftværk og vi vil gerne producere noget brændstof til vores raketter til at komme hjem og for at vi skal kunne det, så har vi brug for meget mere energi end det vores solceller kan producere, og det her kraftværk kan producere sådan omkring 13000 kilowatt [*rettes til 1300 kW af anden elev*] og så skal vi så i løbet af det her spil finde ud af sådan først skal vi beregne det her, og så sad vi med sådan en simulatoragtig over det her kraftværk og så skulle vi finde ud af sådan hvor meget vi skulle indstille de forskellige ting for at få det mest optimale ud af det, og så kan der komme alle mulige fejl i systemet og det hele bliver overophedet."

Svaret blev derefter opsummeret ganske kort af en anden elev til

"Vi skulle prøve at få et kernekraftværk til at køre."

Det første elevsvar indfanger mere eller mindre hele undervisningsscenariets narrativ. Selvom narrativet i det meste af undervisningen blot er indlejret i opgavetekst og lærerens formuleringer, er det alligevel det første, som eleven benytter til at beskrive, hvad han/hun har lavet. Og det kan derfor ses som en indikation af, at den scenariedidaktisk tilgang faktisk har hjulpet til at skabe en ramme om undervisningen. Samtidig fremgår det helt eksplicit, at eleven anser det her for et spil. Dog skal det nævnes, at eleverne, læreren og forskningsholdet på dette tidspunkt har været sammen i to dage. Ordet 'spil' er derfor blevet brugt meget over de sidste par dage. Derfor føles det muligvis mere naturligt for eleven at benytte termen om den oplevede undervisning. Men selv

hvis det er præmissen, for at eleven vælger at bruge termen 'spil', vil jeg tolke det som, at eleven har købt præmissen om, at det faktisk har følt som et spil. Når eleven laver en sammenligning med nogle solceller, henvises der til en anden spilgang, hvor eleverne har arbejdet med solceller på marsbasen. Læreren benyttede i undervisningen disse solceller i en sammenligning med kernekraftværket for at illustrere, hvor meget mere energi kraftværket kunne producere. Opsummeringen af elev 2 gør det desuden klart, at det var et kernekraftværk, der var fokus på i undervisningen. I svarene lader det altså til, at historien og simulatorspillet gav eleverne en god struktur i undervisningen. Narrativets betydning styrkes endvidere, da eleverne i interviewet bliver stillet spørgsmålet: "Så der var den her historie om at I skal hjem. Havde det indflydelse på jeres oplevelse af undervisningen?", hvortil svaret var

"Ja det synes jeg. Jeg synes, det gav mening, hvorfor man skulle få det her kraftværk til at fungere, for man skulle jo hjem, så man blev nødt til at finde en løsning på det, hvor at det var sjovere at finde en løsning, når man vidste hvorfor man ledte efter den. "

Svaret ovenfor er endnu en indikation af, at scenariedidaktikken havde den ønskede effekt om at give opgaven et meningsfyldt formål. Samtidig viser svaret, at eleven mener, at de har skullet finde en løsning. Og det tyder altså på, at det problemorienterede opgavedesign er blevet modtaget af eleven.

Ved interviewets afslutning blev eleverne desuden spurgt om forslag til ændringer, og om der var noget de særligt godt kunne lide. Her var et elevsvar, som sammenlignede denne undervisningsform med en typisk tavlecentreret undervisningsform.

"Altså jeg synes det var meget fedt, at man kunne sidde og rykke på nogle ting og indstille tingene selv. Og så se hvordan det fungerede og så hvis det ikke fungerede første gang, så kunne man starte forfra og sådan; man kunne hele tiden regulere det og sådan lære af sine fejl. Og på den måde synes jeg også, at jeg fik en bedre og bedre forståelse af, hvad betyder det egentlig at jeg skruer op for den primære kølevæske eller ej og hvad er det tingene gør. Ja, så synes jeg, at jeg fik en mere eller; jeg forstod faktisk, hvad der skete efterhånden, men hvis jeg bare havde set den på tavlen, så tror jeg bare jeg havde tænkt, at det forstår jeg godt, men i virkeligheden så forstod jeg det nok ikke. Så det synes jeg var godt for mig i hvert fald. Sådan det at man kunne sidde og prøve det af selv. "

I ovenstående elevsvar gives der udtryk for, at man undervejs har lavet fejl, men at de har hjulpet til at give en bedre forståelse. Og disse situationer er blevet faciliteret af den høje elevaktivitet, som stammer fra den interaktive spiloplevelse i undervisningens forskfase. Eleven vurderer selv, at hvis det samme pensum var blevet præsenteret på tavlen, havde han/hun nok accepteret det og troet på, at han/hun havde forstået det.

Selvom det i virkelighed nok ikke var tilfældet. Og netop derfor har eleven faktisk nydt at prøve det af og fejle for derefter at lære af sine fejl og prøve igen. Alt i alt bekræfter dette elevsvar, at den undersøgelsesbaserede naturfagsundervisningsform har været med til at fostre en dybere forståelse samt en motiverende læringsoplevelse. Citatet er givet af en elev fra gruppe 3, som man på baggrund af observationerne ellers kunne frygte var efterladt med frustration ifm. simulatoren. Det lader dog ikke til at være tilfældet.

I observationerne af undervisningen både fra klassekameraet og gruppekameraene har det meget ofte været observeret, at eleverne arbejdede med det første af de faglige mål omkring modeller (F1) samt kernestoffet energi. I begge fokusgruppeinterviews blev grupperne præsenteret for et udprint af både de faglige mål og kernestoffet som angivet i læreplanen (UVM, 2017). De blev så spurgt, om de mente at have arbejdet med nogle af dem. Eleverne blev således bedt om at vurdere deres eget arbejde ift. de faglige mål og kernestoffet. Her svarede de ift. kernestoffet promte

”Energi! Og energiomsætning og sådan noget. Når man går fra potentiel til kinetisk energi og sådan noget med effekten. Vi har ikke snakket så meget nyttevirkning, men vi har snakket rigtig meget energiformer”

Eleverne deler således min opfattelse som både undervisningsdesigner og observatør; der har været et tydeligt arbejde med energi, energiformer og effekt. Eleverne gav herefter i interviewet også svagt udtryk for måske at have berørt kernestoffet omkring atomer, selvom det var mere perifert.

”Vi kom måske en lille smule ind på atomer, men det var ikke sådan noget vi snakkede helt vildt meget om. Det var mere at det bare var et kernekraftværk, og så skulle man lidt have styr på, hvad det gik ud på i grove træk, men det var ikke fordi vi sådan kiggede på, hvordan det virkede sådan helt tæt på.”

Og det var nøjagtigt som tiltænkt. Opgaven havde fokus på det samlede kraftværksdesign samt transport og konvertering af energi. For at forstå hvordan energi omdannes ved kernereaktioner i reaktoren ville man bevæge sig ind i kernefysikken, der ikke er pensum på fysik C. Denne del har dog alligevel interesseret et par af de adspurgte elever, hvilket kom til udtryk i følgende kommentar.

”Men det kunne være fedt nok at få at vide, hvad det egentlig er den gør [reaktoren, red.]. Altså laver den bare energi eller sker der noget inde i den her reaktor? Altså hvad er det der egentlig sker? Og de der pinde der [kontrolstavene], hvad var det egentlig de gjorde?”

Jeg vælger at anse nysgerrigheden i spørgsmålene som et positivt tegn, da eleven giver

udtryk for at ønske mere viden, og denne mulighed bør gribes. Det kan derfor være en mulighed at omdanne forlæng-fasen eller benytte et efterfølgende undervisningsmodul til at undersøge nogle af disse spørgsmål.

Da læreren selv blev spurgt ind til opfyldelse af de faglige mål, var hans/hendes fortolkning af F1, at såfremt man fortolker det faglige mål sådan her:

Kende og kunne anvende enkle modeller, som kvalitativt eller kvantitativt kan forklare forskellige fysiske fænomener eller kan føre til løsninger af problemstillinger, hvor faglige begreber og metoder anvendes.

så vil han/hun mene, at det bestemt er opfyldt i den undervisning, som blev bedrevet. Dette faglige mål favner utrolig bredt, og det er muligvis en af årsagerne til, at den kan findes igennem hele observationen. Her anvender eleverne en model af et atomkraftværk som kvalitativt kan føre til løsningen af deres problemstilling (at komme hjem fra Mars) med anvendelse af faglige begreber og metode.

Den sidste ting, jeg vil fremhæve fra disse interviews, relaterer sig til, hvorvidt elevinteraktionen kan anses som eksperimentelt arbejde. Under observationerne af optagelserne fra gruppekameraene har jeg fx observeret hypotesedannelse og udførsel af forsøg. Dette var etablerede observationsparametre i Marsbasens observationsprotokol, men de var sandsynligvis ikke tiltænkt denne form for undervisning. Hvad der til gengæld bekræfter min opfattelse af elevernes hypotesedannelse, er deres egne udsagn. Fx svarer en elev på spørgsmålet om, hvordan denne undervisning har været anderledes, end hvad de er vant til.

Elev: ”Jeg synes stadig, det var anderledes, fordi man lærte jo hele tiden noget nyt om hvordan, ja, hvordan sådan et atomkraftværk fungerede ved at regulere på de forskellige ting og derfor opstillede man jo hele tiden nye hypoteser om hvad der så ville ske.”

Interviewer: ”Så du siger det var anderledes fordi I ligesom selv arbejdede med hypoteserne?”

Elev: ”Ja, det er jo ikke sådan at man opstiller en hypotese fra starten og skal finde ud af om den er rigtig; ens hypotese ændrer sig hele tiden.”

Som jeg tolker det, behøver hypotese-begrebet altså ikke være et fastankret udgangspunkt. Derimod kan hypotesedannelsen være en dynamisk proces, man må gennemgå løbende i det eksperimentelle arbejde, der kan være fysisk såvel som digitalt. (Zacharia & Olympiou, 2011) fandt i deres studie omkring brugen af virtuelle eksperimenter kontra fysiske eksperimenter en lignende konklusion. Videnskonstruktion og udvikling af kompetencer, som det ønskes at eleverne skal lære fra et eksperiment, er ikke bundet af fysisk interaktion. Det lader i stedet til at være klart afhængigt af manipulation;

altså elevernes mulighed for at foretage ændringer og handle aktivt ifm. eksperimentet. Hvilket er præcis det, som kernekraftsimulatoren her har givet eleverne mulighed for, når eleverne ændrer kontrolindstillinger og undersøger effekten af deres valg.

7 Diskussion

7.1 Diskussion af resultaterne

I opbygningen af undervisningen er der taget udgangspunkt i tre didaktiske teorier: UBNU, scenariedidaktik og spilgende læring. Efter min mening har samspillet mellem undervisningsteoriene været fremragende og let at kombinere. De har alle forskellige grundlag for at øge elevens motivation, hvilket var et af de vigtigste kriterier for undervisningssceneriet. UBNU tilbyder et stort fokus på elevdeltagelse og autonomi. Scenariedidaktikken fokuserer mere på, hvad et narrativs rolle kan have få oplevelsen af undervisningen. Den spillende læring har foruden disse fokuspunkter en klar teori om, at et rammen for et spil med mål, regler og feedbackfunktioner er en glimrende måde at lære på. Og det bør kunne anvendes til læring inden for mange områder. Tilsammen deler de tre teorier mange af de samme synspunkter og overlapper hinanden, men de gør det med forskelligt hovedfokus. Det er efter min bedste overbevisning netop derfor, at det har følt så let at kombinere dem. Samtidig giver hver teori med sit hovedfokus en ny vinkel at anskue undervisningsdesignet fra, hvilket bidrager til et solidt undervisningsdesign. Undervisningen har indbudt eleverne til en aktiv og lærende undervisningssituation. Og heri har eleverne foruden at bearbejde fagfaglige emner som energi udviklet kompetencer lig dem, som omtales som 'Det 21. århundredes kompetencer' (*21st century skills*) af (CFU, 2014). Disse seks kompetencer er

1. Kollaboration
2. IT og læring
3. Videnskonstruktion
4. Problemløsning og innovation
5. Selvevaluering
6. Kompetent kommunikation

Historien i Marsbasen foregår i en nær fremtid. Men allerede nu kan man høre om mainstream-nyheder relateret til fremtidige Mars- og måne-missioner. Når kernekraft og methan/oxygen-drevne raketter udgør et tema i dette undervisningsscenerie, er det netop som løsninger på de energibehov, som fremtidens interplanetare rejser kræver. Denne del af problemløsningen er udviklet af NASA og SpaceX, mens der i undervisningen opstår det mere konkrete problem i at drive et kernekraftværk. Og i arbejdet med simulatoren så vi fra hver gruppes netværk (figur 11, 14 og 16), at naturvidenskabelige kompetencer som udvikling og test af hypoteser udgør en naturlig del

af elevernes problemløsning. At bruge et avanceret læringsspil (*eng: serious games*) i undervisningen lader altså til have lykkedes med at udvikle den faglige kompetence omkring hypotesedannelse, som (Hanghøj, 2019, s.10) nævner som en styrke ved den spillignende læring. Og et fokus på elevernes udvikling og brugen forskningsmetoden er samtidig også én af styrker som påpeges ifm. UBNU (Frisdahl & Dolin, 2014, s.16). Når eleverne møder det komplekse interaktive system, som simulatoren udgør i undervisningen, stiller det krav til, at de for at komme hjem fra Mars må lære at styre systemet. Da det kræver en 'trial and error'-strategi, må eleverne løbende konstruere viden omkring kraftværkets kontrolindstillinger og komponenter. Særligt ved gruppe 2 kom denne videnskonsstruktion til udtryk, da netværket over deres aktioner ifm. simulatoren (figur 20) bar tydeligt præg af, at gruppen havde stort fokus på at styre kontrolstavene. Og de fokuserede meget på, hvordan denne indstilling relaterede sig til reaktorens temperatur samt turbinens effekt. Foruden kortfattede hints er disse sammenhænge ikke præsenteret for eleverne, og må derfor være resultatet af en videnskonsstruktion. At den samme videnskonsstruktion ikke er lige så tydelig ved gruppe 1 og 3, kan være udtryk for, at de behøvede mere tid og/eller mere stilladsering i deres arbejde. Og fremtidige ændringer af undervisningsscenariet bør imødekomme netop dette.

