Beregningsorientert fysikk i bachelorkurs ved Universitetet i Oslo

En didaktisk studie av førsteårsstudenters møte med numerisk matematikk og programmering med anvendelser i mekanikk

av

Simen André Sørby

Masteroppgave for graden

Master i fysikk

Fysisk institutt
Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet
Universitetet i Oslo

Mars 2010

Department of Physics
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
University of Oslo

Forord

Etter noe som begynner å nærme seg seks år på Blindern, kommer en ambivalent følelse av å nærme seg slutten sigende innover meg. Selvsagt er det en god følelse at arbeidet med denne oppgaven (med sitt krav til både tid og krefter) straks er fullført, men på samme tid står en fremtid rundt hjørnet og lusker som et større spørsmålstegn enn ved mine tidligere livssituasjonsendringer. Heldigvis kan jeg se tilbake på disse årene som svært givende og fullstendig uerstattelige. Som seg hør og bør, fortjener derfor noen nevneverdige personer en stor takk for at dette har kunnet bli som det har blitt.

Spesielt for arbeidet med denne oppgaven, takker jeg mine veiledere Carl Angell og Morten Hjorth-Jensen for gode diskusjoner og innspill, vink i riktig retning og strålende tilrettelegging for mitt mastergradsarbeid. En stor takk rettes også til Anders Malthe-Sørensen for sin åpenhet til min studie av hans kurs og til Hans Petter Langtangen og Knut Mørken for deres engasjement og åpenhet i begynnelsen av oppgavearbeidet.

Studietiden som helhet hadde aldri kunnet bli en hyggelig affære uten et godt faglig samarbeid og/eller mange hyggelige sosiale stunder med Håkon, Per, Morten, Daniel, Geir Magne, Karl-Robert, Jørgen og mange andre som har kommet og gått gjennom årene. En enorm takk rettes også til min bedre halvdel, Katrine, for korrektur og språkvask av denne oppgaven, samt en eksepsjonell evne til å holde ut med mine skavanker. Det siste gjelder også mamma og pappa som også alltid har støttet opp under mine studievalg og valg i livet generelt.

Sist, men absolutt ikke minst, rettes en takk til studentene som viet sin tid til mine undersøkelser – spesielt de fire som lot seg observere. Uten dere hadde i alle fall ikke denne oppgaven blitt til!

Blindern, Mars 2010
Simen André Sørby

Sammendrag

Både datamaskinen og det store mangfoldet av numeriske metoder for matematiske beregninger har gradvis utviklet seg som en følge av forskningsfrontens utømmelige spørsmålskilde og teknologiens tilsynelatende ustoppelige fremskritt. I de senere årene har temaer knyttet til beregninger med datamaskinen også blitt en sentral del av studentenes hverdag på flere studieretninger innenfor matematiske og naturvitenskapelige fag ved Universitetet i Oslo. Spesielt har studieprogrammet Fysikk, Astronomi og Meteorologi fått en betydelig andel beregninger og simuleringer med datamaskinen som et verktøy for modellering av fysiske systemer inn i mange sentrale kurs. Ettersom UiO er blant de første i verden til å implementere disse temaene helt ned i de første semestrene på bachelornivå, åpnes det for denne oppgavens hovedtemaer: studentenes første møte med universitetet og samtidig møtet med numerisk matematikk (MAT-INF1110) og programmering (INF1100) med videre anvendelser i studentenes første fysikkfag, mekanikk (FYS-MEK1110) – med desidert hovedvekt på det sistnevnte.

Målet er å skildre studentenes oppfatning og syn på deres møte med universitetet og deretter å drøfte inngående hvordan de beregningsorienterte temaene i mekanikkfaget virker inn på studentenes arbeid med og læring av faget. Drøftingen av studentenes læringssituasjon tar utgangspunkt i den sosiokulturelle teorien med grunnlag i Vygotskij og Bakhtin og senere anvendelser innen fysikkdidaktisk forskning. Noen temaer knyttet til motivasjon, modellering av fysiske systemer og enkelte spesifikke tilnærminger til beregningsorienterte temaer drøftes også.

For å få innblikk i studentenes hverdag i sitt første semester ble det anvendt fokusgruppeintervjuer og en større spørreskjemaundersøkelse. For mekanikkfagets del ble det anvendt observasjonsstudier av to par studenters arbeid med tre obligatoriske oppgaver med omfattende bruk av beregningsorienterte tilnærminger.

Noen hovedfunn fra det første semesteret: Det fremstår en sterk sammenheng mellom studentenes syn på egne generelle dataferdigheter og hvorvidt INF1100 og studiet som helhet oppfattes som vanskelig eller ikke. Dette, sett i sammenheng med at de fleste også anser den inngående databruken som overraskende, antyder blant annet et behov for tydeligere presisering av datamaskinens plass i studiet for potensielle søkere. Videre mener studentene at kursene INF1100 og MAT-INF1100 kompletterer hverandre, der årsaksforklaringene verdt å merke seg følger to tilnærminger: INF1100 kan både hjelpe til med å mestre MAT-INF1100 med tanke på fagets bruk av programmering og, viktigere, det kan bidra til å skape forståelse for faget gjennom utdypende anvendelse av fagets numeriske matematikkteori. Det første semesteret, til tross for å bli ansett som både (svært) vanskelig og (svært) arbeidskrevende, virker motiverende for videre studier – i alle fall for studentene som er gjenværende på studiet i slutten av semesteret.

For mekanikkfagets del, synes studentene at de beregningsorienterte oppgavene er

klart morsommere å arbeide med enn de tradisjonelle oppgavene. De viser også tegn til et ønske om – og glede i – å eksperimentere på egenhånd. På den annen side, argumenterer jeg for at de beregningsorienterte oppgavenes største utfordring ligger i deres anvendelse av studentenes kunnskap på tvers av tidligere adskilte kontekster. Oppgavenes anvendelse av informatikk, numerisk og analytisk matematikk og konseptuell fysikk samtidig og på tvers av hverandre, fremstår åpenbart som en utfordring. Studentenes arbeid bærer preg av en del "arbeidsmoduser", der en slags "programmeringsmodus" står i en særstilling ved oppgavenes programmeringsdeler og som innebærer et tydelig preg av en ustrukturert "prøv-og-feil-mentalitet" som virker ødeleggende for både arbeid og meningsskaping. En manglende bevissthet om modelleringens begrensninger blir også observert. Jeg argumenterer blant annet for at studentene trenger hjelp til å skape en bevissthet rundt anvendelse av tilstrekkelig kunnskap og bruk av riktig begrepsapparat til arbeidets forskjellige utfordringer. De trenger hjelp til å "lage en plan" for modelleringsøkten og bevisstgjøres for modelleringens begrensninger.

Jeg påpeker også hvorfor det er fruktbart å anse fysikkfaget som en vitenskapelig "historie", der fagets begreper må flettes inn i historien på riktig måte for å være både meningsbærende og korrekt. Reelle dialoger med rom for flere hypoteser, synspunkter og meninger fremstår som svært gode bidrag til å skape forståelse for denne historien. Med bakgrunn i dette framhever jeg en presiserende og dialogisk oppgavetekst, der oppklaring og utdyping står i fokus, som et potensielt godt hjelpemiddel. Studentene kan imitere "den gode modellør" gjennom oppgavearbeidet. I tillegg til en tilrettelegging for mestring av oppgaven, kan den dialogiske teksten i stor grad bidra til at studentene også skaper forståelse for det fysiske systemet, den matematiske modellen, modelleringsarbeidet i seg selv og modellens og modelleringens begrensninger.

Abstract

Both computers and the great span in numerical methods for mathematical computations have gradually evolved due to scientific research with its endless stream of new questions and technology's seemingly unstoppable advancements. In later years, computational perspectives have become essential parts in several of the University of Oslo's natural science studies as well. Especially the Physics, Astronomy and Meteorology branches have gotten a great share of computations and simulations of physical systems – with computers as the main tool – as part of their curricula. With the University of Oslo as a pioneer in implementing these subjects all the way down to bachelor levels of study, this thesis' main topics unfolds: The students' first meet with the University and, consequently, their first encounter with numerical mathematics (MAT-INF1100) and programming (INF1100) with further applications in the students' first course in physics, mechanics (FYS-MEK1110) – with great emphasis on the latter.

The goal is to portray the students' conceptions and views on their meet with the University, and afterwards discuss thoroughly how the computational parts of the mechanics course impacts the students' work with and learning of its contents. The discussion of the students' learning situation is based on the sociocultural theory, which originates in Vygotsky and Bakhtin, and subsequent physics didactics research of current interest. Some topics concerning motivation, physical modeling and a few specific approaches to the computational parts in particular are also discussed.

To gain insight into the students' life in their first semester, I used several focus group interviews and one questionnaire survey. In the mechanics course, I observed two pairs of students solving three compulsory assignments with an extensive use of computational approaches.

Some main findings from the students' first semester: It appears to be a strong connection between the students' views on own general computer skills and whether INF1100 and the studies as a whole is considered difficult or not. This, in relation to a main feeling of being taken by surprise by the thorough use of computers in their studies, implies a need for clarification on this matter to potential students. The students also consider the courses INF1100 and MAT-INF1100 to be supplementing each other, where the causes worth noticing follows mainly two approaches: INF1100 can both help students to overcome MAT-INF1100 with respects to its use of programming and, more importantly, it can deepen the students' understanding for the course through elaborative applications of the numerical mathematical theory. The students' first semester, despite it being viewed as both (very) difficult and (very) laborious, appears to motivate for further studies – at least for the students who remain on their studies at the end of the semester.

With regard to the mechanics course, the students' views are clearly that computational assignments are more fun to work with than the traditional assignments.

They also show signs of – and joy in – experimenting on their own. On the other hand, I argue that the computational assignments' greatest challenge is their combined use of students' knowledge from earlier separated contexts. The assignments' use of informatics, numerical and analytical mathematics and conceptual physics in one big package, appears as a clear challenge. The students' work is characterized by several "working modes" where a kind of "programming mode" holds a unique position in the assignments' programming parts, as well as having a distinctive unstructured "trial-and-error mentality" which in turn affects both work and learning in a destructive fashion. A lack of awareness considering the limitations of physical modeling, is also observed. I argue, among other things, in favor of helping the students create an awareness concerning their use of sufficient knowledge and system of conception, or "tool set", for the different tasks at hand. They need help "creating a plan" for their modeling and to become aware of its limits.

I also point out how it's fruitful to reckon physics as a scientific "story", in which its concepts must find their correct place in this story to make it both meaningful and exact. Real dialogues with room for several hypotheses, points of view and opinions appear to be very beneficial for making sense of this story. In light of this, I highlight a specified and dialogic text, in which stress is laid on clarification and elaboration, as grounds for the students' assignments to be of potential great aid. The students can imitate "the good modeler" by doing the exercises. In addition to arranging for the students to manage the tasks at hand, the dialogic text can to a great extent contribute to the students' understanding and meaning making of the physical system, the mathematical model, the modeling itself and the model's and the modeling's limits.

Innhold

Kapittel 1

Innledning

I løpet av tredjeklasse på videregående, skoleåret 2003/04, fant jeg ut at jeg hadde lyst til å bli lærer i fysikk. Jeg likte faget og tenkte at å arbeide med videreformidling av et fag jeg likte var langt fra det verste man kunne gjøre. Etter hvert begynte jeg å innse at det kanskje var noe av det beste man kunne gjøre. Slik endte jeg opp på Lektor- og Adjunktprogrammet høsten 2004. Etter noen år på programmet var jeg innom fysisk institutts forskningsgruppepresentasjoner. Der kom jeg i kontakt med en av mine to veiledere, Morten Hjorth-Jensen, og studieretningen "Computational Physics" ved at jeg så det stod skrevet "Computers in Science Education" (nederst i hjørnet) på en plakat som fanget min oppmerksomhet. Etter en stund ble det opprettet kontakt med Skolelaboratoriet og min andre veileder, Carl Angell. Herfra ble det en del samtaler fram og tilbake om mulige masteroppgaver, blant annet utvikling av undervisningsopplegg for fysikk i videregående skole med bruk av beregningsorienterte tilnærminger. Det var ikke før i første semester av mastergraden, etter et år med praktisk pedagogisk utdanning (PPU) og økt interesse for alt innen utdanning og utdanningsinstitusjoner, læringspsykologi og epistemologi på lasset, at det ble foreslått det jeg også endte opp med å gjøre. Etter en gradvis revisjon av bachelorprogrammet i fysikk, der numeriske metoder og simuleringer i større og større grad har fått sin plass, var det på sin plass med en didaktisk studie av første studieår på programmet. Det overordnede spørsmålet stod klart: "Får studentene mer innsikt i *fysikken* gjennom arbeidet med beregningsorienterte oppgaver med numeriske metoder og simuleringer?".

I dette innledningskapittelet vil jeg redegjøre for utgangspunktet og motivasjonen for oppgaven og jeg vil spesifisere problemstillingene knyttet til oppgaven.

1.1 Motivasjon for oppgaven

> "Today, the ever-increasing complexity of the problems scientists face has in turn increased the need for numerical computation across the sciences" (Taylor og King III, 2006, s.38)

Vitenskapen har utviklet seg mye opp gjennom tidene. Både gjennom utvikling av nye teorier eller gjennomslag for dem, eller gjennom utvikling av ny teknologi som kan gjøre eksperimenter mer presise eller i det hele tatt mulige å gjennomføre. Innenfor naturvitenskapene snakker man gjerne om *paradigmeskifter* – et begrep Kuhn (2002) innførte i sin bok "The Structure of Scientific Revolutions". Sjøberg (2005) gir eksempler på slike paradigmeskifter i fysikken, eksempelvis teoriene om generell relativitetsteori og kvantefysikk. Andre eksempler er overgangen til det kopernikanske verdenssystemet, Darwins evolusjonsteori, Newtons mekanikk og Wegeners kontinentaldriftteori. Noen av disse teoriene er svært gamle. Vi snakker gjerne om "moderne fysikk" selv om grunnlaget (generell relativitetsteori og kvantefysikk) ble lagt for snart hundre år siden. Teoriene har selvfølgelig blitt utvidet og finpusset, men det har ikke skjedd noen revolusjonær endring i verken tankemåte eller grunnleggende innhold. Evolusjonsteorien lever videre i moderne genforskning og kvantefysikken lever videre og har utviklet seg innenfor alle grener av fysikk, store deler av kjemien og innenfor andre fagfelt, som for eksempel materialvitenskap.

Endringen som *har* skjedd er at *teknologisk utvikling* har gitt oss muligheten til å forske grundigere, dypere og mer komplekst på allerede eksisterende teorier, og hjulpet til med å videreutvikle teorier. Både innenfor forskningen og i det private næringsliv har datamaskinen blitt brukt til mer enn enkel tekstredigering og surfing på internett. De brukes til å gjøre tunge beregninger og simuleringer. Det er ingen som bygger broer, skyskrapere eller oljeplattformer uten først å simulere prosessen. I forskning på alt fra de minste byggesteiner til de største stjernene brukes datamaskinen som hjelpemiddel til modellering og simulering. Det er nettopp gjennom slike forskningsspørsmål, der behovet for stor regnekraft er umettelig, at grunnlaget for framveksten og videreutviklingen av datamaskinen har oppstått og blitt videreført.

1.1.1 Endringer i fysikk som forskningsfelt

Fysikk som *forskningsfelt*, sammen med andre naturvitenskaper, har endret seg ganske mye i hvordan forskere arbeider på. Fysikere prøver fortsatt å forstå naturen bedre ved å danne mer eksakte og fundamentale beskrivelser av fysiske fenomener, men der det tidligere ble gjort eksperimenter med apparater og håndfaste systemer, har nye teorier og nye interesser gjort dette vanskeligere og i mange tilfeller umulig. Yasar et al. (2000, s. 74) gir et par eksempler på dette ved at man har fått mer innsikt ved å modellere og visualisere fysiske systemer som er "too small (probing atomic systems, for example), too big (studying the earth and the universe), too expensive, too scarce and inaccessible experimentally (weighing the impact of an asteroid on earth)". Ved slike utfordringer kommer datamaskinen til unnsetning.

Svært mange problemer man møter i fysikken består av kompliserte differensiallikninger eller integraler som beskriver det fysiske systemet vi studerer. Utfordringen fysikerne står overfor er vanligvis å kunne løse disse likningene og å kunne beskrive og predikere systemets utvikling i tid og rom. Dette er det utviklet, og blir stadig utviklet, numeriske metoder for, ettersom de analytiske metodene vanligvis ikke strekker til. Ved slike problemer er det derfor essensielt å kunne implementere disse metodene på datamaskinen og la den gjøre jobben.

I kvantemekanikk finnes det for eksempel ingen analytiske løsninger for atomer større enn hydrogenet eller hydrogenliknende atomer[1]. For å studere mer komplekse atomer gjør man tilnærminger både til teori om systemet, for eksempel ved å innføre gjennomsnittsfelt for elektronenes ladninger[2] og studere atomet som én partikkel i et elektrisk felt, og forenklinger i utregningene ved matematiske og numeriske tilnærminger. Ofte blir det da utviklet en løsningsmetode som tar utgangspunkt i et svært forenklet system, som deretter blir gjort mer kompleks og omfattende senere, og ofte av andre personer.

I så å si alle naturvitenskapelige forskningsfelt brukes beregninger i større og større grad. Meteorologien er kanskje det første man tenker på, men også innen geologi, kjemi og biologi blir det mer og mer aktuelt, og for å fortsette det innledende sitatet: "[...] from protein folding to molecular modeling, from plasma dynamics to particle physics" (Taylor og King III, 2006, s. 38). Det er altså ikke *bare* i fysikk det er svært aktuelt, men kanskje *spesielt* i fysikk, der forskningsområdene bare øker i kompleksitet, og ofte minsker i direkte observerbarhet.

1.1.2 Endringer i næringslivet

Som alle andre deler av samfunnet, har også næringslivet endret seg drastisk som en følge av datamaskinens utvikling av økt regnekraft og brukervennlighet. Ingeniører som går ut i arbeidslivet i dag, møter ganske sikkert en helt annen hverdag enn de som gikk ut for 20 år siden. Det som tidligere ble sett på som "tunge beregninger" av bygning- og brokonstruksjoner, kan nærmest utføres i dag av den enkelte ingeniør ute i feltet med sin bærbare PC. Hvilke utfordringer møter de egentlig?

Landau (2006) viser til en spørreundersøkelse der uteksaminerte masterstudenter i fysikk ("Physics majors") rangerte en del ferdigheter fra utdannelsen i grad av viktighet for deres yrke. Studentene hadde avlagt eksamen 5-7 år før spørreundersøkelsen og alle arbeidet i et yrke innen naturvitenskap ("Science"), matematikk eller som ingeniør. Resultatene viser hvilke ferdigheter som fikk flest svar av typen "very important". Ferdigheten som troner klart på toppen er "Scientific problem solving" med ca. 90%. Deretter følger "Synthesizing info" og "Math skills" med hhv. ca. 70% og 60%. På en nærmest delt fjerdeplass havnet "Physics principles", "Lab skills" og "Modelling and simulation" med alle rett over 50%. Det er også verdt å nevne de neste på listen som er "Computer programming", "Product design", "Software development" og "Scientific software".

Vi ser altså de kjente ferdighetene på toppen med problemløsing, evne til å bruke og sette sammen informasjon til noe meningsfullt, matematikkferdigheter og kjennskap til fysiske prinsipper. Det er de litt lenger ned på lista som nesten er viktigere å utheve, nemlig modellering og simulering, programmering, programvareutvikling og, ikke minst, bruk av vitenskapelig programvare.

[1]For eksempel He^{+}, Li^{2+} og så videre.
[2]Mean Field Theory

Ettersom undersøkelsen ble utført i USA og ikke i Norge, er det viktig å huske på at det kan være forskjeller i både arbeidsliv og utdanningsløp. Likevel er arbeidsoppgavene uteksaminerte studenter møter i arbeidslivet såpass like at det er grunnlag for sammenligning. I alle fall *bør* studentene være rustet til å møte de samme arbeidsoppgavene i et samfunn med økende grad av internasjonalisering.

Kunnskapsdepartementet (2009, s. 52) omtaler nettopp dette i Stortingsmelding nr. 14 (2008–2009) og skriver blant annet at

> "Internasjonalisering av undervisningen betyr også samarbeid på tvers av landegrenser om utvikling av læreplaner, studieprogrammer, faglig utviklingsarbeid, felles grader og felles kurs. Dette krever en helhetlig innholdsmessig gjennomgang for å sikre den internasjonale dimensjonen både i pensum og eventuelt praksisrelaterte oppgaver."

I tillegg til at mange møter arbeidsoppgaver som krever en viss grad av programmeringsferdigheter og programvareutvikling, blir det også i økende grad vanlig for ingeniører og vitenskapsfolk å bruke modellering og simulering – og gjerne ved bruk av ferdigutviklet vitenskapelig programvare. Her er det viktig at arbeidsoppgavene møtes med de kunnskaper og ferdigheter som trengs, nemlig kjennskap til og kunnskaper om metodene og algoritmene som danner grunnlaget for arbeidet. Vi ønsker ikke at studentene skal møte arbeidsoppgaver med et verktøyskrin fylt opp med sorte bokser[3].

Et klassisk eksempel på hvor galt det kan gå, kan sakses direkte fra StatoilHydro (2009) sine hjemmesider:

> "Den 23. august 1991 – kort tid før dekket og betongunderstellet til Sleipner A skulle koples sammen – sank understellet på over 200 meters dyp i Gandsfjorden ved Stavanger. Konstruksjonsfeil var årsaken."

Dette presiserer Bjørstad (1997, s. 3) til vår kontekst:

> "Etterhvert som avanserte konstruksjoner blir beregnet med datamaskin øker også ansvaret for at dataprogrammene og datamodellene både er riktige og blir brukt på rett måte. Da Sleipner plattformen sank ved Stavanger for noen år siden ble noe av årsaken ført tilbake til en datamodell som ikke var laget nøyaktig nok. Denne unøyaktigheten var en av flere faktorer som førte til tap i milliardklassen."

Så for å sette det litt på spissen: En tilsvarende hendelse innenfor medisinsk sektor kunne medført tap langt utover "milliardklassen".

1.1.3 Behov for endringer i undervisningen?

Fysikkstudentenes mål med sin utdannelse kan svært kort oppsummeres til "å bli gode fysikere" – dvs. rustet til å møte "en fysikers hverdag" etter endte studier. Med bakgrunn i dette er både endringene i forskningsfeltet og i næringslivet begge grunner for å endre innholdet i utdanningen til å sørge for at uteksaminerte studenter sitter med

[3] Engelsk: "Black box" – et system som tar imot en input og sender ut en output uten å gi innblikk i den mellomliggende prosessen.

de kunnskaper og ferdigheter som fremtidige arbeidsplasser forutsetter at de skal ha. Dette er grunner basert på hva studentene skal sitte igjen med etter utdanningen, eller produktbehov om vi vil, men hva med *prosessbehov*? Er det noen behov for å endre hvordan undervisningen, tilretteleggingen og, ikke minst, *læringen* av faget skal foregå?

Dette temaet vil bli gjennomgått mer i detalj i kapittel 2, men et par stikkord som står i høysetet er *realistisk*, *eksperimentell* og *motiverende* fysikk. Ved å ta i bruk verktøyene som trengs for å gjøre tunge beregninger, gjør det oss i stand til å studere mye mer komplekse fysiske systemer og fenomener enn ved kun analytisk matematikk – og vi kan studere hvordan systemet endrer oppførsel ved å bevege oss fra en svært enkel modell til en mye mer kompleks modell for samme system. Studentene får altså førstehånds erfaring med *modellering* og en bevisstgjøring av hvordan modeller bygges opp for å studere systemet – med både deres fordeler og begrensninger.

1.2 Fysikkprogrammets første studieår

Med grunnlag i seksjonene ovenfor er det endret en del i innholdet for fysikkprogrammet ved Universitetet i Oslo. For å klargjøre litt om strukturen av det første studieåret, vil jeg i dette avsnittet beskrive kort hvordan det så ut for studentene som begynte høsten 2008. Jeg vil også kommentere hva som er annerledes for disse studentene i forhold til hvordan det var tidligere. For en grundigere beskrivelse av emnenes innhold som beskrevet på universitetets nettsider, henviser jeg til tillegg B.

1.2.1 Hva studentene møter

I det første semesteret tar studentene kursene *Kalkulus* (MAT1100), *Modellering og beregninger* (MAT-INF1100) og *Grunnkurs i programmering for naturvitenskapelige anvendelser* (INF1100). Disse tre kursene skal forsøke å gi studentene et godt grunnlag for videre studier, om så være innenfor matematikk eller en av naturvitenskapene. Spesielt i denne sammenheng skal MAT-INF1100 og INF1100 sammen gjøre det mulig for fysikkfag lenger opp i systemet å gi beregningsorienterte oppgaver med programmering og numeriske metoder i sine kurs uten å måtte bruke alt for mye tid på dette selv. Kort oppsummert tar MAT1100 for seg den analytiske matematikken, MAT-INF1100 tar for seg den numeriske matematikken og INF1100 tar for seg programmeringen og bruken av den numeriske matematikken, ofte anvendt på systemer og fenomener fra naturvitenskapene. I begge kursene brukes programmeringsspråket *Python*. Disse tre emnene tas også av studenter ved MIT (Matematikk, informatikk og teknologi) og helt eller delvis av studenter fra andre studieprogrammer.

I det andre semesteret tar studentene kursene *Kalkulus og lineær algebra* (MAT1110), *Feltteori og vektoranalyse* (MEK1100) og *Mekanikk* (FYS-MEK1110). Det sentrale kurset for denne oppgaven er FYS-MEK1110, der kunnskapene fra første semester blir satt på prøve ved studier av fysiske systemer. En relativt stor del av de obligatoriske oppgavene[4]

[4]Studentene får 12 obligatoriske oppgaver gjennom semesteret der 8 må bestås. Studenter med stor aktivitet på forelesningene (klikkerbasert undervisning) vil kunne gå opp til eksamen med kun 7 godkjente oppgaver.

inneholder beregningsorienterte temaer som krever bruk av numeriske metoder og programmering.

1.2.2 Endringer i forhold til tidligere

Å bruke datamaskinen til å gjøre beregninger i laveregradskurs, er relativt nytt. Vistnes og Hjorth-Jensen (2005) skriver at det først ble gjort forsøk på implementering av beregningsorienterte oppgaver i laveregradskurs i 1999, men med ganske blandete erfaringer. På denne tiden var det ingen slike tilnærminger i undervisningen for laveregradsstudenter ut over et frivillig kurs i programmering. Kvalitetsreformen i 2003, med innføringen av bachelorgraden, muliggjorde en total revisjon av laveregradskurs og kursinnhold, og la opp til en stor andel felles og obligatoriske kurs i fysikk, informatikk og matematikk. Nå ble det obligatorisk med et innføringskurs i programmering, INF1000, med Java som programmeringsspråk. Dette var et kurs som henvendte seg til "alle".

I 2004, når jeg delvis fulgte dette første semesteret[5], var derfor INF1000 den obligatoriske innføringen i programmering med programmeringsspråket *Java*, uten noen som helst vekt på matematiske eller naturvitenskapelige anvendelser. Samtidig brukte også MAT-INF1100 Java som programmeringsspråk. I tillegg var vektleggingen av beregningsorienterte tilnærminger i fysikk på et lavere nivå, og det ble gjennomført kun ett prosjekt (dog ganske stort) i FYS-MEK1110 der programmering og numerisk matematikk ble tatt i bruk – den gang med Matlab.

Den store endringen i nyere tid er innføringen av INF1100 høsten 2007 – et kurs som retter seg direkte mot naturvitere. Her bruker man heller ikke lenger Java, men *Python*. Våren 2007 fikk FYS-MEK1110 en ny foreleser med et sterkt fokus på å videreføre de beregningsorienterte temaene og videreutvikle dem, og som følge har kurset nå – i år 2009 – et betydelig revidert pensum med egenutviklet kompendium som lærebok der numeriske metoder flettes naturlig inn og omtales side om side med den "klassiske" teorien. Slik er ikke lenger numeriske metoder en sidestilt del til fysikken, men sterkt *integrert* i lærestoffet. Det er ikke lenger ett eller to større prosjekter med slik tilnærming, men heller oppgaver gjennom hele året. Dette gir forhåpentligvis et mindre oppstykket syn på de beregningsorienterte temaene slik at de kan føles som en mer naturlig del av faget.

1.3 Problemstillinger og avgrensninger

Det er en rekke aktuelle undervisningsmessige og læringsrelaterte problemstillinger å ta fatt i når studieprogrammer eller emner gjennomgår en endring. Ett av de store spørsmålene som ble stilt ganske tidlig het "Får studentene mer innsikt i *fysikken* når de arbeider med beregningsorienterte oppgaver?". Dette er både et svært vanskelig spørsmål å svare på og et spørsmål som må presiseres grundig. Spørsmål en kan stille seg er: Hvordan kan man undersøke hvorvidt studentene får *mer* innsikt når man ikke har noe data å sammenligne med? Hvordan måler man innsikt i fysikk på best måte? Og *hva* er egentlig innsikt i fysikk?

[5]Selv var jeg LAP-student og tok programfag i pedagogikk (Ex.Paed) i stedet for MAT-INF1100.

Det var veldig mange andre spørsmål som også dukket opp ved en nærmere drøfting av spørsmålet ovenfor. Første semester for Mat.Nat-studentene har blitt revidert til å inneholde kurset INF1100, et mer naturvitenskapelig simuleringsbasert kurs enn det generelle programmeringskurset INF1000 som var vanlig tidligere. Det var også et ønske ved denne revisjonen at første semester skulle fremstå som en slags "helhetlig pakke" for studentene, der temaer tas opp på tvers av emner med forskjellige vinklinger (analytisk vs. numerisk derivasjon), og der kunnskap fra første semester kan brukes som grunnlag for videre studier i flere retninger og anvendes på tvers av fag. Her blir det altså interessant å undersøke hvordan første semester *oppleves* av studentene med hensyn til dette, men også i forhold til tidsaktuelle temaer om rekruttering til realfag og motivasjoner for å studere realfag. Temaer som overgangen fra videregående skole mht. arbeidsmengde og vanskegrad i videreførte fag som matematikk, møtet med helt nye temaer som programmering av algoritmer på datamaskinen, hvordan studiet oppleves i forhold til forventninger, hvilke forventninger dette var – ja, en ganske bred kartlegging av hvordan "det nye" første semester oppleves for studentene, med fokus på den numeriske matematikken og programmeringen. En slik kartlegging vil kunne gi et innblikk i hvem den typiske student er og hvordan hans eller hennes studiehverdag oppleves. Å følge studentene i første semester og få innsikt i hva de lærer og hvordan de lærer sitt grunnlag for arbeid med beregningsorienterte oppgaver videre, gir også et mye bedre grunnlag for å gå inn og studere deres arbeid med oppgavene i mekanikk i andre semester. Undersøkelsene i første semester vil altså ha en egenverdi i seg selv, men også virke som et støttende grunnlag for undersøkelsene i andre semester.

I andre semester blir kunnskaper anvendt på fysiske systemer i studentenes første fysikkurs, FYS-MEK1110 – Mekanikk, og det er her hovedinteressen for denne oppgaven ligger – anvendelser i fysikk. Det vil i dette kurset være interessant å undersøke hvorvidt oppgaver med beregningsorientert fokus legger opp til god innsikt i fysikk og om arbeidsmetodene som blir brukt åpner dører for god læring av fysikkfaget.