Igennem undervisningsscenariet arbejder eleverne desuden i grupper (her parvis) med fælles ansvar for at udføre opgaverne. Dermed opnår eleverne også en udvikling af deres kollaborationskompetence.

Uafhængigt af titlen på den femte af det 21. århundredes kompetencer er der desuden observeret gentagende former for selvevaluering under elevinteraktionen med simulatoren. Særligt i netværkene for gruppe 2 og 3 (figur 20 og 22) optræder knuden med titlen selv-evaluering tydeligt og forbundet. Og ved gruppe 3 vil man typisk se, at selvevalueringer følger enten brug af backup-kølevæske eller en slutrapport. Altså situationer der bærer præg af, at noget er gået galt eller er på vej til det. Dermed leder simulatorens enkle feedback i form af advarsler, skader og slutrapporten altså til selvevaluering for gruppe 3. Det er denne form for konfrontation med gruppens fejl, der skal lede til en ny og udviklet videnskonsstruktion. Og man kan genkende dette fænomen som en konstruktivistisk læringsteori, der af Dolin fortolkes i en piagetsk variant:

Den lærende vil med sin viden og holdninger tolke de hændelser og synspunkter, som vedkommende udsættes for, og på den anden side vil disse hændelser og synspunkter (måske) modificere den lærendes opfattelse, således at fremtidige tolkninger sker med et andet udgangspunkt. Således kan ny viden opstå ud af denne vekselvirkning.

- (Dolin, 2002, s.86)

Når man derfor kan observere videnskonsstruktion og selvevaluering i netværkene for elevernes arbejde med simulatoren, anses det som udtryk for, at UBNU som konstruktivistisk læringsteori og især feedbacken fra den spillignende læring med succes har bidraget til undervisningsdesignet, der lader eleverne træne og udvikle førnævnte kompetencer.

7.2 Diskussion af undersøgelsesmetoden

I forrige kapitel er netværksanalyse blevet anvendt til at strukturere og analysere observationen af undervisningen i flere lag for at give en grundig afdækning af, hvordan undervisningen er forløbet. Det sidste lag i analysen skulle i særdeleshed afdække, hvordan eleverne har interageret med den opbyggede kraftværkssimulator. Selvom observationskoderne har varieret i to dele af analysen, har metoden dog overvejende været den samme. Jeg har dog min tvivl om, hvorvidt nøjagtigt de samme netværk ville være fremkommet, hvis en anden observatør havde indsamlet data. På den måde løser netværksanalysen altså ikke på magisk vis den udfordring, der unægteligt hænger sammen med en subjektiv observatør. Men den tilbyder derimod en kvantificering af observationerne i form af observationskoder, som fra det punkt i dataindsamlingen forbliver konstante. Ved udarbejdning af en observationsprotokol bør man desuden også meget nøje definere, hvordan observationerne kan detekteres for at sikre reliabilitet og validitet. Særligt hvis metoden eller protokollen skal anvendes af flere observatører. Mine egne selvudviklede observationskoder til brug ved kategorisering af gruppernes aktioner under arbejdet med simuleringen har efter min egen mening mindre veldefinerede brugsanvisninger end Marsbasens observationsprotokol. Det anser jeg som ganske forventeligt, da udviklingen af observationskoderne er udtryk for metodeudvikling; både for mig personligt men også for netværksanalyse af undervisning generelt.

Beregninger af modularitet og Pagerank er samtidig udført af algoritmer, der ikke giver præcist de samme resultater hver gang. Eksempelvis har jeg få gange oplevet, at modularitetsberegningen i Gephi gav anledning til en ekstra undergruppe i netværket for gruppe 1, hvilket svækker reliabiliteten af analysemetoden.

7.3 Forslag til ændringer

Forslag 1 - systematisering af opg.2

Gruppekameraenes optagelser viste, at der opstod ventetider, pga. at jeg skulle rundt og verificere gruppernes svar. Det er naturligvis ikke hensigtsmæssigt, at en lærer skal godkende hver gruppe. Og grunden til at det skete i denne test af undervisnings-scenariet, var et udtryk for, at jeg ikke havde haft tid til at indbygge en form for

verifikationsproces i undervisningen. Det kan fx gøres ved at gøre brug af et allerede udviklet program under Marsbasen kaldet en 'puzzle engine' (Se figur 25). Ved brug af den vil eleverne kunne tage fat i en rubrik på skærmen og trække den hen til en defineret plads. Her kunne man så have rubrikker, der indeholder ord så som *kerneenergi*, *termisk energi* osv. Disse vil da udgøre valgmuligheder, som skal indsættes i forskellige sætninger som: "___ omsættes i reaktoren til ___."

Selvom det ikke bør tage lang tid for eleverne at interagere med opgaven, bør aktiviteten alligevel være i stand til at fostre læring. Lignende resultater er fundet af (Kwan, 2018) ved brugen af korte quizzer i begyndelsen af lektioner, der skal koble studerendes eksisterende viden med den nye viden, de skal opnå i lektionen. Altså en situation der minder meget om målet med 6F-modellens forudsætningsfase, som denne opgave bl.a. repræsenterer.



Figur 25: 'Puzzle engine' som den er brugt i et af Marsbasens øvrige spilsценарier. Der er her syv svarmuligheder og fire steder, hvor svarene skal placeres. Ved at klikke "næste" modtager man typisk et svar på, hvor mange rigtige man havde. Hvis ikke alle svar var rigtige, gøres gruppen opmærksom på antallet af forkerte svar, og kan prøve igen.

Forslag 2 - mere struktureret undersøgelse

I denne test af undervisningen fik grupperne to mål med udforskningen af kraftværks-simulatoren. 1) Find ud af hvordan kraftværket virker og 2) Prøv at opnå en gennemsnitlig effekt på ca. 1300 kW. Delmål 1 forudsætter naturligvis delmål 2. Men måske skal særligt delmål 1 struktureres mere. Denne betragtning kommer især på baggrund af analysen af gruppernes interaktion med simulatoren, hvor der har været tvivl om brugen af især kontrolstave og backupkølesystem. Et forslag til at strukturere undersøgelsen af kraftværkets kontrolindstillinger mere kunne derfor være følgende.

Sammen med træningssimulatoren på den skjulte marsbase findes også en efterladt og slidt manual. Denne manual er ganske kortfattet men beskriver nogle vigtige sammenhænge. Desværre er den mangelfuld, og grupperne kan vælge at udfylde den i stedet for at prøve sig frem. Den gamle manual vil da fungere efter samme 'puzzle engine'-forslag, som blev nævnt i forrige forslag. Og et eksempel på en sætning i manualen kunne da være: "Hvis man skruer op for pumpekraften i det primære kølesystem, så stiger/falder temperaturen i _____. Samtidig vil temperaturen da stige/falde i _____". Her skal man så skulle vælge at indsætte 'reaktoren' og 'varmeveksleren' på de to linjer, mens man skal vælge 'falder' og dernæst 'stige' for at sætningen er korrekt. Når en sætning fra manualen godkendes af programmet, kan den så opdateres i manualen, så den fremstår færdig.

Denne opbygning skal fungere som en vejledning til simulatoren, som eleverne kan vælge at gennemføre. Og netop dette valg anses som en vigtig mulighed at overlade til eleverne for at bibeholde en del af elevernes autonomi og ejerskab over undersøgelsen. Manualen skal ses som et bud på indbygning af en stilladserende struktur. Den vil tilbyde eleverne mere overkommelige delmål i undersøgelsen, som muligvis kan sikre en mere effektiv forståelse for, hvordan simulatoren - og dermed atomkraftværket - virker. Herefter kan de forsøge sig med delmål 2 og drive kraftværket effektivt. Det vil dog betyde, at forskfasen rykker nærmere en *structured inquiry* frem for en *guided inquiry* (Frisdahl & Dolin, 2014, s. 32). Det bør resultere i et fald af elevfrustrationer ift. opgaven og en mere tryk udforskningsramme for elever, der ikke er vant til undersøgelsesbaseret undervisning. Men samtidig må det også forventes, at læringsudbyttet i form af undersøgelseskompetencer, kritisk tænkning og innovation vil falde, når man bevæger sig fra den guidede til den strukturerede undersøgelse. (Zion & Mendelovici, 2012)

Forslag 3 - højere grad af differentiering med feedback

I testen af undervisningen lykkedes det for én af de tre grupper at drive kraftværks-simulatoren med succes. Samme gruppe nævnte som forslag til ændring af spillet, at afslutningen af simuleringen forekom lidt brat. Når man nåede den eftersøgte gennemsnitlige effekt, skete der ligesom ikke noget. Måske netop fordi denne del minder så meget om et spil, er der fra elevernes side også en forventning om en form for belønning, når spillet gennemføres. Omvendt var det jo ikke noget, som de øvrige grupper har mærket noget til. Derfor har jeg valgt at tage forslaget til mig men inkludere det under et generelt forslag om højere grad af differentiering af undervisningen. Én form for differentiering kan være at benytte forslag 2 til udvalgte grupper, der mangler overblik over, hvordan de skal tilgå opgaven. En anden oplagt form for differentiering, når nu undervisningen omhandler et simulationsspil, er at designe flere niveauer eller 'le-

vels', som vil være en mere brugt spilterm (Squire, 2003). I den nuværende kode findes fx enkelte skader, som kan forekomme med en hvis sandsynlighed, når pumperne har en høj indstilling (se box 2.3 på side 13). Disse kan gemmes til et højere level i spillet, og aktiveres ved et endnu lavere niveau af pumpekraft. Skaderne er overraskende og uforudsigelige fejl, hvilket anbefales i brugen af spil til undervisningsbrug (ibid.). Omvendt kunne man tilbyde et lettere level, hvor flere pop-op-bokse tages i brug, og retter gruppens fokus imod uhensigtsmæssig brug. Det kunne fx være et dialogboks, der aktiveres, når både backup-pumpekraft og kontrolstave er indstillet til over 5. At have kontrolstængerne oppe, mens man pumper backup-kølevæske ind i reaktoren, kan sammenlignes med at kontrollere en bil vha. speeder og bremse samtidig. Og dialogboksen kan stille spørgsmål til, hvorfor begge systemer benyttes samtidig. Dermed øges mængden af feedback fra systemet til de grupper, der har brug for mere af det. Og feedback nævnes som essentielle værktøjer til at øge udbyttet af en udforskende lærings- eller spilsituation inden for både UBNU og spillignende læring (Frisdahl & Dolin, 2014, s.26) (Gee, 2013, s.27) (Schank m.fl., 1994, s.334).

Forslag 4 - fang- og forlængfasen

Det fremgik tydeligt fra analysen, at forklar- og forlæng-faserne ikke fungerede optimalt. Fx flød de to faser helt sammen for gruppe 1, der forholdt sig ganske passive og stille under hele fasen. Derfor vil dette forslag fokusere på at oparbejde en mere struktureret forklar-fase og i første omgang slette forlæng-fasen fra undervisningsmodulet. Dermed undlader den intenderede undervisning at komme ind på en perspektivering til atomkraft som energikilde i dette scenarie. Men analyserne af netværkene dannet af observationer fra både klassekameraet og gruppekameraet efterlod i denne test af undervisningen heller intet overbevisende belæg for, at perspektivering til brugen af atomkraft faktisk foregik. Og det er måske for meget at forvente at dække i ét undervisningsscenario.

I stedet foreslås det, at læreren i forklarfasen sætter simuleringen op på storskærm/projektor. Scenariets afslutning vil dermed handle om, at kraftværket rent faktisk skal opereres. Der er altså ikke længere mulighed for at genstarte og prøve igen. I praksis vil læreren blot bruge samme simulatorprogram, men det skal ekspliciteres for eleverne, at man nu ikke længere er i en træningssituation som tidligere i forskfasen. Når nu kraftværket skal opereres over flere måneder, så indfører læreren et vagtskema mellem grupperne fx bare ved et simpelt rotationsprincip mellem grupperne. I hver spildag vil en repræsentant fra den pågældende gruppe komme til tavlen, og give sit bud på ændring til kontrolindstillingerne. Eleven bør samtidig kort forklare, hvad han/hun vil ændre og hvorfor. Valget af kontrolindstillinger vil derefter være låst. Men herefter vil der følge spørgsmål fra de resterende elever og læreren til det valg, som blev foretaget.

Især med udgangspunkt i elevens forklaring, vil man nok ofte kunne spørge, om der var andet man også kunne gøre for at opnå samme resultat. Desuden kan læreren også sende spørgsmål ud i klassen omkring fx de fysikfaglige energitermer, som eleverne benyttede tidligere i timen for at koble dem på forklaringen. Et billede over forklarfasens forløb kan ses i figur 26.



Figur 26: Cyklus over forklar-fasen, hvor kernekraftværkssimulatoren er sat på storskærm. Cyklen dækker én spildag i driften af kernekraftværket, hvor en elev forklarer, hvad der forventes at ske som følge af en ændring af udvalgte kontrolindstillinger. Læreren og resten af klassen kan da spørge ind til det valg, som pågældende elev har lavet, og diskuterer det. Derefter kommer en ny elev til kernekraftværket og cyklen gentages.

Forklarfasen sættes op i dette format for hele tiden at sætte eleverne i samme situation, som de netop har udforsket i spillets forskfase. Det skal altså forblive meget konkret, ift. hvad de lige har arbejdet med. Strukturen i forklarfasen er et forsøg på bedre at understøtte beskrivelsen af selv samme fase, som den gives af (Madsen m.fl., 2020, s.28)

Forklar: I denne fase kobles elevernes erfaringer fra Forsk-fasen med fagets termer og forståelser. Eleverne deler deres observationer, hypoteser og

konklusioner, men vigtigst er at eleverne afprøver deres argumenter og ræsonnementer for deres vurderinger i dialog med læreren og de øvrige elever. Læreren kan selv bringe nye hypoteser, både rigtige og forkerte, på banen og lade eleverne vurdere disse så processen kan føre til den viden læreren ønsker for forløbet. Læreren kan sammen med klassen bekræfte eller afkræfte forskellige hypoteser, argumenter og anvendelser af terminologi i relation til fagets måder at ræsonnere på. Målet med fasen er at samle og konsolidere den viden klassen har på nuværende tidspunkt, så det bliver synligt for alle.

Når en elev skal forklare sit valg, vil han/hun få afprøvet sit ræsonnement over for klassen. Og læreren vil få mulighed for at koble energitermerne tydeligt til kraftværket. Samtidig vil læreren også i denne fase kunne afdække og rette misforståelser blandt nogle elever ved simpelthen at teste forkerte hypoteser.

8 Konklusion

Undersøgelsesbaseret undervisning, spilligende læring samt scenariedidaktik har i casestudiet udgjort et glimrende samspil for opbygningen af et undervisningsscenarie til fysik C i det almene gymnasium (STX). Heri har en simulation af et kernekraftværk været brugt som et digitalt eksperiment, som eleverne skulle udforske. Ved brug af netværksanalyse har det været muligt at karakterisere undervisningsscenariet i sig selv og faserne fra 6F-strukturen kunne med rimelighed detekteres ud fra undergrupper opdelt af modularitet. Analysen viste også, at elevernes interaktion med simulatoren består i hypotesedannelse og udførsel af forsøg. Kombinationen af undersøgelsesbaseret undervisning og et digitalt simulationsspil lader derfor til at kunne understøtte udvikling af disse klassiske naturvidenskabelige kompetencer. Foruden disse kompetencer blev flere af ”Det 21. århundredes kompetencer” (CFU, 2014) ligeledes trænet og udviklet ifm. den problemorienterede undervisning. Udfordringen, som udgør temaet for undervisningens narrativ, er, at realisere en returmission fra Mars til Jorden. Den eksterne didaktiske transposition af ny fysikfaglig viden som fx kernekraft som energikilde ved kolonisering af Mars (NASA, 2020) og produktion af methan/ilt som raketbrændstof til fx SpaceX-raketterne (Hoeser, 2018a, Hoeser, 2018b, Hoeser, 2018c) udgør desuden en del af undervisningsmodulet udvikling.

Tolkningen af netværkene samt fokusgruppeinterview med eleverne og læreren styrker opfattelsen af, at eleverne har oplevet undervisningen som meningsfyldt, autonomisk og kompetenceudviklende. Derudover har jeg vurderet centrale punkter til forbedringer som fx en udvikling af flere levels som bud på differentieret undervisning og en mere struktureret undervisningsramme til opsamling af elevernes arbejde med simulatoren. Implementering af disse forslag anses som bud på videre arbejde med dette undervisningsscenarie inden det kan indgå som evt. spilgang i Marsbasen.

Litteratur

- Andersen, I. V. K. (2017). *Interdisciplinarity in the Basic Science Course* (Ph.d.-afhandling). Københavns Universitet. https://www.ind.ku.dk/publikationer/studenterserien/interdisciplinarity-in-the-basic-science-course/Ida_Marie_-_Thesis.pdf
- Andersen, N. O., Busch, H., Horst, S. & Troelsen, R. (2003). *Fremtidens naturfaglige uddannelser - Naturfag for alle – vision og oplæg til strategi* (tekn. rap.). Undervisningsministeriet. København.
- Barabási, A.-L. (2016). *Network science*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Bastian, M., Heymann, S. & JacomyMathieu. (2009). Gephi: An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks, I *Proceedings of the Third International ICWSM Conference*. <https://www.aaai.org/ocs/index.php/ICWSM/09/paper/view/154/1009>
- Berggren, S. (1980). Nuclear Power Plant Simulation. *Creative Computing Magazine, vol 6, no. 12*, 128–138. <https://archive.org/details/creativecomputing-1980-12/page/n131/mode/2up>
- Bodin, M. (2012). Mapping university students' epistemic framing of computational physics using network analysis. *Physical review special topics. Physics education research, 8*(1), 010115. <https://doi.org/10.1103/physrevstper.8.010115>
- Bohlin, L., Edler, D., Lancichinetti, A. & Rosvall, M. (2014). Community Detection and Visualization of Networks with the Map Equation Framework, I *Measuring Scholarly Impact*. Cham, Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10377-8_1
- Brinson, J. R. (2015). Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. *Computers and education, 87*, 218–237. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.07.003>
- Brunn, J. (2020). Marsbasen Projektbeskrivelse. <https://www.ind.ku.dk/projekter/marsbasen/>
- Bruun, J. & Brewé, E. (2013). Talking and learning physics: Predicting future grades from network measures and Force Concept Inventory pretest scores. *Physical review special topics. Physics education research, 9*(2), 020109. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.9.020109>
- Bruun, J. & Evans, R. (2018). Network Analysis as a Research Methodology in Science Education Research. *Pedagogika, 68*(2). <https://doi.org/10.14712/23362189.2017.1026>

- Bruun, J., Lindahl, M. & Linder, C. (2018). Network analysis and qualitative discourse analysis of a classroom group discussion. *International Journal of Research Method in Education*, 42(3), 317–339. <https://doi.org/10.1080/1743727X.2018.1496414>
- Bundsgaard, J., Fougat, S. S., Hanghøj, T., Hetmar, V. & Misfeldt, M. (2017). *Hvad Er Scenariedidaktik?* Aarhus, Aarhus Universitetsforlag.
- Bundsgaard, J., Misfeldt, M. & Hetmar, V. (2012). Udvikling af literacy i scenariebaserede undervisningsforløb.
- Bybee, R. (2015). *The BSCS 5E Instructional Model*. (R. Bybee, Red.). Arlington, NSTA Press.
- CFU. (2014). Det 21. århundredes kompetencer. Hentet 17. december 2020, fra <http://info.21skills.dk/>
- Clauset, A., Newman, M. E. J. & Moore, C. (2004). Finding community structure in very large networks. *Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics*, 70(6), 066111–066111. <https://doi.org/10.1103/physreve.70.066111>
- Dolin, J. (2002). *Fysikfaget i forandring : læring og undervisning i fysik i gymnasiet med fokus på dialogiske processer, autenticitet og kompetenceudvikling* (Ph.d.-afhandling). RUC. Roskilde, IMFUFA/RUC.
- Dolin, J. (2014). *Evaluering af naturvidenskabelig almendannelse i stx- og hf-uddannelserne : projektnummer 136265* (J. Dolin, Red.). Kbh, Institut for Naturfagenes Didaktik, Københavns Universitet.
- Dolin, J. & Ingerslev, G. H. (2020). 3.1 Undervisning og læring (J. Dolin, G. H. Ingerslev & H. S. Jørgensen, Red.; 4.). I J. Dolin, G. H. Ingerslev & H. S. Jørgensen (Red.), *Gymnasiepædagogik* (4.). Hans Reitzels Forlag.
- FN. (2015). FN's 17 Verdensmål. Hentet 12. november 2020, fra <https://www.verdensmaalene.dk/fakta/verdensmaalene>
- Frisdahl, K. & Dolin, J. (2014). *Kompendium: Inquiry Based Science Education - IBSE : termer, metoder, tankegange og erfaringer* (K. Frisdahl & J. Dolin, Red.). Kbh, Institut for Naturfagenes Didaktik, Københavns Universitet.
- Gee, J. P. (2013). *Good video games + good learning : collected essays on video games, learning and literacy* (J. P. Gee, Red.). New York, Peter Lang.
- Gillies, R. M. (2020). *Inquiry-Based Science Education* (CRC Press, Red.). CRC Press LLC.
- Girard, C., Ecalle, J. & Magnan, A. (2013). Serious games as new educational tools: how effective are they? A meta-analysis of recent studies. *Journal of computer assisted learning*, 29(3), 207–219. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2012.00489.x>

- Hanghøj, T. (2019). Digitale spil i undervisningen. *Læring og medier*, 12(21). <https://doi.org/10.7146/lom.v12i21.112888>
- Hoeser, S. (2018a). Engineering Mars commercial rocket propellant production for the Big Falcon Rocket (part 1). *The Space Review*. <https://www.thespacereview.com/article/3479/1>
- Hoeser, S. (2018b). Engineering Mars commercial rocket propellant production for the Big Falcon Rocket (part 2). *The Space Review*. <https://www.thespacereview.com/article/3484/1>
- Hoeser, S. (2018c). Engineering Mars commercial rocket propellant production for the Big Falcon Rocket (part 3). *The Space Review*. <https://www.thespacereview.com/article/3487/1>
- Klimas, C. (2009). Twine. <https://twinery.org/>
- Krogh, L. B. & Andersen, H. M. (2020). 4.2 Motivation (4.), I *Gymnasiepædagogik* (4.). Hans Reitzels Forlag.
- Kvale, S. (2014). *InterView : introduktion til et håndværk* (S. Brinkmann, Red.; 2. udg., 6). Kbh, Hans Reitzels Forlag.
- Kwan, F. B. (2018). Daily quiz – for engagement ... and learning. *Journal of Instructional Pedagogies*, 21.
- Lazonder, A. & Ehrenhard, S. (2013). Relative effectiveness of physical and virtual manipulatives for conceptual change in science: how falling objects fall. *Journal of computer assisted learning*, 30(2), 110–120. <https://doi.org/10.1111/jcal.12024>
- Lützen, J. (2019). Grafer, I *Diskrete Matematiske Metoder*. <http://web.math.ku.dk/noter/filer/dis2019.pdf>
- Madsen, L. M., Evans, R. & Bruun, J. (2020). Undersøgelsesbaseret undervisning: 6F-modellen – dens tilblivelse og udvikling i Danmark. *MONA (Matematik- Og Naturfagsdidaktik)*, (1), 26–44.
- NASA. (2020). 6 Technologies NASA is Advancing to Send Humans to Mars. Hentet 12. november 2020, fra https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/6_Technologies_NASA_is_Advancing_to_Send_Humans_to_Mars
- Noles, G. (2003). Nuclear Power Plant Simulator. <https://esa21.kennesaw.edu/activities/nukeenergy/nuke.htm>
- Papastergiou, M. (2009). Digital Game-Based Learning in high school Computer Science education: Impact on educational effectiveness and student motivation. *Computers and education*, 52(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.06.004>

- Schank, R. C., Fano, A., Bell, B. & Jona, M. (1994). The Design of Goal-Based Scenarios. *The Journal of the learning sciences*, 3(4), 305–345. https://doi.org/10.1207/s15327809jls0304_2
- Squire, K. (2003). Video Games in Education. *nt. J. Intell. Games Simulation*, 2, 49–62. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.543.5729&rep=rep1&type=pdf>
- Sørensen, N. U., Hutter, C., Katznelson, N. & Juul, T. M. (2014). *Unges motivation og læring* (1.). Hans Reitzels Forlag.
- UVM. (2017). Læreplan Fysik C - STX. <https://www.uvm.dk/-/media/filer/uvm/gym-laereplaner-2017/stx/fysik-c-stx-august-2017.pdf?la=da>
- UVM. (2020). Uddannelsen til almen studentereksamen (stx). <https://www.uvm.dk/gymnasiale-uddannelser/uddannelser/studentereksamen-stx>
- van den Akker, J., Fasoglio, D. & Mulder, H. (2010). A curriculum perspective on plurilingual education. *Netherlands Institute for curriculum development*.
- Warner, C. (2020). Lunar Living: NASA's Artemis Base Camp Concept. Hentet 29. november 2020, fra <https://blogs.nasa.gov/artemis/2020/10/28/lunar-living-nasas-artemis-base-camp-concept/>
- Winsløw, C. (2006). *Didaktiske Elementer - en indføring i matematikkens og naturfagenes didaktik* (1.). Biofolia.
- World Nuclear Association. (2020). Nuclear Power Reactors. Hentet 12. november 2020, fra <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/nuclear-power-reactors.aspx>
- Wrzesien, M. & Alcañiz Raya, M. (2010). Learning in serious virtual worlds: Evaluation of learning effectiveness and appeal to students in the E-Junior project. *Computers and education*, 55(1), 178–187. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.01.003>
- Zacharia, Z. C. & Olympiou, G. (2011). Physical versus virtual manipulative experimentation in physics learning. *Learning and instruction*, 21(3), 317–331. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2010.03.001>
- Zion, M. & Mendelovici, R. (2012). Moving from structured to open inquiry: Challenges and limits. *Science Education International*, 23(4), 383–399.

A Forklaring af variabelnavn til simulering

Variabel	Type	Forklaring
RT	Float	Reaktortemperatur
XT	Float	Varmevekslertemperatur
CT	Float	Køletårnstemperatur
GO	Float	Dampturbine effekt
EV	Int	Backup kølevæskebeholdning
PV	Int	Primær kølevæskebeholdning
SV	Int	Sekundær kølevæskebeholdning
RL	Float	Reaktor levetid
PD	Int	Primær pumpe skadesparameter
SD	Int	Sekundær pumpe skadesparameter
ED	Int	Backup pumpe skadesparameter
RD	Int	Reaktor skadesparameter
XD	Int	Varmeveksler skadesparameter
GD	Int	Dampturbine skadesparameter
PD	Int	Primær pumpe skadesparameter
PB	Boolean	Primær pumpe beskadiget
SB	Boolean	Sekundær pumpe beskadiget
XB	Boolean	Varmeveksler beskadiget
GB	Boolean	Dampturbine beskadiget
EF	Int	Backup pumpekraft
PF	Int	Primær pumpekraft
SF	Int	Sekundær pumpekraft
A	Int	Kontrolstavsindstilling i dag
A1	Int	Kontrolstavsindstilling i går
A2	Int	Kontrolstavsindstilling i forgårs
RH	Float	Reaktorens heat flow
PH	Float	Primære kølesystems heat flow
SH	Float	Sekundære kølesystems heat flow
EH	Float	Backup kølesystemets heat flow
TT	Float	Totale genererede effekt

Tabel 7: Variable, der benyttes og opdateres i simuleringen af kernekraftværket. Hvis en Float-variabel skal vises i spillet, vil denne blive rundet ned til nærmeste heltal med en floor-funktion.