1.3.1 Konkretisering av problemstillingene

Problemstillingene ovenfor gir opphav til følgende forskningsspørsmål, først rettet mot første semester:

- Hvordan opplever studentene det første semesteret med hensyn på deres forkunnskaper og arbeidsvaner?
  - Hvordan opplever studentene første semester mht. vanskegrad og arbeidsmengde?
  - Hvordan oppleves programmeringen (og programmeringsspråket), med tanke på at det er et helt nytt begrep for mange?
  - Er det en enkel overføring av teori mellom MAT-INF1100 og INF1100?
  - Virker semesteret relevant og motiverende for videre studier?

Og videre følger et par spørsmål mot anvendelsene av kunnskap fra første semester i arbeidet med andre semesters mekanikk:

- Legger første semesters "grunnpakke" godt opp til arbeid med beregningsorienterte oppgaver i Mekanikk? Har studentene nok kunnskaper og ferdigheter til å gå i gang med mekanikkurset – og sitter de?

- Legger arbeidet med beregningsorienterte oppgaver opp til en god måte *å lære* fysikkfaget på? Oppnår studentene god innsikt i *fysikken*?

Det siste spørsmålet er også det desidert største og trenger en del utdyping. Først vil jeg undersøke hvordan de forskjellige delene av faget blir representert under arbeidet. De tekniske bitene ved programmeringen og den analytiske og/eller numeriske matematikken bør ikke overskygge den konseptuelle fysikkforståelsen, men på samme tid skal studentene få trening i bruk av både analytisk matematikk, numerisk matematikk og programmering i arbeidet med de beregningsorienterte oppgavene om ulike fysiske systemer.

Det jeg i spørsmålet legger i "en god måte å lære fysikkfaget på" er om oppgavene, med fokus på de beregningsorienterte bitene, åpner for en konstruktiv læringsøkt. Her menes ikke bare om studentene sitter igjen med "den rette kunnskap", men i større grad om arbeidet legger opp til god læring – et fokus på prosessen og ikke produktet. Dette vil analyseres sett ut fra et *sosiokulturelt læringsperspektiv*, som vil bli grundigere gjennomgått i kapittel 2.2. Knyttet til selve læringsøkten er det noen viktige temaer fra didaktikken som jeg også ønsker å studere. Dette omhandler perspektiver knyttet til modellering og noen temaer innen misoppfatninger og konseptuell forståelse for fysikk. Teorien som danner grunnlaget for dette blir omtalt i kapittel 2.3. I tillegg vil noen temaer direkte knyttet til beregningsorienteringen, omtalt i kapittel 2.4, være aktuelt grunnlag for diskusjon og drøfting. Ønsket er å kunne gjengi studentenes arbeidsøkt med beregningsorienterte oppgaver og å drøfte hvordan arbeidet med oppgavene og "den nye tilnærmingen til faget" forholder seg til studentenes læringssituasjon.

Både representasjonen av fagets deler og den pedagogiske og didaktiske tilnærmingen til arbeidet med oppgaver vil ha en tydelig eksplorerende funksjon der målet er å få innsikt i hvordan beregningsorienterte oppgaver arbeides med og hvilke (nye) utfordringer dette bærer med seg.

1.3.2 Avgrensninger til problemstillinger og oppgaven

Den første avgrensningen som ble gjort, var å utelate observasjon og andre inngående studier av studentenes opplæring i informatikk og numerisk matematikk eller i oppgaveløsingen i disse fagene. Dette ville blitt svært tidkrevende og medført at et slikt fokus ikke kunne fått like stor plass i mekanikk – og det er her jeg ønsker å få mest innsikt. Den første delen av problemstillingen ble derfor undersøkt på en mindre dyptgående måte, og med et større fokus på kartlegging enn forklaring.

Den andre viktige begrensningen var mht. arbeidsmengden for observasjonene i mekanikk. For å ha en overkommelig mengde datamateriale å holde orden på og analysere, bestemte jeg i fellesskap med mine veiledere at tre oppgaver á to par studenter var passelig. Denne delen er ment å gå dypt inn i studentenes arbeid og kunne raskt blitt svært tidkrevende om ikke avgrenset i forkant. Et dypere innblikk i andre spørsmål ble altså begrenset til fordel for det siste forskningsspørsmålet – en drøfting av studentenes læring i arbeidet med beregningsorienterte oppgaver i lys av det sosiokulturelle perspektivet og enkelte aktuelle teoretiske forankringer som legges fram i kapittel 2.

1.4 Disposisjon av oppgaven

Som en hjelp til leseren, vil jeg på denne siden kort beskrive oppgavens syv kapitler:

- *Kapittel 1:* Her introduseres oppgavens bakenforliggende motivasjon og presierer problemstillinger og forskningsspørsmål.
- *Kapittel 2:* I dette kapittelet går jeg gjennom oppgavens teoretiske fundament. Først avklarer jeg hva en beregningsorientert tilnærming til fysikkfaget innebærer. Deretter går jeg gjennom den sosiokulturelle teorien med Vygotskij og Bakhtin som hovedpersoner. Videre tar jeg opp noen temaer knyttet til fysikkfagets utfordringer når det gjelder konseptuell forståelse og misoppfatninger, samt litt om modellering av fysiske systemer. Jeg vier også litt plass til motivasjonsbegrepet. Til slutt går jeg gjennom noen litt mer spesifikke temaer knyttet til beregningsorienterte temaer. Dette kapittelet skisserer begreper som vil brukes i diskusjon og drøfting av resultater i kapittel 6.
- *Kapittel 3:* Oppgavens metodekapittel tar for seg de tre samfunnsvitenskapelige forskningsmetodene som er brukt til datainnsamling og analyse. Først avklares noen generelle trekk ved de samfunnsvitenskapelige metodene og spesielt skillene mellom kvalitativ og kvantitativ metode. Deretter vil den enkelte metodes teorigrunnlag gjennomgås med hensyn til denne oppgavens relevante temaer. I slutten av hver metode presiserer jeg også grundigere hvordan jeg utførte metoden.
- *Kapittel 4:* I oppgavens første resultatkapittel gjennomgår jeg datamaterialet som danner grunnlaget for en diskusjon av studentenes første semester i kapittel 6. Her ble det anvendt fokusgruppeintervjuer og en spørreskjemaundersøkelse. Resultatene presenteres i form av grafer, diagrammer og sitater.
- *Kapittel 5:* Dette er oppgavens andre resultatkapittel og inneholder transkriberte diskusjoner fra studentenes oppgaveløsing i mekanikkfaget sammen med beskrivelser og kommentarer. Disse danner grunnlaget for diskusjon og drøfting i kapittel 6.
- *Kapittel 6:* Her konstrueres temaer med grunnlag i resultater fra kapittel 4 og 5 som diskuteres og drøftes i lys av teori fra kapittel 2 og resultatene i seg selv.
- *Kapittel 7:* I det avsluttende kapittelet oppsummeres kortfattet de viktigste hovedfunn og konklusjoner vi kan trekke ut av diskusjonene og drøftingene i kapittel 6. I tillegg åpner jeg for noen temaer som kan være aktuelle for videre studier med bakgrunn i de funnene som er gjort under arbeidet med denne oppgaven.

Kapittel 2

Bakgrunn og teori

Det at beregninger og simuleringer har fått en så sentral plass innenfor forskning og arbeidsliv har gradvis gitt opphav til at universiteter og høgskoler innfører kurs i beregningsorientert fysikk (Computational Physics) og prøver å bake inn beregningsorienterte temaer og numerisk matematikk over hele studieprogrammet – ikke bare i spesialiserte masterstudier. Selv om det ikke er skrevet så alt for mye om problematikken rundt dette, har det vært et større tema i USA enn andre steder og det har også har blitt publisert noen artikler der. Artikler fra tidsskriftet Computing in Science & Engineering (CiSE) har vært grunnlaget til litteratur om emnet og videre referanser, samt artikler fra andre tidsskrifter funnet gjennom artikkeldatabaser[1] på internett.

Om pedagogisk og didaktisk teori er det derimot skrevet en god del mer. Her tar jeg med meg en del oversiktskunnskap fra mitt år med praktisk pedagogisk utdanning, og velger å fordype meg i sosiokulturell læringsteori med Vygotskij som hovedperson, samt noen andre aktuelle temaer ved læring av fysikkfaget, blant annet konseptuell forståelse og misoppfatninger. Det er skrevet en rekke bøker og artikler om Vygotskij og andre personer som bidro til at den sosiokulturelle teorien vokste fram, og en stor rekke om de andre temaene også. Jeg har gjort et utvalg av bøker og artikler, der noen av disse blir omtalt fortløpende i teksten. Ut fra samtaler med min ene veileder, Carl Angell, og mine egne interesser innenfor feltet, har disse teorirammene blitt bygget opp.

I tillegg har jeg brukt gode innspill og meninger fra sentrale personer som har vært med på å forme studieprogrammene på matematisk-naturvitenskapelig fakultet som jeg har vært i kontakt med. Hovedsakelig er dette min andre veileder, Morten Hjorth-Jensen, leder for bachelorprogrammet i Fysikk, Astronomi og Meteorologi (FAM) og kursansvarlig for *FYS3150 - Computational Physics* og *FYS4410 - Computational Physics II*; Anders Malthe-Sørenssen, kursansvarlig for *FYS-MEK1110 - Mekanikk*; Knut Mørken, kursansvarlig for *MAT-INF1100 - Modellering og beregninger* og Hans Petter Langtangen, kursansvarlig for *INF1100 - Grunnkurs i programmering for naturvitenskapelige anvendelser*.

Samtlige er aktive i prosjektet *Computers in Science Education* ved Center of Mathematics for Applications (CMA) tilknyttet universitetet i Oslo og Anders Malthe-Sørenssen har nylig overtatt ansvaret for innføringskurset i mekanikk og samtidig ansvaret for å opprettholde og videreføre beregningsorientert fokus i kurset. På hjemmesiden til CMA kan man lese følgende om prosjektets målsetting:

[1]Hovedsakelig Universitetet i Oslos bibliotekportal, X-port

> "Målet med prosjektet 'Computers in Science Education' er å legge forholdene best mulig til rette for at de to bachelorprogrammene FAM og MIT kan utdanne kandidater som behersker klassisk matematikk og naturvitenskap, og som samtidig er i stand til å utnytte datamaskinen som et verktøy i sitt arbeid på en naturlig og effektiv måte. Dette betyr ikke primært ferdigheter i bruk av konkrete verktøy, men en grunnleggende forståelse for modellering og beregninger på datamaskin, og rollen dette spiller i moderne matematikk og naturvitenskap. På den annen side vil en konsekvens av slik kunnskap også være naturlig omgang med moderne verktøyprogrammer, og innlæringen vil for en stor del foregå ved bruk av slike verktøy." (CMA, 2009)

Dette er i stor grad i ferd med å bli oppfylt, spesielt i det første studieåret som inneholder felles emner for FAM, MIT og enkelte andre studieretninger. Det er dette første studieåret jeg har tatt for meg i denne oppgaven med studenter fra flere studieprogram i første semester, men med hovedvekt av fysikkstudenter, og med kun fysikkstudenter i innføringskurset i mekanikk i andre semester.

I dette kapittelet vil jeg først ta et innblikk i hva beregningsorientert fysikk *er*, og gi et ganske generelt eksempel på hvordan et fysisk system blir til programkode ved hjelp av numerisk matematikk. Deretter vil jeg kort gå gjennom de viktigste delene av den pedagogiske teorien om sosiokulturell læring og samtidig skissere en del begreper som vil brukes i drøftingene av studentenes læringssituasjon. Jeg vil deretter gå gjennom et par andre aktuelle temaer fra pedagogikkens og didaktikkens verden, som jeg mener vi ikke bør se bort i fra når vi vurderer en undervisningssituasjon. Til slutt vil jeg også ta en titt på hvilke følger en innføring av beregningsorienterte temaer i fysikkundervisningen kan få for læringssituasjonen.

2.1 Beregningsorientert fysikk

Når jeg i denne oppgaven snakker om *beregningsorientert fysikk*, innebærer det et arbeid med fysikk der det tas i bruk numerisk matematikk og programmering på datamaskiner til å utføre store beregninger med simuleringer av fysiske systemer. Vi skriver algoritmer i et programmeringsspråk som datamaskinen forstår og gjør bruk av numeriske metoder fra matematikken til å gjøre beregninger med. I denne første seksjonen vil jeg kort redegjøre for opphavet til den beregningsorienterte fysikken, hva som inngår i begrepet og hvordan våre studenter møter dette i mekanikkundervisningen.

2.1.1 Datamaskinens og den numeriske matematikkens framvekst

Ettersom numerisk matematikk i kombinasjon med en datamaskin er det som i dag legger grunnlaget for beregningsorientert fysikk, er det interessant å se hvordan matematikken og teknologien har vokst fram til det vi har i dag.

Numeriske metoder kan dateres langt tilbake i tid. Isaac Newton (1643–1727) la i sin tid grunnlaget for det vi i dag kjenner som *Newtons metode* for å finne tilnærminger til røttene til reelle funksjoner, og litt senere la Leonhard Euler (1707–1783) grunnlaget for det som skulle bli *Eulers metode* for tilnærmede løsninger til ordinære differensiallikninger. Med bakgrunn i dette, regnet (og predikerte) Lalande og Lepaute i

1748 ut at Halleys komet kom til å bli forsinket til sin retur fra 1682 og Gear og Skeel (1990) siterer Lalande på at "During six months we calculated from morning to night, sometimes even at meals [...][2] the distance of each of the two planets, Jupiter and Saturn, from the comet, separately for every successive degree, for 150 years". Jeg vet ikke hvor godt Lalande og Lepaute hadde likt å se at vi i dag kan utføre disse beregningene på få sekunder med en datamaskin vi kan bære under armen.

Selv om den moderne datamaskin var langt fra å være oppfunnet, ble det likevel utviklet flere og bedre numeriske metoder. Man opererte gjerne med "computers", men da i menneskeform – personer tilsatt for å gjøre utregninger. Carl Runge og Martin Wilhelm Kutta utviklet på begynnelsen av 1900-tallet de metodene som i stor grad fortsatt brukes i dag for å løse ordinære differensiallikninger, de såkalte "Runge-Kutta"-metodene. Det er likevel vanlig å referere til Runge-Kuttas 4. ordens tilnærming som "Runge-Kutta-*metoden*" (i bestemt form entall) ettersom det er denne som i praksis brukes. Etter hvert som tiden gikk kom det utallige metoder for å løse alle mulige problemer, og med den moderne datamaskin og utvikling av gode (pseudo-)[3] "Random Number Generators", kom også en ny verden av metoder på banen, ofte fellesbetegnet som "Monte-Carlo"-metoder. Utviklingen av nye og bedre numeriske metoder, vil sannsynligvis ha minst like mye å si for videre forskning, som utviklingen av datamaskinarkitektur og -sammensetninger.

Tankene om en datamaskin kan dateres like langt tilbake i tid som de numeriske metodene. Pascal (1623–1662) klarte i sin tid å lage en maskin for addisjon og subtraksjon, og litt senere klarte Leibniz (1646–1716) å overgå dette ved å lage en maskin som også kunne utføre multiplikasjon og divisjon (Gear og Skeel, 1990). Selv om Leibniz hadde en framtidsvisjon om en maskin basert på binær logikk til å utføre regneoperasjoner, tok det lang tid før dette ble realisert.

Charles Babbage (1791–1871) er en av personene mange anser som "datamaskinens far". Han arbeidet med planene for *mekaniske* regnemaskiner, blant annet den såkalte "Difference Engine No. 1" bestående av rundt 25000 deler og estimert til å veie rundt 15 tonn (Computer History Museum, 2009). Han la også planer for en *programmerbar* datamaskin som han kalte "The Analytical Engine". Babbage fullførte dessverre aldri noen av sine prosjekter, men "Difference Engine no. 2", bestående av rundt 8000 deler og veiende 5 tonn, har blitt bygget i to eksemplarer etter hans planer av London Science Museum.

Disse maskinene kan selvsagt ikke sammenlignes med våre moderne datamaskiner. Den datamaskinen vi har med oss i en skulderveske i dag, er en følge av en enorm utvikling av teknologi i løpet av 1900-tallet. Utviklingen skjedde først og fremst som en følge av forskningsspørsmål som krevde lange og omstendelige beregninger og de første maskinene var såkalte "single purpose"-maskiner – de ble designet til å tjene et enkelt formål. De tidlige maskinene var også basert på rørteknologi og opptok store arealer, samt at rørene hadde en tendens til å ryke med jevne mellomrom. Det var først med fremskritt i halvlederteknologi og elektroniske transistorer at datamaskinen virkelig fikk medvind. Nå kunne alt gjøres mindre og raskere og det er her vi er i dag. Alt gjøres mindre og raskere for hver dag som går, og elektroniske integrerte kretser finnes ikke bare i datamaskinen, men overalt i hus og hjem.

[2] Og om ikke det skulle være nok, så lyder deler av den utelatte teksten: "the consequence of which was, that I contracted an illness which changed my constitution for the rest of my life"

[3] Tallene er *egentlig* ikke tilfeldige, men basert på tallsekvenser som får de til å fremstå som tilfeldige.

Selv om datamaskinen blir sett på som allmenneie og den blir mye brukt til underholdning som spill og multimedia, er det hovedsakelig naturvitenskaplig forskning som fortsetter å drive utviklingen i regnekraft[4]. Ettersom man kommer nærmere og nærmere grensen for hvor smått man kan lage transistorene, har man gått mer og mer over til å bruke datamaskiner i parallell – såkalte “clustere” av maskiner – der man bruker prosessorkraften til mange maskiner til å løse hver sin del av samme oppgave. Prosessorer med flere kjerner kommer også i større grad på markedet og denne parallelliseringen ser bare ut til å bli viktigere for hver dag som går. Wing (2008) kommenterer problemet med at vi nærmer oss grensen for hvor små elektroniske transistorer kan bli, og peker til alternativer som f.eks. kvantedatamaskiner eller molekylære datamaskiner. Ettersom størrelsesgrensen kun er et spørsmål om tid, vil forskning på dette feltet bli veldig aktuelt i tiden framover. Enn så lenge vil nok parallellisering være løsningen på forskernes evige krav om økt regnekraft – og utvikling av “smartere” numeriske metoder kan hjelpe til med å dempe behovet.

2.1.2 Beregningsorientert *fysikk*?

Fysikk kjennetegnes som faget der man beskriver og forstår verden ved hjelp av (hovedsakelig analytisk) matematikk. Når vi så skal beskrive hva *beregningsorientert fysikk* dreier seg om, er det grunnleggende det samme – vi prøver å beskrive og forstå verden, men nå ved hjelp av *beregninger* utført med *numerisk matematikk* på en eller flere datamaskiner. Altså anvendes kunnskaper fra matematikk og programmering til å studere fysiske systemer og fenomener. For eksempel omtaler Yasar et al. (2000, s. 74) “computational science” (som “computational physics” kan sees på en undergruppe av) som “a bridge connecting computing and math technology with the sciences, but it is also a dicipline of its own”. Yasar og Landau (2003, s. 788) illustrerer dette med at feltet har beveget seg fra å være det rene overlappet mellom matematikk, informasjonsteknologi og naturvitenskap, til å bli et eget felt som inkorporerer de tre andre, men som samtidig har en “egen kjerne” som “may be thought of as its collection of computational tools and methods and its problem-solving mindset, which uses knowledge in one discipline to solve problems in another”. Stikkordene er altså problemløsing og tverrfaglighet i en fysikkfaglig sammenheng.

2.1.3 Fra et fysisk system til programkode

I denne seksjonen vil jeg kort beskrive hvordan et fysisk system, ofte representert ved Newtons lover, kan simuleres på en datamaskin. Rettere sagt, hvordan $F = ma$ går via numerisk matematikk til programkode og simulering.

Systemet som analytisk differensiallikning

Newtons 2. lov møter man på igjen og igjen, og spesielt i mekanikk: $F = ma = m\dot{v} = m\ddot{r}$. Vi har altså en differensiallikning vi ønsker å løse, der $\frac{d^2r}{dt^2} = \frac{F}{m}$ og F kan være en funksjon avhengig av ganske mange variable, bestemt av systemet man studerer. Tar

[4]Utviklingen innen grafikk og visualisering er det spill- og filmindustrien hovedsakelig har stått for i senere tid

man med luftmotstand, vil man sannsynligvis bruke en modell som avhenger av farten kvadrert. Da vil man ende opp med en førsteordens ordinær differensiallikning der vi har en akselerasjon som avhenger av farten (som igjen er avhengig av tiden):

$$\dot{v} = \frac{F(v(t))}{m}$$

En mer generell form på en førsteordens ordinær differensiallikning er som følger:

$$y'(t) = f(t, y(t)) \tag{2.1}$$

Vi kunne også tatt utgangspunkt i et system der kreftene som virker på systemet er avhengig av posisjonen i tillegg til farten og hatt et ønske om å studere posisjonen som en funksjon av tid. Vi ville da fått en tilsvarende likning av andre orden:

$$\ddot{r} = \frac{F(r(t), v(t))}{m} = \frac{F(r(t), \dot{r}(t))}{m}$$

Som også kan skrives på en mer generell form:

$$y''(t) = f(t, y(t), y'(t)) \tag{2.2}$$

Differensiallikningen på numerisk form

Å løse førsteordens differensiallikninger numerisk kan enklest gjøres med Eulers metode som raskest kan utledes fra definisjonen til den deriverte

$$y'(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{y(t + \Delta t) - y(t)}{\Delta t}$$

Ved å deretter sette steglengden, Δt, lik et diskret intervall, h, kan vi gjøre tilnærmingen:

$$y'(t) \approx \frac{y(t + h) - y(t)}{h}$$

Hvis vi fra nå av merker oss at $y'(t)$ kun er en tilnærming, kan vi droppe tilnærmingstegnet og heller omtale den som *tilnærmingen* av den deriverte, den "nye" $y'(t)$. Hvis vi samtidig tar hensyn til likning 2.1, kan omskrive likningen til:

$$y(t + h) = y(t) + hf(t, y(t)) \tag{2.3}$$

Vi har nå en *iterativ* metode for å løse likning 2.1 og finne en y(t) der vi har gitt $f(t, y(t))$. Dette er *Eulers metode.* Denne metoden skrives ofte også med litt annen notasjon som:

$$y_{n+1} = y_n + hf(t_n, y_n) \tag{2.4}$$

Vi trenger bare angi de nødvendige initialverdiene, så kan vi regne ut diskrete punkter for den tilnærmede løsningen for hvert h-te steg. Et visuelt bilde av dette er at hvert punkt på kurven blir regnet ut fra det forrige punktets stigningstall og deretter gå én steglengde h framover. Hvis vi antar en tilstand t_0 der den eksakte løsningen er kjent, kan den numeriske feilen studeres ved hjelp av en sammenlikning med taylorrekka vi ender opp med i studiet av funksjonen y:

$$y(t_0 + h) = y(t_0) + hy'(t_0) + \frac{1}{2}h^2 y''(t_0) + \frac{1}{6}h^3 y^{(3)}(t_0) + ...$$

Bruker vi likning 2.1 her, tilsvarer den første delen av rekka hva vi har i likning 2.3:

$$y(t_0 + h) = y(t_0) + hf(t_0, y(t_0)) \left[+ \frac{1}{2}h^2 y''(t_0) + \frac{1}{6}h^3 y^{(3)}(t_0) + ... \right]$$

Vi utelater alle ledd fra og med $\frac{1}{2}h^2 y''(t_0)$ og vi sier at det *dominante* leddet vi utelater, er i størrelsesordenen h^2. Den numeriske feilen blir dermed notert som $O(h^2)$. Steglengden og antall steg oppfyller relasjonen $n = \frac{t}{h}$ over et gitt tidsintervall, t, så et overslag av feilen som blir gjort over den samme tiden er $h^2 \cdot n = h^2 \cdot \frac{t}{h} = t \cdot h$. Siden den estimerte feilen øker, naturlig nok, med lengden av tidsintervallet, men samtidig også med økende h (av første orden), kaller vi Eulers metode for en *førsteordens metode*.

Veien fra numerikk til programkode

I mekanikk ender vi veldig ofte opp med en andreordens differensiallikning som likning 2.2 fordi vi som regel vil beskrive et system gitt av Newtons 2. lov, $F = ma = m\ddot{x}$, og ønsker gjerne å regne ut og visualisere både fart og posisjon mhp. tiden – eller i forhold til hverandre i eksempelvis posisjon-moment-faserom. Etter å ha analysert kreftene som virker, ender vi opp med en *andreordens differensiallikning* som kan se ut som $m\ddot{x} = F(x, \dot{x}, t)$, der funksjonen $F(x(t), \dot{x}(t), t)$ vil være kreftene som virker på systemet, og trenger ikke å avhenge av alle variablene $x, \dot{x}$ og t, men kan gjøre det. Vi innfører nå en ny variabel, for eksempel v, med relasjonen $v = \dot{x}$ ("selvfølgelig"). Hvis vi nå kaller $\frac{1}{m}F(x(t), v(t), t)$ for a, ender vi opp med det *koblete settet med førsteordens differensiallikninger* som følger:

$$\dot{v} = a \tag{2.5a}$$
$$\dot{x} = v \tag{2.5b}$$

Å løse den nederste likningen forutsetter at vi kan løse den øverste. På datamaskinen lager vi da en plass for en rekke diskrete verdier for disse variablene i såkalte *arrays*[5], og vi definerer start- og endepunkter slik at vi kan bruke den iterative metoden fra likning 2.3. Steglengden h er i dette tilfellet dt, og vi ender opp med noe vi kan bruke i programkoden vår (med utgangspunkt i det i-te elementet i arrayen):

$$a_i = \frac{1}{m}F(x_i, v_i, t_i) \tag{2.6a}$$
$$v_{i+1} = v_i + a_i \cdot dt \tag{2.6b}$$
$$x_{i+1} = x_i + v_i \cdot dt \tag{2.6c}$$
$$t_{i+1} = t_i + dt \tag{2.6d}$$

[5]For eksempel blir $x(t)$ til $[x_0, x_1, x_2, ..., x_i, ..., x_n]$ for $[t_0, t_1, t_2, ..., t_i, ..., t_n]$

Her bruker vi altså Eulers metode (2.6b, 2.6c) for å finne (tilnærmede) løsninger for hastighet og posisjon ut fra akselerasjonen som vi finner fra Newtons 2. lov (2.6a). Tiden blir også oppdatert (2.6d). Et eksempel fra en typisk programkode blir som følger (der jeg har valgt ut noen helt tilfeldige krefter selv):

```
#inkluder _alt_ av noedvendige pakker
from scitools.all import *

#konstanter
m = 80.0 #masse
time = 10.0 # ser paa 0-10 sekunder
dt = 0.001 # steglengde
n = int(round(time/dt)) #antall diskrete verdier

#deklarerer arrayer med lengde n fylt med nuller
t = zeros(n,float)
x = zeros(n,float)
v = zeros(n,float)
a = zeros(n,float)

#initialverdier
x[0] = 0.0 # m
t[0] = 0.0 # s
v[0] = 0.0 # m/s

#funksjoner for kreftene
def F(t): #tidsavhengig kraft
    tidskraft = 4 + 1.5*t
    return tidskraft

def D(v): #hastighetsavhengig kraft, f.eks. luftmotstand
    luftmotstand = 0.812*v**2
    return luftmotstand

#Euler-loekke (innholdet tilsvarer likningene 2.6a-d)
for i in range (n-1):
    a[i] = 1/m*(F(t[i]) - D(v[i]))
    v[i+1] = v[i] + dt * a[i]
    x[i+1] = x[i] + dt * v[i]
    t[i+1] = t[i] + dt

#visualisering
figure(1)
plot(t,x)
figure(2)
plot(t,v)
figure(3)
plot(t,a)
```

PS. All tekst med #-tegnet foran, er her mine egne kommentarer som ikke har noen innflytelse på programmets oppførsel.

2.2 Sosiokulturell tilnærming til læring

> "Sosiokulturelle perspektiv byggjer på eit konstruktivistisk syn på læring, men legg avgjerande vekt på at *kunnskap blir konstruert gjennom samhandling og i en kontekst*, og ikkje primært gjennom individuelle prosessar. Derfor blir interaksjon og samarbeid sett på som heilt grunnleggjande for læring, ikkje berre som eit positivt element i læringsmiljøet." (Dysthe, 2006b, s. 42)

Store deler av analysen av observasjonene i denne oppgaven vil ta utgangspunkt i en sosiokulturell tilnærming til læring. Når jeg i kapittel 1.3.1 spør om de beregningsorienterte oppgavene legger opp til en god måte *å lære* fysikken på, spør jeg blant annet om hvorvidt arbeidet legger opp til gode læringsmuligheter sett ut fra et sosiokulturelt perspektiv. At det pedagogiske grunnlaget for denne oppgaven settes i den sosiokulturelle teorien, er først og fremst for å ta et pedagogisk standpunkt som allerede er tatt seriøst under FYS-MEK1100 sine forelesninger ("klikkeroppgaver" med påfølgende diskusjoner, se Raen, 2008) og som har vist seg å være svært fruktbart i drøfting av konseptuell forståelse av fysikk og i behandling av misoppfatninger (temaer som gås gjennom senere i dette kapittelet). I dette kapittelet vil jeg beskrive den sosiokulturelle tilnærmingen til læring og skissere en del grunnbegreper jeg vil benytte meg av i analysedelen av denne oppgaven.

2.2.1 Vygotskijs teoriramme

Lev Semonjovitsj Vygotskij (1896–1934) blir vanligvis sett på som grunnleggeren av den sosiokulturelle teorien. Han vokste opp i en jødisk middelklassefamilie i Hviterussland og han ble – heldigvis – en av de 3 % med jødisk bakgrunn som fikk lov til å studere (Dysthe og Ingland, 2006, s. 74). Han studerte først medisin, så jus ved Moskva universitet, og parallelt med dette studerte han fag som lå hans interesser nærmere, nemlig litteratur, kunst, filosofi og historie. Etter universitetet jobbet han som lærer i Gomel der han underviste i litteratur, estetikk, filosofi og russisk. Det er i denne perioden han skrev boka *Educational Psychology* (se Vygotsky, 1992) og det første grunnlaget til hans senere verker[6] om læring og utvikling og den sosiokulturelle teorien om læring som helhet. Dette skjedde på samme tid som Russland gjennomgikk en politisk revolusjon og overgangen til den sosialistiske Sovjetunionen. Historisk sett var dette en brytningstid der det ble stilt spørsmål ved tidligere teorier og han stod mellom en europeisk danningstradisjon på den ene siden og en sosialistisk ideologi på den andre. Dysthe og Ingland (2006, s. 75) skriver blant annet at "Han avviste til dømes det individualistiske grunnsynet og dualismen mellom eit biologisk og kulturelt nivå som prega vestlege, psykologiske teoriar (jf. behaviorismen og kognitivismen)". Det var nettopp etter en kritisk forelesning mot Pavlovs refleksologi i 1924 at han fikk sin forskerstilling ved Moskva universitet, der han arbeidet videre med sine teorier om læring. Han pådro seg tuberkulose tidlig på 1920-tallet som han kjempet en hard kamp mot, men til slutt måtte gi tapt for i 1934. I den siste perioden av sitt liv, skrev han en enorm mengde arbeider, og Bråten (2008a, s. 15) omtaler det som "[...] en kreativ raptus som gjør ham sammenligningen Mozart verdig".