B Observationsprotokol

Observationsprotokol: Marsbasen Auto. Data: _____ Gym: _____ Mission: _____ Modul: _____

	0	0-2 min	2-4 min	4-6 min	6-8 min	8-10 min	10-12 min	12-14 min	14-16 min	16-18 min	18-20 min	20-22 min	22-24 min
Aktivitet Rammer	1	Tavle centreret											
	2	Bord centreret											
	3	Computer centreret											
	4	Forsoegs centreret											
Elev Aktivitet	5	Lytte og se											
	6	Lease soege information											
	7	Udfoere opgave											
	8	Hypoteser planlaegning											
	9	Ufoere forsoeg											
	10	Fremlaegge											
Verbal Interaktion	11	L sp L sv											
	12	L sp E sv											
	13	E sp L sv											
	14	L sp G											
	15	L statement											
	16	E statement											
	17	G faglig dialog											
	18	G L Faglig dialog											
Kemestof	19	Universet											
	20	Solsystemet											
	21	Atom											
	22	Energi beskriv											
	23	Energi exemp											
	24	Boelgeligning											
	25	EM spectrum											
	26	Resten Lyd Lys											
Faglige maal	27	F1 Modeller											
	28	F2 Eksperimenter											
	29	F3 Praesentation eks											
	30	F4 Perspektiver											
	31	F5 Formidling											
	32	F6 Identitet Metode											
	33	F7 Fagligt sammenspil											
	34	Ikke fagligt indhold											

Noter:

C Fokusgruppeinterviewguide

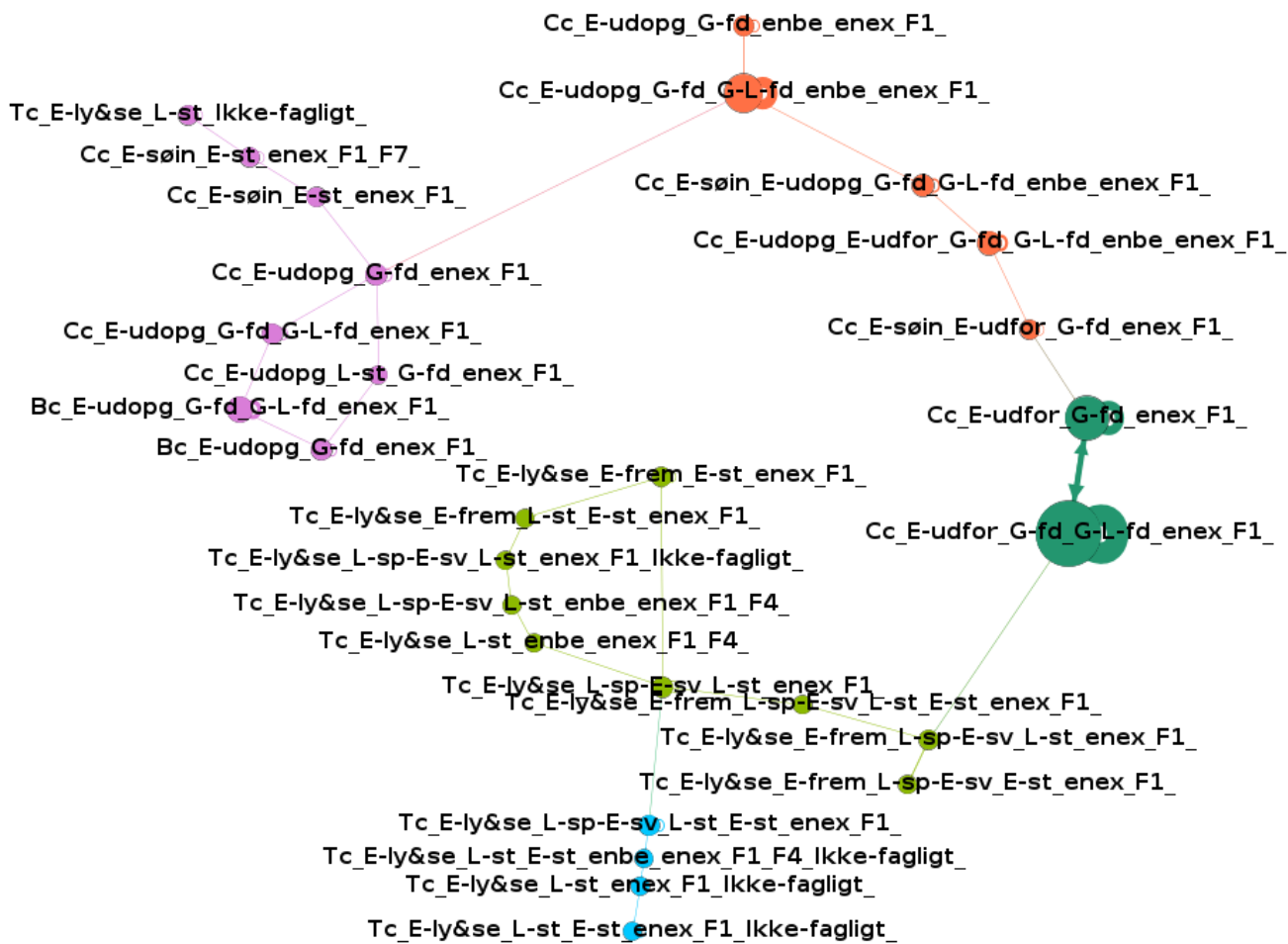
Udbytte af spilgangen hos eleverne

- Beskriv hvad I skulle/har lavet?
(Uddybende spørgsmål: hvad var historien/narrativet og hvad var fysikken bag?)
- Hvilke faglige mål har I arbejdet med?
(Snak ud fra A3-papir med målene på. Uddybende spørgsmål: Hvornår og hvordan arbejdede I med målene?)
- Hvilket kernestof har I arbejdet med?
(Snak ud fra A3-papir med kernestoffet på. (Uddybende spørgsmål: Hvornår og hvordan arbejdede I med kernestoffet?)
- Har I arbejdet med andet?

Undervisningsformen: Et narrativt spil

- Hvordan er denne undervisning anderledes i forhold til undervisning på gymnasiet?
(Uddybende spørgsmål: hvordan er det at lærer igennem en historie/narrativ?)
- Hvad kunne I især godt lide? Hvorfor?
(Uddybende spørgsmål: Overvej både tekniske ting og i forhold til historien/oplevelsen. Er det motiverende? Hvorfor?)
- Hvad kunne ændres?
(Uddybende spørgsmål: Overvej både tekniske ting og i forhold til historien/oplevelsen.)

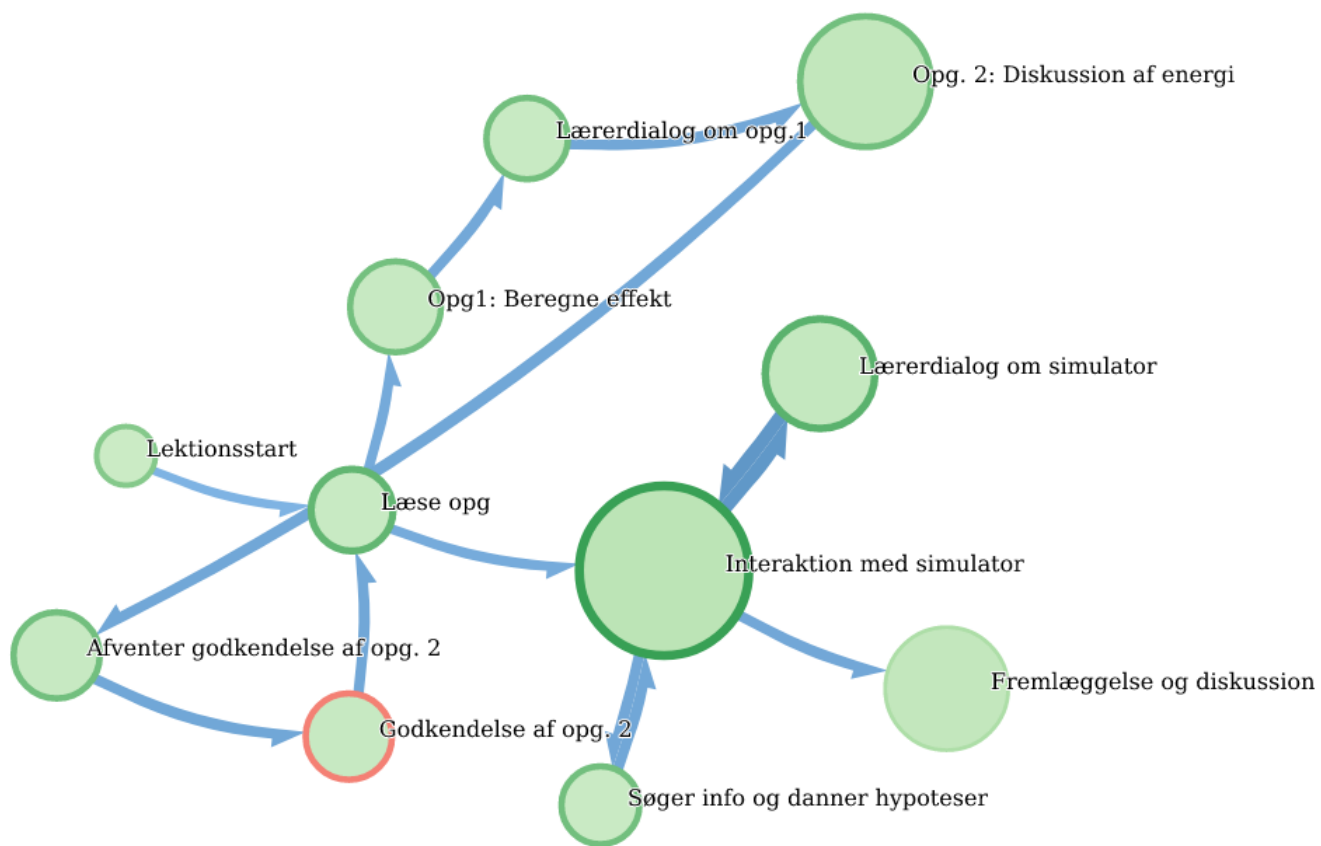
D Netværk i fuld størrelse



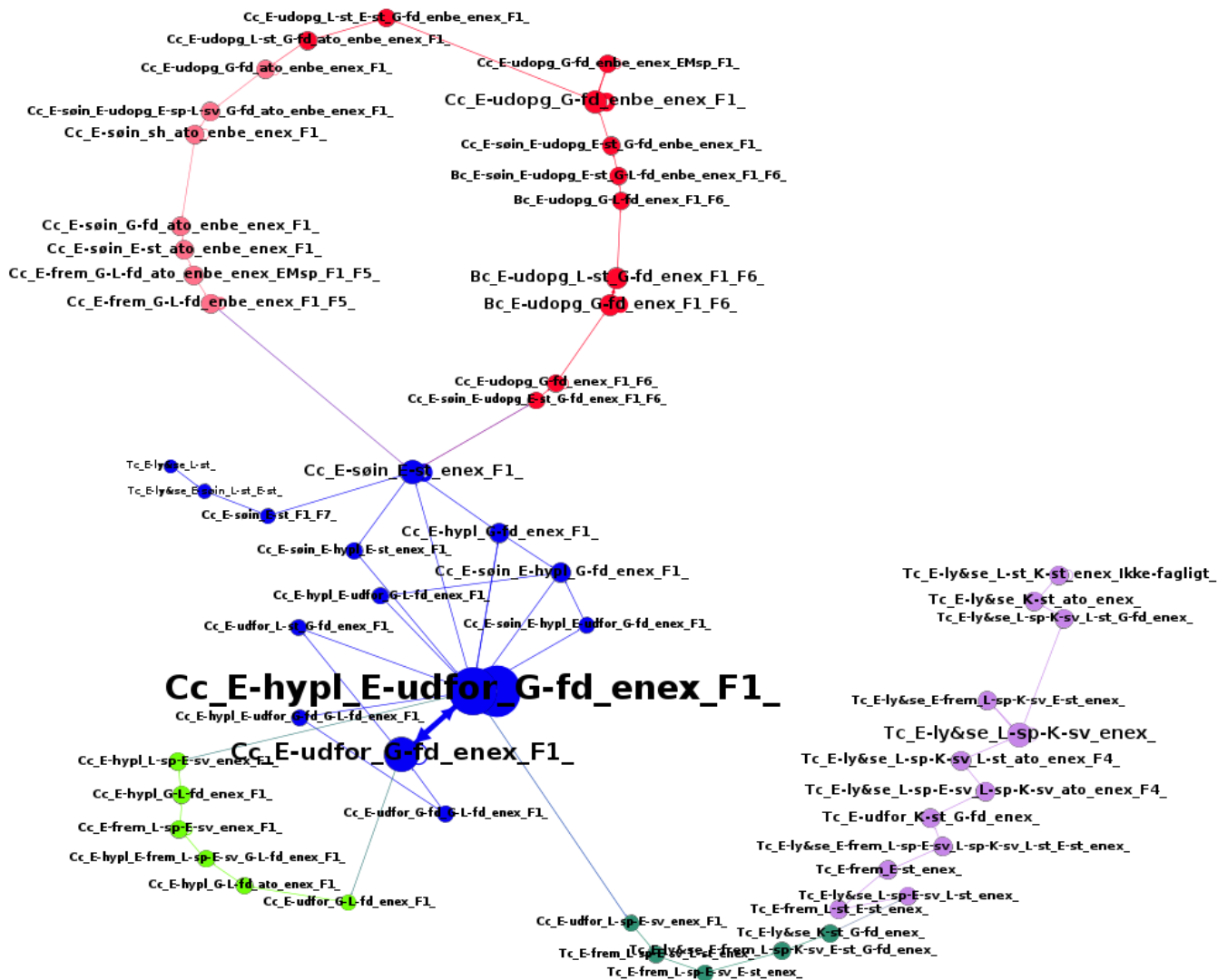
Figur 27: Netværk svarende til figur 10.



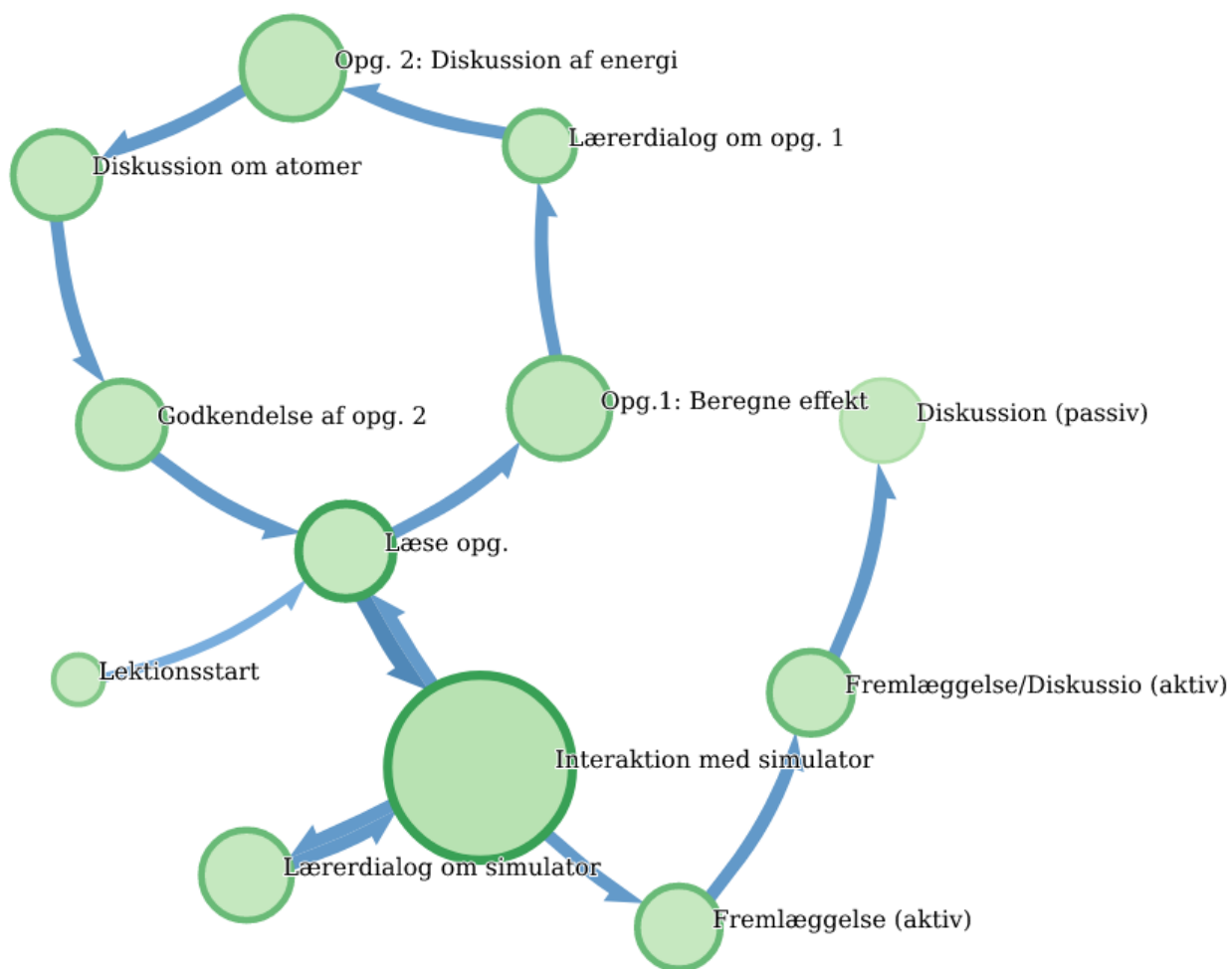
Figur 28: Netværk svarende til figur 11



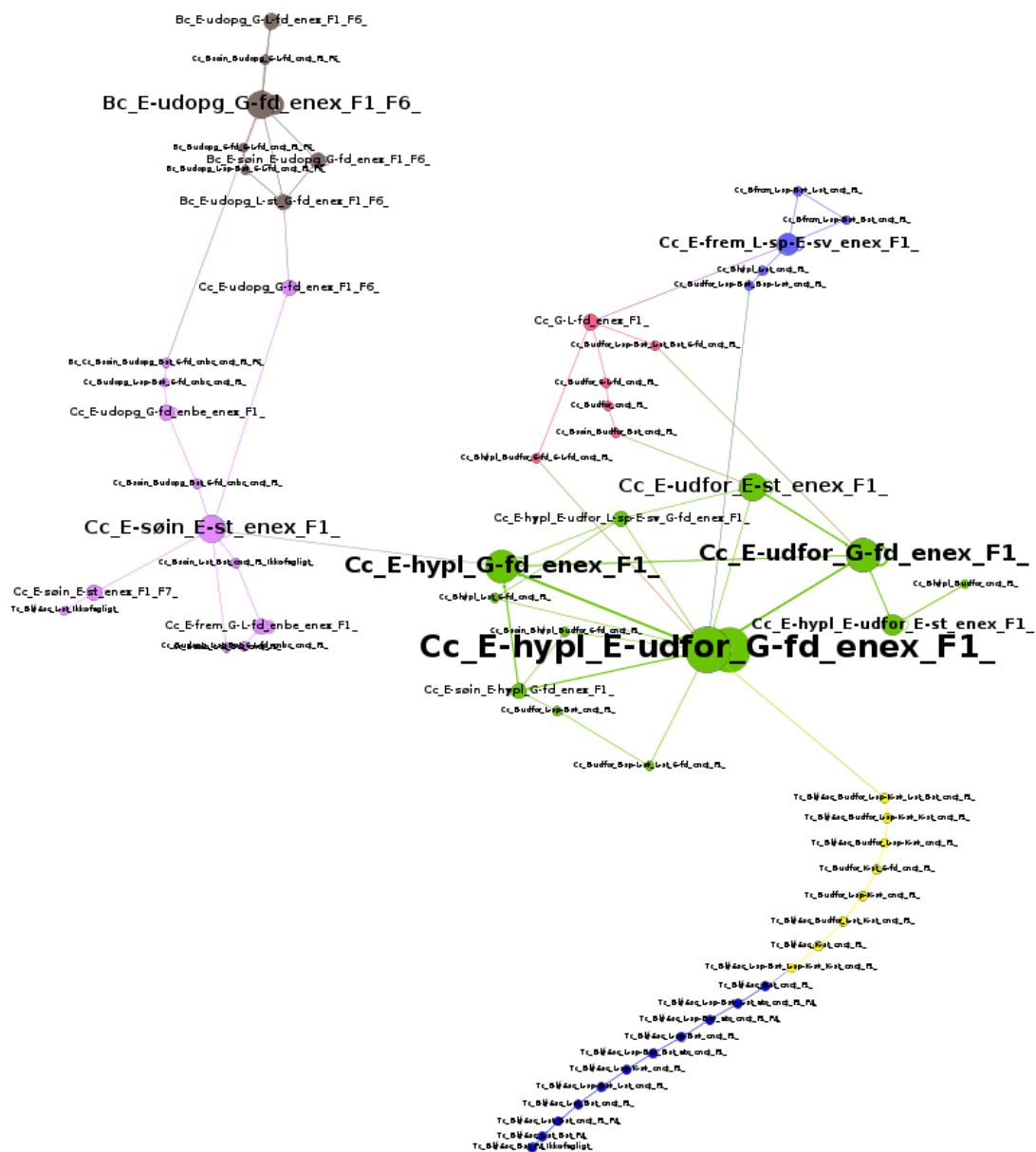
Figur 29: Netværk svarende til figur 12



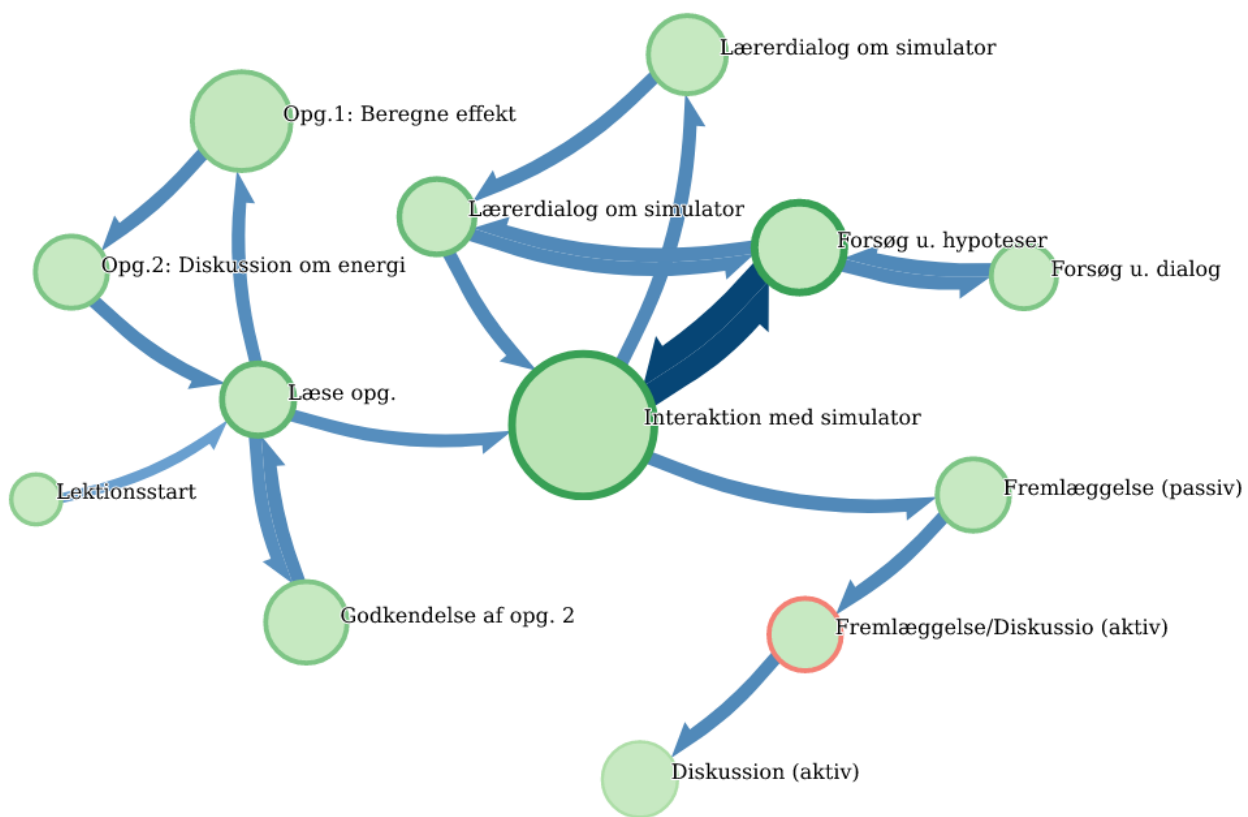
Figur 30: Netværk svarende til figur 14



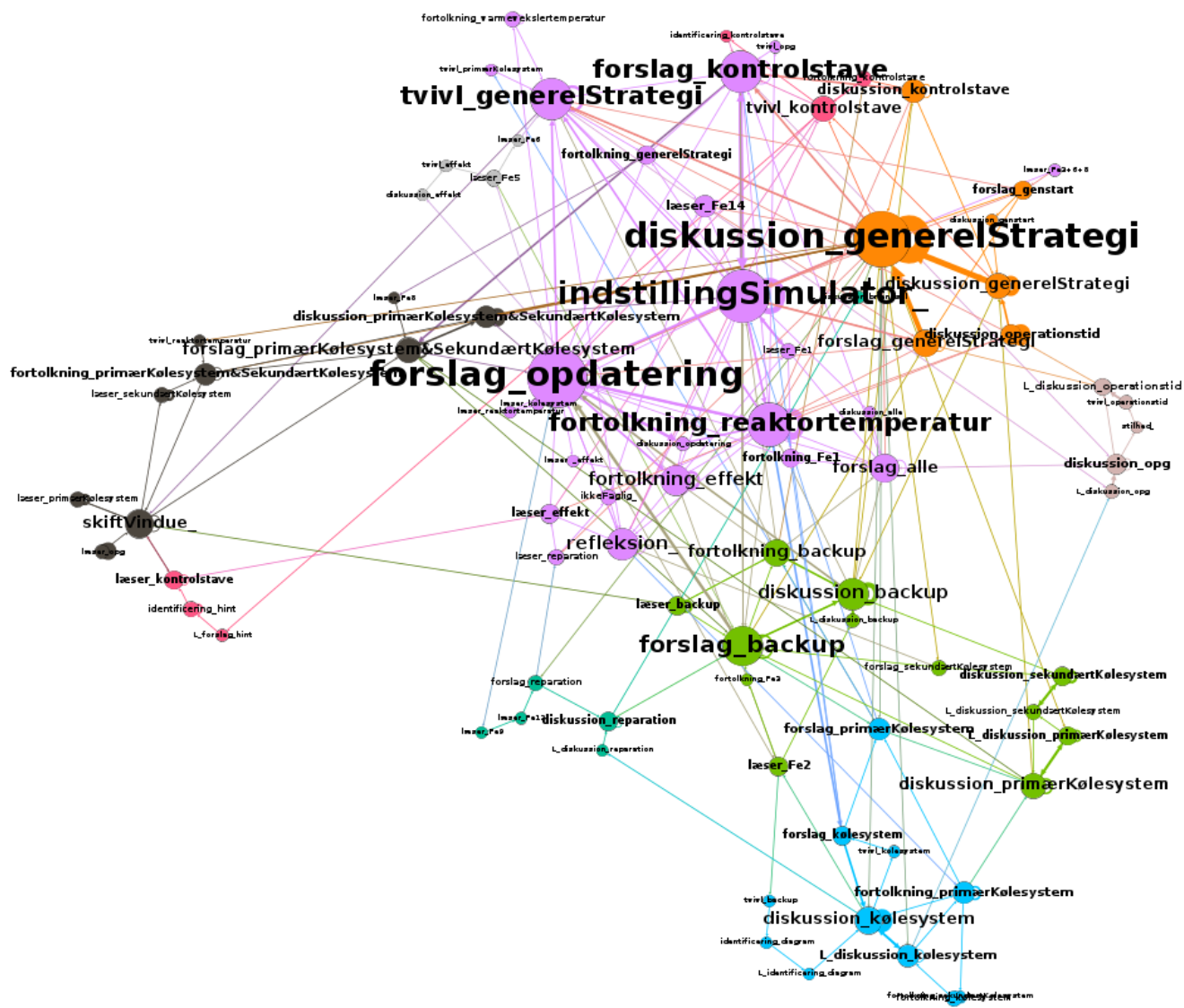
Figur 31: Netværk svarende til figur 15



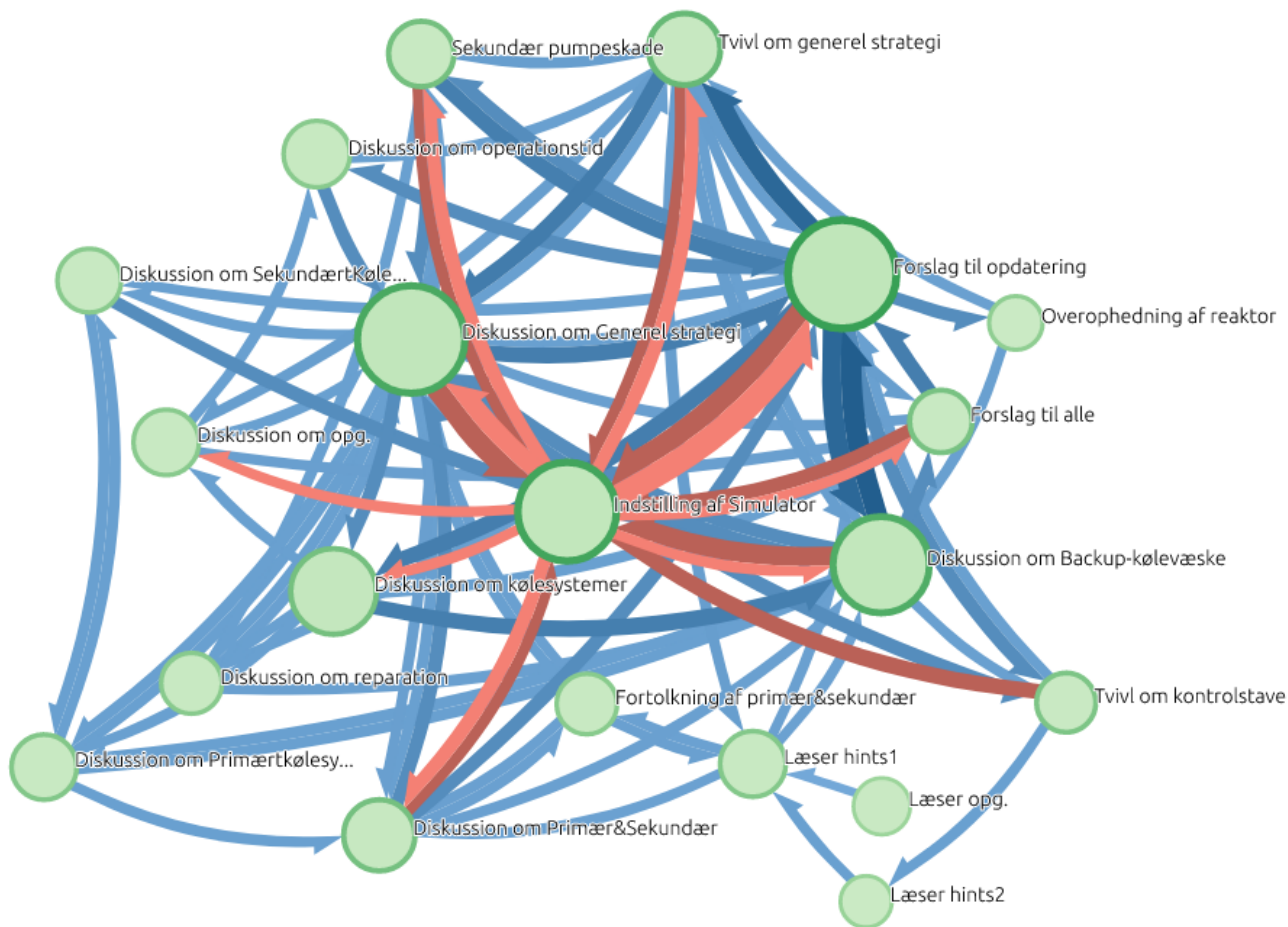
Figur 32: Netværk svarende til figur 16



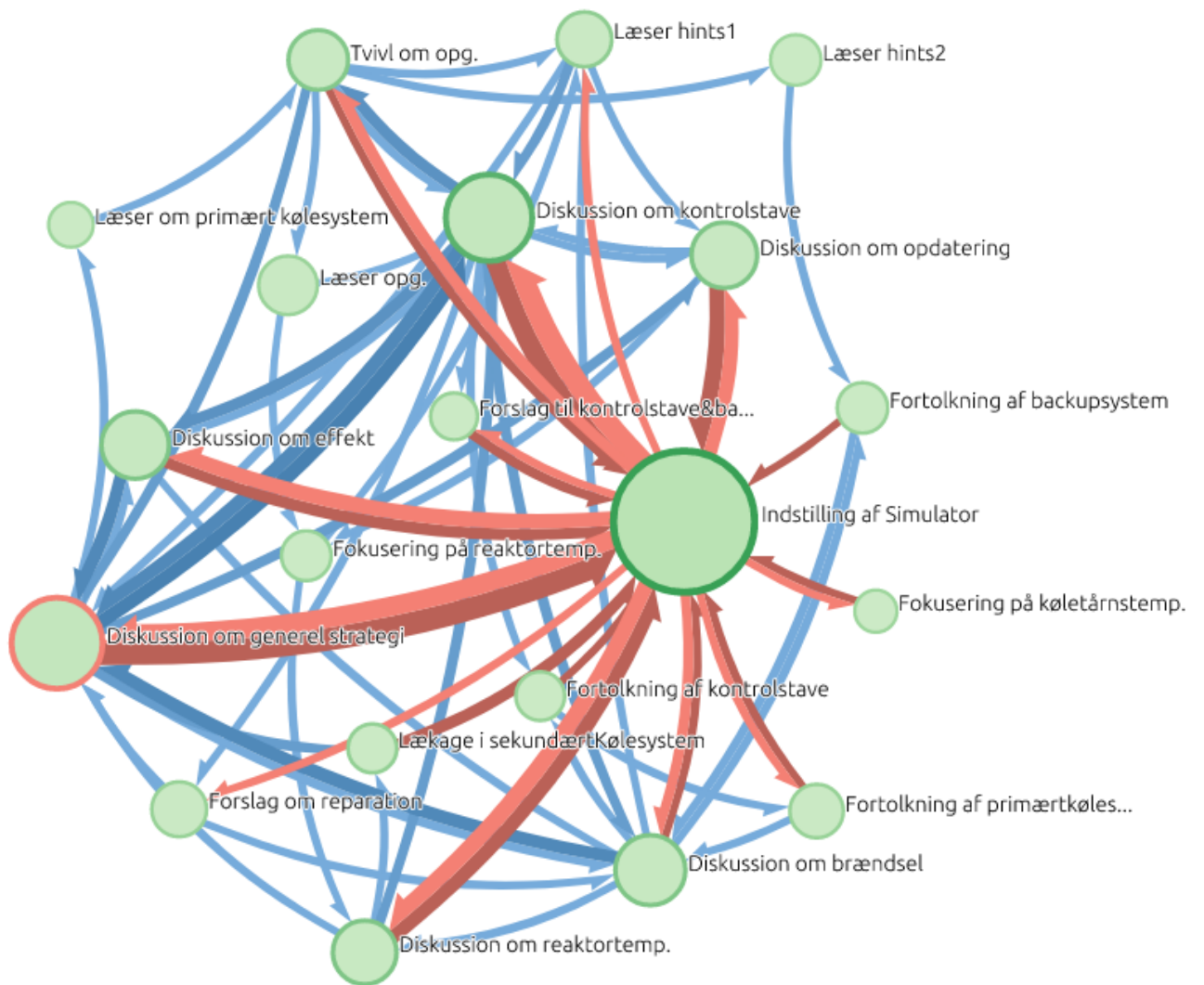
Figur 33: Netværk svarende til figur 17



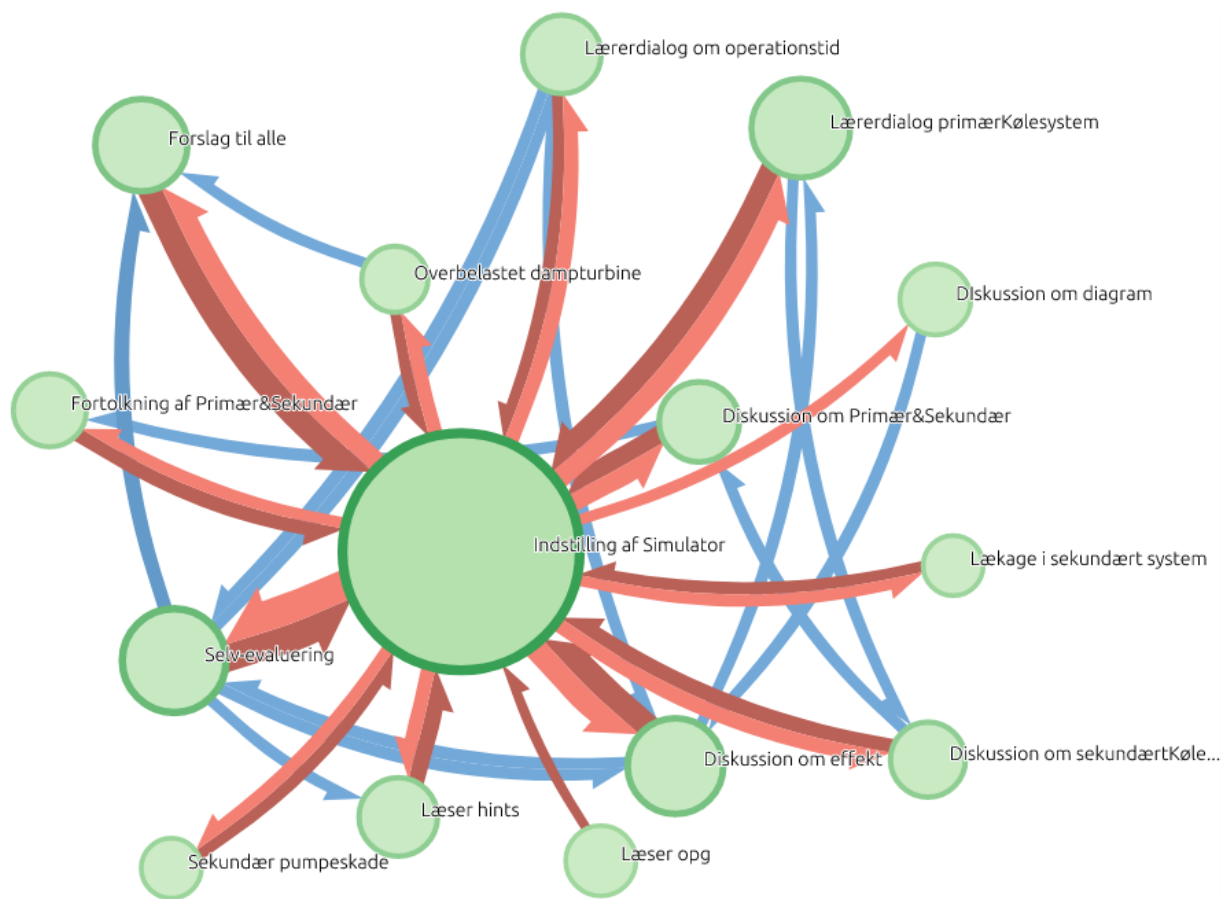
Figur 34: Netværk svarende til figur 18



Figur 35: Netværk svarende til figur 19



Figur 37: Netværk svarende til figur 21



Figur 39: Netværk svarende til figur 23