[6]Der de mest kjente og aktuelle er *Mind in Society* (Vygotsky, 1978) og *Thought and Language*, sistnevnte også oversatt til norsk: *Tenkning og tale* (Vygotskij, 2008)

Selv om han kritiserte mye ved de vestlige teoriene, hentet han også mye inspirasjon fra disse, spesielt Piaget og hans teorier om barns utvikling og konstruksjon av kunnskap. Et viktig eksempel som viser skillet mellom Piagets kognitive (og biologisk betingete) konstruktivisme og Vygotskijs sosiokulturelle syn, er det Piaget kaller barns "egosentriske tale", der barn snakker til seg selv om det de gjør. Mens Piaget beskriver den egosentriske talen som et "unyttig akkompagnement" til barnets aktivitet (Bråten, 2008c, s. 86), hevder Vygotskij tvert imot at "Den ledsager ikke bare barnets virksomhet; den bidrar til mental orientering og bevisst forståelse; den hjelper til med å overvinne vanskelighetene; det er tale for seg selv, nær og nyttig forbundet med barnets tenkning" (Vygotskij, 2008, s. 198). Dette fører oss inn mot en essensiell del i Vygotskijs teoriramme: Språkets betydning.

Språkets betydning hos Vygotskij – meningsbærende tegn, mediering og internalisering

I følge Vygotskij befinner barns tenkning seg på et ikke-verbalt stadium opp til en viss alder, og barns tale befinner seg samtidig på et ikke-intellektuelt stadium (Øzerk, 2008, s. 101). Barnets ytringer er på dette stadiet nærmest et rent sosialt redskap for å uttrykke et behov det i større eller mindre grad er opp til omverden å tolke riktig. Litt senere, i barnets gryende språkbruk, kan man derimot observere den egosentriske talen omtalt i innledningen – også kalt "sandkassespråk" ettersom dette er lett å observere hos barn i sandkassa. Som Imsen (2003, s. 156) skriver:

> "Legg merke til små barn i sandkassa. De snakker ikke så mye til hverandre. De snakker mest til seg selv om det de gjør [...] Ifølge Vygotsky er dette mer enn å snakke *om* det som skjer. Språket og handlingen er deler av den samme situasjonen, og fyller en funksjon sammen"

Vygotskijs konklusjoner sprang blant annet ut fra at han observerte at forekomsten av egosentrisk tale økte sterkt i takt med vanskegraden til problemet barnet ble utsatt for, og ved vanskelige og frustrerende situasjoner observerte han nesten en fordobling av egosentrisk tale sammenlignet med både det han selv og Piaget hadde dokumentert var normalen for barn til vanlig (Bråten, 2008c, s. 86). I følge Sjøberg (2005, s. 265) knytter Piaget denne talen til en form for selvsentrert logikk og at barna mangler evne til å se ting fra andres perspektiv. Imsen (2003, s. 97) presiserer at Piaget ikke mener at dette har noe med meningsskaping å gjøre ettersom forståelsen kommer først, så kommer språket, i følge ham. Vygotskij, på den annen side, mener at det er nettopp her barnet skaper mening, og det bruker *språket som hjelpemiddel* til å skape mening og forståelse. "Vi står nemlig ikkje i direkte, umiddelbar kontakt med omverda, vi handterer henne ved hjelp av medierande middel som utgjer kulturelle reiskapar, av ulike slag" (Dysthe og Ingland, 2006, s. 77).

Når kulturelle redskaper – eller *tegn* – trekkes inn som redskap for tanken mellom stimulering og handling, kaller Vygotskij dette for *mediering*[7] (Imsen, 2003, s. 158). For ham kan alle kulturelle redskaper som virker meningsbærende for individet hjelpe til med

[7]Uttrykket "mediering" hos Vygotskij blir noen ganger oversatt til "formidling" eller "overføring", men det er viktig å huske at det er en omfattende prosess, og handler mer om meningsskaping enn om en ren overføring av begreper og kunnskap

å håndtere omverden, og Dysthe og Ingland (2006, s. 77) skriver at "Dei [medierande middel] omfattar semiotiske teknsystem av ulike slag, så vel som artefaktar, rutinar og teknologiar". Her står språket i en særstilling som semiotisk tegnsystem og ansees som nødvendig for å danne og utføre høyere psykologiske prosesser, og Imsen (2003, s. 158) skriver at "Mediering gjennom språk hjelper individet til å kontrollere sine egne handlinger. Språket blir dermed viktige hjelpemidler for den selvstendige tenkningen. [...] Å utvikle språket er å utvikle tankens byggeklosser".

Vygotsky la ikke skjul på at en del psykologiske prosesser er biologisk determinert, og han trakk derfor et fundamentalt skille mellom *elementære*, eller *naturlige*, former for psykologiske prosesser og *høyere*, eller *kulturelle*, former (Bråten, 2008c, s. 84). Idet utviklingen bringer menneskets psykologiske prosesser opp og forbi nervesystemets biologiske dimensjon, beskriver Vygotskij dette som en overgang fra ikke-mediert til mediert aktivitet.

Både Piaget og Vygotskij observerte at den egosentriske talen avtok etter hvert som barnet ble eldre, men igjen var det uenighet om grunnen. Piaget påsto at når barnet blir eldre, vil den egosentriske talen "dø ut" og bli erstattet av vanlig sosial tale, dvs. tale rettet mot andre (Kubli, 2005, s. 506). For Vygotskij dør den egosentriske talen derimot ikke ut, men går over til en *indre tale*. Kubli (2005, s. 506) skriver at "For Vygotsky, it is clear that egocentric speech, when it disappears, becomes silent inner speech – which can be re-transformed into audible speech in special situations".

Det at den egosentriske talen har gått over til en såkalt "indre tale", er kanskje det tydeligste eksempelet på det Vygotskij omtaler som *internalisering*. Dysthe og Ingland (2006, s. 76) presiserer og problematiserer begrepet ved at

> "Utviklinga frå sosial samhandling til individuelle medvitsfunksjoner omtaler Vygotskij som internalisering. Termen er problematisk av minst to grunnar. For det første kan forestillinga om at noko blir flytta inn, medverke til ei forståing av utvikling som legg einsidig vekt på det sosiale. [...] For det andre kan enkle framstillingar av teorien om kulturell utvikling gi inntrykk av at internalisering inneber nærmast mekanisk overføring og passiv aksept av det overførte."

Internalisering er på ingen måte en overføring med passiv aksept, men en prosess der språket og andre meningsbærende tegn inngår for å skape den individuelle mening. Bråten (2008a, s. 24) utdyper begrepet enda mer ved å si at

> "Det som først opptrer som observerbar tegnbruk innenfor rammen av sosial, interpersonlig samhandling, blir gjennom internaliseringsprosessen en indre psykologisk prosess og dermed en del av individets bevissthet. [...] Enhver høyere psykologisk prosess eksisterer dermed på et ytre sosialt plan før den blir en indre individuell prosess; den er i utgangspunktet en sosial prosess mellom to eller flere mennesker. [...] Vygotskys bruk av internaliseringsbegrepet innebærer egentlig at kulturen ikke bare er en virkelighet utenfor individet, som individet må forholde seg til. Individet må forstås som internalisert kultur."

Det siste kan raskt assosieres med sosial og kulturell determinisme, men det ligger hele tiden innbakt i teorien at individet kan heve seg over den ytre omverdenen, dens miljø og kultur, og omskape den (Imsen, 2003, s. 158).

Begrepsdanning: Spontane begreper og vitenskapelige begreper

På grunn av behovet for sosialt samspill og kommunikasjon, vil barn utvikle begreper som gir positiv respons hos foreldre og voksne før de selv forstår begrepet. Bråten (2008a, s. 29) omtaler dette som at barnet utvikler "begrepet-for-andre" og "begrepet-i-seg-selv" før det utvikler "begrepet-for-meg-selv". Som følge av denne ytre påvirkningen kan begrepsdanningen sees på som en sosial konstruksjon.

Internalisering av sosiale konstruksjoner skaper individuell mening og opphavet til det Vygotskij omtaler som *spontane begreper*. Disse begrepene kjennetegnes av å ha rot i hverdagserfaringer og at de er usystematiske og sterkt kontekstbundne (Bråten, 2008a, s. 29). Dette er begreper der individet har, gjennom sosial interaksjon, tilegnet en mening som passer seg i den sosiale konteksten han eller hun befinner seg i. Bråten (2008a, s. 30) peker på et kjent, og svært godt, eksempel når han skriver

> "Da vår mangeårige regjeringssjef, Gro Harlem Brundtland, på en internasjonal kvinnekonferanse i Beijing nylig fortalte historien om en norsk 4-åring som hadde spurt sin mor om en mann kunne bli statsminister, illustrerte hun også noe av det konkrete og kontekstbundne ved barns spontane begrepsutvikling".

Vitenskapelige begreper er derimot bestemte begreper med en mer universell mening. De bærer preg av en dekontekstualisert, logisk og hierarkisk organisering – noe som Vygotskij gjenkjenner fra skoleundervisning. I eksempelet har altså barnet blitt utsatt for et begrep – "statsminister" – som har en veldefinert betydning, men som barnet har dannet en ufullstendig mening av. Som Bråten (2008a, s. 30) skriver videre, "En mer logisk og abstrakt forståelse av begrepet statsminister kan imidlertid bygge videre på slike konkrete, virkelighetsnære erfaringer og samtidig tilføre dem nødvendig bevissthet og systematisk struktur" – altså bringe individets mening nærmere det vitenskapelige begrepet. Barnet vil her kunne bygge videre på det spontane begrepet det allerede har, og det vil være en essensiell del i læringen av det vitenskapelige begrepet.

I individets indre tale har de spontane begrepene forrang. Når den indre talen imidlertid må finne et uttrykk i konkret tale eller skrift, må ordene kunne forstås av andre ut fra en felleskulturell kjerne av mening – en nødvendighet for kommunikasjon. Her vil den andre, den stabile, leksikalske definisjonen av ordet, komme til uttrykk. Kommunikasjon vil dermed styrke og fremme bruken av vitenskapelige begreper og hjelpe til med å systematisere og bevisstgjøre individets spontane begreper. Øzerk (2008, s. 105) beskriver også begrepenes utvikling fra Vygotskij: "[...] spontane begreper har en utviklingsretning som er ' 'upward' towards greater abstractness,' og at de legger forholdene til rette for etableringen av faglige begreper '...in their 'downward' development toward greater concreteness' ".

Vygotskijs syn på læring i undervisningssammenheng og "den nærmeste utviklingssonen"

Det at sosiale konstruksjoner går fra et sosialt plan til et indre plan gjennom internalisering og hvordan vitenskapelige begreper blir opparbeidet ved hjelp av en utvikling og strukturering av spontane begreper, gir Vygotskijs et syn på læring som har en del følger for læring i skolesammenheng. Dysthe og Ingland (2006, s. 77-78) skisserer hvordan han brøt med sin samtids tre hovedsynspunkter på læring – 1) Utvikling før læring, 2) Utvikling og læring er samtidige og sammenfallende prosesser[8] og 3) Læring og utvikling er innbyrdes ulike prosesser som henger sammen og har innvirkning på hverandre – og sier heller at 4) Læring kommer *før* utvikling og trekker utviklingen med seg. Begreper medieres først i det sosiale plan og læres der, for deretter å bli internalisert og utviklet på individets indre plan.

Et eksempel på hvordan dette påvirker klasserommet er hvordan dette synet påvirker forholdet til imitasjon. Elevers imitasjon kan raskt bli sett på som ren "mangel på forståelse", men ut fra Vygotskijs syn er det derimot et "[...] tegn på at en utviklingsprosess er i gang. Imitasjon skjer ikke som en mekanisk etteraping; tvert imot kan imitasjon forstås som en konstruktiv og selektiv prosess" (Bråten og Thurmann-Moe, 2008, s. 129).

Vygotskijs pedagogiske syn oppsummerer han selv ved å introdusere begrepet "den nærmeste utviklingssonen"[9]. Vygotskij definerer denne sonen som følger:

> "It is the distance between the actual developmental level as determined by independent problem solving and the level of potential development as determined through problem solving under adult guidance or in collaboration with more capable peers" (Vygotsky, 1978, s. 86)

Begrepet skisserer altså en tenkt sone mellom individets allerede oppnådde utviklingsnivå, og nivået han eller hun klarer å oppnå med veiledning eller samarbeid med andre. Denne tenkte sonen er for Vygotskij et område der optimal læring vil finne sted – hele tiden i forkant av elevens utvikling, men ikke så langt at han eller hun ikke er i stand til å løse problemer i samhandling med andre. I motsetning til tradisjonell "formidlingspedagogikk" gikk altså Vygotskij inn for en undervisning som tilrettelegger for læring og utvikling gjennom aktiv samhandling med lærer og medelever. Denne revurderingen av det å søke hjelp hos andre og synet på imitasjon fra å være en svakhet, til heller å bli sett på som tegn på at utviklingsprosesser er i gang, var på den tiden både kontroversielle og radikale, og Vygotskijs pedagogiske ideer må forstås som en skarp kritikk av den rådende formidlingspedagogikken (Bråten og Thurmann-Moe, 2008, s. 128).

Et hovedpoeng er da at "god undervisning" vil være undervisning som legger til rette for mediering – altså utveksling av ideer og meningsdanning gjennom utstrakt bruk av språk og andre kulturelle tegn i et sosialt fellesskap. Dette vil i praksis bety undervisning som er preget av dialog mellom lærer og elev og som oppfordrer til samarbeid og samhandling mellom elevene (Bråten og Thurmann-Moe, 2008, s. 130). Når Vygotskij skriver "more capable peers" – mer kompetente andre – kan dette nemlig gjerne være jevnaldrende kamerater.

[8]Det behavioristiske synet: Læring *er* utvikling

[9]Eller: "Den proximale utviklingssonen". På engelsk: "Zone of Proximal Development", ofte forkortet "ZPD"

2.2.2 Bakhtins dialogisme

> "[...] kvart ord vi brukar, er fylt med ekko av stemmene til tidlegare brukarar" (Dysthe, 2006b, s. 48)

Sitatet er av Mikhail Mikhailovitsj Bakhtin (1895-1975) og, som det kanskje tyder på, var han først og fremst lingvist[10]. Bakhtin vokste opp på samme tid som Vygotskij, men utviklet sine ideer uavhengig av ham, og som Kubli (2005, s. 505) skriver, "[...] it is hard to believe that the two never met". På samme måte som for Vygotskij, fikk revolusjonen i 1917 innvirkning på Bakhtin. Hans interesser skiftet fra å omhandle estetikk og filosofi om religion, til å handle om datidens store utfordringer for den nye Sovjetunionen. Hans karriere var til tider svært turbulent, der han blant annet ble dømt til eksil[11] for deltakelse i et undergrunnskirkesamfunn, og der den tyske invasjonen under andre verdenskrig førte til konfiskerte bøker. Likevel levde han lenge nok, i motsetning til Vygotskij, til å oppleve at hans tanker ble oppdaget og verdsatt av andre. Dette førte blant annet til at han fikk avslutte sitt liv på en verdig måte, boende i Moskva.

Siden Bakhtin arbeidet først og fremst med analyser av litterære verk, ble hans ideer i lang tid også brukt hovedsakelig innen felt som litteraturteori og tekstanalyse. Innen utdanningsforskning og pedagogikk har han kun nylig blitt oppdaget, og han kom inn i feltet i kjølvannet av Vygotskij-interessen på 1990-tallet (Ingland og Dysthe, 2006, s. 107). Derfor er det også vanlig å utfylle den sosiokulturelle teorien, der Vygotskij er "hovedpersonen", med Bakhtins ideer, men det er samtidig viktig å passe på at han ikke er noen ren "Vygotskij-utfyller". Dysthe og Ingland (2006, s. 82) skriver at "mens Vygotskij først og fremst konsentrerer seg om tidleg språktileigning, har Bakhtin meir å bidra med for forståinga av individuell utvikling på eit seinare tidspunkt 'når verda inni og utanfor individet alt er fylt av ord' ".

Dialog, språk og kommunikasjon

Bakhtins tankeverden blir illustrert av Mortimer og Scott (2003, s. 12) når de skriver "For Bakhtin, existence, language and thinking were essentially a dialogue". Stikkordet er *dialog*, og Bakhtin bruker det med flere ulike betydninger som alle spenner mye videre enn den dagligdagse oppfatning av ordet som kun en verbal ordutveksling. Ingland og Dysthe (2006, s. 109) presiserer på dette punktet:

> "Når vi i internasjonal litteratur finn så mykje lettvint og slagordprega bruk av arbeida hans, har det ikkje minst med det å gjere at det krev eit skikkeleg arbeid å forstå og sjå konsekvensane av ei dialogoppfatning som i sterk grad bryt med dei tilvante oppfatningane våre av språk, tekst, diskurs og kommunikasjon".

Noen av de ulike betydningene av ordet blir også beskrevet av Ingland og Dysthe (2006, s. 109–110) ved at Bakhtin på et overordnet plan omtaler hele den menneskelige eksistensen som dialog ved å definere "selvet" gjennom dialogiske relasjoner til "den andre"; livet er en kontinuerlig, uavsluttet dialog med andre stemmer. Han bruker også

[10] Litteraturteoretiker, språk- og kulturfilosof (Dysthe og Ingland, 2006, s. 82)
[11] Opprinnelig "dødsleir", men slapp unna med "bare eksil" på grunn av dårlig helse.

dialog om språkbruk generelt og hevder at det er et grunnleggende trekk ved alle ytringer – i senere tid omtalt som "dialogisitet". Alle ytringer er i prinsippet dialogiske. Igjen er det viktig å skille dette fra dagligtalens "snevre versjon" av ordet, men se på ytringene som bærere av individuell mening og sosialt og kulturelt innhold. Den siste betydningen kommer fram ved måten han ser på motsetningene mellom dialog og monolog i både språklig sammenheng og på et filosofisk plan.

En dialog innebærer utveksling av *ytringer*. For Bakhtin omfatter dette eksempelvis både muntlige og skriftlige beskjeder, en artikkel, en forelesning, en roman eller en vitenskapelig avhandling (Ingland og Dysthe, 2006, s. 111). Han vektlegger videre at alle ytringer er *adresserte* – den er alltid rettet mot noen. Den som ytrer seg prøver derfor alltid å konstruere ytringen ut fra en forutsett respons og den blir alltid konstruert ut fra et felles grunnlag av verdier og bakgrunnskunnskap. Det handler altså om å gjøre seg forstått og om å skape mening. Ingland og Dysthe (2006, s. 113) skriver at:

> "Den som ytrar seg føreset ein aktiv forståingsprosess, og svaret frå den andre er eit aktiverande prinsipp for meining som først oppstår når ei ytring er forstått på eitt eller anna nivå. Meining er med andre ord ikkje noko som bur i det individuelle medvitet eller blir skapt av individet. Meining blir skapt og gjenskapt av partar som samhandlar i bestemte kontekstar og animert av ulike stemmer som interagerer."

To andre begreper hos Bakhtin er *sosiale språk* og *talesjangere*. Bakhtin gir aldri en egen definisjon på hva sosiale språk er, men en rekke eksempler som gir et godt bilde av hva han mener. Individets stemme, både hva en kan si og hvordan det sies, er formet gjennom bruken av sosiale språk. Ingland og Dysthe (2006, s. 113) gir eksempler som Bakhtin selv bruker på slike sosiale språk: "Ein epoke, ein profesjon, ein institusjon, ein skuleklasse eller ei aldersgruppe kan til dømes ha sitt eige sosiale språk". En ytring defineres derfor av det sosiale språket man ytrer seg i og bærer derfor med seg kulturelt og institusjonelt betingete verdier og betraktninger, men samtidig er man som medlem av dette språkfellesskapet også med på å forme det sosiale språket. Mortimer og Scott (2003, s. 13) presiserer til vår kontekst: "Using Bakhtin's terms, learning science involves learning the social language of science, or, at least, one form of that social language". Det å *forstå* et konsept eller et fenomen, vil derfor være å kunne beskrive og forklare det ved bruk av fagfeltets sosiale språk.

En talesjanger er på den annen side en mer stabil *form* for hvordan ytringer settes sammen. Ingland og Dysthe (2006, s. 114) kaller det "ei typisk form for komposisjon av ei individuell ytring, ikkje den individuelle ytringa i seg sjølv". Mortimer og Scott (2003, s. 130) henviser til noen eksempler Bakhtin gir på slike sjangere "that includes short rejoinders of daily dialogue, everyday narration, the brief standard military command, the elaborate and detailed order, business documents, scientific articles and all literary genres".

Mortimer og Scott (2003, s. 130) oppsummerer og skiller også mellom begrepene ved å si at "while a social language is related to a specific point of view determined by a social or professional position, the speech genre is related to the social and institutional place where the discourse is produced". Som eksempler gis også det sosiale språket "school science" og talesjangeren "classroom talk". Talesjangeren "classroom talk" utdypes også gjennom spørsmålet "Where else, other than in the classroom, does one person (the teacher) ask so many questions to which they already know the answer?" (Mortimer og Scott, 2003, s. 23).

Monolog, dialog og polyfone tekster

Siden Bakhtin hevder at alle ytringer er grunnleggende dialogiske, kan det virke rart at han går kritisk ut mot en "monologisering" av ytringer. Dette kommer av Bakhtins bruk av begrepet *monolog*, som Ingland og Dysthe (2006, s. 116) beskriver som følger: "For Bakhtin er monologen ei autoritativ ytring som ikkje gir rom for tvil, spørsmål og motforestillingar, og ikkje opnar for motseiing". En monolog er altså en ytring som krever en passiv aksept – en slags "fasitsvar-påstand". For at individet skal skape mening og utvikle seg, må det inngå i en dialog med "den andre" – om det er foreldre, medelever, lærer eller en tekst. En god forståelse – eller *kreativ forståelse*, som Bakhtin kaller det – oppstår kun gjennom en reell dialog der flere stemmer kan komme til uttrykk og drøftes. Ingland og Dysthe (2006, s. 116–117) skriver at:

> "Å gå i dialog med tekstar og andre stemmer inneber å reaksentuere, prøve ut, gi sin eigen versjon, finne sin eigen 'aksent'. Berre slik kan ein 'appropriere' ordet til den andre, og 'indre overtydande diskurs' oppstå. [...] Ulikskap blir ikkje ein trussel, men tvert om råstoff for å skape noko nytt, anten det gjeld løysinga på eit vitskapleg problem, oppfatningar på det mellommennesklege planet eller eit litterært verk."

Bakhtin var svært opptatt av romanen som litterær sjanger, og anså denne som den mest dialogiske av alle tekstsjangere. Det var i analyser[12] av Dostojevskijs romaner han mer eller mindre utviklet denne opposisjonen mot monolog og streben etter diskurs med reell dialog. Han anså Dostojevskij som den første *polyfone*, eller *flerstemmige*, forfatteren ettersom hans romanpersoner ble tillatt "å ha status av eit 'eg' og halde på si eiga stemme, uavhengig av forfatteren si" (Ingland og Dysthe, 2006, s. 118). Dette polyfoni-begrepet har også en betydning ut over romansjangeren ved at det berører Bakhtins forståelse av *sannhet*:

> "Polyfoni-omgrepet heng nemleg saman med Bakhtin si forståing av at sanning aldri er noko som er gitt ein gong for alle og kan fangast av eit system. Han er ikke dermed ute etter å relativere sanninga. Poenget hans er at ho alltid må konstituerast på nytt gjennom dialogen, både i romanen og i det verkelege livet." (Ingland og Dysthe, 2006, s. 118)

Individuell sannhet oppstår da ikke gjennom en passiv aksept av vitenskapelige/akademiske (muligens midlertidig) anerkjente sannheter, men gjennom en polyfon, reell dialog med andre stemmer – en diskurs der flere stemmer kommer til uttrykk og blir likeverdig drøftet.

[12]Oversatt til norsk av Audun Johannes Mørch i *Latter og dialog – Utvalgte skrifter* (Bakhtin, 2008)

Tekstens dialog

Siden et av hovedmidlene for kunnskaps- og meningsutveksling er tekst, og man spesielt i skolen finner tekster i alle former (for eksempel læreboka, oppgaver og internett), er temaet verdt litt utdyping. Bakhtins egne tanker rundt dialog og monologisering springer nettopp ut fra analyse av tekster. For at en tekst skal ha læringsverdi ut over pugg og memorisering, bør den strebe etter å være dialogisk – altså ikke-autoritativ, flerstemmig og ta hensyn til motsetninger.

Wells (2007, s. 256) beskriver to typer tekster, den første en monologisk stil der "the speaker's or writer's text assumes no expectation of a rejoinder; all that is required is comprehension and acceptance". Dette er en tekstform som egner seg godt til å *videreformidle* kulturell kunnskap og mening, men er ikke i seg selv meningsskapende. Den er autoritativ og tar ikke innover seg andre synspunkter. For å sette det på spissen: Teksten forutsetter fullstendig underkastelse fra leseren. Den andre typen tekst er motsetningen til dette – en reell dialogisk tekst. Her blir flere synspunkter tatt opp og drøftet for å skape rammer og mening rundt hva det eventuelt blir konkludert med, hvis det i det hele tatt konkluderes eksplisitt.

Dette er ytterpunktene av stiltyper en tekst kan innta, men man havner ofte et sted midt i mellom. Når man for eksempel skriver et læreverk, blir det vanligvis en balansegang mellom videreformidling av den kulturelle kunnskapsbasen på den ene siden og meningsskaping på den andre. I tillegg kan det forutsettes at meningsskapingen kan skje i klasserommet der diskusjoner og synspunkter kan tas opp i plenum, slik at ikke teksten må gå alt for grundig til verks på dette.

2.2.3 Mortimer & Scott's "Meaning Making"

Mortimer og Scott (2003) skrev boka *Meaning Making in Secondary Science Classrooms* med bakgrunn i deres interesse og diskusjoner rundt sosiokulturell teori med, først og fremst, Vygotskij og Bakhtin som inspirasjonskilder. Med denne bakgrunnen konstruerer de i boka et sett med begreper for å beskrive, karakterisere og analysere det verbale samspillet mellom (hovedsakelig) lærer og elever i klasserommet. Noen av begrepene er også brukbare i denne oppgavens student-student-relasjoner. Under observasjonene var mine innspill vanligvis et verktøy for å fremme studentenes *verbale samspill* og mane opp til diskusjon dem i mellom og ikke alltid like mye ment for å hjelpe til med å skape forståelse og mening, men likevel kan noen innspill sees på som en veiledning fra en "lærer" eller i alle fall, som Vygotskij kaller det, en "more capable peer". I tilfeller der studentene ikke forsøker å forstå et konsept sammen, men den ene studenten er mer eller mindre overbevist om at han eller hun har forstått et konsept, oppstår det naturlig en "more capable peer"-relasjon mellom studentene.

Den vitenskapelige historien

I en fysikksammenheng vil det å ha lært og å *forstå* et konsept eller fenomen, være det samme som å kunne bruke fysikkfagets sosiale språk til å beskrive og forklare det. Mortimer og Scott (2003, s. 18–19) sammenligner derfor det *å lære* faget med det å *bygge opp den vitenskapelige historien* til faget. Dette går ut på å bli introdusert for nye fagtermer og begreper som blir tilegnet mening ut fra andre vitenskapelige eller spontane begreper og å sette de inn i en sammenheng slik at de gir mening. De skriver selv:

> "Related to the idea of 'building up' the scientific story, Vygotsky (1934) makes the point that scientific concepts do not have a direct relationship with the objects that they refer to in the world: this relationship is always mediated by other concepts. [...] Most of the concepts we refer to in science classrooms, such as charge, current and energy, are theoretical entities, which are part of a conceptual system, and meanings are therefore developed for them as they are talked about and used in relation to the other parts of this system." (Mortimer og Scott, 2003, s. 18–19)

Utfordringen blir altså å tilgjengeliggjøre den vitenskapelige historien for studentene, hjelpe dem til å skape individuell mening og forståelse for denne historien og å "overbevise" om at denne historien er mer gangbar enn deres eventuelle egne oppfatninger, brukt i fysikkfagets sammenheng.

Et eksempel som passer til dette temaet er Wellington og Osborne (2001, s. 66) som diskuterer setningen "The *atomic nucleus absorbs* and *emits energy* in *quanta*, or *discrete units*". Her er samtlige kursiverte ord (åtte av tolv) faguttrykk – vitenskapelige begreper – som alle må ha fått tillagt riktig mening, settes i rett sammenheng til hverandre og i en riktig kontekst for at setningen skal være meningsbærende.

Samtalens innhold

I forbindelse med interaksjonen i klasserommet, beskriver Mortimer og Scott (2003, s. 26) sine rammer rundt analyse av disse interaksjonene i tre kategorier: "everyday-scientific", "description-explanation-generalization" og "empirical-theoretical".

Den første kategorien tar utgangspunkt i Vygotskijs begrepsdanning med spontane (*everyday*) og vitenskapelige (*scientific*) begreper. Med dette grunnlaget kan det studeres hvordan samspillet mellom studentene styres av disse begrepene, hvordan samspillet mellom spontane begreper og vitenskapelige begreper foregår og hvordan studentenes bruk av spontane begreper inngår i læringen av og meningsdanningen rundt vitenskapelige begreper.

Den andre kategorien tar for seg tre fundamentale egenskaper ved fysikkfagets (og naturvitenskapens forøvrig) sosiale språk, nemlig beskrivelser, forklaringer og generaliseringer. Dette gir oss muligheten til å undersøke hvilket nivå studentene prater om faget på, og Mortimer og Scott (2003, s. 30) definerer begrepene som følger:

- *Description*: involves statements that provide an account of a system, an object or a phenomenon in terms of its constituents, or the spatiotemporal displacements of those constituents.
- *Explanation*: involves importing some form of theoretical model or mechanism to account for a specific phenomenon.
- *Generalization*: involves making a description or explanation that is independent of any specific context.

Den siste kategorien definerer *måten* disse beskrivelsene, forklaringene eller generaliseringene fremtrer på: om de oppstår med grunnlag i en direkte observasjon av et systems egenskaper eller bestanddeler (*empirical*) eller om de tar utgangspunkt i det teoretiske fundamentet av vitenskapelige, mer abstrakte, begreper (*theoretical*).

Disse kategoriene danner først og fremst et begrepsverk til å omtale og strukturere studentenes ytringer og samtaler med og på den måten hjelpe til med å få oversikt over hvordan studentene bruker språket under arbeidet med faget.

Kommunikasjonens innfallsvinkel

Mortimer og Scott (2003, s. 33–40) omtaler også en såkalt "communicative approach" – som jeg oversetter til "kommunikasjonens innfallsvinkel" – der de definerer en del begreper for å snakke om *hvordan* en samtale går framover og hvordan deltakerne stiller seg i forhold til den andre i meningsdannelsesprosessen. Igjen tar de utgangspunkt i lærer-elev-forholdet fra skolen, men det kan fint tilpasses et "more capable peer"-forhold.

Det de gjør er å definere fire klasser av tilnærminger til kommunikasjonen som en person kan inta ut fra å karakterisere samtaler langs to dimensjoner: dialogisk–autoritativ og interaktiv–ikke-interaktiv[13]. Dialogisk–autoritativ-dimensjonen tar for seg de to ytterpunktene:

> *Dialogisk*: "[...] a dialogic communicative approach [is an approach] where attention is paid to more than one point of view, more than one *voice* is heard and there is an exploration or 'interanimation' (Bakhtin 1934) of ideas."
>
> *Autoritativ*: "[...] an authoritative communicative approach [is an approach] where attention is focused on just one point of view, only one voice is heard and there is no exploration of different ideas." (Mortimer og Scott, 2003, s. 33–34)

Interaktiv–ikke-interaktiv-dimensjonen blir deretter beskrevet som følger:

> "[...] the talk can be *interactive* in the sense of allowing for the participation of other people, or *non-interactive* in the sense of excluding the participation of other people."

Mortimer og Scott (2003, s. 39) oppsummerer til slutt alle fire klassene:

- Interactive/dialogic: the teacher and students explore ideas, generationg new meanings, posing genuine questions and offering, listening to and working on different points of view.
- Non-interactive/dialogic: the teacher considers various points of view, setting out, exploring and working on different perspectives.
- Interactive/authoritative: the teacher leads students through a sequence of questions and answers with the aim of reaching one specific point of view.
- Non-interactive/authoritative: the teacher presents one specific point of view.

[13]Egentlig: "dialogic–authoritative and interactive–non-interactive"

2.3 Andre temaer innen pedagogikk og didaktikk

For å skyte igang denne seksjonen, kan vi starte med et blikk mot etymologien. I følge Bokmålsordboka (Wangensteen, 2005, s. 170) stammer ordet "didaktikk" fra de greske ordene *didakti'ké techné*, direkte oversatt til "undervisningskunst" og kan forstås som "undervisningslære". Ordet "didaktisk" kommer fra det greske ordet *didaskein* med opphavelig betydning "undervise" og kan forstås som noe "som gjelder undervisning; som gir kunnskap lærdom" eller er "belærende, moraliserende".

Sjøberg (2003) gir en åpen antydning av hva som ligger i ordet *fag*didaktikk:

> "Med fagdidaktikk forstår vi overveielser som er knyttet til et fags situasjon i skole og utdanning." (Sjøberg, 2003, s. 14)

Litt mer spesifikt er det vanlig å referere til et fags *hva?*, *hvordan?*, *hvorfor?* og gjerne *for hvem?* (Sjøberg, 2005, s. 29–30). Fagdidaktikk blir dermed en "bro" mellom faget og pedagogikken. Olsen og Turmo (2000, s. 14–15) gir også en betegnelse for hva "fysikkdidaktikk" innebærer og hva som kjennetegner en "fagdidaktiker":

> "En presisering vil være refleksjoner eller vurderinger knyttet til begrunnelser, utvalg, strukturering og tilrettelegging av undervisningen i faget. [...] Foruten kunnskap i det konkrete faget, i vårt tilfelle fysikk, må han [fagdidaktikeren] ha kjennskap til pedagogikk, som i seg selv er tverrfaglig. Denne tverrfagligheten ligger i spennet mellom generell kunnskap innen læringspsykologi, sosialiseringsteori og skolehistorie. For å kunne vurdere faget i et større perspektiv, må fagdidaktikeren også trekke inn akademiske disipliner som vitenskapssosiologi, vitenskapshistorie og vitenskapsfilosofi. Han må også i sitt arbeid med disse problemstillingene ha et reflektert forhold til de metoder som brukes. Dette vil innebære at vedkommende må ha kompetanse innen både kvalitative og kvantitative forskningsmetoder."

Denne seksjonen vil ta for seg fysikkfagets lærings- og undervisningsmessige problemstillinger. Først vil jeg gå gjennom hva som ligger i begrepet "misoppfatninger" og hvordan dette har sammenheng med studentenes konseptuelle forståelse for fysikkfaget. Deretter vil jeg ta for meg modelleringsaspektet ved faget og sette det inn i en læringssituasjon. Til slutt legger jeg fram et par pedagogiske tilnærminger til motivasjonsbegrepet.

2.3.1 Konseptuell forståelse og misoppfatninger

Litt satt på spissen, kan et kurs i fysikk raskt ansees som et "anvendt matematikk light"-kurs om det ikke fokuserer godt nok på den *konseptuelle* forståelsen av fysikken. Et svært gammelt og velkjent fenomen er at studenter fremstår som gode problemløsere og gjør det bra på tester, men mangler den riktige forståelsen for *fysikken*. Problemet her består ofte i at studentene har i større grad memorisert løsningsmetoder og forklaringer enn å ha forstått dem. Den enkeltes forklaringsmodell er basert på hans eller hennes individuelle forståelse for fenomenet som studeres, og dette kan svært ofte bryte med den vitenskapelig etablerte forklaringsmodellen som skolen og universitetet ønsker å lære bort. Halloun og

Hestenes (1985, s. 1) beskriver disse individuelle årsaksforklaringene som *common sense concepts* eller *common sense beliefs*, og der disse strider med det som er vitenskapelig etablert skriver han:

> "CS beliefs which are incompatible with established scientific theory are quickly labeled as 'misconceptions' and dismissed by most scientists. But students are not so easily disabused of CS beliefs, because their own beliefs are grounded in long personal experience. CS misconceptions are not arbitrary or trivial mistakes".

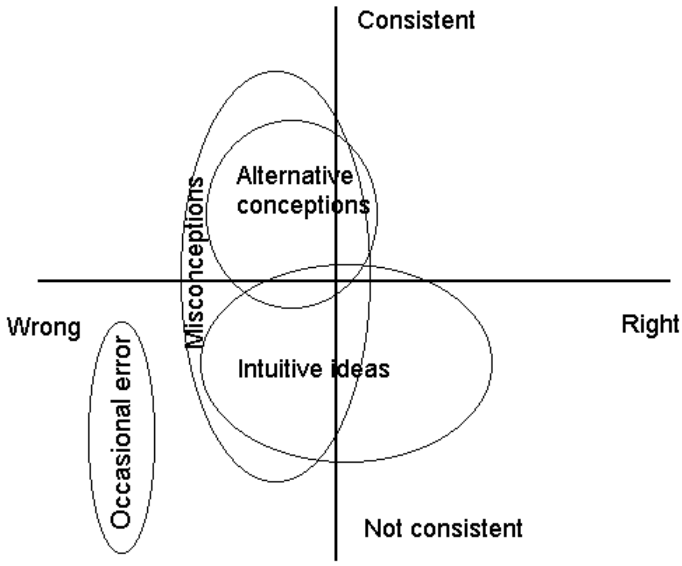
På samme måte skriver Gautreau og Novemsky (1997, s. 418):

> "They [the students] have developed many preconcieved notions about physics that are so firmly ingrained in their minds that these preconceptions won't go away when a physics instructor stands in front of a class and spouts the 'truths' about physical principles which contradicts their previous notions".

Her ser vi det essensielle ved det vi på norsk omtaler som *misoppfatninger* – de er sjelden enkle og sporadiske "misforståelser", men har et fundament i årevis med erfaringer og fungerer tidvis svært godt i dagliglivet! Siden vi bor i en verden full av luftmotstand og friksjon, er en vanlig misoppfatning at man trenger en konstant kraft for å holde en konstant hastighet. Man må trå med pedalene når man sykler i konstant fart og man må gi gass (om enn ikke så veldig mye) for å holde konstant fart når man kjører bil. En annen vanlig misoppfatning er at dersom man har to gjenstander der den ene har dobbel så stor masse som den andre, vil gjenstanden med dobbel masse falle dobbelt så raskt til bakken. Her kan akebakker og vannsklier trekkes inn som erfaringsgrunnlag ved at den tyngste av vennene kommer først ned – noe som, hvis det faktisk oppstår noen reell, observerbar effekt, egentlig har med friksjonskrefter å gjøre. Et siste eksempel er at gravitasjonen ikke virker i verdensrommet. Astronautene svever jo "vektløse" rundt jorda i romskipene sine. Dette er eksempler på ganske fundamentale misoppfatninger som til en viss grad (men i mindre grad enn man kanskje skulle tro) blir "utryddet" gjennom fysikkundervisningen i videregående skole. Selv om en del av misoppfatningene forhåpentligvis blir avkreftet, er det likevel en haug av plass til misoppfatninger rundt mer spesifikke temaer innen for eksempel Newtons lover og gravitasjon.

Angell (2004) har studert begrepsbruk rundt misoppfatninger og har i den forbindelse definert begrepene *intuitive ideer* og *alternative oppfatninger* (se figur 2.1). Her omtales de alternative oppfatningene som stort sett feilaktige, men likevel konsistente i sin form. Mens intuitive ideer er mer eller mindre inkonsistente, *kan* de likevel inneholde betydelige deler "riktig forståelse". Med bakgrunn i dette anbefaler Angell (2004, s. 9) at "It might therefore be better to describe a lot of students' thinking in terms of *intuitive ideas* and to highlight the continuity from fragmented, unstructured knowledge to more systematic scientific understanding". I stedet for å omtale alle innslag av feilaktige oppfatninger som "misoppfatninger", bør en del kanskje heller sees på som *fragmentert kunnskap* – kunnskap som bare trenger å bli satt i system og struktureres for å gi riktig mening.

Mange av de misoppfatningene dagens studenter sitter med, er de samme som ledende intellektuelle hadde store diskusjoner om før Newton revolusjonerte mekanikken. Halloun og Hestenes (1985, s. 1) kommenterer at "If the evaluation of common sense was so



Figur 2.1: Forskjellige begreper (Angell, 2004, s. 8)

difficult for the intellectual giants from Aristotle to Galileo, we should not be surprised to find that it is a problem for ordinary students today". Newtons mekanikk *er* vanskelig å fatte; det er svært mye som er kontraintuitivt i teorien. Og det blir ikke bedre når temaer i fysikkundervisningen går over til de mer ikke-direkte-observerbare fenomenene – som for eksempel atommodeller. Sjøberg (2005, s. 280) beskriver en egen erfaring fra opplæring i Sivilforsvaret om ABC[14]-stridsmidler og siterer instruktøren: "Atomene er bitte små. Innerst er det en liten kjerne, og langt utenfor svirrer det elektroner. Mesteparten av atomet er helt *tomt* – inni atomet er det nesten bare *luft*!".

Spørsmålet blir altså hvordan en best mulig fremmer konseptuell forståelse for studentene og hvordan man på best mulig måte møter misoppfatninger i en undervisningssammenheng og tar et oppgjør med dem. Noen av de mest fruktbare tilnærmingene i senere tid har en sosiokulturell bakgrunn, og går ut på å ta opp misoppfattelser som *reelle alternative hypoteser* og diskutere seg fram til "den riktige". Blant annet Mazur (1997) sin bok *Peer Instruction* og Novak et al. (1999) sin *Just-In-Time-Teaching* tar for alvor oppgjør med misoppfatninger for å fremme den konseptuelle forståelsen for fysikken, begge basert på grunnlaget fra Hestenes et al. (1992) sin *Force Concept Inventory*. Hestenes et al. (1992, s. 141) kritiserer blant annet tradisjonelle[15] undervisningsformer:

> "Since the students have evidently not learned the most basic Newtonian concepts, they must have failed to comprehend most of the material in the course. They have been forced to cope with the subject by rote memorization of isolated fragments and by carrying out meaningless tasks. No wonder so

[14]Atomic, Biological and Chemical
[15]Forelesningspreget undervisning som tar utgangspunkt i å "legge fram fakta".

many are repelled!".

Et steg i riktig retning for å løse dette problemet er i følge Hestenes et al. (1992, s. 2) Force Concept Inventory. Stikkordene er egentlig "force concept" som både tar utgangspunkt i forståelsen rundt krefter (force concepts), men som også "requires a *forced* choice between Newtonian *concepts* and commonsense alternatives". Studentene blir altså stilt overfor et spørsmål eller problem, og må velge ut ett svar fra en rekke alternativer der kun ett av svarene er korrekt ifølge Newtons mekanikk, mens de andre er mer eller mindre vanlige misoppfatninger. Her er det ikke snakk om noen utregninger av noe slag, men en ren konseptuell forståelse for fysikken som blir fremstilt – fysikk uten matematikk. Det viktige er at *flere mulige hypoteser* blir representert og diskutert, for så å bli forkastet til fordel for "den riktige".

Mazur (1997, s. 10) kommenterer også på den tradisjonelle undervisningen som enkel gjennomgang av fakta fra pensum, og sammenligner det mot andre fag:

> "Had I lectured not on physics but, say, on Shakespeare, I would certainly not spend the lectures reading plays to the students. Instead, I would ask the students to read the plays before coming to the lecture and I would use the lecture periods to discuss the plays and deepen the students' understanding of and appreciation for Shakespeare".

Et viktig aspekt ved Mazur (1997, s. 14) sin tilnærming er "convince-your-neighbour discussions" som følger direkte etter at studentene har tatt et standpunkt til et av alternativene. Om dette skriver han at

> "The convince-your-neighbour discussions break the unavoidable monotony of passive lecturing, and, more important, the students do not merely assimilate the material presented to them; they must think for themselves and put their thoughts into words".

Det viser seg at når spørsmålet fremmes på nytt, har det riktige alternativet vanligvis en betydelig større andel av studentene bak seg. Dette gagner både studentene med feilaktig oppfatning på forhånd *og* studentene som allerede hadde riktig oppfatning ved at de blir utfordret på sin forståelse og må forklare for sine medstudenter – noe som antakelig gir dem mer tillit til sin egen forståelse i tillegg. Mazur (1997, s. 13) merker seg også at studentene tidvis er mer effektive enn lærerne til å skifte oppfatninger mot det vitenskapelig anerkjente standpunktet, og han forklarer dette med at mange av studentene sannsynligvis helt nylig har mestret konseptet selv og er derfor svært klare over hvor problemene med forståelsen kan ligge.

Mye av denne tilnærmingen er tatt inn i forelesningene i Mekanikk (FYS-MEK1110) og studentene får utdelt "klikkere" til å angi svar på slike spørsmål som kan dukke opp i forelesningen. Klikkerne sender svaret direkte til forelesers datamaskin som kan legge fram de anonyme resultatene med én gang. Dette har Henriksen og Angell (in press, s. 7) gjort en studie av og skriver blant annet:

> "We argue that 'to think like a physicist is to talk like a physicist'. If a student group is unable to answer a PRS question correctly, it may be understood

> as their being unable to identify the salient concepts, put the problem into concise language and form a clear line of argument – more than a case of just not knowing or recalling the appropriate theory".

Til slutt er det verdt å nevne en studie utført av Muller et al. (2008). Studien tok for seg studenters prestasjoner på en pre- og posttest om typiske misoppfatninger rundt Newtons lover, der de i mellomtiden hadde blitt tilfeldig tilegnet en av fire forskjellige multimediabaserte læringssituasjoner om temaene. Disse var relativt korte[16] videosnutter av forskjellige måter å nærme seg temaene på, fra å være en rent forelesningsbasert faktaundervisning ("Exposision"), eller en liknende situasjon, som tar med tilleggsinformasjon rundt temaene ("Extended exposision"), til å være en prosess som tar opp reelle misoppfatninger av studenter tatt opp under forelesning ("Refutation") til den siste som tar for seg studenters reelle misoppfatninger og "oppretting" gjennom en Sokratisk dialog med en veileder ("Dialogue"). Både pretest, mellomsekvens og posttest ble utført individuelt av studentene ved hjelp av datamaskin og internett. Dette er altså en relativt passiv form for læring, der studenten selv ikke deltar aktivt i læringssituasjonen, men kun observerer på en skjerm. I alle tilfellene er det ventet at resultatene bør øke fra pre- til posttest, ettersom det gis instruksjoner i mellomtiden. Muller et al. (2008, s. 150-151) oppsummerer resultatene som følger:

> "Results show that overall students achieved greater gains by watching a treatment that addressed misconceptions than one which presented only correct scientific information. This suggests that the increased cognitive load incurred with misconception-based treatments was germane rather than extraneous, on the average, for students with all levels of prior knowledge. [...] The explicit discussion of misconceptions seems to be an effective instructional strategy whether students actually hold the misconceptions or not."

2.3.2 Modellering i et læringsperspektiv

> "[Models] function as a bridge between scientific theory and the world-as-experienced ('reality')" (Gilbert, 2004, s. 116)

Å lage matematiske modeller av fenomener fra virkeligheten, er i bunn og grunn hva fysikk dreier seg om. På den ene siden finnes et ønske om å forstå verden ut fra et sett med grunnleggende naturlover hvis man "skreller vekk" forstyrrende elementer (eksempelvis luftmotstand og friksjon). På den annen side ønsker man å beskrive verden i sin komplekse form så nøyaktig som mulig, nettopp ved å ta med alle disse forstyrrende elementene, for så å kunne *predikere* systemets oppførsel. Sistnevnte står for eksempel i høysetet hos meteorologer. Modeller kan også være med på å visualisere og konkretisere abstrakte fenomener, som for eksempel "flow of energy as lines" (Gilbert, 2004, s. 117).

Modellering i undervisningssammenheng vil derfor fremstå både som en del av fysikkfagets egenart, samtidig som det kobler teori og virkelighet sammen og setter faget inn i en virkelighetsnær sammenheng. Modellering er både en faglig *ferdighet* og *et middel for å lære* faget. Studentene kan både bli flinke til *å modellere* og å bruke modelleringen

[16] Varierer i lengde fra cirka sju til elleve og et halvt minutt

og de ferdige modellene som hjelpemidler til *å skape en forståelse* for faget. Å bruke modellering aktivt i undervisningen kan i følge Gilbert (2004, s. 116–117) være med på å gjøre faget mer "autentisk". Samtidig som det tar for seg modellering som ferdighet og læringsmiddel, kan det fremme hvordan fysikk som vitenskapsgren blir utført og har vokst opp i et historisk og filosofisk perspektiv – det kan bygge opp under kreativiteten som ligger bak vitenskapens fremdrift.

Sins et al. (2005, s. 1695–1696) utdyper læringsverdiene til modellering ved hjelp av en datamaskin, slik han oppfatter det hos seg selv og andre:

> "Some emphasize the importance of the model as an artefact that allows explicit visual representation of complex relations. Others put more stress on the activity of constructing a model as a meaningful learning experience. This activity offers the opportunity for students to think scientifically about the behaviour of complex phenomena, to reflect upon their own understanding, and to test their mental models. Crucial to this process is that modelling tools help students to externalize their ideas, so that they are open to criticism and discussion."[17]

Ved å studere elever i 16–18-års alderen uten noen tidligere erfaring med datamaskin-basert modellering av dynamiske systemer, utredet Sins et al. (2005) noen karakteristikker ved elevenes modelleringsferdigheter som sier noe om "modelleringsevnen" til elevene. I dette tilfellet brukte elevene "PowerSim" – et "drag-and-drop"-basert program som lar elevene velge hvilke elementer som må være med i det fenomenet de studerer og hvordan det spiller inn i dynamikken, og setter opp og løser de aktuelle differensiallikningene som en sort boks. Resultatene fra simuleringene blir fremstilt ved tabeller og grafer.

Blant annet kom det fram et tydelig skille mellom de sterke elevene (elever hvis arbeid resulterte i gode modeller) og svake elever (mindre gode modeller), der svake elever tenderte mot en såkalt "model fitting behaviour" som medfører at elevene brukte mer tid på å endre parametre, gjerne ubegrunnet, slik at modellen gir brukbare resultater enn de brukte på å forstå modellen og fenomenet. Modellen blir heller en artefakt som de skal få til å fungere enn et verktøy for å forstå det fysiske fenomenet. De sterke elevene brukte derimot mer tid på å forstå fenomenet og modellen *som helhet* og konstruerte modellen gjennom induktiv resonnering med *referanser til tidligere kunnskap* i fysikk og eksperimentering (Sins et al., 2005, s. 1713–1714). Med bakgrunn i dette, og andre observasjoner i studiet, gir Sins et al. (2005, s. 1715–1716) noen konkluderende tanker om hvordan en modelleringsøkt bør gå for seg for at elevene (uten tidligere erfaring) skal få best mulig læringsmessig utbytte. Først og fremst bør fenomenet som skal modelleres være kjent for elevene slik at de kan bygge på tidligere kunnskap og erfaringer både i oppbyggingen av modellen og i diskusjoner om den. Modellering egner seg derfor ikke like godt til å introdusere nye fenomener og kunnskap, men heller hjelpe til med meningsdanning og forståelse. Det anbefales også at modelleringen foregår via "mellomsteg"[18] – at elevene har relativt klare steg de bør følge for enklest mulig å kunne forstå hvordan modellstrukturen påvirker oppførselen til det som studeres. I tillegg, for å

[17] Sins et al. (2005) presiserer en rekke referanser i sin tekst. Disse er i dette sitatet utelatt for å lette leseligheten.

[18] Omtales som "(sub)goals" – kan ansees som små mål eller milepæler.

motivere elevene til å drøfte sin modell grundigere, bør modellene de har utviklet alltid sammenlignes med virkelige datasett, og gjerne flere forskjellige datasett.

Å studere fysiske fenomener krever også at elevene, eller studentene, bruker *flere representasjoner* for samme fysiske fenomen. Angell et al. (2008, s. 257) gir et eksempel på dette der fenomenet "fritt fall" kan representeres både *eksperimentelt*, *grafisk*, *billedlig*, *konseptuelt* og *matematisk*. Forståelse for det fysiske fenomenet innebærer dermed å skape mening for representasjonene og å kunne "oversette" fenomenet på tvers av representasjonene. Det observeres også at når fysiske situasjoner skal "overføres" til matematisk formalisme, ender elever ofte opp med å enten jobbe i "mattemodus" eller "fysikkmodus" (Angell et al., 2008, s. 257).

Noen konklusjoner fra forskningsprosjektet "FYS 21", som blant annet omhandler elevers empirisk-matematisk modellering, beskriver Angell et al. (2008, s. 262–263) ved at:

> "Coping with multiple representations, it seems, is an ability relating to reasoning skills developed by high achieving physics students in general. Skilled modellers
>
> - display an understanding of the nature of science compatible with acknowledged views [...]
> - are able to regulate their own learning and apply elaborative learning strategies when processing new knowledge in physics, and
> - are more aware of, and able to decipher the use of, multiple forms of representation during physics lessons.
>
> [...]
>
> A main conclusion [...] is that students' understanding of the nature of science, their learning strategies and their competency to handle multiple representations appear to reinforce each other"

Ved modellering med datamaskinen slik våre studenter gjør det – ved å møte et fysisk fenomen, måtte analysere, bryte ned, utvikle et program for simulering, visualisering og til slutt beskrive og drøfte resultatene – må det absolutt sies at en må inkludere mange former for representasjon. Dette, selv om det kan være krevende, kan forhåpentligvis hjelpe studentene til å bli både "gode modellører" og, ikke minst, "gode fysikere".

2.3.3 Motivasjon og mestring

> "Motivasjon defineres gjerne som det som forårsaker aktivitet hos individet, det som holder denne aktiviteten ved like og det som gir den mål og mening. [...] Motivasjon har sammenheng med grunnleggende verdier. Handlinger kan ikke bare forklares ut fra en rekke mer eller mindre selvregulerende motiver eller personlighetstrekk, men i høy grad ut fra hva individet anser som godt og vondt, vesentlig eller uvesentlig eller overordnet og underordnet her i verden." (Imsen, 2003, s. 226–227)

Jeg tenker ikke å gå veldig dypt ned i motivasjonsbegrepet, men et par aspekter er likevel aktuelle i forbindelse med denne oppgaven. Motivasjon er et svært innfløkt begrep og kan på ingen måte redegjøres fullstendig for i et kort avsnitt, men jeg skal prøve å belyse noen viktige begreper rundt motivasjon i læringssammenheng som er relevante for studentene i sitt første studieår.

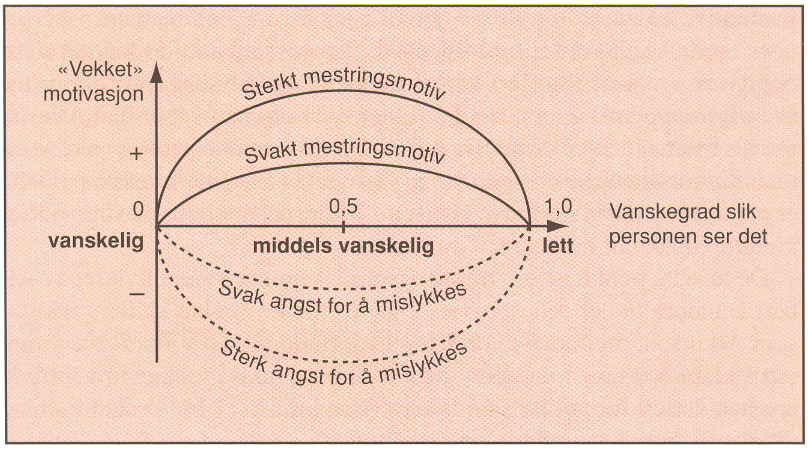
Indre og ytre motivasjon

Motivasjon er det som *driver* en person til å handle og som styrer hva handlingen innebærer. Det å ikke handle kan også ha en bakenforliggende motivasjon og ansees som en handling med motiv. Det største og viktigste skillet man vanligvis setter er forskjellen mellom *indre* og *ytre* motivasjon. Indre motivasjon kalles også "naturlig motivasjon" og preges av at handlingen skyldes en genuin interesse for saken i seg selv: det å ønske å finne ut av noe for interessens skyld – at handlingen iverksettes og styres uten å ha som mål å få en belønning eller å unngå straff. Det andre tilfellet, ytre motivasjon, er derimot preget av det motsatte. Målet med handlingen er en eller annen form for belønning eller det å unngå straff. Imsen (2003, s. 232) gir et eksempel til vår kontekst: "Når en elev pugger matematikkformler ene og alene for å få god karakter, for til slutt å komme inn i et attraktivt videregående studium, kan en tale om ytre motivasjon". Det å tømme oppvaskmaskinen for å få sjokolade, er et annet eksempel. De fleste handlinger preges gjerne av både indre *og* ytre motivasjon, men det interessante er å undersøke samspillet, vektingen og innvirkningen av disse.

Prestasjonsmotivasjon

I skolen er det ofte det å *prestere* som er motivasjonen, eller drivkraften, bak handlingen. Imsen (2003, s. 246) skriver at "Prestasjonsmotivasjon er betegnelse på trangen vi har til å utføre noe som er bra i forhold til en eller annen kvalitetsstandard". Dette trenger ikke bare være en ytre standard i form av belønninger som karakterer, prestisje og status, men også en indre norm for hva som er bra, eller hva en selv synes man burde klare ut fra de forutsetninger og forventninger man har til seg selv.

John W. Atkinson er en av de som har studert prestasjonsmotivasjon og utviklet en modell for begrepet. Imsen (2003, s. 249) beskriver hans synspunkter ved at prestasjonsmotivasjon "[...] er relevant bare i situasjoner hvor individet ser seg selv som ansvarlig for sluttresultatet. Videre ligger det implisitt i modellen at individet er klar over at prestasjonen vil bli vurdert mot en gitt prestasjonsnorm". Modellen går ut på å undersøke differansen mellom *lysten til å lykkes* og *angsten for å mislykkes*. Lysten til å lykkes kan videre beskrives av tre faktorer: 1) Et grunnleggende mestringsbehov, 2) Personens subjektive vurdering av muligheten for å lykkes og 3) Personens subjektive vurdering av verdien av det å lykkes (Imsen, 2003, s. 250). Dette betyr at hvis en person med et sterkt mestringsbehov møter en lett oppgave, trenger han ikke bli motivert til å løse oppgaven ut fra muligheten til å lykkes, men kan heller bli demotivert gjennom vurderingen av verdien det har å lykkes. Det er ingen verdi i, og man oppnår lite av, det å klare en svært enkel oppgave. På den annen side blir svært vanskelige oppgaver oppfattet med lav mulighet for å lykkes, selv om verdien kanskje er høy. Man oppnår størst vekket motivasjon i møtet med oppgaver man tror og håper man vil klare, men samtidig vil angsten for å mislykkes øke, hvis den er tilstede, ved de samme oppgavene siden forventningene til å lykkes er såpass høye. Modellen oppsummeres i figur 2.2.



Figur 2.2: Atkinsons modell (Imsen, 2003, s. 251)

Dette er ikke en ideell modell som kan dekke all motivasjon i skolen eller noen læringssammenheng, og den er kritisert fra mange hold, spesielt på grunn av en snever oppfatning av motivasjonsbegrepet og ideologien som ligger bak. Den tar i liten grad hensyn til individets mer grunnleggende verdier ut over et individualistisk og konkurranseorientert verdigrunnlag. Imsen (2003, s. 267) nevner en kritikk av verdikomponenten i Atkinsons modell ved at den "reduseres til et spørsmål om prestisje knyttet til en vanskelig oppgave. Det blir kun tale om å ønske eller ikke ønske å lykkes på skolens premisser". Av dette følger også en del kritikk fra feministisk hold som tar utgangspunkt i at de individualistiske og konkurranseorienterte verdiene som modellen representerer, er verdier i mye større grad knyttet til de som finnes hos menn enn hos kvinner.

Likevel, når vi ser på hvordan et typisk universitetsstudium er lagt opp, er det tydelig at en stor del av fagene nettopp legger opp sin vurdering av studentene på disse premissene, og resultatene gror vanligvis til syvende og sist ut fra en individuell eksaminering der prestasjonen blir vurdert ut fra en eller annen norm i konkurranse med andre studenter. Hvis man tar innover seg det faktum at individer har forskjellige grunnleggende verdier fra sosiale og kulturelle perspektiver, kan modellen gi en del innsikt i hvordan deler av studenters motivasjon arter seg, uansett hvordan man stiller seg til modellens ideologiske verdigrunnlag. Selv om ønsket er at studentene jobber med faget ut fra deres egen genuine interesse og eget ønske om å få det til, er sosial og individuell prestasjon og eksamenskarakteren for svært mange en vel så viktig motivasjonsfaktor.

Et tidsaktuelt tema

Det er mye snakk om rekruttering til realfagene for tiden. I denne debatten står *motivasjon* svært høyt. Dette bunner til syvende og sist i at unge som vokser opp i dag har mye større muligheter til å velge selv hva de vil gjøre med både utdannelsen og livet – og de velger i større grad selv, fremfor å "følge sine fars fotspor". Dette kan knyttes til utviklingen av samfunnet fra å være et såkalt *moderne* samfunn til å gå mot et mer *postmoderne* samfunn. Sjøberg (2005, s. 124) beskriver de to samfunnstypene ved blant annet at “Det moderne samfunn er et samfunn som hviler på fornuft og rasjonalitet, og det preges av en tro på vitenskapen og framskrittet.” mens “Det postmoderne innebærer ofte en nyvurdering og en oppvurdering av andre kulturer [...]. Postmodernismen har klare antiautoritære trekk” og sammenligner de to samfunnstypene ved at “Det objektive erstattes med det subjektive, og det absolutte og sanne erstattes med det relative. I samfunnet kan man kanskje si at det kollektive erstattes med det individuelle. Det blir viktig å finne seg selv, og det kan bli en fokusering på egen lykke i stedet for et ansvar for andres skjebne.” Ungdom ønsker, som man ofte kan lese, *å realisere seg selv* fremfor å velge et studium som fører til et yrke som tjener samfunnet og som gir en trygg jobb med stabil og god inntekt. Mange velger heller det som *føles* riktig, enn det som oppfordres til av foreldre og samfunnet.