E Moduler og indeholdte knuder fra Infomap

Knude/modul-navn	Pagerank
Interaktion med simulator	0.34891471
Cc_E-hypl_E-udfor_G-fd_enex_F1_	0.168019
Cc_E-hypl_G-fd_enex_F1_	0.152883
Cc_E-hypl_E-udfor_L-sp-E-sv_G-fd_enex_F1_	0.0140176
Cc_E-hypl_L-st_G-fd_enex_F1_	0.00701948
Cc_E-udfor_G-fd_enex_F1_	0.00697563
Opg. 2: Diskussion af energi	0.16991714
Cc_E-udopg_G-fd_enbe_enex_F1_	0.0919686
Cc_E-udopg_G-fd_ato_enbe_enex_F1_	0.0283401
Cc_E-udopg_G-L-fd_enbe_enex_F1_	0.0212645
Cc_E-udopg_sh_F1_	0.00709107
Cc_E-udopg_L-st_G-fd_G-L-fd_ato_enbe_enex_F1_	0.00708861
Cc_E-udopg_E-sp-L-sv_G-fd_enbe_enex_F1_	0.00708213
Cc_E-udopg_E-sp-L-sv_G-fd_ato_enbe_enex_F1_	0.00708213
Fremlægelse og diskussion	0.14188178

Tc_E-ly&se_L-st_K-st_enex_F1_	0.0213165
Tc_E-ly&se_K-st_enex_F1_	0.0212483
Tc_E-ly&se_L-sp-K-sv_K-st_ato_enex_F1_	0.0142016
Tc_E-ly&se_L-sp-K-sv_enex_F1_	0.0141968
Tc_E-ly&se_L-st_K-st_Ikke-fagligt_	0.00711101
Tc_E-ly&se_L-st_K-st_ato_enex_F1_	0.00710848
Tc_E-ly&se_K-st_enex_F1_Ikke-fagligt_	0.00710848
Tc_E-ly&se_L-sp-K-sv_L-st_ato_enex_F1_F4_	0.00710448
Tc_E-ly&se_L-sp-E-sv_L-sp-K-sv_enex_F1_	0.00709919
Tc_E-ly&se_E-frem_L-st_E-st_enex_F1_	0.00709458
Tc_E-ly&se_L-sp-E-sv_L-sp-K-sv_K-st_enex_F1_	0.00709458
Tc_E-ly&se_E-frem_L-sp-E-sv_enex_F1_	0.00708915
Tc_E-ly&se_L-sp-K-sv_L-st_K-st_enex_F1_	0.00708915
Tc_E-ly&se_L-sp-K-sv_L-st_E-st_enex_F1_	0.00701948
Lærerdialog om simulator	0.09873061
Cc_E-hypl_G-L-fd_enex_F1_	0.0776653
Cc_E-hypl_G-fd_G-L-fd_enex_F1_	0.0070702
Cc_E-hypl_L-sp-E-sv_G-L-fd_enex_F1_	0.00701948
Cc_E-hypl_L-sp-E-sv_G-fd_enex_F1_	0.00697563
Opg. 1: Beregne effekt	0.0520541
Bc_E-udopg_G-fd_enex_F1_F6_	0.0461265
Bc_E-udopg_L-st_enex_F1_F6_	0.0059276
Godkendelse af opg. 2	0.0426877
Cc_E-frem_G-L-fd_enbe_enex_F1_	0.0426877
Afventer godkendelse af opg. 2	0.0425887
Cc_E-udopg_enex_F1_Ikke-fagligt_	0.0283821
Cc_E-frem_G-L-fd_ato_enbe_enex_F1_	0.0142066
Cc_E-søin_E-st_enex_F1_	0.0218703
Læse opg.	0.03470277
Cc_E-søin_E-frem_E-st_G-L-fd_enbe_enex_F1_	0.00711623
Cc_E-søin_E-udopg_L-st_E-st_enex_F1_	0.00571624
Bc_E-udopg_G-L-fd_enex_F1_F6_	0.0135774
Cc_E-søin_E-st_G-fd_enbe_enex_F1_	0.00688209
Lærerdialog om opg. 1	0.03396853
Bc_E-søin_E-udopg_L-st_enex_F1_	0.00683917
Bc_E-udopg_L-sp-G-G-fd_G-L-fd_enex_F1_F6_	0.00666987
Søger info og danner hypoteser	0.02818778
Cc_E-søin_E-hypl_E-st_enex_F1_	0.0211683
Cc_E-søin_E-hypl_L-sp-G_E-st_ato_enex_F1_	0.00701948
Cc_E-søin_E-st_enex_F1_F7_	0.00529752

Tabel 8: Knuder fra det oprindelig netværk (fig. 11) for gruppe 1 ageren i løbet af undervisningen inddelt efter de moduler, som Infomap har fundet (fig. 12).

Knude/modul-navn	Pagerank
Interaktion med simulator	0.44851075
Cc_E-hypl_E-udfor_G-fd_enex_F1_	0.313785
Cc_E-udfor_G-fd_enex_F1_	0.0716279
Cc_E-søin_E-hypl_G-fd_enex_F1_	0.0139737
Cc_E-hypl_G-fd_enex_F1_	0.0134317
Cc_E-udfor_L-st_G-fd_enex_F1_	0.00718055
Cc_E-udfor_G-fd_G-L-fd_enex_F1_	0.00717303
Cc_E-hypl_E-udfor_G-fd_G-L-fd_enex_F1_	0.00715394
Cc_E-søin_E-hypl_E-udfor_G-fd_enex_F1_	0.00715394
Cc_E-hypl_E-udfor_G-L-fd_enex_F1_	0.00703099
Opg. 2: Diskussion af energi	0.0868008
Cc_E-udopg_G-fd_enbe_enex_F1_	0.0723123
Cc_E-udopg_G-fd_enbe_enex_EMsp_F1_	0.0144885
Opg.1: Beregne effekt	0.0830825
Bc_E-udopg_G-fd_enex_F1_F6_	0.0559333
Bc_E-udopg_L-st_G-fd_enex_F1_F6_	0.0140702
Cc_E-udopg_G-fd_enex_F1_F6_	0.013079
Læse opg.	0.06746172
Cc_E-søin_E-st_enex_F1_	0.0549062
Cc_E-søin_E-udopg_E-st_G-fd_enex_F1_F6_	0.00627776
Cc_E-søin_E-hypl_E-st_enex_F1_	0.00627776
Lærerdialog om simulator	0.05777316
Cc_E-frem_L-sp-E-sv_enex_F1_	0.0217009
Cc_E-hypl_L-sp-E-sv_enex_F1_	0.00724683
Cc_E-hypl_G-L-fd_enex_F1_	0.00724077
Cc_E-hypl_E-frem_L-sp-E-sv_G-L-fd_enex_F1_	0.00720847
Cc_E-hypl_G-L-fd_ato_enex_F1_	0.00719564
Cc_E-udfor_G-L-fd_enex_F1_	0.00718055
Godkendelse af opg. 2	0.05090748
Cc_E-frem_G-L-fd_enbe_enex_F1_F5_	0.0291006
Cc_E-frem_G-L-fd_ato_enbe_enex_EMsp_F1_F5_	0.00727088
Cc_E-søin_E-st_ato_enbe_enex_F1_	0.00726907
Cc_E-søin_G-fd_ato_enbe_enex_F1_	0.00726693
Diskussion om atomer	0.05078011
Cc_E-søin_sh_ato_enbe_enex_F1_	0.0145288
Cc_E-udopg_G-fd_ato_enbe_enex_F1_	0.014509
Cc_E-søin_E-udopg_E-sp-L-sv_G-fd_ato_enbe_enex_F1_	0.0072585
Cc_E-udopg_L-st_G-fd_ato_enbe_enex_F1_	0.00724509
Cc_E-udopg_L-st_E-st_G-fd_enbe_enex_F1_	0.00723872
Diskussion (passiv)	0.04361832
Tc_E-ly&se_L-sp-K-sv_enex_	0.0218055
Tc_E-ly&se_K-st_ato_enex_	0.00727202

Tc_E-ly&se_E-frem_L-sp-K-sv_E-st_enex_	0.0072704
Tc_E-ly&se_L-sp-K-sv_L-st_G-fd_enex_	0.0072704
Fremlæggelse/Diskussio (aktiv)	0.04348781
Tc_E-ly&se_L-sp-K-sv_L-st_ato_enex_F4_	0.00725988
Tc_E-ly&se_L-sp-E-sv_L-sp-K-sv_ato_enex_F4_	0.00725613
Tc_E-udfor_K-st_G-fd_enex_	0.00725171
Tc_E-ly&se_E-frem_L-sp-E-sv_L-sp-K-sv_L-st_E-st_enex_	0.00724651
Tc_E-frem_E-st_enex_	0.00724039
Tc_E-frem_L-st_E-st_enex_	0.00723319
Fremlæggelse (aktiv)	0.04315874
Tc_E-ly&se_L-sp-E-sv_L-st_enex_	0.00722472
Tc_E-ly&se_K-st_G-fd_enex_	0.00721476
Tc_E-ly&se_E-frem_L-sp-K-sv_E-st_G-fd_enex_	0.00720304
Tc_E-frem_L-sp-E-sv_E-st_enex_	0.00718925
Tc_E-frem_L-sp-E-sv_L-st_enex_	0.00717303
Cc_E-udfor_L-sp-E-sv_enex_F1_	0.00715394
Lærerdialog om opg. 1	0.02130543
Cc_E-søin_E-udopg_E-st_G-fd_enbe_enex_F1_	0.00713005
Bc_E-søin_E-udopg_E-st_G-L-fd_enbe_enex_F1_F6_	0.00710338
Bc_E-udopg_G-L-fd_enex_F1_F6_	0.007072
Lektionsstart	0.00311271
Cc_E-søin_E-st_F1_F7_	0.00202053
Tc_E-ly&se_E-søin_L-st_E-st_	0.00109218
Tc_E-ly&se_L-st_	0

Tabel 9: Knuder fra det oprindelig netværk (fig. 14) for gruppe 2 ageren i løbet af undervisningen inddelt efter de moduler, som Infomap har fundet (fig. 15).

Knude/modul-navn	Pagerank
Interaktion med simulator	0.35344996
Cc_E-hypl_E-udfor_G-fd_enex_F1_	0.248196
Cc_E-hypl_G-fd_enex_F1_	0.041418
Cc_E-søin_E-hypl_G-fd_enex_F1_	0.0213326
Cc_E-hypl_E-udfor_L-sp-E-sv_G-fd_enex_F1_	0.0140592
Cc_E-søin_E-hypl_E-udfor_G-fd_enex_F1_	0.00712078
Cc_E-udfor_L-sp-E-sv_enex_F1_	0.00711506
Cc_E-udfor_E-sp-L-sv_L-st_G-fd_enex_F1_	0.00710416
Cc_E-hypl_L-st_G-fd_enex_F1_	0.00710416
Opg.1: Beregne effekt	0.12455319
Bc_E-udopg_G-fd_enex_F1_F6_	0.0629108
Bc_E-udopg_G-L-fd_enex_F1_F6_	0.0140776
Bc_E-søin_E-udopg_G-fd_enex_F1_F6_	0.0136057
Bc_E-udopg_L-st_G-fd_enex_F1_F6_	0.0133416

Cc_E-søin_E-udopg_G-L-fd_enex_F1_F6_	0.00705952
Bc_E-udopg_G-fd_G-L-fd_enex_F1_F6_	0.00681125
Bc_E-udopg_L-sp-E-sv_G-L-fd_enex_F1_F6_	0.00674672
Forsøg u. hypoteser	0.0922699
Cc_E-udfor_G-fd_enex_F1_	0.0638403
Cc_E-udfor_E-st_enex_F1_	0.0284296
Godkendelse af opg. 2	0.06637766
Cc_E-frem_G-L-fd_enbe_enex_F1_	0.0541598
Cc_E-udopg_L-st_E-st_G-L-fd_enbe_enex_F1_	0.00619552
Cc_E-søin_L-st_E-st_enex_F1_	0.00602234
Lærerdialog om simulator	0.05710677
Cc_E-frem_L-sp-E-sv_enex_F1_	0.0285828
Cc_E-frem_L-sp-E-sv_E-st_enex_F1_	0.00715436
Cc_E-frem_L-sp-E-sv_L-st_enex_F1_	0.00715039
Cc_E-hypl_L-st_enex_F1_	0.00711506
Cc_E-udfor_L-sp-E-sv_E-sp-L-sv_enex_F1_	0.00710416
Diskussion (aktiv)	0.05019127
Tc_E-ly&se_E-st_F4_Ikke-fagligt_	0.00717297
Tc_E-ly&se_L-st_E-st_F4_	0.00717229
Tc_E-ly&se_L-st_E-st_enex_F1_F4_	0.00717148
Tc_E-ly&se_L-st_E-st_enex_F1_	0.00717052
Tc_E-ly&se_L-sp-E-sv_L-st_enex_F1_	0.0071694
Tc_E-ly&se_L-sp-K-sv_enex_F1_	0.00716808
Tc_E-ly&se_L-sp-E-sv_E-st_ato_enex_F1_	0.00716653
Lærerdialog om simulator	0.04994849
Cc_G-L-fd_enex_F1_	0.0142669
Cc_E-søin_E-udfor_E-st_enex_F1_	0.00715022
Cc_E-udfor_enex_F1_	0.00714551
Cc_E-udfor_G-L-fd_enex_F1_	0.00713998
Cc_E-hypl_E-udfor_G-fd_G-L-fd_enex_F1_	0.00713998
Cc_E-udfor_L-sp-E-sv_L-st_E-st_G-fd_enex_F1_	0.0071059
Fremlæggelse/Diskussion (aktiv)	0.04294737
Tc_E-ly&se_L-sp-E-sv_enex_F1_	0.00716471
Tc_E-ly&se_L-sp-E-sv_ato_enex_F1_F4_	0.00716256
Tc_E-ly&se_L-sp-E-sv_L-st_ato_enex_F1_F4_	0.00716003
Tc_E-ly&se_E-st_enex_F1_	0.00715706
Tc_E-ly&se_L-sp-E-sv_L-sp-K-sv_K-st_enex_F1_	0.00715356
Tc_E-ly&se_K-st_enex_F1_	0.00714945
Fremlæggelse (passiv)	0.04275931
Tc_E-ly&se_E-udfor_L-st_K-st_enex_F1_	0.00714461
Tc_E-udfor_L-sp-K-sv_enex_F1_	0.00713892
Tc_E-udfor_K-st_G-fd_enex_F1_	0.00713222
Tc_E-ly&se_E-udfor_L-sp-K-sv_enex_F1_	0.00712434

Tc_E-ly&se_E-udfor_L-sp-K-sv_K-st_enex_F1_	0.00711506
Tc_E-ly&se_E-udfor_L-sp-K-sv_L-st_E-st_enex_F1_	0.00710416
Læse opg.	0.04245131
Cc_E-søin_E-st_enex_F1_	0.0232744
Cc_E-udopg_G-fd_enex_F1_F6_	0.0123459
Cc_E-søin_L-st_E-st_enex_F1_Ikke-fagligt_	0.00683101
Opg.2: Diskussion om energi	0.0424278
Cc_E-udopg_G-fd_enbe_enex_F1_	0.0212659
Cc_E-søin_E-udopg_E-st_G-fd_enbe_enex_F1_	0.00710187
Cc_E-udopg_L-sp-E-sv_G-fd_enbe_enex_F1_	0.00704192
Bc_Cc_E-søin_E-udopg_E-st_G-fd_enbe_enex_F1_F6_	0.00701811
Forsøg u. dialog	0.02851611
Cc_E-hypl_E-udfor_E-st_enex_F1_	0.0213815
Cc_E-hypl_E-udfor_enex_F1_	0.00713461
Lektionsstart	0.00700051
Cc_E-søin_E-st_enex_F1_F7_	0.00512828
Tc_E-ly&se_L-st_Ikke-fagligt_	0.00187223

Tabel 10: Knuder fra det oprindelig netværk (fig. 16) for gruppe 3 ageren i løbet af undervisningen inddelt efter de moduler, som Infomap har fundet (fig. 17).