Forøvrig arbeider Naturfagssenteret og Skolelaboratoriet ved Fysisk Institutt ved Universitetet i Oslo med prosjektet “Vilje-con-valg” mens denne oppgaven skrives. Fra hjemmesidene kan vi lese:

> “Bakgrunnen for prosjektet er den lave rekrutteringen av ungdom generelt og jenter spesielt til en del realfaglige utdanninger og yrker, særlig matematikk, fysikk og teknologi, og det relativt høye antallet studenter som ikke gjennomfører studiet. [...] Prosjektet vil utvikle direkte anvendbar kunnskap for å øke rekrutteringen og redusere frafallet ved studier i matematikk, naturvitenskap og teknologi (MNT). [...] I løpet av denne våren vil vi gjennomføre intervjuer med studenter som siden semesterstart høsten 2008 har avbrutt sitt realfagsløp ved høgskole og universitet.”(Naturfagsenteret, 2009)

Motivasjon er altså et svært viktig og aktuelt tema både i rekrutteringssammenheng og for å få studentene til å bli værende. I denne oppgaven er det dermed interessant å undersøke hvorvidt det første semesteret lever opp til forventninger hos de som *har valgt* å studere et av de aktuelle programmene, og om det virker motiverende for videre studier innen matematikk eller et av naturvitenskapene. Spesielt for fysikkstudentene er det interessant å se om arbeidet med beregningsorienterte oppgaver i mekanikk gir økt indre motivasjon til læring av faget og videre studier innen fysikk.

2.4 Beregningsorienterte temaer i undervisning og læring

Når man snakker om fag i skolesammenheng er det ofte diskusjoner om hva faget skal inneholde og hvorfor faget skal være et skolefag. Det er snakk om *legitimering* av faget. I en allmenndannende skole kan et fag for eksempel legitimeres ut fra sitt demokratiskapende vesen eller dets historiske røtter. Et fags innhold blir grundig gjennomgått i henhold til kriteriene for faget og oppføres i læreplaner. Når vi beveger oss over til høyere utdanning og universitetsfag og -studieretninger blir det derimot en litt annen sak. Her skal vi blant annet utdanne kandidater for forskning både ved universiteter/høgskoler og andre institusjoner både statlige og i næringslivet, arbeidskandidater for offentlig sektor og for næringslivet og, ikke minst, til videreformidling av faget. Det er i stor grad *utøverne* av faget som former undervisningen, både innholds- og vurderingsmessig.

Med dette i tankene, vil jeg i denne seksjonen ta for meg hva temaer med beregningsorientert tilnærming bør fokusere på og hva som ligger til grunn for hvordan det er gjort ved Universitetet i Oslo, med fokus på undervisningssituasjonen studentene møter. Jeg vil også forsøke å sette det inn i en didaktisk sammenheng.

2.4.1 Et beregningsorientert bachelorstudium

Det første spørsmålet man stiller seg er antakeligvis *hva* en utdanning i fysikk bør inneholde. Innføringen av beregningsorienterte temaer kom som en følge av forandringene innenfor forskning og arbeidsoppgaver i næringslivet i senere tid, og begrunnes som regel med bakgrunn i det. Bredden et bachelorprogram i fysikk er ment å gi, trenger disse temaene nettopp for å inneha denne bredden. En student kunne tidligere gå gjennom et doktorgradsstudium i fysikk uten å ha skrevet et program for beregninger eller ha lært noe om dette. Med tanke på hvilke arbeidsoppgaver "en fysiker" kan møte i dag (og ikke minst i morgen!), kan dette synes litt skremmende. Uten å gå noe grundigere inn i legitimiteten i et fysikkstudies innhold – noe som er en svært stor diskusjon i seg selv – vil jeg heller ta for meg hva som er, eller bør være, legitimt å ha med i et fysikkpensum der beregningsorienterte temaer er tilstedeværende.

Vistnes og Hjorth-Jensen (2005, s. 1) skriver om fysikkutdanningen ved Universitetet i Oslo:

> "Computer simulations are nowadays an integral part of contemprary basic and applied research in the physical sciences. Modern computational environments are widely used in industry as well. [...] Since computation enjoys such an important standing in the natural sciences and mathematics, we feel that our undergraduate curriculum should reflect this feature as well."

Å lære fysikk vil være en todelt affære. Den ene går ut på å mestre og beherske *verktøyene* for å kunne beskrive verden som fysiker, altså ved hjelp av blant annet matematikk, simulering og visualisering. Den andre går ut på å bruke disse beskrivelsene til å *skape en forståelse og mening* for konseptene og fenomenene med fysikkfagets språk. Ut over de rene metodologiske matematikk- og programmeringsferdighetene som trengs, er også en rekke andre ferdigheter nødvendige i arbeidet med beregningsorienterte temaer. I etterkant av beregningene må datamaterialet behandles på en god måte. I de fleste tilfeller vil man visualisere resultatene, og man må drøfte disse resultatene på en fagmessig egnet måte.

I enhver beregningsorientert tilnærming vil de numeriske metodene stå sentralt. Metodejungelen slik den ser ut i dag, er intet annet enn enorm. Bare det å ha oversikt over de metodene som finnes er krevende nok i seg selv, så det å ha god innsikt og samtidig en grundig forståelse i samtlige er praktisk talt umulig. Samtidig som vi ikke ønsker at studentene skal gå ut med en rent overfladisk innsikt i en stor rekke metoder, vil vi heller ikke at de skal bruke masse tid på å spesialisere seg i én type metoder. Studentene må få tilegnet seg en oversikt over hvilke metoder som finnes, og samtidig få den *generelle* forståelse for numeriske metoder og nok bakgrunnskunnskap og innsikt til å være i stand til å sette seg inn i og forstå nye metoder på egenhånd.

En god balansegang mellom spesifikk metodelære og generell forståelse for numeriske metoder bør være veien å gå. Nøyaktig hvor dette balansegangskillet skal settes, er det derimot intet fasitsvar på og vil være en diskusjon verdt å følge videre.

2.4.2 Beregningsorienterte temaer i undervisningen

Det er ingen enkel oppgave å endre innhold i fagemner og kurs og heller ingen enkel oppgave å endre studieretninger som helhet. Det kan være svært mange forskjellige syn på hva studentene bør lære og hvordan de bør lære det. I kapittel 1.1 argumenterte jeg for at endringene som nå er i ferd med å skje, både ved dette universitetet og ved mange andre universiteter i andre land, er på sin plass. Det er likevel slik at det å erkjenne at endringer trengs og å vedta at endringer skal finne sted, er noe helt annet enn å faktisk *gjennomføre* endringene.

Det er mange måter å innføre beregningsorienterte temaer i undervisningen (se f.eks. Johnston, 2006; Fuller, 2006; Oliphant, 2006). I hovedsak er det *tre* tilnærminger, eller "ideologier" om vi vil, som er realistiske og som blir hyppigst omtalt. Den første innebærer å endre kursinnhold og fjerne enkelte temaer til fordel for beregningsorienterte temaer med den teori og bakgrunnsstoff som trengs. Den andre går ut på å "bake inn" beregningsorientert stoff og samtidig dekke den teorien som ligger der fra før. Her vil man ta for seg teoristoffet med beregningsorienterte tilnærmelser slik at man dekker begge deler uten noe kunstig skille. Den tredje metoden er å opprette egne kurs som fullstendig tar for seg *beregningsorientert fysikk* som tema og ikke har som formål å være et kurs i for eksempel mekanikk, elektromagnetisme eller statistisk mekanikk der beregningsorienterte temaer inngår, men heller et kurs i beregningsorientert fysikk som i sin tur tar for seg temaer fra mekanikk, elektromagnetisme eller statistisk mekanikk. Alle metodene innebærer at *noe* ofres til fordel for noe annet, om ikke det ventes at studentene nødvendigvis skal få et utvidet pensum som følge. Dette blir raskt en svært vanskelig og komplisert prosess der mange stemmer kjemper sin sak.

Ved UiO skjedde endringene hovedsakelig gjennom Kvalitetsreformen i 2003, men også med revisjoner i ettertid, spesielt i Mekanikk der beregningsorienterte temaer i større og større grad blir *innbakt* som en naturlig del av undervisningen og pensumlitteraturen. Her satses altså på den andre veien, en slags holistisk oppfatning der beregningsorienterte temaer er like naturlig som de ordinære regneoppgavene. Når man kommer på et høyere nivå – sent i bachelor eller på masternivå – er det dessuten opprettet egne kurs i beregningsorientert fysikk der den tredje veien velges og fokuset ligger på metoder og beregninger til temaer hentet på tvers fra fysikkfagfeltet.

2.4.3 Algoritmisk og beregningsorientert tenkemåte

Et av håpene ved å innføre såpass mye beregningsorientert stoff i undervisningen, er at denne måten å arbeide med fysikkfaget på åpner for en bedre og mer innsiktsfull tilnærming for læring. Vistnes og Hjorth-Jensen (2005, s. 3) hevder sitt synspunkt om å arbeide med beregninger og algoritmer ved at:

> "The purpose of computing is further insight, not mere numbers! Moreover, and this is our personal bias, to device an algorithm and thereafter write a

> code for solving physics problems is a marvelous way of gaining insight into complicated physical systems. The algorithm one ends up writing reflects in essentially all cases the understanding of the physics of the problem."

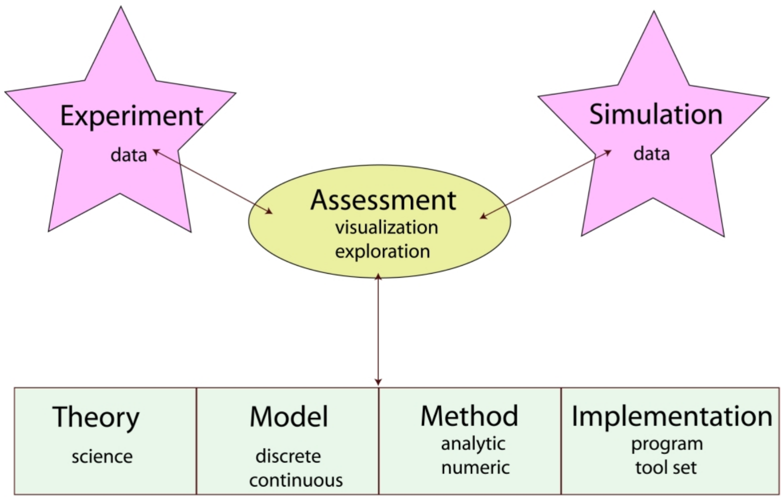
Å få datamaskinen til å simulere det fysiske systemet vi ønsker å studere, krever at vi bryter det ned og studerer de essensielle deler av systemet enkeltvis og deretter bygger opp en algoritme som datamaskinen kan forstå. Temaer blir lagt fram på en *deduktiv* måte – fra det generelle til det spesifikke – og på det spesifikke plan kan detaljer ved det fysiske systemet som studeres få innpass etter behov. Systemet blir først introdusert og studert *holistisk*, deretter *atomistisk*. Det å bygge opp dette systemet og denne algoritmen for å simulere systemet på en korrekt måte, krever derfor en relativt dyp og fullstendig forståelse av det fysiske systemet både helhetlig og i detalj, ellers vil algoritmen med stor sannsynlighet inneholde feil og datamaterialet som gis tilbake være meningsløst. Tanken er altså at studentene "tvinges" til å grave seg dypt – eller dypere enn de ellers ville gjort – ned i stoffet og danne en dypere innsikt i fysikken for å få gode resultater av simuleringen. Og om de så ikke tvinges, vil i alle fall dørene åpnes for muligheten til dette gjennom et slikt arbeid. Til dette skriver Oliphant (2007, s. 790) at:

> "Students start with an awareness that nature and its processes are governed by a small number of basic scientific laws; details and mathematical analyses are added as needed. In cases where the students' mathematics skills are limited, the simulations can be understood via visualizations without delving into mathematical and scientific details".

Det er antakelig for mye å kreve at *alle* studentene skal ha den komplette forståelsen for systemet for å kunne bygge opp programmet eller å tro at alle skal få dette i løpet av programmeringen, men det viktige poenget er at alle skal *kunne få* en skikkelig innsikt i detaljene *og* helheten til systemet, samt samspillet mellom detaljene som skaper helheten. Dette fokuset fremtrer spesielt når algoritmen bygges opp, der Futschek (2006) beskriver *algoritmisk tenkemåte* ved at:

> "Algorithmic thinking is somehow a pool of abilities that are connected to constructing and understanding algorithms:
>
> - the ability to analyze given problems
> - the ability to specify a problem precisely
> - the ability to find the basic actions that are adequate to the given problem
> - the ability to construct a correct algorithm to a given problem using the basic actions
> - the ability to think about all possible special and normal cases of a problem
> - the ability to improve the efficiency of an algorithm
>
> For me, algorithmic thinking has a strong creative aspect: the construction of new algorithms that solve given problems." (Futschek, 2006, s. 160)

Selv om disse punktene egentlig omhandler “computer science” – altså informatikk – kan samtlige punkter likevel tillegges de vi ville kalt *innsikt* i arbeidet med beregningsorienterte oppgaver om et fysisk system. Flere av punktene er ferdigheter som forbindes med god oppgaveløsing av fysikkproblemer generelt – en problemløsende metode, eller som forfatteren over sier, *et sterkt kreativt aspekt*. I den forbindelse er det verdt å henvise til kapittel 1.1.2 om spørreskjemastudiet i USA som viste at *vitenskapelig problemløsende metode* var den mest verdsatte ferdigheten etter endt utdanning. På hjemmesidene til Oregon State University har Rubin Landau en egen side om “Computational Scientific Thinking” der han viser hvordan man typisk vil arbeide med (og tenke rundt) fysikken når man jobber beregningsorientert (figur 2.3). Kunnskap om vitenskapelig teori, modell, metode og implementasjon ligger hele tiden som en grunnmur. En vurdering og drøfting av det fysiske systemet skjer i et samspill mellom denne teoretiske “grunnmuren” og eksperimentering og simulering.



Figur 2.3: Computational Scientific Thinking, (Landau, 2009)

Uten å gå i detaljer, føyer jeg til at Wing (2008) beskriver på tilsvarende måte hva hun legger i “Computational Thinking” – eller *beregningsorientert tenkemåte* på norsk – og at dette er en måte å strukturere tankene på som blir mer og mer viktig i dagens og fremtidens samfunn. Hun hevder blant annet at “Computational thinking is a fundamental skill for everyone, not just for computer scientists. To reading, writing, and arithmetic, we should add computational thinking to every child’s analytical ability”(Wing, 2006, s. 33). Easton (2006, s. 26) er en av de som henger seg på denne tanken og hevder videre at “Research in computing education will pave the way to make ’computational thinking’ a 21st century literacy that we can share across the campus”. Dette er ment som eksempler på hvilke tanker (og hvilket ambisjonsnivå) som finnes rundt dette temaet.

2.4.4 Programmeringsspråkets betydning

Siden vi etter første semester ønsker oss studenter med en god forståelse (både mht. dybde *og* bredde) for hele det beregningsorienterte spekteret[19] til direkte anvendelser i senere kurs, er det viktig at programmeringsspråket er enkelt nok til å åpne for flere læringsaspekter enn den syntaks og notasjon som gjelder ved akkurat dette språket. Når studentene begynner ved studieprogrammet vil det for de aller fleste være deres første møte med programmering. Futschek (2006, s. 160) mener blant annet at de første oppgavene studenter møter på bør kunne løses uavhengig av noe spesifikt programmeringsspråk, og han presiserer: "The language to describe the algorithm should be high-level and problem-oriented, e.g. pseudo code fulfills these criteria. The problems to be solved should be not too simple, but the problem statement should be easily understandable". Vi bør kunne beskrive både problemet vi vil løse, og fremgangsmåten for å løse det, ved hjelp av et nærmest "dagligtalespråk" – et språk ment å leses av mennesker og ikke maskin (pseudokode) – der løsningsmetode og struktur vektlegges høyere enn teknisk syntaks.

Språket vi har gått over til for våre studenter er *Python*. Myers og Sethna (2007, s. 75) presiserer mange av de gode sidene ved Python i undervisningssammenheng ved at:

> "Python is a useful teaching language for several reasons. Its clean syntax lets students learn the language quickly, and lets us provide concise programming hints in our documented code fragments. Pythons dynamic typing and high-level, built-in datatypes enable students to get programs working quickly, without struggling with type declarations and compile-link-run loops. Because Python is interpreted, students can learn the language by executing and analyzing individual commands, and we can help them debug their programs by working with them in the interpreter. Another key advantage that Python brings to scientific computing is the availability of many packages[20] supporting numerical algorithms and visualization."

Oliphant (2007, s. 15) sier mye av det samme, og presiserer spesielt at "What really makes Python excel as a language for scientists and engineers is the NumPy extension". I tillegg nevner han også noen flere gode sider ved Python ut over undervisningsaspektene, blant annet:

- "A liberal open source licence lets you sell, use, or distribute your Python-based application as you see fit – no extra permission necessary.
- The fact that Python runs on so many platforms means you don't have to worry about writing an application with limited portability, which also helps avoid vendor lock-in."(Oliphant, 2007, s. 10)

En av de nevnte godene, nemlig tilgjengeligheten av pakker som gjør Python til et programmeringsspråk for naturvitere, blir løst hos oss med pakken *SciTools* som er et nødvendig supplement til læreboka i INF1100. SciTools er opprettholdt av blant annet kursansvarlig Hans Petter Langtangen. Vi kan lese på pakkens prosjektsider på nettet

[19] Numerisk matematikk, algoritmestrukturering, programmering, etc.

[20] Ved *packages* nevnes blant annet NumPy, SciPy og matplotlib.

at “SciTools is a Python package containing lots of useful tools for scientific computing in Python. The package is built on top of other widely used packages such as NumPy, SciPy, ScientificPython, Gnuplot, etc.”(Langtangen et al., 2009). En slik “samlepakke” gjør installasjonen og møtet med programmeringsspråket litt lettere for studentene enn hvis de skulle blitt pålesset *enda* flere navn og uttrykk å holde styr på. I stedet for å ha fullstendig oversikt fra første stund over alle pakker og hvilke som må inkluderes for å oppnå hva, kan de klare seg med én.

Dette hjelper også på vei en av de andre godene, nemlig at Python kan gjøre så godt som alt det for eksempel Matlab kan gjøre slik at man slipper å gjøre seg avhengig av ett produkt, en såkalt *sykroniseringseffekt* (vendor lock-in). Dette fører også med seg et økonomisk aspekt, nemlig at institusjonen ikke trenger å kjøpe lisenser[21] til proprietær programvare eller at studentene må kjøpe egne lisenser.

Det er også relativt enkelt å kombinere andre programmeringsspråk med Python ved bruk av verktøy som F2PY og SWIG. Med disse kan man skrive enkelte deler av koden i de mye brukte språkene Fortran, C eller C++ og kombinere med kode fra Python. Eksempelvis kan man bruke Python til å strukturere programmet, mens man skriver de tunge utregningene i C++ ettersom Python er *veldig* mye tregere enn de andre nevnte språkene når det gjelder beregninger av store arrayer – og som Langtangen (2008, s. 189) skriver: “In scientific computing we often invoke compiled languages to perform numerical operations on large array structures”. Det å slippe de strevsomme “compile-link-run loops” som Myers og Sethna (2007) nevner har altså også sine negative sider, men ikke på *læringen* av og *tankevirksomheten* rundt programmeringen og struktureringen av programkoden.

En ekstra kommentar til Myers og Sethna (2007) “compile-link-run loops”, er at steget med visualisering også kommer i tillegg. Med den nevnte SciTools-pakken, følger det en rekke muligheter for direkte visualisering fra programkode, både gjennom bilder og en autogenerering av filmer. Det vi sitter igjen med etter at programmet er skrevet, er ingen “loop” i det hele tatt, men enkelt og greit “run”.

Valg av programmeringsspråk har betydning over en lang rekke områder, men det viktigste i vår sammenheng er (og burde være!) læringen av den algoritmiske tenkningen og anvendelsene på naturvitenskaplige temaer, der nettopp disse står i fokus og ikke de mer programmeringstekniske bitene. Med sin rene syntaks og kun ett steg fra programkode til visualisering, møter Python disse kravene svært godt.

2.4.5 Eksperimentering på “datalaboratoriet” – motiverende læring?

Et av produktene vi håper å sitte igjen med etter en økt beregningsorientert tilnærming i undervisningen, er at arbeid på datamaskin kan sammenlignes med laboratorieøvelser der studentene føler at de får utforsket fysikken skikkelig, på en måte som gjør at de stiller seg nye spørsmål og ønsker å studere fysikken ytterligere. Vi håper at arbeidsøkten skaper en økt *indre motivasjon* til å jobbe med faget fremfor kun å gjennomføre det aktuelle fysikkurs med god karakter. Yasar og Landau (2003, s. 790) skriver om det samme ved at:

[21]Eller: Ikke like mange lisenser som de ellers måtte ha gjort.

> "The traditional teaching of science tends to focus on theory. In contrast, CSE education offers an understanding of science through the computer applications of mathematical models. It teaches science via the method of inquiry in which the computer serves as a virtual laboratory that simulates nature".

Vi håper at det å lage sitt eget program kan gi økt lyst til egeneksperimentering og utforsking, gjerne også ut over direkte pensum. Vi ønsker å vekke, øke og/eller opprettholde et genuint ønske om å jobbe med fysikk – et ønske om å utforske naturen!

Vistnes og Hjorth-Jensen (2005, s. 3) nevner noen av sine mål med innføringen av beregningsorienterte temaer, blant annet

> - "To encourage students to 'discover' physics in a way similar to how researchers learn in the context of research.
>
> Our overall goal is to encourage the students to learn science through experience and by asking questions."

De oppsummerer også sitt inntrykk av innføringen med blant annet:

> - "The students meet more interesting and realistic problems than before
> - We believe this helps in motivating and inspiring our students to pursue a physics career"(Vistnes og Hjorth-Jensen, 2005, s. 7)

Kapittel 3

Metoder

I arbeidet med denne oppgaven har jeg fått bruk for flere samfunnsvitenskapelige metoder for innsamling og analyse av datamaterialet. I løpet av høsten 2008 utførte jeg en rekke fokusgruppeintervjuer med et utvalg av studentene, og jeg gjennomførte en spørreskjemaundersøkelse ved slutten av semesteret. I tillegg til dette utførte jeg en observasjonsstudie våren 2009. Jeg vil i dette kapittelet ta for meg noe av teorien bak de tre metodene som er aktuelle for denne oppgaven og til slutt i hver seksjon presisere kort hvordan jeg gikk fram med den aktuelle metoden i denne oppgaven.

3.1 Generelt om samfunnsvitenskapelige metoder

De samfunnsvitenskapelige metodene har en sentral plass innen didaktisk forskning. I denne seksjonen vil jeg skissere noen generelle trekk ved disse metodene og deres plass i forskningen.

Om kvalitativ og kvantitativ metode

Svært ofte hører man snakk om vitenskapelige metoder når det egentlig er snakk om *naturvitenskapelige* metoder. Når man på engelsk sier "science" oppfattes det som naturvitenskap, men hvis man skal snakke om de andre delene av vitenskapen må man legge til "social" foran – "social science". Dette henger antakeligvis sammen med at det er naturvitenskap som har så å si vært enerådende opp til nyere tid. Mens de naturvitenskapelige metodene stammer langt tilbake i tid og har blitt raffinert opp gjennom svært mange år, er samfunnsvitenskapenes metoder til sammenligning ganske unge. De bestod først av forsøk på å anvende naturvitenskapens metoder på samfunnsvitenskapelige spørsmål. Kalleberg (2007, s. 28) gir et eksempel på hvilken holdning som tidligere rådet:

> "De vellykkede naturvitenskapene, særlig fysikk, bør være modeller for alle andre vitenskaper, inklusive samfunnsfag og humanistiske fag. Trass i mangfoldet av emner som studeres i forskjellige fag, er det et fellesskap i metoder, så som kontrollerte eksperimenter og kvantitative målinger. Det som ikke kan telles og måles, teller ikke, fordi det blir for vagt"

Det var slik de *kvantitative metodene* i samfunnsforskningen ble til, der spørreskjemaundersøkelser, stor-skala spørreundersøkelser eller tilsvarende metoder med bruk av statistikk skulle føre frem til objektive forklaringer. De naturvitenskapelige metodene forholder seg som regel til fenomener og objekter som ikke har språk eller annen kognitiv virksomhet. De kvantitative metodene bryter med dette, og Johannesen et al. (2007, s. 36) skriver blant annet at "Kvantitative tilnærminger henter mange av sine prosedyrer fra naturvitenskapelig metode, men er samtidig tilpasset det faktum at det er mennesker og menneskelige fenomener som studeres". I psykologien er det for eksempel utviklingen av språk og kognitiv virksomhet som ofte er det mest interessante – da er det klart at de naturvitenskapelige metodene i sin opprinnelige form kommer til kort. Ved å se på empirisk målbare data ved hjelp av statistikk gjør de på mange måter det samme som naturvitenskapene, men tar hele tiden inn over seg at man har med mennesker å gjøre. Kvantitative metoder skiller seg fra de kvalitative metodene ved at de omfatter talldata og har et godt potensial for generalisering og etterprøvbarhet.

De *kvalitative metodene* så dagens lys som et svar på at de fleste av spørsmålene en stilte seg i samfunnsforskningen ikke lot seg besvare på en god måte ved bruk av metoder som legger objektive forklaringer som høyeste mål. Holter (2007, s. 12) skriver om disse metodene:

> "For de fleste kvalitative metoder eller fremgangsmåter er det videre slik at hele forskningsprosessen – eller hver fase av den – preges av kvalitativ tankegang, det vil si av tenkemåter og utsagn som formuleres i ord og sjelden numerisk."

Kvalitative metoder har altså en litt annen plass i forskningen (og tenkningen) enn kvantitative metoder. Der de kvantitative metodene har mer positivistiske preg og ofte søker etter å utforske utbredelser og generalisere, vil de kvalitative metodene vanligvis eksemplifisere og utdype. Kvalitativ forskning bærer også preg av mangfold og variasjon i forbindelse med metoder og oppbygging. I et forsøk på å lage et rammeverk rundt den kvalitative forskningsprosessen, skisserer Holter (2007, s. 13–14) noen "faser" for kvalitativ forskning, men presiserer at fasene ikke legger noen direkte føringer på hvordan forskningsprosessen skal foregå, men at de gjerne kan gli over i hverandre og innebære flere eller færre aspekter. Den første fasen kaller hun *forforståelsen* som går ut på å sette seg inn i tema og problemstilling med tanke på tidligere forskning og egne erfaringer. Videre følger *valget av forskningsfelt og respondenter* der forskeren legger føringer for hvor og hvordan forskningen skal foregå, og hvem som skal delta, ut fra tema og problemstillinger. Deretter opprettes *kontakten mellom forskeren og de utforskede*. Her fokuseres det på forskerens plass og metodebruk for datainnsamling. Til slutt kommer *analysen* som skal skape oversikt og mening i datamaterialet og skal muliggjøre konkludering med bakgrunn i de aktuelle problemstillinger og forskningsspørsmål. Johannesen et al. (2007, s. 38) presiserer i tillegg *rapportering* som et eget punkt til enhver forskningsprosess, både kvalitativ og kvantitativ.

For å tydelig illustrere skillet mellom kvalitative og kvantitative metoder, gir Kalleberg (2007, s. 29–30) et klassisk eksempel på hvorfor objektivistiske forklaringsstrategier kan gi feilaktig informasjon og føre til selvmotsigelser. I studier av *mennesker*, vil aktører kunne skjule sine egentlige motiver – kanskje også for seg selv – for å fremme andre interesser og motiver. Det vi observerer er ikke nødvendigvis det som faktisk er tilfelle.

Kalleberg (2007, s. 45) omtaler, med bakgrunn i Skjervheim[1], samfunnsviterens forhold til den som studeres som et "subjekt-subjekt-forhold", mens naturviteren har et "subjekt-objekt-forhold". I studiet av objekter trenger man ikke ta hensyn til språk, bevissthet og vilje, i motsetning til studiet av subjekter. Bostad og Rabbås (2005, s. 191) konkluderer på samme måte med at:

> "[...] Skjervheims grunnleggende tanke er at det å studere mennesket er vanskelig, fordi det uvergelig medfører et uløselig dilemma mellom deltaker- og tilskuerperspektivet, men at dette studiet likevel er uunngåelig og verdifullt. Det gjelder å treffe den rette balansen mellom de to perspektivene, noe som bare kan skje gjennom utøvelse av skjønn i det enkelte tilfelle. Og det må alltid skje mens man utviser respekt for dem man studerer, ved i størst mulig grad å inngå i dialog med dem."

Validitet og reliabilitet

Validitet og reliabilitet er to begreper som brukes til å avgjøre hvor god en undersøkelse er. Grad av *validitet* kan svært forenklet beskrives ved å besvare spørsmålet "hvor sikre er vi på at vi måler det vi tror vi måler?" (Johannesen et al., 2007, s. 199) eller "hvor sikre er vi på at vi beskriver det vi sier at vi beskriver?" (Vedeler, 2000, s. 124) og handler om *troverdighet*. Grad av *reliabilitet*, som diskuteres under validitetsdiskusjonen, handler om *nøyaktighet* og *reproduserbarhet*. Johannesen et al. (2007, s. 198) skriver at "Reliabilitet knytter seg til undersøkelsens data: hvilke data som brukes, måten de samles inn på og hvordan de bearbeides". Man ønsker å oppnå så høy validitet og reliabilitet som mulig, men spesielt i kvalitative undersøkelser er ikke dette alltid like lett, der forskerens plass i studiet og relasjon til deltakerne kan virke svært avgjørende på datamaterialet. Det er svært mange definisjoner og anvendelser av ulike typer validitet som brukes i litteraturen, og jeg vil ta for meg de mest sentrale av dem.

Innen kvantitative undersøkelser, som spørreskjemaundersøkelser eller skjemabaserte observasjonsstudier, omtaler Vedeler (2000, s. 127–131) noen sentrale validitetsbegreper og deres funksjon. Først og fremst er det viktig å sikre en *statistisk validitet* ved å drøfte hvorvidt de statistiske forutsetningene for å gjøre analysen man har gjort, er til stede – spesielt en drøfting av populasjonsutvalget. Videre handler en drøfting av *indre validitet* om hvilken grad man kan avgjøre om effekter eller endringer i avhengige variabler skyldes uavhengige variabler og om det er tatt høyde for ytre faktorer. *Begrepsvaliditet* handler om hvor godt verktøyet, eller instrumentet, for undersøkelsen måler det vi ønsker å måle. Er for eksempel spørreskjemaet utformet slik at det fanger opp et datamateriale som lar oss besvare de spørsmål vi stiller? Til slutt handler *ytre validitet* om mulighetene for generalisering av resultatene og en drøfting av overføringspotensial til andre personer, steder, tider og settinger.

Reliabiliteten handler om nøyaktighet og reproduserbarhet, og i kvantitative studier vil den kunne økes ved at forskeren beskriver så godt og presist som mulig alle aspekter ved gjennomføringen av undersøkelsen. Instrumentet for datainnsamlingen, for eksempel spørreskjemaet, må tilgjengeliggjøres og populasjon og setting bør beskrives detaljert. I kvantitative undersøkelser kan en foreta tester for å sikre reliabiliteten ved å gjennomføre

[1] Fra orginalutgaven til "Deltakar og tilskodar" (gjengitt i Skjervheim, 2005)

den samme undersøkelsen på flere tidspunkt eller ved at flere forskere undersøker samme fenomen, gjerne omtalt som hhv. "test-retest-reliabilitet" og "inter-rater-reliabilitet" (Johannesen et al., 2007, s. 198).

Innen kvalitative studier vil det i stor grad være snakk om de samme begrepene. Vi ønsker en undersøkelse som lar oss besvare spørsmålene vi stiller, og vi ønsker en drøfting av overførbarhet og variabelavhengigheter i årsaksforklaringer. Det er likevel ikke alle som er like aktuelle eller like mulige å diskutere, i alle fall ikke på samme nivå som for kvantitative undersøkelser. Vedeler (2000, s. 132–140) har tatt innover seg dette og refererer blant annet til Lincoln og Guba (1985) når hun skisserer fire mer egnede begreper for diskusjon rundt validitet i kvalitative undersøkelser.

Det første handler om hva validitet grunnleggende dreier seg om, og er derfor det viktigste, nemlig *troverdighet*. Troverdighet handler om "at undersøkelsen er utført slik at man kan være sikker på at menneskene i undersøkelsen er identifisert og beskrevet på riktig måte" (Vedeler, 2000, s. 133). Dette kan eksempelvis gjøres gjennom vedvarende involvering av deltakerne, vedvarende observasjon, triangulering (se neste overskrift), kontinuerlig drøfting med kolleger, m.m. Johannesen et al. (2007, s. 199) sier i den forbindelse at "Det er vanskelig i forstå et fenomen uten å kjenne konteksten".

Videre omtales *overførbarhet* innen kvalitative studier. Her diskuteres den ytre validiteten og generaliseringen, men ikke på samme måte som innen kvantitative studier ettersom vi ikke har noe omfattende, representativt utvalg. I stedet blir utvalget plukket ut med det formål å gi god informasjon ut fra undersøkelsens fokus. Kvalitative undersøkelser handler vanligvis i større grad om å få innblikk, enn å generalisere, så den "vanlige måten" å drøfte generalisering på, er derfor ikke fruktbar. Vedeler (2000, s. 136) skriver:

> "I kvalitativ forskning er målet ikke å produsere et standardisert sett av resultater som kan replikeres i en liknende studie, men å lage en helhetlig og illustrerende beskrivelse av og perspektiv på en situasjon på grunnlag av en detaljert studie av situasjonen. Kvalitativ forskning influeres av forskerens individuelle egenskaper og perspektiver. Teori om statistisk sannsynlighet og presis replikasjon som kriterium for generaliserbarhet er ikke relevant".

Viktige kriterier i forsøk på generalisering av kvalitative studier vil derfor være gode situasjonsbeskrivelser og målrettet generalisering – tydelige svar på spørsmålet "hva ønsker vi å generalisere til?".

Det neste punktet er undersøkelsens *pålitelighet* og kan sees på som analogt med reliabilitet. I motsetning til reliabilitet i kvantitative undersøkelser er det svært vanskelig å fremstille en "test" på en kvalitativ undersøkelses pålitelighet, spesielt fordi det er så mange dynamiske faktorer som kan være vanskelig å dokumentere, men som likevel spiller inn på påliteligheten. Vedeler (2000, s. 138) skriver at "Påliteligheten kan trues av mange forhold, blant annet dårlig forberedelse, utrente observatører, dårlig utvalg, dårlig kategorisering, slurvete analyseprosess og av mange andre faktorer". Viktige faktorer ved drøfting av påliteligheten går dermed ut på at undersøkelsen følger en klar og systematisk prosess, godt dokumentert og med klare beskrivelser og forholdsregler mot bias.

Det fjerde og siste begrepet er undersøkelsens *bekreftbarhet* som drøfter en kvalitativ studies objektivitet. I motsetning til det kvantitative synet på objektivitet – en kollektiv tilnærming, der objektivitet ansees som det mange individer har felles –

handler bekreftbarhet om "korrekthet" og "å kunne bekrefte at data og konklusjoner er korrekte og troverdige" (Vedeler, 2000, s. 139). Johannesen et al. (2007, s. 201) omtaler dette punktet som "overensstemmelse" og vektlegger resultatenes overensstemmelse med virkeligheten de beskriver, og skriver at "forskeren [må] avdekke og beskrive alle beslutninger i hele forskningsprosessen, slik at leseren kan følge og vurdere alle beslutninger som er tatt underveis".

Å kombinere metoder – metodetriangulering

> "Mange av svakhetene til kvantitative data kan i stor grad oppveies av de sterke sidene ved kvalitative data, og omvendt." (Grønmo, 2007, s. 98)

Et forsøk på å forbedre validiteten til en studie, kan være å ta i bruk en triangulering av metoder. Det er flere typer triangulering enn den metodologiske. Vedeler (2000, s. 115) skriver at "Med triangulering menes at forskeren enten bruker flere metoder, ulike datakilder eller flere uavhengige forskere for å styrke undersøkelsens troverdighet". Det er altså snakk om en slags "kryssjekk" for å sikre eller bedre validiteten i undersøkelsen. I tillegg nevnes "teoritriangulering" som naturlig nok går ut på å ta i bruk flere ulike teorier.

Kalleberg (2007, s. 48) kommenterer metodetrianguleringen ved at "Den generelle tese om at kvantitative data er bedre enn kvalitative, er uholdbar. Det er også kontratesen. Tesene er også urealistiske som beskrivelse av hva samfunnsvitere faktisk betrakter som gode studier". Det som er viktig er hvorvidt metoden gir svar på spørsmålene du stiller eller ikke. Til dette er ikke nødvendigvis én metode automatisk bedre enn den andre, men ofte vil en kombinasjon av flere metoder åpne for en bredere besvarelse og flere innfallsvinkler til spørsmålet. Kvalitative og kvantitative metoder har hver sine styrker og svakheter, og ved å kombinere metoder kan svakhetene ved hver enkel metode minskes.

Dette speiler godt de erfaringer jeg gjorde gjennom arbeidet med den kvantitative spørreundersøkelsen og de kvalitative fokusgruppeintervjuene høsten 2008. De to metodene fungerte like mye som enkeltstående metoder som supplement til hverandre, og datamaterialene likeså. På tilsvarende måte supplerte disse metodene observasjonene som ble gjort våren 2009 og bidro til å skape et mer helhetlig inntrykk og bilde av virkeligheten.

3.2 Fokusgruppeintervjuer

Fokusgruppeintervjuer er en form for gruppeintervju med et spesielt *fokus*[2] for intervjuet. De har røtter innen kvalitativ forskning over 80 år tilbake i tid og har vært en gjenganger innen et stort spenn av forskningsfelter, eksempelvis psykologi, sosiologi, medisin, statsvitenskap og markedsføring (Steward et al., 2007). Etter hvert som fagdidaktikk, med sine læringspsykologiske og samfunnsvitenskaplige aspekter sakte men sikkert ble et eget forskningsfelt, ble samtidig fokusgruppeintervjuer et naturlig metodeverktøy i feltet.

[2]Derav navnet på metoden. (Robson, 2002, s. 285)

Hvorfor fokusgruppeintervju?

Når og hvorfor man kan eller bør bruke fokusgruppeintervju som datainnsamlingsmetode, avhenger sterkt av problemstilling og formål. Det er likevel mange meninger om dette. Brandth (2007) nevner blant annet at hensikten med gruppeintervju kan være både kunnskapsgenerering, eksplorering eller intervensjon. Det fungerer i mange forskjellige forskningsdesign og kan for eksempel brukes i et *fenomenologisk studie* til å kartlegge bedre hva informantenes syn eller forhold til et fenomen er, eller gå mer i dybden på hvorfor de synes som de gjør. Om dette skriver Morgan (1988, s. 25) blant annet at "Focus groups are useful when it comes to investigating *what* participants think, but they excel at uncovering *why* participants think as they do".

Innenfor *grounded theory* prøver man å utvikle nye teorier med utgangspunkt i data med liten påvirkning av eksisterende teorier (Bl.a. Johannesen et al., 2007; Postholm, 2005). Her kan fokusgrupper brukes både fra begynnelsen med kunnskapsgenerering og eksplorering i et bredt fokus, til et mer snevert og konsist fokus senere i studiet. Johannesen et al. (2007, s. 149) nevner også at fokusgrupper egner seg som "Et *supplement* til en forskningsprosess for å avklare forskningsspørsmål, utvikle hypoteser og utvikle spørreskjemaer ved kvantitative opplegg". Dette nevner også Morgan (1988) ved å si at fokusgrupper kan være *utforskende* i forkant av en spørreskjemaundersøkelse, men også verdifull som en oppfølger til undersøkelsen – spesielt når resultatene kan være forvirrende eller uforståelige.

Robson (2002, s. 284–285) lister opp en del fordeler med fokusgruppeintervjuer fremfor andre metoder, deriblant at metoden er svært effektiv og kan samle mye data på kort tid fra mange personer, at det pleier å forekomme en "naturlig kvalitetskontroll" mellom deltakerne som luker ut ekstreme synspunkter, og at deltakerne får gitt kommentarer med egne ord mens de blir stimulert av tankene og kommentarene til andre.

Dette er bare et lite utvalg grunner til å bruke fokusgrupper. Poenget er at fokusgrupper kan brukes i en rekke situasjoner til forskjellige formål. Det er derfor viktig å være klar over muligheter og begrensninger ved metoden slik at man kan tilpasse den mest mulig til studiet eller delen av studiet og få det utbyttet man ønsker.

Kontakt med deltakere og sammensetning av gruppene

De mange forskjellige grunnene til å velge et fokusgruppeintervju legger også opp til mange forskjellige måter å komme i kontakt med deltakere på. Innenfor markedsføring kan man for eksempel rekruttere inn tilfeldige forbipasserende på gata ettersom målgruppa nettopp er disse menneskene, mens innenfor medisinsk forskning er det viktig at deltakerne oppfyller visse kriterier. Brandth (2007) argumenterer for at gruppene bør velges teoretisk og være konsentrert om de deler av populasjonen som vil gi meningsfull informasjon om problemstillingen.

Gruppesammensetningen kan ha svært mye å si for resultatet av intervjuet. Størrelsen på en gruppe er vanligvis mellom seks og tolv deltakere, men dette er ikke noen bestemt lov på noen måte. Steward et al. (2007) skriver at færre enn seks deltakere kan gi en lite livlig diskusjon mens flere enn tolv deltakere kan gjøre det vanskelig for moderator å holde styringen. Krueger (1994) mener at ved tolv deltakere eller mer, vil den enkeltes mulighet til å dele innsikt bli svekket og anbefaler derfor grupper med mellom seks og ni deltakere.

Sammensetning av grupper mht. homogenitet og heterogenitet kan også være et problem. Krueger (1994) gir som eksempel hvordan menn har en tendens til å snakke oftere og med mer autoritet i grupper enn kvinner, som kan føre til irriterte kvinner i gruppa. Denne påfugleffekten (engelsk: "peacock effect"), som noen kaller den, er en av grunnene til at homogenitet er rettesnora ved sammensetning av grupper. Helt homogene grupper kan på den andre siden hindre fruktbare diskusjoner i gruppa fra å oppstå, så selv om homogenitet er anbefalt, trengs det også en viss grad av heterogenitet.

En indre homogenitet i gruppene gjør det også lettere å sammenligne grupper på tvers av hverandre. Brandth (2007) peker på såkalte *kontroll-* og *bruddegenskaper* for sammensetning av grupper, der kontrollegenskaper er likheter mellom gruppene, mens bruddegenskaper er det som skiller gruppene fra hverandre. Ved studier og undersøkelser som varer over lengre perioder og som har som mål å sammenligne ulike typer mennesker/kulturer (f.eks. en etnografisk studie) vil egenskapene være svært aktuelle.

Forberedelse: Intervjuguide

For alle kvalitative intervjuer er det viktig med en intervjuguide for å holde en rød tråd i intervjuet. Formålet til intervjuguiden er å sette gruppediskusjonen inn på rett kjøl og å lede diskusjonen framover (Steward et al., 2007). Intervjuguiden bør vokse direkte ut fra forskningsspørsmålene. Det er ingen fasit for hvordan en intervjuguide bør se ut og graden av struktur i en slik guide kan varieres fra å holde nedskrevne spørsmål i listeform, til å være en åpen oversikt over emnene du ønsker å ta opp. Krueger (1994) mener forøvrig at en åpen oversikt over emnene – det han kaller en "topic guide" – krever mer av moderator og bør være avholdt erfarne moderatorer.

Selv om det er mange måter å sette opp en intervjuguide på, presiserer Johannesen et al. (2007, s. 153) det viktigste ved å si at "En god guide skaper en naturlig progresjon med noe overlapp mellom emnene". Dette vil være med på å få en god flyt i diskusjonen, uten at den plutselig tar en helomvending til et annet tema der deltakerne må omstille tankene fullstendig. En viktig påpekelse ved en eventuell sammenligning – eller kryssjekk – av grupper, er at spørsmål må stilles på samme måte til samtlige grupper for å ivareta studiens reliabilitet.

Gjennomføring av intervjuet og moderators rolle

Johannesen et al. (2007, s. 154) skisserer den typiske strukturen i et fokusgruppeintervju, som gjerne deles inn i tre faser: Introduksjon, hoveddel og avslutning. I introduksjonen vil moderator ønske velkommen og gå gjennom hvilke rettigheter deltakerne har, blant annet muligheten til å trekke seg. Her kan også tema for intervjuet presiseres hvis ikke det er viktig for resultatene at det holdes skjult. Det er også vanlig å ta en runde der alle deltakerne får sagt noen ord om seg selv (eller om hva som helst) slik at det kanskje blir lettere å snakke senere også.

I hoveddelen skjer selve datainnsamlingen. Johannesen et al. (2007, s. 154) beskriver dette som "[...] kartlegging av de holdninger, erfaringer og synspunkter som finnes blant deltakerne på det emnet som diskuteres, og eventuelt presentere og teste konsepter, skisser eller ideer". Her er det viktig at moderator passer på å holde en rød tråd og bryte inn hvis diskusjonen går ut av kontroll eller uønsket langt utenfor tema. Her kan for eksempel moderator ha noen konkrete spørsmål på lager, eller han/hun kan bryte inn og ta en kort pause. Selve diskusjonen kan bli satt i gang ved å for eksempel gi åpne spørsmål, mer direkte spørsmål eller kanskje ytring av et standpunkt som kan diskuteres videre av deltakerne.

Avslutningsvis er det viktig at moderator åpner for at deltakerne kan ta opp det de mener er relevant i forhold til det som har vært diskutert, dersom de ikke har fått gjort dette i løpet av diskusjonen. Dette kan være innvendinger til tidligere temaer som de ikke fikk kommentert der og da eller saker de har kommet på i ettertid.

Hvilken rolle moderator velger (bevisst eller ubevisst) å ha, spiller i stor grad inn på intervjuet. Moderators hovedrolle i et fokusgruppeintervju er å se til at diskusjonen holder seg til de aktuelle temaer som ønskes at skal tas opp, at diskusjonene foregår på en god måte og å holde tidsskjemaet. Robson (2002, s. 287) argumenterer for at det kreves en balansegang mellom en aktiv og en passiv rolle: Moderator må vie interesse og engasjement for de diskusjonene som handler om riktig tema i forhold til forskningsfokuset uten at det påvirker deltakerne i en grad der de ender med å føye seg til forventninger eller eksisterende hypoteser.

Steward et al. (2007, s. 91) snakker på samme måte om en “directive approach” og en “nondirective approach”, der førstnevnte er en aktiv rolle med større grad av moderatorinvolvering, og sistnevnte er en mer passiv rolle. Den aktive rollen er god til å styre dominerende deltakere og å holde progresjonen i diskusjonene oppe, mens den passive rollen gir mer rom for at deltakerne kan oppdage temaer på egenhånd og selv styre hva de synes er viktig. Steward et al. (2007) argumenterer også for en balansegang mellom rollene og fremhever den ideelle moderator som en person som er komfortabel med forskjellige roller og som kan veksle mellom dem.

Behandling av datamaterialet: Transkribering

Datamaterialet kan tas opp med både lyd og bilde. Den vanligste måten å behandle dette datamaterialet på, er å transkribere intervjuet i sin helhet til tekst. Her kan det ofte være fristende å kutte vekk ufullstendige setninger og å renske språket for å gjøre leseligheten bedre, men det er viktig å prøve så godt som mulig å beholde dette ettersom måten deltakerne strukturerer tanker og setninger når de diskuterer et tema kan være interessant i seg selv. Steward et al. (2007, s. 111) skriver at: “Because one use of focus group interviewing is to learn how respondents’ think and talk about a particular issue, too much editing and cleaning of the transcript is undesirable and counterproductive”. Det er greit å utelate slike deler av lyden i diskusjoner er der forskningsspørsmålene ikke omhandler dette, men det bør samtidig bemerkes i den transkriberte teksten hva som er utelatt eller hvilken type “språkvask” som har forekommet.

Et problem ved transkribering er at stemningen mellom deltakerne ikke kommer fram på tekst. Ironi og sarkasme kan for eksempel ikke bli oppfattet av leseren. Det kan da være lurt å kommentere der dette forekommer for å hindre misforståelser i analyseprosessen. Å utdype den transkriberte teksten slik at leseren bedre kan forstå kontekst og bakenforliggende meninger, vil være med på å styrke studiens validitet.

Analyse av datamaterialet

Steward et al. (2007, s. 109) skriver at, som med mange andre kvalitative tilnærminger, er det ingen "korrekt måte" å analysere datamaterialet fra fokusgruppeundersøkelser. Det hele avhenger av forskningsspørsmål og formålet med undersøkelsen. Han presiserer samtidig, i denne oppgavens kontekst, at: "The most common purpose of a focus group interview is to provide an in-depth exploration of a topic about which is little known. For such exploratory research, a simple descriptive narrative is quite appropriate and often all that is necessary".

Begrensninger ved fokusgruppeintervjuer

Ved bruk av fokusgruppeintervjuer som metode, er det viktig å være klar over hvilke begrensninger metoden har og hvilke av disse som er aktuelle. Den viktigste begrensningen å være klar over med denne metoden, sammen med andre kvalitative metoder, er at dataene og resultatene alene ikke er direkte generaliserbare til en større populasjon. Robson (2002, s. 285) lister opp flere punkter i tillegg til generaliserbarheten. Spesielt det at deltakerne er en gruppe, kan medføre begrensninger i forhold til konflikt og konfidensialitet. Ikke alle ønsker å dele meningene sine i grupper der sosial status kan bli holdt høyere enn ønsket om å få ytret sin mening. Gruppa kan på den måten ende opp med en felles mening som ikke samstemmer med den enkeltes mening – den felles mening kan synes generell, selv om den ikke er det. Også mengden spørsmål er begrenset ettersom hvert spørsmål eller tema legger opp til en diskusjon som kan være tidkrevende. I slike situasjoner er det viktig med en bevisst moderator, noe som i seg selv er en begrensning – at det kreves mye av moderatoren.

Hvordan fokusgruppeintervjuer ble brukt i denne studien

Våren 2008 ble problemstillingene til min oppgave begynt påtenkt og skissert. Grovskissen var å følge studentene gjennom sitt første studieår og undersøke hvordan opplæringen i numerisk matematikk og anvendelse i fysikk fungerte. Fokusgruppeintervjuer ble foreslått som en god måte å komme i kontakt med et utvalg studenter og som en god informasjonskilde til studentens hverdag på studiet. Det ble gjennomført to runder med fokusgruppeintervjuer: ett ganske tidlig i semesteret og ett helt i slutten.

Rekruttering og strukturering

Jeg startet rekrutteringen av frivillige deltakere tre uker inn i høstsemesteret ved å henvende meg til studentene på forelesning i MAT-INF1100. Ved å vente noen uker, reduserte jeg sannsynligvis samtidig sjansene for å få med de tidligste "avhopperne" fra studiet. Som belønning for å vie sin tid til min sak, ble en t-skjorte fra fysikkforeningen lovet bort til den enkelte for å delta på to gruppesamtaler á 30-60 minutter. Etter å ha fått for få frivillige etter første forelesningsbesøk, la jeg opp en forespørsel på semestersidene til MAT-INF1100 og forsøkte meg deretter med enda et besøk på forelesning. Nå fikk jeg omsider 25 deltakere og muligheter for gode gruppestørrelser.

Etter et omstendelig puslespill med personer og tidspunkter, ble det satt opp fire tidspunkter og opprinnelig fire grupper á fem-seks personer. Dette er i det nedre sjiktet av hva som er anbefalt, men ble valgt for å gjøre seansene mer overkommelig med tanke på samtalenes lengde (alle bør få muligheten til å komme til orde) og håndtering av gruppene som moderator (å moderere gruppene uten noen tidligere erfaring). Ettersom noen studenter glemte oppmøtetidspunkt eller unnlot seg å komme i det hele tatt, ble det til slutt to grupper med fem deltakere, én gruppe med tre deltakere og en siste gruppe med ni deltakere – til sammen tre avhoppere. Hell i uhell: Nå fikk jeg ufrivillig prøvd ut forskjellige størrelser på gruppene og gjort meg erfaringer med dette.

Disse erfaringene gjorde at jeg i andre runde med intervjuer valgte å prøve nye fire grupper á fem-seks personer. Gruppa med tre personer hadde en fin og intim setting, og heldigvis med pratsomme deltakere, men mangfoldet av synspunkter uteble i stor grad. Gruppa på ni personer endte med å ha et par som så å si unnlot seg å si noe som helst, samt at størrelsen på bordet gjorde sitt til at lydopptak fra enkelte av deltakerne ble svært utydelige. Gruppene på fem personer syntes å være en veldig god middelvei. Dessverre viste det seg (ikke helt uforutsett) at noen hadde sluttet på studiet og/eller ikke ønsket å delta videre, samt at noen glemte å møte opp. Oppsummeringsvis ble den avsluttende runden med intervjuer på tre grupper med fem deltakere og én gruppe med tre deltakere.

Formål, intervjuguide og gjennomføring

Den første runden med intervjuer hadde som formål å få innblikk i studentenes møte med studiet og emnene, samt å tjene som en idémyldring for et planlagt spørreskjema; studentene forteller og diskuterer mens jeg fester meg ved emner og temaer av interesse. Jeg valgte å forberede meg med en semistrukturert og tematisk intervjuguide. Selv om jeg ikke hadde noen erfaring som moderator, så jeg for meg en bedre idémyldring dersom innhold og rammer ikke var for godt spesifisert – til tross for at anbefalingen for uerfarne moderatorer er en fullstendig strukturert guide, samt at en slik guide kan bidra til å styrke pålitelighet med tanke på kryssjekking av besvarelser på tvers av grupper. Sanntidsspørsmål kan på den annen side bidra til bredere rammer for digresjoner og, etter min mening, til en mer avslappet stemning for meg selv og i gruppa som helhet. Siden kryssjekking og gruppesammenlikninger ikke på langt nær hadde et så stort fokus som idémyldring, eksplorering og eksemplifisering, valgte jeg et semistrukturert skjema.

Andre runde med intervjuer var opprinnelig tenkt som en oppfølging av spørreskjemaet som skulle bli gjennomført litt etter midtveis i semesteret og tjene som en utdyping av temaer og spørsmål som kunne oppstå fra resultatene av spørreskjemaet. Intervjuene skulle også fungere som en oppfølging av første runde, men med hensyn til semesteret som helhet i stedet for kun det første møtet med universitetet. Ettersom spørreskjemaet, som omtalt mer i neste seksjon, ble utsatt til slutten av semesteret, gav det ikke all verdens tid til å finne gode spørsmål og diskusjonsemner med bakgrunn i disse resultatene. Intervjuene omhandlet derfor i større grad utdyping av enkelte spørsmål fra spørreskjemaet (uten noen analyse av resultatene på forhånd) og en mer inngående diskusjon om semesteret som helhet i forhold til den numeriske matematikken og programmeringen.

Behandling og analyse av datamaterialet

Datamaterialet ble samlet inn gjennom lydopptak på gruppene. Lydopptakene ble deretter transkribert til tekst i sin helhet. Dette datamaterialet var både til hjelp for min egen idémyldring, samt at det var grunnlaget for utfyllende diskusjoner og utsagn som dokumentasjon i kapittel 4. Siden diskusjonene foregikk tematisk ut fra hvilke emner som var interessante for studiens vedkommende, bestod behandling og analyse i stor grad å finne frem til og skissere generelle trekk fra de utsagn og diskusjoner som kunne brukes til å dokumentere temaer for ytterligere diskusjon og å utfylle temaer fra spørreskjemaets datamateriale.

Validitet og pålitelighet

For å ivareta validiteten i denne metoden ble samtlige studenter velinformert om at all informasjon ville bli behandlet fullstendig anonymt. I tillegg er påliteligheten styrket ved at intervjuguidene ligger vedlagt i tillegg C og gjennom beskrivelsene som nettopp er foretatt.

3.3 Kvantitative spørreskjemaundersøkelser

Spørreundersøkelser finnes i alle fasonger og med alle formål, og som Robson (2002, s. 227) sier det: "You will have to have led a very hermit-like existence not to have been asked to take part in some form of survey". Alle mulige etater, bedrifter og organisasjoner gjennomfører spørreundersøkelser, eksempelvis ved spørsmål over telefonen eller ved å dele ut skjemaer. Det er den siste metoden jeg skal ta for meg i denne seksjonen.

Mens telefonintervjuer kanskje er det de fleste forbinder med spørreundersøkelser (gjerne i forbindelse med markedsundersøkelser), er spørre*skjema*undersøkelser kanskje den metoden de fleste tenker på når det er snakk om kvantitative metoder i samfunnsforskning.

Hvorfor spørreskjema?

Grunnen til å velge spørreskjema som datainnsamlingsmetode er oftest at man ønsker å samle inn data fra et stort utvalg personer uten å bruke alt for mye tid på innsamlingsprosessen sammen med ønsket om å kunne generalisere resultatene til en større populasjon. Johannesen et al. (2007, s. 221) peker på noen grunner til å bruke prekodede spørreskjemaer, der det i tillegg til de allerede nevnte grunnene nevnes muligheten til å undersøke *utbredelsen* av fenomener – eller liknende *deskriptive* formål. Faste spørsmål og svaralternativer medfører en standardisering som åpner for muligheter til å se på likheter og variasjoner blant respondentene og til slutt undersøke sammenhenger mellom fenomener gjennom statistiske analyser.

En spørreskjemaundersøkelse kan for eksempel utformes for å undersøke utbredelsen av et eller flere fenomener og danne grunnlag for å gjøre dyperegående studier gjennom kvalitative metoder ut fra resultatene fra undersøkelsen. På en tilsvarende måte som kvalitative metoder kan utdype kvantitative metoder, kan et spørreskjema utformes med bakgrunn i resultater fra kvalitative undersøkelser for å utdype og undersøke utbredelsen av et fenomen. Slik kan det gjøres forsøk på å generalisere resultatene fra den kvalitative undersøkelsen til en større populasjon.

Å bruke et spørreskjema til eksplorerende forskning, der man for eksempel gjerne ville brukt fokusgrupper, er i følge Robson (2002, s. 234) ikke det beste alternativet, og han skriver: "Surveys work best with standarized questions where it is possible to be confident that the question mean the same thing to different respondents, a condition which is difficult to satisfy when the purpose is exploratory".

Utforming av spørreskjemaet og spørsmålene

Et spørreskjema utformes ut fra forskningsspørsmål, men i motsetning til kvalitative metoder kan spørsmålene ikke endres eller utdypes underveis. Det blir derfor mye viktigere å ha tenkt godt gjennom hvilke spørsmål som skal være med og hvordan de skal stilles før datainnsamlingsprosessen. Spørsmålene vi stiller handler, i følge Johannesen et al. (2007, s. 223), vanligvis om hva respondentene vet, mener og gjør samt deres vurderinger om noe. Ved alle typer spørsmål er det viktig at respondenten får mulighet til å svare, altså må vi passe på å ikke utelukke noen muligheter. Nødløsninger kan være svar på formen "vet ikke" eller "ingen av alternativene". Hvis undersøkelsen inneholder spørsmål som går på hva respondentene vet – det vil si som krever kunnskap – er det viktig at den ikke gjennomføres i en setting som er med på å undergrave denne kunnskapen.

Robson (2002, s. 244) skriver at "The set of possible fixed-alternative responses should be *accurate*, *exhaustive*, *mutually exclusive* and *on a single dimension*". I dette legger han at spørsmålene må være presise, at alle svarmuligheter er dekket, at respondentene kan gi et entydig svar (hvis ikke spørsmålet er ment for å få flere svar) og at svaralternativene er innenfor samme *dimensjon* – at de motsatte sider av skalaen holder svaralternativer som betyr det motsatte av hverandre.

Svaralternativenes dimensjon gjelder først og fremst spørsmål på *ordinalnivå*, der svaralternativene lar seg rangere, og ikke for spørsmål på *nominalnivå*, der svaralternativene ikke har noen naturlig rang. Spørsmålenes utforming og målenivå har direkte følger for hvordan de analyseres i etterkant. Johannesen et al. (2007) nevner i tillegg til de to nevnte, at vi også har spørsmål på *intervallnivå* (nøyaktige og like intervaller mellom verdiene, eks.: temperaturskalaene Celcius og Fahrenheit, årstall, eller liknende), spørsmål på *forholdstallnivå* (like intervaller med mulighet til å si noe om forholdet mellom verdiene og samtidig har et gitt nullnivå: Temperaturskalaen Kelvin, årslønn, antall poeng på en prøve, eller liknende) og *dikotome* variabler (kun to verdier, f.eks. kjønn). Det er også vanlig å betegne spørsmål med at den enten har *kategoriske* variabler eller *kontinuerlige* variabler. Kategoriske variabler har den egenskapen at verdiene kun klassifiseres i gjensidig utelukkende kategorier og ikke kan rangeres på en logisk måte, mens for kontinuerlige variabler kan verdiene både klassifiseres og rangeres. De kontinuerlige variablene har lik avstand mellom verdiene og verdiene representerer et kontinuum.

Spørsmål med ordinalvariabler er kanskje de mest brukte i spørreundersøkelser der svarene er på formen "svært liten", "liten", "middels", "stor" og "svært stor", eventuelt med flere eller færre alternativer. Dette er svar i samme dimensjon og kan rangeres, men har ikke nødvendigvis lik avstand mellom verdiene – i alle fall trenger ikke respondenten å oppfatte det slik. Spørsmålet blir om disse skal analyseres som kategoriske eller kontinuerlige variable. Til dette svarer Johannesen et al. (2007, s. 219) at "Det er ikke noe absolutt skille når ordinalvariable brukes som henholdsvis kategoriske og kontinuerlige variable. Det er imidlertid en vanlig oppfatning at det må være minst fem verdier for å behandle dem som kontinuerlige variable".

Valg av respondenter – populasjon og utvalg

Utvalg av respondenter kan foregå på en rekke måter avhengig av forskningsspørsmål og hvilke muligheter man har. Det er mulig at utvalget respondenter *er* populasjonen. Johannesen et al. (2007, s. 207) gir et eksempel på dette med en undersøkelse av eksamensprestasjoner av studenter ved en høgskole der alle resultatene ligger i et register.

Som regel ligger det ikke slike registre til grunn, og man må gjøre et utvalg fra populasjonen – en utvalgsundersøkelse. I følge Johannesen et al. (2007) vil det ideelle utvalg ha en sammensetning på alle viktige egenskaper som tilsvarer sammensetningen i populasjonen. Et utvalg som oppfyller dette kriteriet kaller vi et *representativt utvalg*. Å sikre et representativt utvalg gjøres best ved å plukke ut et *tilfeldig* utvalg. Johannesen et al. (2007, s. 208) presiserer likevel at "Sannsynlighetsutvelging garanterer ikke representative utvalg, men gir stor sannsynlighet for at utvalget er representativt, og gir oss dessuten mulighet til å benytte statistisk teori når vi skal foreta generaliseringer". Statistiske analyser legger et tilfeldig utvalg til grunn, så for å kunne trekke slutninger fra statistiske analyser, bør utvalget være så tilfeldig som mulig. Et tilfeldig utvalg hever altså den statistiske analysens validitet.