Knude/modul-navn	Pagerank
Forslag til opdatering	0.15539973
forslag_opdatering	0.0525329
fortolkning_reaktortemperatur	0.0477969
fortolkning_effekt	0.0214696
refleksion_	0.0169327
diskussion_opdatering	0.00715539
læser_effekt	0.00712711
læser_effekt	0.00238513
Diskussion om Generel strategi	0.15139675
diskussion_generelStrategi	0.0888969
L_diskussion_generelStrategi	0.0334845
forslag_generelStrategi	0.0192034
forslag_genstart	0.0073687
diskussion_genstart	0.00244325
Indstilling af Simulator	0.11752405
indstillingSimulator_	0.0600611
forslag_kontrolstave	0.0335517
diskussion_kontrolstave	0.0119487
læser_Fe1	0.0071782
læser_Fe2+6+8	0.00239753
tvivl_opg	0.00238682

Diskussion om Backup-kølevæske	0.1095537
diskussion_backup	0.031015
forslag_backup	0.0285469
fortolkning_backup	0.0144746
læser_backup	0.011679
forslag_primærKølesystem	0.00954508
læser_Fe2	0.00714821
L_diskussion_backup	0.00476413
fortolkning_Fe2	0.00238078
Diskussion om kølesystemer	0.0762841
diskussion_kølesystem	0.0333445
fortolkning_primærKølesystem	0.0119457
L_diskussion_kølesystem	0.0119194
forslag_kølesystem	0.00954455
fortolkning_kølesystem	0.0047638
fortolkning_sekundærtKølesystem	0.00238621
tvivl_kølesystem	0.00237994
Tvivl om generel strategi	0.04113691
tvivl_generelStrategi	0.0339869
fortolkning_varmevekslertemperatur	0.00476623
tvivl_primærKølesystem	0.00238378
Diskussion om Primær&Sekundær	0.0403112
diskussion_primærKølesystem&SekundærtKølesystem	0.0237267
forslag_primærKølesystem&SekundærtKølesystem	0.0165845
Diskussion om operationstid	0.0309752
diskussion_operationstid	0.0309752
Læser hints1	0.02948323
skiftVindue_	0.0133757
læser_primærKølesystem	0.0091495
læser_kontrolstave	0.00695803
Diskussion om opg.	0.02919237
diskussion_opg	0.00974523
L_diskussion_operationstid	0.00723752
L_diskussion_opg	0.00495941
tvivl_operationstid	0.0048239
stilhed_	0.00242631
Sekundær pumpe-skade	0.02899854
læser_Fe14	0.00962411
fortolkning_generelStrategi	0.00736033
ikkeFaglig_	0.00478922
læser_reparation	0.004784
læser_Fe8	0.00244088
Diskussion om Primært kølesystem	0.0285993

diskussion_primærKølesystem	0.016676
L_diskussion_primærKølesystem	0.0119233
Diskussion om SekundærtKølesystem	0.02626333
diskussion_sekundærtKølesystem	0.0143071
L_diskussion_sekundærtKølesystem	0.00714699
forslag_sekundærtKølesystem	0.00480924
Forslag til alle	0.02429726
forslag_alle	0.0145637
fortolkning_Fe1	0.00715589
diskussion_alle	0.00257767
Diskussion om reparation	0.02145052
diskussion_reparation	0.00714442
forslag_reparation	0.00477852
læser_Fe9	0.00238513
læser_Fe12	0.00238281
L_diskussion_reparation	0.00237994
L_diskussion_brændsel	0.0023797
Fortolkning af primær&sekundær	0.02096678
fortolkning_primærKølesystem&SekundærtKølesystem	0.0094196
læser_sekundærtKølesystem	0.0091495
tvivl_reaktortemperatur	0.00239768
Tvivl om kontrolstave	0.01915149
tvivl_kontrolstave	0.0119661
fortolkning_kontrolstave	0.0047957
identificering_kontrolstave	0.00238969
Læser opg.	0.0156398
læser_opg	0.0156398
Overophedning af reaktor	0.01190917
læser_Fe5	0.00476453
diskussion_effekt	0.00238314
tvivl_effekt	0.00238112
læser_Fe6	0.00238038
Læser hints2	0.00953796
identificering_hint	0.00714827
L_forslag_hint	0.00238969
Modul ej vist i figur	0.00713758
tvivl_backup	0.00238078
identificering_diagram	0.00237911
L_identificering_diagram	0.00237769
Modul ej vist i figur	0.00479088
læser_reaktortemperatur	0.00239753
læser_kølesystem	0.00239335

Tabel 11: Knuder fra det oprindelig netværk (fig. 18) for gruppe 1 ageren under simulationsøvelse inddelt efter de moduler, som Infomap har fundet (fig. 19).

Knude/modul-navn	Pagerank
Indstilling af Simulator	0.40991403
indstillingSimulator_	0.194261
forslag_kontrolstave	0.064067
fokusering_effekt	0.040506
Selv-evaluering_	0.0320371
fokusering_reaktortemperatur	0.0234905
forslag_primærKølesystem	0.0170915
forslag_primærKølesystem&SekundærtKølesystem	0.0106852
forslag_sekundærtKølesystem	0.00854806
diskussion_primærKølesystem	0.00427524
fokusering_kontrolstave	0.00427235
fokusering_diagram	0.00213708
fortolkning_generelStrategi	0.00213688
læser_Fe5+6	0.00213618
fokusering_Fe	0.00213618
fokusering_reparation	0.00213376
Diskussion om generel strategi	0.12181789
diskussion_generelStrategi	0.0684022
forslag_generelStrategi	0.0427278
fokusering_brændsel	0.00854931
forslag_kølesystem	0.00213858
Diskussion om kontrolstave	0.10397383
diskussion_kontrolstave	0.0191168
refleksion_	0.0191022
fortolkning_brændsel	0.0149382
læser_Fe6	0.0106908
fortolkning_effekt	0.0106793
forslag_genstart	0.0085461
fokusering_operationstid	0.00809947
fortolkning_reaktortemperatur	0.00640099
diskussion_Fe6	0.00213909
fokusering_generelStrategi	0.00213376
diskussion_sekundærtKølesystem	0.00212712
Diskussion om brændsel	0.05131366
diskussion_brændsel	0.017118
L_diskussion_generelStrategi	0.0149696
L_diskussion_reaktortemperatur	0.00641953
L_diskussion_brændsel	0.00427495

diskussion_Fe	0.00213794
L_diskussion_Fe	0.00213682
diskussion_primærKølesystem&SekundærtKølesystem	0.0021297
diskussion_varmeveksler	0.00212712
Diskussion om effekt	0.04486982
diskussion_effekt	0.0320461
L_diskussion_effekt	0.00854995
L_diskussion_opg	0.00213759
L_identificering_effekt	0.00213618
Diskussion om opdatering	0.0405246
forslag_opdatering	0.0128178
læser_Fe1	0.0063998
læser_effekt	0.00636878
tvivl_alle	0.00427447
læser_Fe	0.0042733
forslag_backup	0.00426432
fortolkning_opg	0.00212613
Diskussion om reaktortemp.	0.036061
diskussion_reaktortemperatur	0.036061
Tvivl om opg.	0.02777178
skiftVindue_	0.0149511
tvivl_opg	0.00854868
diskussion_opg	0.004272
Læser opg.	0.0259129
læser_opg	0.0259129
Forslag om reparation	0.01925391
forslag_reparation	0.0085548
diskussion_operationstid	0.00641878
læser_reparation	0.00428033
Læser hints1	0.01904008
læser_brændsel	0.00834428
fokusering_hint	0.00641568
læser_kontrolstave	0.00428012
Fortolkning af primærtKølesystem	0.01711356
fortolkning_primærKølesystem	0.00855213
fortolkning_sekundærtKølesystem	0.00642246
fortolkning_varmeveksler	0.00213897
Fortolkning af backupsystem	0.01284635
fortolkning_backup	0.00856521
L_diskussion_backup	0.00428114
Læser hints2	0.01283873
læser_sekundærtKølesystem	0.00855743
læser_backup	0.0042813

Fokusering på reaktortemp.	0.0118981
læser_reaktortemperatur	0.00580246
diskussion_opdatering	0.00213749
læser_kølesystem	0.00199247
læser_varmeveksler	0.00196568
Fortolkning af kontrolstave	0.01067737
fortolkning_kontrolstave	0.0085408
L_diskussion_kontrolstave	0.00213657
Lækage i sekundærtKølesystem	0.01067177
læser_Fe11	0.0064085
læser_Fe2+8	0.00426327
Forslag til kontrolstave&backup	0.00853355
forslag_kontrolstave&backup	0.00639737
fokusering_backup	0.00213618
Læser om primært kølesystem	0.00641739
læser_primærKølesystem	0.00641739
Fokusering på køletårnstep.	0.0042757
Køletårn	0.0042757
Modul ej vist i figur	0.00427358
læser_Fe2	0.0021374
tvivL_backup	0.00213618

Tabel 12: Knuder fra det oprindelig netværk (fig. 20) for gruppe 2 ageren under simulationsøvelse inddelt efter de moduler, som Infomap har fundet (fig. 21).

Knode/modul-navn	Pagerank
Indstilling af Simulator	0.66760363
indstillingSimulator_	0.253911
fokusering_reaktortemperatur	0.0463765
forslag_kontrolstave	0.0401762
forslag_primærKølesystem	0.0382409
forslag_primærKølesystem&SekundærtKølesystem	0.036176
forslag_backup	0.0321909
forslag_sekundærtKølesystem	0.0301979
refleksion_	0.0281263
fokusering_effekt	0.0254618
forslag_reparation	0.0200915
forslag_opdatering	0.01606
læser_Fe8	0.0120696
læser_reparation	0.010091
diskussion_reaktortemperatur	0.0100525
fokusering_operationstid	0.00803469
læser_Fe2	0.00803288
fokusering_varmevekslertemperatur	0.00606531
fokusering_backup	0.00606032
læser_Fe5+6	0.00604432
L_diskussion_generelStrategi	0.00405199
læser_Fe6	0.00403618
tvivl_reaktortemperatur	0.00403245
diskussion_reparation	0.00401436
fokusering_Fe2	0.002026
læser_Fe4	0.002026
læser_Fe6+8+14	0.002026
fortolkning_sekundærtKølesystem	0.00201791
læser_Fe5	0.00201331
L_diskussion_reaktortemperatur	0.00200718
fokusering_alle	0.00196421
indstillingSimulator_kontrolstave	0.00196421
fokusering_sekundærtKølesystem	0.00196421
Selv-evaluering	0.06213568
Selv-evaluering_	0.0260978
diskussion_backup	0.012044
læser_slutrapport	0.00999944
fokusering_brændsel	0.00401143
diskussion_brændsel	0.00396615
fortolkning_backup	0.00200639
tvivl_alle	0.00200564
L_fokusering_backup	0.00200483

Lærerdialog primærKølesystem	0.05212425
L_diskussion_primærKølesystem	0.0260173
diskussion_primærKølesystem	0.0220757
fokusering_primærKølesystem	0.002026
læser_Fe5+6+8	0.00200525
Diskussion om effekt	0.04602714
diskussion_effekt	0.0159749
diskussion_generelStrategi	0.0120535
L_diskussion_effekt	0.0080212
forslag_generelStrategi	0.00798081
fokusering_kontrolstave	0.00199673
Forslag til alle	0.04018302
forslag_alle	0.0220912
læser_Fe1	0.0100303
diskussion_Fe1	0.00603552
L_fokusering_Fe	0.002026
Diskussion om Primær&Sekundær	0.02205987
diskussion_primærKølesystem&SekundærtKølesystem	0.014043
L_diskussion_primærKølesystem&SekundærtKølesystem	0.00601225
fortolkning_kontrolstave	0.00200462
Læser hints	0.02009701
læser_kontrolstave	0.00803224
læser_hint	0.00602688
fokusering_hint	0.00403164
diskussion_kontrolstave	0.00200625
Lærerdialog om operationstid	0.0200358
L_diskussion_operationstid	0.0100217
diskussion_operationstid	0.00600813
L_diskussion_brændsel	0.00400597
Diskussion om sekundærtKølesystem	0.01604935
diskussion_sekundærtKølesystem	0.0140441
L_diskussion_sekundærtKølesystem	0.00200525
Fortolkning af Primær&Sekundær	0.01405393
fortolkning_primærKølesystem&SekundærtKølesystem	0.00601896
diskussion_Fe6	0.00201478
fokusering_diagram	0.00201196
L_fokusering_operationstid	0.00200477
læser_Fe10	0.00200346
Diskussion om diagram	0.0120957
diskussion_diagram	0.00603803
L_fokusering_diagram	0.002026
L_diskussion_diagram	0.0020215
L_diskussion_kølesystem	0.00201017

Læser opg	0.0114664
læser_opg	0.0114664
Overbelastet dampturbine	0.00802737
diskussion_Fe8	0.00401467
fortolkning_Fe8	0.00200707
forslag_kontrolstave&PrimærKølesystem	0.00200563
Lækage i sekundært system	0.00402691
skiftVindue_	0.00201487
læser_Fe11	0.00201204
Sekundær pumpe-skade	0.00401367
fokusering_Fe	0.00200771
læser_Fe14	0.00200596

Table 13: Knuder fra det oprindelig netværk (fig. 22) for gruppe 3 ageren under simulationsøvelse inddelt efter de moduler, som Infomap har fundet (fig. 23).