Når det kommer til hvor stort utvalget trenger å være i forhold til populasjonen, er det ingen fasit. Dette er noe som må avgjøres i hvert enkelt tilfelle – til hver studie og til hvert forskningsspørsmål. Johannesen et al. (2007, s. 209) skriver at "Det er den *absolutte størrelsen* på utvalget som er avgjørende, ikke hvor stor andel av populasjonen utvalget representerer. [...] Det avgjørende spørsmålet er hvordan populasjonen er sammensatt". Med dette menes at det for eksempel ikke trengs et dobbelt så stort utvalg for å kunne generalisere til en dobbelt så stor populasjon; så lenge utvalget er tilstrekkelig stort, kan det generaliseres til populasjonen uavhengig av størrelse. Det er den statistiske analysen og feilestimeringen som avhenger av hva som er "tilstrekkelig stort", mens våre generaliseringsmuligheter avhenger i større grad av hvor representativt utvalget er. Feilestimater som kommer fram av den statistiske analysen må hele tiden ses i relasjon til utvalg og populasjon for å kunne trekke konklusjoner.

Behandling av datamaterialet – koding og analyse

Behandlingen av spørreskjemaene i etterkant av at spørreundersøkelsen er gjennomført, går vanligvis for seg med å legge tallkodene inn på en datamaskin, vanligvis i et regneark, for å enkelt kunne ordne og visualisere datamaterialet. Spørsmålene blir ordnet og tillagt koder ut fra spørsmålstypen, eksempelvis om de er på ordinalnivå eller nominalnivå. Om man ønsker å gjøre mer statistisk analyse, kan datafilene enkelt importeres til SPSS eller tilsvarende statistisk programvare. Her kan en gjøre svært mange forskjellige statistiske undersøkelser på datamaterialet.

De mest aktuelle metodene for meg, er enkle sammenligninger av gjennomsnittsverdier mellom forskjellige utvalg og korrelasjonstesting. Sammenligning av gjennomsnitt trenger ingen særlig utdyping ut over at man må være obs på såkalte "outliers" (Field, 2005, s. 74). Outliers er enkeltresultater som ligger godt utenfor gjennomsnittet til resten av utvalget, for eksempel at nærmest alle i en stor gruppe tjener noen hundre tusen kroner i året på jobben sin, mens et fåtallige personer har en inntekt på mangetallige millioner. Disse kan på kunstig vis ha stor betydning for gjennomsnittet og det kan da være mer gunstig å bruke eksempelvis median eller typetall for å gi et riktigere bilde av fordelingene.

Korrelasjon, eller *samvariasjon*, er et mål på hvor godt to variable, nettopp, *samvarierer*. Størrelsen vi vanligst bruker som mål er *Pearsons korrelasjonskoeffisient*, som er "[...] en parametrisk test som måler graden av lineær sammenheng mellom to variabler på *intervallnivå* eller *forholdstallnivå*" (Eikemo og Clausen, 2007, s. 53). Denne koeffisienten betegnes med "r" og varierer mellom -1 og 1 avhengig av om vi har å gjøre med en perfekt (rettlinjet) negativ samvariasjon eller en perfekt positiv samvariasjon. For å anslå den "reelle effekten" av denne samvariasjonen, er det vanlig å kvadrere tallet for å få det Robson (2002, s. 423) kaller "proportion of the variation in values of one of the variables which can be predicted from the variation in the other variable" eller "porportion of variance explained". Altså i hvilken grad korrelasjonen kan forklare den totale variansen i form av en reell effekt. Det er litt ulike oppfatninger om hvor grensene for hva som er reelle effekter og ikke skal settes, men Johannesen et al. (2007, s. 259) skriver at "I samfunnsvitenskapelig forskning regnes Pearsons r opp til 0,20 som en svak samvariasjon, 0,30–0,40 som en relativt sterk og over 0,50 som meget sterk". Field (2005, s. 32) bruker 0.10, 0.30 og 0.50 for hhv "small", "medium" og "large effect" og presiserer samtidig at vi her kan se på tallene som at en reell effekt kan forklare hhv. 1%, 9% og 25% av den totale variansen. Det viktigste å ha klart er at den reelle effekten øker med *kvadratet* av korrelasjonen og at en $|r| > 0.5$ ansees som "sterk korrelasjon" (med sterk reell effekt) av de aller fleste.

Om generalisering og begrensninger ved spørreundersøkelser og statistisk analyse

Statistikken som gjør det mulig for en generalisering av resultater, forutsetter at utvalget er representativt for populasjonen; det forutsettes et *tilfeldig utvalg*. Dette er en av begrensningene ved spørreskjemaundersøkelser: Det er vanskelig å si om man sitter med et representativt og tilfeldig utvalg eller ei. Dette løses vanligvis, som nevnt, med "tilstrekkelig store" sannsynlighetsutvalg. Likevel vil store utvalgsbortfall være et eksempel på en trussel mot den ytre validiteten (Johannesen et al., 2007, s. 307) og samtidig til generaliseringspotensialet. Et kvantitativt studie uten et representativt utvalg, i likhet med kvalitative studier, har vanskeligheter for *statistisk generalisering*, men analyser kan likevel ha en *overføringsverdi*. Johannesen et al. (2007, s. 317) skriver om kvantitative undersøkelser der det er lite relevant med statistisk generalisering, at "Den kunnskap som utvikles i form av fortolkninger, forklaringer, mekanismer og begreper i et bestemt forskningsprosjekt, uansett hvilken metode som er brukt, kan imidlertid *overføres* til andre situasjoner og fenomener". Selv om analysen ikke kan generaliseres til populasjonen, kan den gi innsikt med generell verdi for en situasjon eller et fenomen.

Den største begrensningen ved spørreskjemaundersøkelser og den statistiske analysen er likevel forskeren selv. "Statistical procedures are just a way of number crunching and so even if you put rubbish into an analysis you will still reach conclusions that are statistically meaningful" (Field, 2005, s. 34). Statistisk signifikans avhenger i stor grad av størrelsen på utvalget; det er lett å få et statistisk signifikant resultat så lenge utvalget er stort nok. Forskeren må *selv* vurdere om resultatene er betydningsfulle. Det samme gjelder årsaksforklaringene: Selv om to variable viser en statistisk signifikant sammenheng, må forskeren selv vurdere om sammenhengen er av praktisk betydning og i det hele tatt meningsfull. I tillegg må retningen av årsak-virkning vurderes selvstendig. Den viktigste begrensningen ligger i at *andre faktorer* som ikke er tatt med i beregningen, likevel kan være den avgjørende årsaksforklareren.

Hvordan spørreskjemaundersøkelser ble brukt i denne studien

Høsten 2008 ble det også utviklet og gjennomført en spørreskjemaundersøkelse. Hvordan denne ble utformet og gjennomført vil gjennomgås i teksten som følger.

Formål og utforming

Det kvantitative spørreskjemaet ble utviklet delvis som et utspring av første fokusgrupperunde og delvis fra generelle fastsatte spørsmål i forkant. Formålet her var også å kartlegge synspunkter og holdninger mht. kursene (med deres mer spesifikke innhold) i første semester og til studiet som helhet, men nå med en større gruppe studenter enn fokusgruppene tillot. Med en stor gruppe respondenter kan man avdekke de *generelle* holdningene til spørsmål og utsagn, dog uten særlig innsikt i begrunnelser for påstanden. Man kan også finne samvariasjoner mellom ulike holdninger til ulike spørsmål – eller omvendt: antyde at det *ikke* er noen sammenheng. Hovedgrunnen for å velge metoden er altså ønsket om å kartlegge studentmassens synspunkter til de aktuelle temaer på en større skala.

De fleste av spørreskjemaets spørsmål er utformet som ordinalvariable med fem svaralternativer. Dette er gjort som en middelvei mellom å kunne omtale variablene som kontinuerlige uten at besvarelsene skal bli oppfattet som svært detaljerte – de skisserer kun inntrykk studentene sitter med. Den enkeltes oppfatning av skillene mellom alternativene blir mer og mer utydelig når det hele tiden innføres nye gradsadverb for å skille mellom svaralternativene. En "femdeling" ble derfor ansett som en god middelvei.

Innsamling og behandling av data

Planen var opprinnelig å gjennomføre undersøkelsen litt etter halvveis inn i semesteret, men med grunnlag i små forsinkelser og at kursansvarlig påpekte at det erfaringsmessig er desidert flest oppmøtte på den siste forelesningens oppsummering før eksamen, ble gjennomføringen utsatt til slutten av semesteret – nærmere bestemt aller siste forelesning i INF1100. Dette gav samtidig muligheter for ytterligere finpuss og utforming av åpne, kvalitative spørsmål. Grunnen for å gjennomføre undersøkelsen i INF1100 er at samtlige studenter i dette kurset også har (eller *bør* ha) de andre to kursene som utgjør "grunnpakken" – hvis ikke de er enkeltemnestudenter eller har fått innpass for faget i en spesiell studieplan. I MAT-INF1100 er det en god del som ikke tar INF1100 på grunn av spesielle programfag knyttet til deres studieprogram og i MAT1100 er det enda større variasjon. INF1100 er også kurset som er mest aktuelt med tanke på denne oppgavens fokus på naturvitenskapelige anvendelser av beregningsorienterte oppgaver.

Utvalg, populasjon og generalisering

Undersøkelsens hovedfokus er oppfatningen av kursene INF1100 og MAT-INF1100, men en del spørsmål tar også innover seg helhetsfølelsen av studiet og vanskegrad eller arbeidsmengde på tvers av kurs i "grunnpakken" der MAT1100 også inngår. Populasjonen vil i denne studien være alle studentene i sitt første studieår som tar de tre kursene INF1100, MAT-INF1100 og MAT1100, men dette avhenger en del av spørsmålet som stilles; det er ikke alle spørsmål som trenger alle tre kursene for besvarelse. Utvalget i undersøkelsen er studentene som møtte opp på den siste forelesningen i INF1100, samt alle som møtte på fokusgruppene ved at de også fikk lov til å fylle ut spørreskjemaet hvis de ikke allerede hadde gjort det. Mitt bruttoutvalg *er* dermed populasjonen, og alle som ikke besvarte spørreskjemaene bør ansees som *utvalgsbortfall*; nettoutvalget er populasjonen minus utvalgsbortfallet. I kapittel 4 legger jeg fram resultater som viser at jeg har fått besvarelser fra circa 50% av studentene på kurset i INF1100. Dette, sett i sammenheng med at populasjonen i seg selv er svært liten, antyder et visst problem knyttet til *statistisk* populasjonsgeneralisering; statistisk generalisering blir lite hensiktsmessig.

Formålet er likevel ikke å generalisere svarene til noen ytre, større populasjon – studentene på kurset (eventuelt på mat-nat) *er* populasjonen. Om mulig ønsker jeg heller å belyse temaer fra et overordnet undervisningsmessig perspektiv fra studentenes øyne. På den måten får denne metoden et tydelig *kvalitativt preg*, ved at generalisering ikke står i et like stort fokus som overføring, eksemplifisering og utdyping.

Om validitet og reliabilitet og en presisering om statistiske metoder

For å sikre begrepsvaliditeten har jeg forsøkt å gjøre spørsmålene så entydige som mulig. Spørsmålsstillingene bør ha et minst mulig rom for tolkning. Dette er en utfordring med tanke på at spørsmålene samtidig bør være kortfattede for ikke å undergrave hovedmomentet i spørsmålet. Jeg utelater bevisst drøfting og tolkning i kapittel 4 for at slutninger kan etterprøves av leseren. Dette er også med på å bevare studiens validitet. Ved at spørreskjemaet som ble brukt ligger vedlagt i sin helhet i tillegg D, heves studiens reliabilitet.

Et ganske stort utvalgsbortfall og et ikke-tilfeldig utvalg (det å møte opp på siste forelesning kan være velbegrunnet) gjør at den *statistiske* validiteten blir hemmet en del. Dette trenger likevel ikke være veldig uheldig, for hovedmålet er uansett ingen generalisering til en ytre, større populasjon. På grunn av dette har jeg også valgt å utelate alle referanser til statistisk signifikans og p-verdier i datamaterialet i kapittel 4 ettersom dette raskt kan antyde generaliseringspotensialer som ikke nødvendigvis er til stede. Videre vil et "95% konfidensintervall" ikke si noe om hvorvidt en ytre, større populasjon faller innenfor, men heller skissere en spredning i utvalgets besvarelser.

3.4 Observasjonsstudier

Observasjon er noe alle mennesker har gjort til alle tider. Vi lærer gjennom observasjon via sansene våre: Vi ser, hører, føler, smaker og lukter hele tiden og inntar hele tiden ny informasjon som vi lærer å tilpasse oss til. Når vi snakker om observasjon som både naturvitenskapelig og samfunnsvitenskapelig metode er det noe av det samme vi tenker på, men samtidig noe ganske annet. Sjøberg (2005, s. 354) presiserer dette for naturfagundervisningen – som innebærer en del opplæring i naturvitenskapelige metoder med observasjon – ved at "Mye av poenget i naturfagundervisningen er nettopp å hjelpe elevene til å observere det vi – ut fra våre kunnskaper og våre mål med undervisningen – vil at de skal observere". Poenget her er at vi ikke bare skal observere, men observere som kvalifiserte fagfolk og bruke det språk, den teorien og de begrepene som har vist seg å være gode og produktive.

En observatør i en samfunnsvitenskapelig studie må derfor være bevisst på sin rolle i observasjonen og den teori og bakgrunnsinformasjon som ligger til rette for å observere det som er ønskelig å observere. Postholm (2005, s. 55) nevner i den forbindelse hvordan forskeren i dette tilfellet har et bestemt *fokus* for sine observasjoner, i motsetning til "personen på benken i gågaten", samtidig som at forskerens observasjoner er systematiske og hensiktsmessige.

Hvorfor observasjon?

Observasjon brukes oftest som datainnsamlingsmetode dersom man ønsker å observere et fenomen i sine naturlige omgivelser. Slike *naturalistiske studier* blir i følge Johannesen et al. (2007, s. 119) brukt fordi fenomenet som studeres gir mening like mye ut fra sine omgivelser som fenomenet selv. Forskningens problemstillinger kan på den annen side også legge opp til å studere deltakerne i helt andre omgivelser for å se hvilken effekt omgivelsene har på de studerte fenomener. Det går også an å arrangere kunstige omgivelser, men slike *arrangerte settinger* blir i liten grad brukt fordi det er vanskelig å arrangere en setting kun for studiens skyld. En observasjonsstudie kan, avhengig av observatørens rolle, brukes til svært mange og svært forskjellige formål – alt fra en nærmest "kvantitativ telling" basert på mange individer til en dyptgående kvalitativ enkeltpersonstudie.

Robson (2002, s. 310) mener at den største fordelen med observasjon er at den er så direkte: "You do not ask people about their views, feelings or attitudes; you watch what they do and listen to what they say". I motsetning til spørreskjemaer og intervjuer, der det for eksempel kan være stor forskjell mellom hva respondentene sier de mener og hva de *faktisk* mener, vil man ved en observasjon kunne fastslå dette uten å gå veien om den observertes egen forståelse og tolkning.

Observatørens rolle

Mens deltakernes rolle i et observasjonsstudie nesten alltid er å oppføre seg "som vanlig", er observatørens rolle et litt annet emne for diskusjon. Observatørens tilnærming til observasjonen kan ha svært utslagsgivende kraft på hva som blir observert. Postholm (2005, s. 64) henter og oversetter fire begreper hentet fra R. L. Gold langs et kontinuum av roller: Fra "fullstendig deltaker", gjennom "deltaker som observatør" og "observatør som deltaker" og til slutt til "fullstendig observatør". Tilsvarende navn med litt annen ordlyd kan blant annet finnes hos Johannesen et al. (2007, s. 126), der det også deles inn i "åpen" og "skjult" rolle. En skjult observasjon er der de observerte enten ikke vet at de blir observert, eller at de vet at de blir observert, men ikke hva observatøren fokuserer på. Motsetningen er åpen observasjon, der observatør gir informasjon hva som er hensikten med observasjonen. Dette vil kunne ha en effekt på de observertes opptreden og det kan derfor være aktuelt med ulike grader av informasjonsgivning, eller til og med å gi villedende informasjon. Hvor man ønsker å plassere seg blant disse rollene avhenger av formålet med observasjonen og vil samtidig kunne påvirke hvilke data som blir dokumentert.

Det er heller ikke alltid ønskelig å bestemme seg for en bestemt rolle og følge den slavisk. Solberg (2007, s. 130) kommenterer på dette og sier blant annet om en rolle som distansert forsker (fullstendig observatør) – som hun påpeker at ofte blir sett på som et ideal i en del litteratur om kvalitative metoder – sjelden er mulig:

> "I de fleste tilfeller vil de utforskede ikke godta slik atferd, og kreve at forskeren tar del i deres verden. De prøver å innordne nykommeren i en rolle de er kjent med fra før. Godtar ikke forskeren den, kan det både være ubehagelig å være til stede og vanskelig å få kunnskap. Tilskuerrollen vil som regel heller ikke være ønskelig. [...] Rolleforpliktelsene kan bringe en i nær kontakt med spesielle deler av forskningsfeltet, men fjerne en fra andre. Rollen kan føles som et hinder for å få oversikt og innsikt i det systemet en studere."

Selv om ønsket for eksempel er passiv observasjon som fullstendig observatør, bør man være åpen for interaksjon med deltakerne og mulige endringer i hvilken rolle man har. Dette må sees an i forhold til hvem som blir observert og hvordan de reagerer på det. Postholm (2005, s. 65) peker på sin egen forskning der hun var observatør i et klasserom og var klar og tydelig på sin rolle: "På den måten visste forskningsdeltakerne hva min rolle var, og jeg bød dermed heller ikke på noen overraskelser som kunne virke inn på roen og arbeidsprosessen i klasserommet". Observatørens rolle er svært avhengig av både forskningsspørsmål og kontekst, og det er viktig at forskeren er bevisst på dette.

Gjennomføring og dokumentasjon

Når observatøren har valgt hvilken tilnærmingsmåte (eller rolle) han eller hun vil ha til observasjonen, er det viktig å ha klart for seg hvordan observasjonen skal gjennomføres og dokumenteres. Observasjonen går som regel for seg med grunnlag i teori og hypoteser som observatøren ønsker å teste ut. I dette møtet mellom teori og praksis vil observatørens forutintatthet og kjennskaper til teori og fenomenet som observeres påvirke hvilke data som blir dokumentert. Johannesen et al. (2007, s. 127) kaller forskeren og eventuelt forskerens medhjelpere her for et menneskelig *filter* som alle data må passere.

Det faktum at det er et "menneskelig filter" som observerer har også sine gode sider. Forskeren vil hele tiden både tilpasse seg og distansere seg fra observasjonen og hele tiden bedrive en interaksjon mellom induksjon og deduksjon. Postholm (2005, s. 57) kommenterer dette ved at selv om forskerens antagelser, forforståelse, leste teorier og utledede undersøkelsesspørsmål legger grunnlaget for et deduktivt møte med forskningsfeltet, vil han eller hun være innstilt på at forskningsfeltet kan åpne for andre fokus eller tema enn de som er tenkt ut på forhånd. Dette kan forskeren, hvis aktuelt, lese ny teori om for å forstå og ta inn i forskningsprosessen og på den måten møte forskningsfeltet med ny kunnskap og endrede holdninger.

I tillegg til at forskeren samler data gjennom sansene og lagrer i sin egen hukommelse, er det vanlig å dokumentere observasjonen med feltnotater og eventuelt lyd- og/eller videoopptak. Dette er spesielt viktig for å kunne vise direkte til utolkete data og dermed øke forskningens validitet. Dette avhenger av observatørens rolle og hva som lar seg gjøre i den enkelte setting.

Det er også flere muligheter for dokumentasjon, noen mer strukturerte enn andre. Robson (2002, s. 325–345) er innom flere typer dokumentasjon som innebærer å lage skjemaer for koding av hendelser, tilstander, sekvenser eller liknende for å kunne gjøre en mer strukturert analyse, for eksempel basert på tallkoder.[3]

Behandling og analyse av datamaterialet

Etter å ha samlet inn data fra feltet, må datamaterialet behandles. Ved opptak av lyd vil det være naturlig å transkribere lyden til tekst i form av ordrette sitater med eventuelle kommentarer og rettelser fra observatør, tydeliggjort at de er fra ham eller henne. Ved videoopptak vil også mer utdypende beskrivelser være mulig. Vedeler (2000, s. 80) skriver at "Med deltakende observasjon (kvalitativ tilnærming) er imidlertid de viktigste dataene *beskrivelser* og *sitater*. Bruker man ikke videoopptak, blir det spesielt viktig å gjøre feltnotater som kan danne grunnlaget for beskrivelsene". I tillegg til sitater er altså *beskrivelser* viktig, som Vedeler (2000, s. 80) deler inn i to kategorier: *Deskriptiv* informasjon og *reflektert* informasjon. Sitater er i seg selv deskriptive før de blir kommentert og analysert, mens beskrivelser kan inneholde både deskriptiv og reflektert informasjon – det vil si informasjon basert på forskerens personlige tolkninger. Enkelt kan man si at den deskriptive informasjonen bør være faktarettet, presis og omfattende og ha som mål at leseren skal kunne sette seg inn i hva og hvordan noe hendte. Det skal derimot ikke inneholde informasjon som for eksempel bruker ord som "snill" og "slem" som krever en tolkning og begrunnelse – da snakker man om reflektert informasjon.

Ved analyse av kvalitative observasjonsresultater, eksemplifiserer Postholm (2005, s. 86) med sin egen kapitteloverskrift ("Analyse i kvalitativ forskning") det gjeldende, generelle synet ganske godt ved at "Et eget kapittel som omhandler kvalitative analyser, kan være misvisende fordi det kan gi inntrykk av at slike analyser er en lineær, avgrenset prosess". Vedeler (2000, s. 84) skriver at "Det viktigste med dataanalyse er å fokusere analysen. Det finnes ellers ikke noen 'eneste riktige måte' å analysere kvalitative observasjonsdata på. [...] Uansett hvilken analysemetode som brukes, handler det om kategorisering eller utvikling av kategorier". Disse "kategoriene" utvikles ut fra datamaterialet sett i sammenheng med de antakelser og den teorien som ligger til bunn for studien. Det kan handle om å se etter sammenhenger, relasjoner og/eller årsaker til bestemte mønstre i datamaterialet. Siden kvalitative metoder, som nevnt, kan ha (eller ofte *ønsker* å ha) en form for *eksplorerende* funksjon, kan nye spørsmål og kategorier utvikles underveis i studiet og de eventuelle kategorier utviklet i forkant av studiet kan endre seg underveis.

Begrensninger ved observasjon

Observasjon som metode har svært mange fordeler, men også noen svært viktige begrensninger og ulemper. Vedeler (2000, s. 16) skriver først: "Skal vi finne mening i det vi har observert, er det nødvendig med god kunnskap om sosial og fysisk kontekst". Metoden legger opp til at forskeren allerede har god innsikt i feltet som blir observert, dersom metoden ikke brukes til rent eksplorerende forskning. Selv med eksplorerende forskning bør også forskeren ha en viss grad av innsikt for å kunne trekke ut mening og forståelse fra observasjonen. Videre skriver hun: "Den viktigste begrensningen ved bruk av observasjon er observatøren selv. Observatørens verdier, holdninger og erfaringer

[3]Dette vil jeg ikke gå nærmere inn på ettersom det er lite relevant i forhold til denne oppgaven.

kan virke inn både på hvilke observasjoner som blir registrert og på fortolkningen av disse"(Vedeler, 2000, s. 16). Dette er, som hun sier, den *viktigste* begrensningen og omtales som *observatørbias*. Selv om metoden kan utelate den observertes verdier, holdninger og erfaringer, er det umulig å se bort fra dette hos observatøren – og de blir kanskje enda mer fremtredende når forskeren driver liten eller ingen interaksjon med deltakerne. Lyd- og/eller videoopptak vil i høy grad kunne bidra til å redusere denne typen feil og bidrar også til å forhindre såkalte *observatørunnlatelser*, der forskeren for eksempel unnlater seg fra å registrere atferd som ikke passer inn i skjemaet, eller som ikke virker relevant der og da, men som likevel kan vise seg å ha betydning i ettertid.

Uavhengig av forskerens interaksjonsnivå, vil det forekomme en eller annen grad av *observatøreffekt*. Denne effekten – hvordan deltakerne blir påvirket av observatørens tilstedeværelse – kan være svært vanskelig å drøfte i særlig stor grad, men forskeren har et ansvar om å være bevisst på problemet og vurdere hvordan tilstedeværelsen *kan* påvirke datamaterialet. Vedeler (2000, s. 110) skriver i den forbindelse at "Forsikringer om anonymisering av data og at alt som observeres vil bli behandlet konfidensielt, vil kunne bidra til å redusere observatøreffekter".

Hvordan observasjon ble brukt i denne studien

Den viktigste delen av denne oppgaven går ut på å undersøke hvilken effekt beregningsorienterte tilnærminger har på arbeidet og læringen av *fysikkfaget* – i dette tilfellet mekanikk. Jeg endte derfor med å følge et mindre utvalg – rettere sagt fire – studenter under oppgaveløsing av beregningsorienterte oppgaver der jeg observerte, stilte spørsmål til og diskuterte med studentene.

Formål

Studiens store spørsmål handler om hvorvidt oppgaver med beregningsorientert tilnærming er en god måte å arbeide med og å lære fysikkfaget. I dette tilfellet vil det å stille studentene spørsmål vi ønsker svar på, ikke gi tilstrekkelig informasjon. Heller ikke en vurdering av deres prestasjoner *i etterkant* av læringen vil være det jeg er ute etter. Jeg er interessert i læringssituasjonen *i nå-tid*. Jeg valgte derfor å observere studentene under oppgaveløsingen og undersøke hvordan arbeidet foregikk, hvordan studentene angriper og arbeider med de ulike aspektene[4] ved oppgaven og hvorvidt studentene oppnår en god innsikt i disse gjennom dette arbeidet. Observasjonene vil også kunne vise om utviklingen av programmer til sitt eget lille "datalaboratorium" virker motiverende og spennende – om det gir ønske for eksperimentering på egenhånd. Datamaterialet vil gjøre det mulig med en pedagogisk drøfting av oppgavene og hvilke følger dette kan få – en diskusjon av ulike temaer rundt studentenes læring av faget, fagets tilnærming til undervisning og dets tilrettelegging. Observasjonsdelen av denne studien har altså en svært åpen og eksplorerende tilnærming.

[4]Analytisk matematiske, numerisk matematiske, programmeringstekniske og, ikke minst, konseptuelle problemstillinger

Min rolle

Min rolle som observatør blir beskrevet ganske godt av Johannesen et al. (2007, s. 127): "*Tilstedeværende observatør* vil si at forskeren i liten grad deltar i den ordinære samhandlingen mellom deltakerne i feltet som studeres. Forskeren engasjerer seg gjennom samtaler og intervjuer, men ikke som deltaker". Jeg var i mine observasjoner tilstede, men gjorde ikke oppgavene sammen med studentene eller deltok i å finne løsninger og svar. I stedet deltok jeg i diskusjoner som kunne få fram hva studentene tenker i nettopp slike situasjoner. Mine innspill handlet som oftest om å få studentene til å tilgjengeliggjøre for mikrofonen hva de tenkte, hvordan de valgte å gå fram og hvorfor disse valgene ble tatt. Studentenes oppgaver hadde jeg allerede gjort grundig i forkant av observasjonen for å være godt forberedt på oppgavens tema og som et forsøk på å være forberedt på eventuelle problemer som kunne oppstå. Jeg satt aldri og stirret ned på arket eller inn i skjermene deres, men var heller tilstede med mikrofonen diskret plassert på pulten og kom med kommentarer, spørsmål og innspill der jeg følte det nødvendig. Jeg prøvde å gjøre meg selv minst mulig til et "kritisk blikk" på deres oppgaveløsing, men heller som et "spørrende og undersøkende blikk".

Rekruttering av studenter og valg av oppgaver

Studentene som ble spurt om å delta på observasjonsstudiet kom alle fra fokusgruppe-intervjuene i første semesteret. Jeg tok utgangspunkt i de studentene som utmerket seg med å ha få problemer med å si sin mening, komme med innspill og delta i diskusjoner under fokusgruppene. I tillegg til gleden av å få hjelpe meg med denne oppgaven, ble studentene lovet et universalgavekort på 500 kr hver som en takk for hjelpen. Av de fire første jeg spurte, svarte alle "ja".

Oppgavene som var aktuelle til observasjonen ble først og fremst valgt ut på grunn av deres bruk av numeriske løsninger med Eulers metode og usikkerheten i hvilke oppgaver som kom til å omhandle dette senere i semesteret. Oppgavene i kurset ble lagt ut uke for uke og kursansvarlig hadde ikke forhåndsbestemt seg for hvilke oppgaver som skulle brukes til hvilke temaer (ei heller var alle oppgavene nødvendigvis ferdigstilt). De to første oppgavene ble observert tidlig i semesteret og med kort mellomrom både på grunn av deres tydelige temaer og gode bruk av beregningsorientert tilnærming og usikkerheten i om det kom til å komme mange flere egnete oppgaver (med bruk av numerisk integrasjon) på en god stund. At de to første oppgavene til observasjon ble valgt tidlig i semesteret gir også et bedre grunnlag til å drøfte overgangen til mekanikkfaget i forhold til grunnlaget fra første semester. Oppsummert var ikke oppgaveutvalget et nøye gjennomtenkt utvalg fra mange mulige, men heller "det som lå tilgjengelig" og som samtidig så ut til å være oppgaver med god bruk av beregningsorienterte tilnærminger.

Innsamling, behandling og analyse av datamateriale

Datamaterialet består av både lydopptak og notater fra observasjonene. Til sammen ble tre observasjoner á to grupper med to studenter gjennomført, der hver enkelt observasjon typisk varte mellom tre og fire timer. Notatene ble først og fremst brukt til å presisere "lydløse hendelser" og stemning som ikke like enkelt kan dokumenteres med lyd. Alt lydopptak ble transkribert til tekst i sin helhet i forkant av det mer dyptgående analysearbeidet i et forsøk på å forhindre observatørunnlatelser så tidlig i arbeidet. Transkribasjonen i seg selv bidro selvsagt også til å gi meg en mye bedre oversikt over datamaterialet og å gi et bilde av hva det kunne brukes til. På den måten kan også transkribasjonen ansees som en del av analysearbeidet.

Analysearbeidet var en lang, ikke-lineær prosess. Analysen startet i praksis allerede under observasjonene, der nye spørsmål og ideer oppstod samtidig som andre ble endret eller forkastet. Allerede her begynte jeg å utvikle kategorier. Analysen har i stor grad handlet om *kategorisering* av datamaterialet i temaer som er belysningsverdige i seg selv og/eller som lar seg belyse av datamaterialet sammen med teorigrunnlaget. På grunn av dette valgte jeg tidlig å skrive ned datamaterialet i kronologisk rekkefølge. Kapittel 5 er resultatet av utdrag fra diskusjoner og sitater fra den transkriberte teksten som viste seg anvendbar til en videre diskusjon og drøfting. Diskusjoner og sitater ble bemerket mens jeg hørte og leste gjennom datamaterialet for deretter å bli kopiert og kommentert med tentative kategorier. Omsider ble kommentarer og kategorier grundig tematisert og flyttet over til kapittel 6, mens datamaterialet som ligger til grunn står igjen i kapittel 5. Resultatet av hele analysen – de utviklede kategoriene – er altså speilet gjennom overskriftene som finnes i kapittel 6.

Om validitet og pålitelighet

Resultatene fra observasjonene (kapittel 5) inneholder en svært liten grad av drøfting og diskusjon og alle beskrivelser er så deskriptive som mulig. Mine kommentarer som blir gitt i disse kapitlene skal kun bidra til å utfylle arbeidsøktenes "tomrom" mellom diskusjonene, å utfylle diskusjonenes kontekst og setting, bemerke viktige poenger og å rette leserens fokus. De skal derimot i liten grad hjelpe leseren med å tolke resultatene. Dette gjøres eksplisitt i kapittel 6. Et slikt skille mellom resultater og drøfting bidrar til å heve studiens validitet – eller *bekreftbarhet* – ved at resonnementer som gjøres kan etterprøves av leseren uten å bli forstyrret av mine egne tolkninger. I tillegg ble studentene gjort tydelig klar over at behandlingen av datamaterialet ville foregå fullstendig anonymt som et forsøk på å minske sjansene for uønskede observatøreffekter. Observasjonenes troverdighet blir ivaretatt ved at det ble gjennomført flere observasjoner og at hver enkelt observasjon foregikk over en relativt lang tidsperiode. Påliteligheten av undersøkelsen støttes opp av et fyldig datamateriale i kapittel 5.

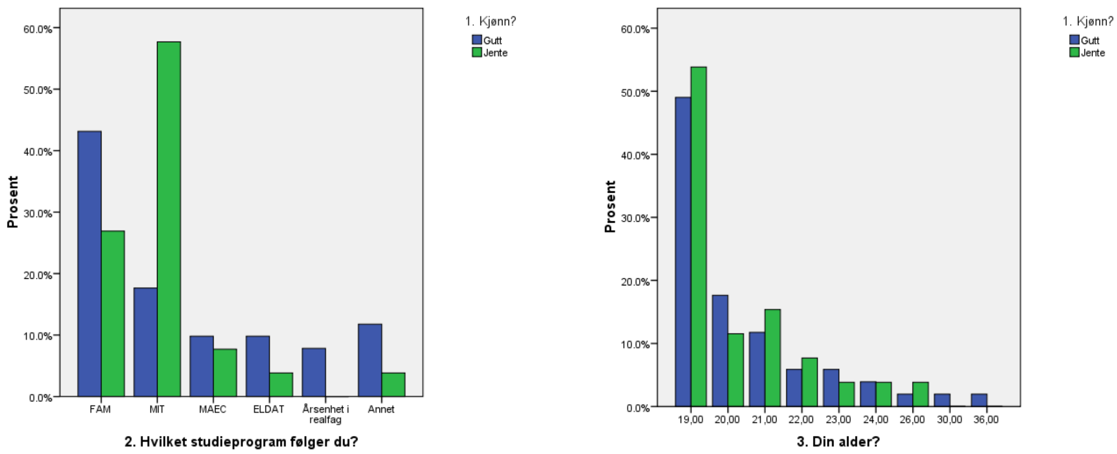
Kapittel 4

Resultater: Studentenes første semester

Dette kapittelet tar for seg resultater fra studentenes første semester der de også hadde sitt første møte med universitetsmatematikk, numerisk matematikk og programmering. Metodene som ble brukt i dette semesteret var fokusgruppeintervjuer og en spørreskjemaundersøkelse.

4.1 En oversikt over studentene som svarte på spørreskjemaundersøkelsen

Figur 4.1 gir et overblikk over respondentene i spørreskjemaundersøkelsen med fordelingen av studenter med hensyn til kjønn, studieprogram og alder. Figur 4.1 viser et mer spesifikt tallmateriale.



Figur 4.1: Deltakere i spørreundersøkelsen fordelt på studieprogram, alder og kjønn gitt som prosent av totalen per kjønn.

Fra eksamensstatistikken til INF1100 (ikke vedlagt, men åpent tilgjengelig) kan det hentes ut at det var 156 studenter oppmeldt til eksamen i faget høsten 2008 – 40 av

Tabell 4.1: Deskriptiv statistikk over respondentene etter kjønn og studieprogram.

1. Kjønn?

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Gutt	51	66.2	66.2	66.2
	Jente	26	33.8	33.8	100.0
	Total	77	100.0	100.0	

2. Hvilket studieprogram følger du?

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	FAM	29	37.7	37.7	37.7
	MIT	24	31.2	31.2	68.8
	MAEC	7	9.1	9.1	77.9
	ELDAT	6	7.8	7.8	85.7
	Årsenhet i realfag	4	5.2	5.2	90.9
	Annet	7	9.1	9.1	100.0
	Total	77	100.0	100.0	

disse var kvinner, 116 var menn. De største gruppene (av totalen) er 52 studenter fra FAM, 35 fra MIT, 17 fra MAEC og 15 fra ELDAT. Av figur 4.1 kan vi lese at det er totalt 77 studenter med i undersøkelsen (nesten 50% av totalen, hvis vi antar at alle disse studentene gikk opp til eksamen), der to tredjedeler er gutter mens en tredjedel er jenter, og nesten 70% av studentene enten går på FAM eller MIT mens de resterende er fordelt jevnt utover på de andre studieretningene. Noe som er spesielt verdt å merke seg er kjønnsfordelingen på MIT der det store flertallet er jenter (nesten 60% av alle jentene med i undersøkelsen), i motsetning til de andre gruppene. Dette medfører at en sammenligning av kjønnsforskjeller i realiteten kan vise forskjeller som skyldes studieprogramvalg og i større grad rene *interesseforskjeller* enn mulige kjønnsforskjeller – eller omvendt! Både forskjeller mellom kjønn og forskjeller mellom studieprogrammene FAM og MIT vil derfor ikke kunne tillegges særlig pålitelige drøftinger eller konklusjoner ut over det å fremme påstanden at det *er* eller *ikke er* en forskjell mellom gruppene. Vi kan også bemerke oss at aldersfordelingen avtar svært raskt. 95% av studentene som deltok i undersøkelsen er 25 år eller yngre, og vi kan se av figur 4.1 at det store flertallet er 21 år eller yngre – nesten halvparten kommer rett fra videregående skole.

4.2 Grunner til å studere fysikk

I fokusgruppeintervjuene denne høsten, spurte jeg deltakerne noen spørsmål om deres grunner for å velge fysikk som studievalg. Det var en ganske stor enighet på tvers av gruppene om at interessen for faget var det avgjørende. Mange visste ikke helt hva de ville gjøre etter videregående, og valgte derfor ut fra hvilket fag de likte best. Behovet for arbeidskraft innenfor relevante yrkesretninger var også utslagsgivende for noen, men en forventning om god lønn stod nesten ikke i høysetet hos noen som helst. Noen karakteristiske sitater var som følger:

På tvers av grupper fra første runde:

S1 Jeg valgte hovedsakelig FAM fordi jeg liker veldig – er veldig glad i fysikk. Det var det som var gøy på videregående.

S2 Jeg har fortsatt ikke peiling på hva jeg har lyst til å bli når jeg blir ferdig med å utdanne meg, men jeg visste det var innen fysikk, realfag, og det var en veldig bred utdanning i fysikk på FAM, så for å utsette den avgjørelsen litt til ...
S3 Jeg valgte fysikk for det var egentlig det eneste jeg likte på videregående, sånn fagmessig. I tillegg til litt matematikk.
S4 Jeg valgte egentlig fysikk for det er det jeg alltid har sett for meg, så jeg visste ikke helt hva jeg skulle gjøre, så da tok jeg det jeg drømte om da jeg var ung, da.
S5 Jeg valgte vel fysikk fordi jeg ikke helt vet hva jeg skal bli, da, men jeg vet at det er innenfor naturvitenskap. [...] Men jeg aner ikke hva jeg har lyst til å jobbe med, så jeg har lyst på en bred utdanning som gir meg masse muligheter når jeg blir ferdig.
S6 Altså, det kommer vel bare fra generell nysgjerrighet og å ville finne ut av ting og forstå ting.
S7 Jeg hadde lyst til å studere fysikk for å finne ut hvordan verden henger sammen, liksom.

4.3 Studentenes syn på vanskegrad og arbeidsmengde

Figurene 4.2 og 4.3 viser studentenes spørreskjemabesvarelser til vanskegrad og arbeidsmengde for hvert enkelt kurs og for studiet totalt sett. Her kommer det fram at studiet fremstår som både vanskelig og arbeidskrevende. I tillegg kan vi se av figur 4.4 at det også er generelt vanskeligere og mer å gjøre enn hva studentene forventet av overgangen fra videregående til universitetet. Til spørsmålet om hvor mange timer studentene nedlegger i arbeidet med studiet, kan svarene sees i figur 4.5. Det fremkommer også en relativt opplagt sammenheng mellom sammenheng mellom antall timer brukt og oppfatning av arbeidsmengde, der de som jobber mest (spesielt uthevet ved de to øverste kategoriene, 41-50 og 50+ timer), føler at det er mest å gjøre.

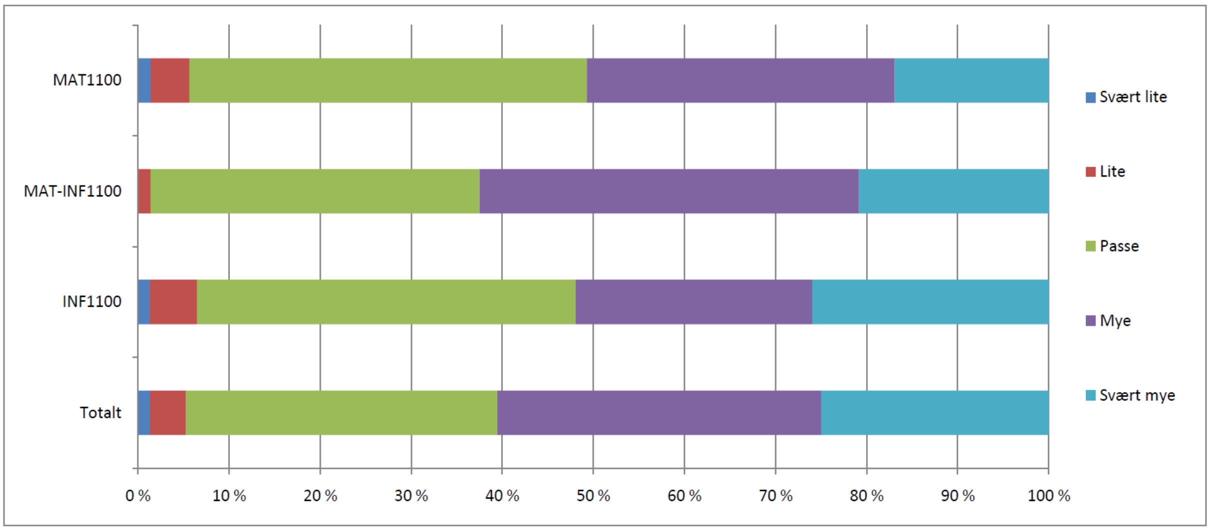
Grafene viser tydeligst forskjell mellom arbeidsmengde og vanskegrad ved at arbeidsmengden har en tyngre "svært mye" enn hva vanskegraden har av "svært vanskelig". Under fokusgruppene ble temaene tatt opp, og noen typiske synspunkter underbygger og utdyper dette:

Fra runde 1, gruppe 2:
S1 Det er spennende selv om det er tungt når du sitter på forelesning og skjønner ingenting. Men det er veldig spennende fordet.

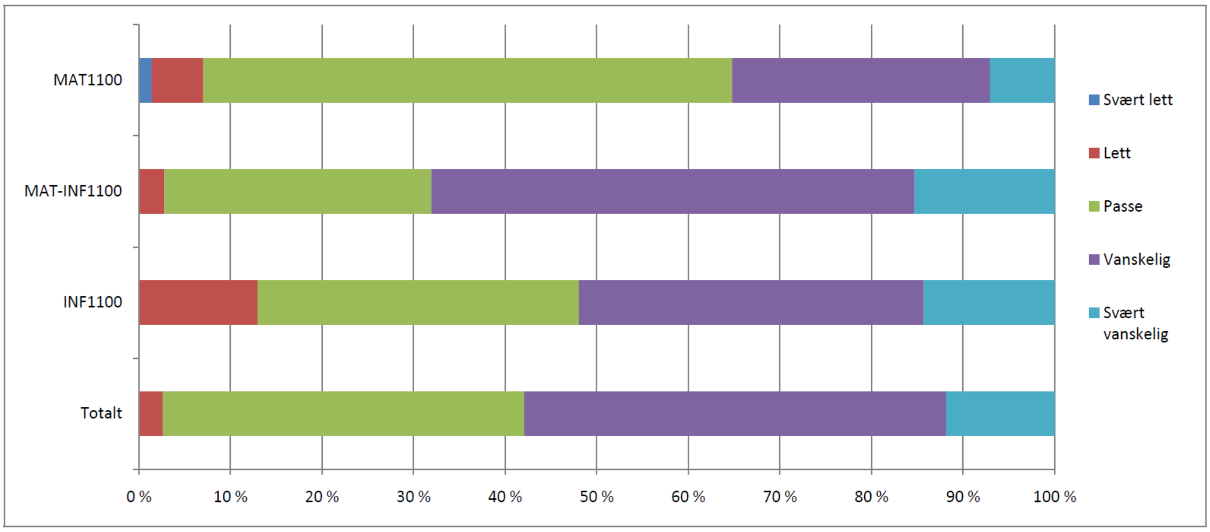
Fra runde 1, gruppe 2:
S1 Aldri tid til alt!
S2 Nei, det er sant.
S3 Hakke sjans! Du gjør det du kan, og så lar du være å prøve å gjøre ferdig det du ikke rakk forrige uke, for da har du denne uka å tenke på.

Fra runde 1, gruppe 3:
S1 Jeg synes det er mye å gjøre, jeg. Jeg synes det er latterlig mye å gjøre. Jeg synes det er mye å gjøre, men så synes jeg det blir enda mer å gjøre fordi det er så utrolig lett å falle bakpå – og ikke være frampå.

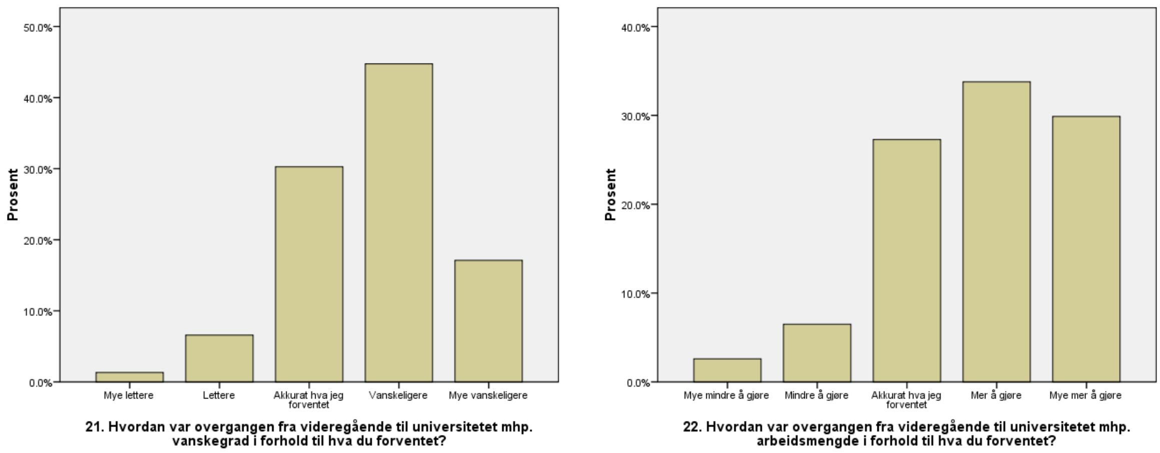
Fra runde 1, gruppe 4:
S1 Det er jo mye å gjøre. Det er ikke noe å legge skjul på det.
S2 Det er jo mer enn på videregående. Det var vel ganske forventa, egentlig.



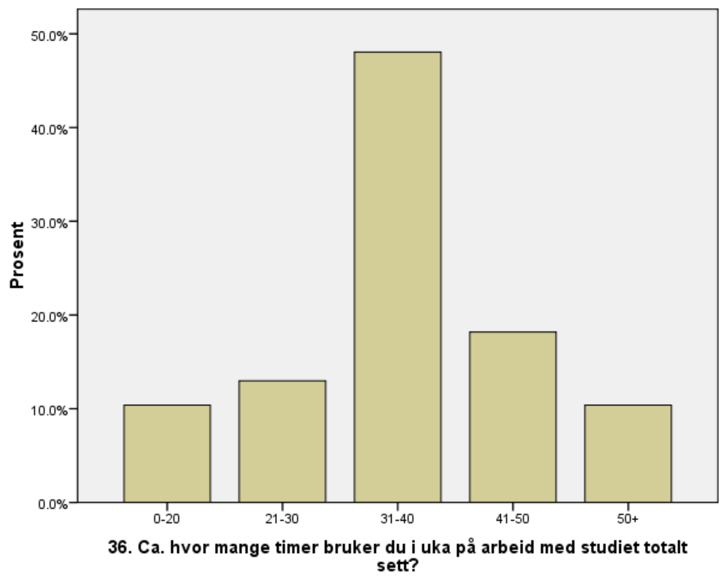
Figur 4.2: Studentenes syn på arbeidsmengde for de tre kursene hver for seg og for studiet totalt sett.



Figur 4.3: Studentenes syn på vanskegrad for de tre kursene hver for seg og for studiet totalt sett.



Figur 4.4: Studentenes syn på overgangen fra videregående skole til universitetet mht. vanskegrad og arbeidsmengde.

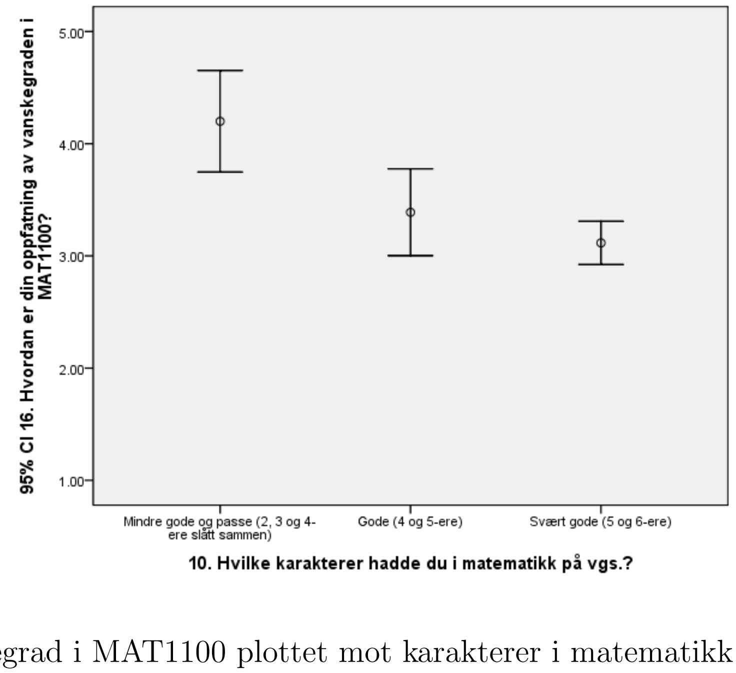


Figur 4.5: Antall timer studentene mener de ukentlig bruker på studiet.

Vanskegrad sett i relasjon til studentenes syn på egne forkunnskaper

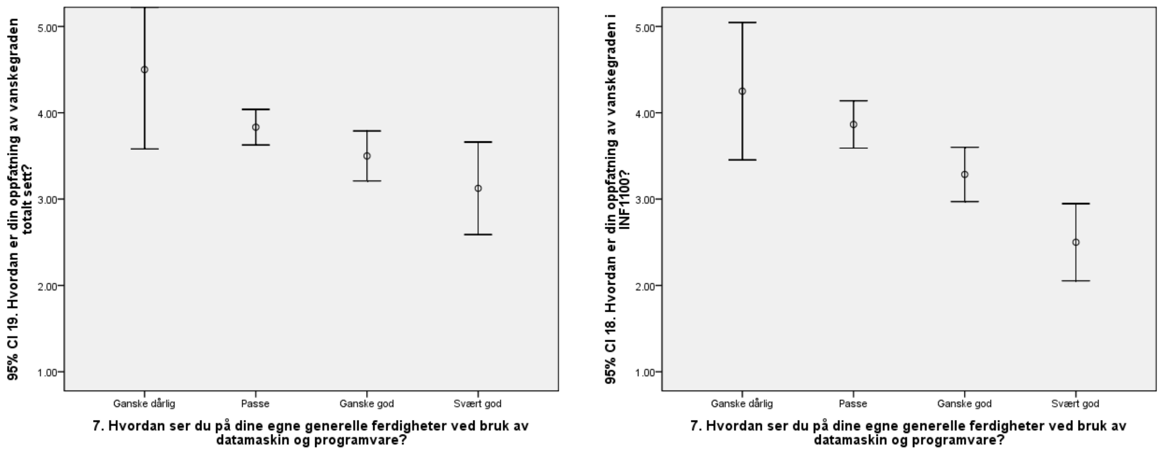
Ved en nærmere undersøkelse av studentenes oppgitte forkunnskaper, i form av karakterer fra videregående skole, og oppfattet arbeidsmengde og vanskegrad i emnene dette semesteret, var det lite som tydet på noen særlig sammenheng. Unntaket er mellom karakterer i matematikk og vanskegrad i MAT1100, der det viser seg en ganske sterk negativ korrelasjon ($r = -0.45$) mellom karakternivå og oppfattelse av vanskegrad i MAT1100 (se figur 4.6). Vi kan også hente ut en sammenheng mellom karakterer fra videregående totalt sett og vanskegrad i MAT1100 ($r = -0.24$), men denne stammer nok fra en ganske sterk korrelasjon mellom karakterer i matematikk og karakterer totalt sett fra videregående skole[1] ($r = 0.48$).

Det viser seg videre at studentenes syn på egne *generelle* ferdigheter ved bruk av datamaskinen og programvare har en ganske sterk negativ korrelasjon med studentenes opplevelse av vanskegrad totalt sett ($r = -0.41$), se figur 4.7. Dette gjelder derimot ikke arbeidsmengden. Hvis vi anser "total vanskegrad" som summen av delene, kan vi bryte ned korrelasjonene i en for hvert emne. Vi får da en sterk sammenheng mellom generelle ferdigheter med datamaskinen og vanskegrad i INF1100 ($r = -0.51$), etterfulgt av en ganske sterk korrelasjon for MAT-INF1100 ($r = -0.32$). For MAT1100 er tendensen en del svakere ($r = -0.23$). I figur 4.7 kan vi også se sammenhengen mellom studentenes syn på vanskegraden i INF1100 og deres egne generelle dataferdigheter.



Figur 4.6: Vanskegrad i MAT1100 plottet mot karakterer i matematikk fra videregående skole (error-bar-plott med 95% konfidensintervall). PS. Kun én student svarte "mindre gode".

[1]En svært vanlig (og ganske opplagt) sammenheng: Elever som gjør det godt på skolen, gjør det også godt i de enkelte fag, og elever som gjør det godt i enkelte fag, gjør det sannsynligvis også godt på skolen totalt sett.



Figur 4.7: Vanskegrad totalt sett og vanskegrad i INF1100 plottet mot syn på egne generelle dataferdigheter (error-bar-plott med 95% konfidensintervall). Merk at ingen har svart "svært dårlig".

4.4 Programmering og numerisk matematikk

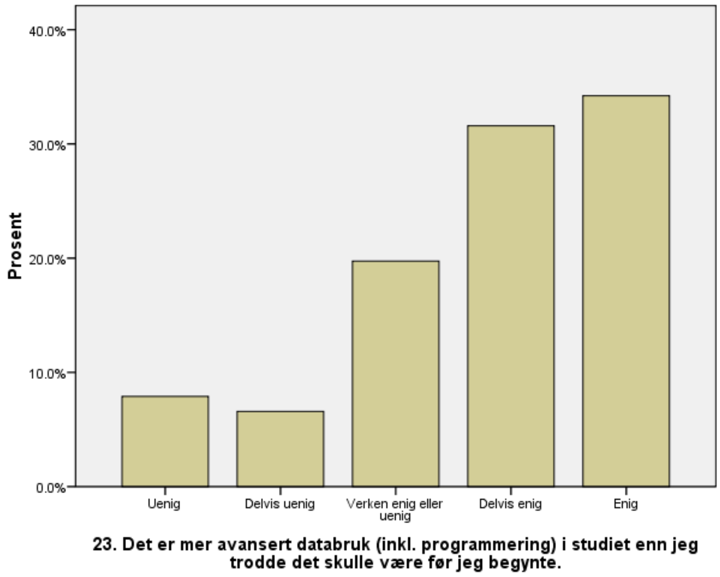
For de aller fleste er både numerisk matematikk og programmering noe helt nytt ved starten av dette studiet. I spørsmålet om hvorvidt studentene hadde programmert noe tidligere, svarte 54 nei og 19 ja til spørsmålet. I kommentarboksene knyttet til "ja", var den desidert vanligste kommentaren at studenten hadde så vidt programmert sin Texas TI-kalkulator fra videregående skole. I figur 4.8 kan vi se hvordan studentene ved besvaring av spørreskjemaet (ved eksamenstider) ser tilbake på møtet og arbeidet med disse temaene i forhold til deres forventninger til studiet. Det ser ut til at den utstrakte bruken av avansert datamaskinbruk kom overraskende på svært mange. I INF1100 blir det gitt obligatoriske oppgaver hver uke, i tillegg til noen ikke-obligatoriske oppgaver. I figur 4.9 kan vi studere hvorvidt studentene gjør oppgaver ut over de obligatoriske – noe det ser ut til at ganske få gjør.

Programmeringen fremstår for noen som ganske vanskelig, men for andre som "gøy". Fra fokusgruppene som ble gjennomført tidlig i semesteret, legger jeg her inn noen sitater som eksemplifiserer synene:

Fra runde 1, gruppe 1:

S1 Jeg føler at det som er tyngst, eller mest arbeid, er egentlig informatikk, fordi at foreløpig er det jo mest repetisjon fra videregående det vi har hatt i MAT1100, mens informatikk er liksom noe helt nytt – det bygger ikke på noen sånne forestillinger du har hatt siden du var [utelatt utydelig lyd]. Det er liksom noe helt nytt som ikke er så logisk at det skal være den koden eller den kommandoen, altså det er logisk oppbygging, men det er mye litt sånn mekanikk, at man må lære ting utenat.

S2 Men altså – du sitter jo på PC-en – og det er i alle fall noe jeg synes er kult, da, så da blir det litt at hele faget blir mye morsommere – selv om det er vanskelig, kan man sitte og lære i seks timer uten at det gjør noe. Sitter man med MAT1100 i seks timer så – da gjør jeg noe i to timer også fire timer går med på å bare, ja ...



Figur 4.8: Diagram som viser om mengden "avansert databruk" i ettertid stemte overens med studentenes forventninger eller ei.

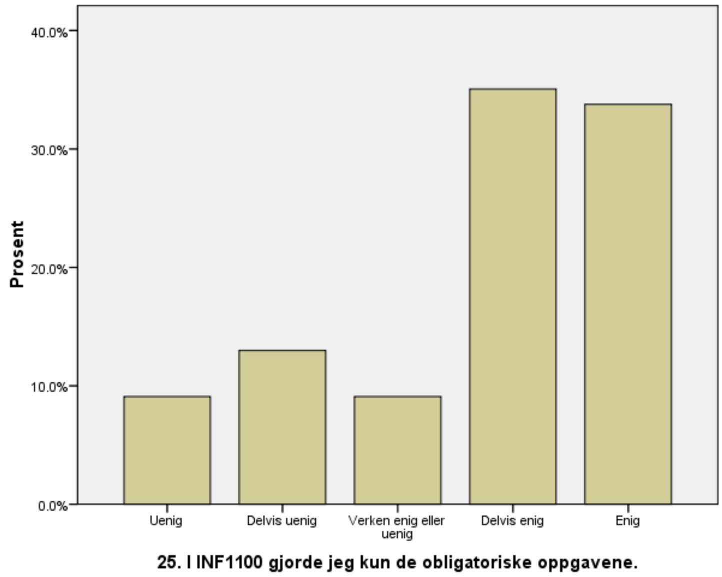
Sammenhengende diskusjon fra runde 1, gruppe 2:

S3 Informatikken digger jeg – den synes jeg er kjempemoro.
S2 Ja, det er ganske gøy å programmere, egentlig.
S1 Jeg synes informatikk er litt vanskelig.
I Ja, vanskeligere enn ...?
S1 Enn matte *og* mat-inf, egentlig.
I Hvorfor det?
S1 Kapittel 2, hehe, funksjoner. Jeg synes det er så mange ting å skulle lære på én gang. Men det er bare å – eller – jeg kjenner at det kommer mer og mer inn i kroppen når man gjør oppgaver med det, men det er bare at det blir veldig mye mer, synes jeg.
S2 Jeg vet ikke, altså, informatikken er – den er vanskelig og det er mye jobbing med den. Og det er litt sånn uoversiktlig – hvordan man tenker på matematikk på en helt annen måte enn før. Sånne likhetstegn som flytter seg nedover i ting som ellers ville sett helt gresk ut på papiret. Sånne ting.

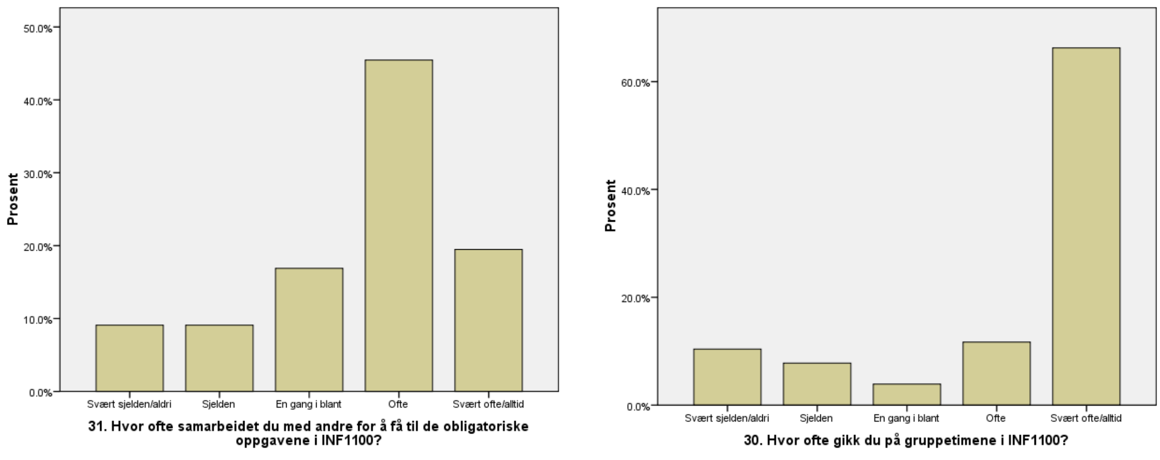
Fra runde 1, gruppe 3:

S1 [...] informatikk er liksom nytt og spennende, så det er sånn "ok, da har vi lært noe nytt i dag".

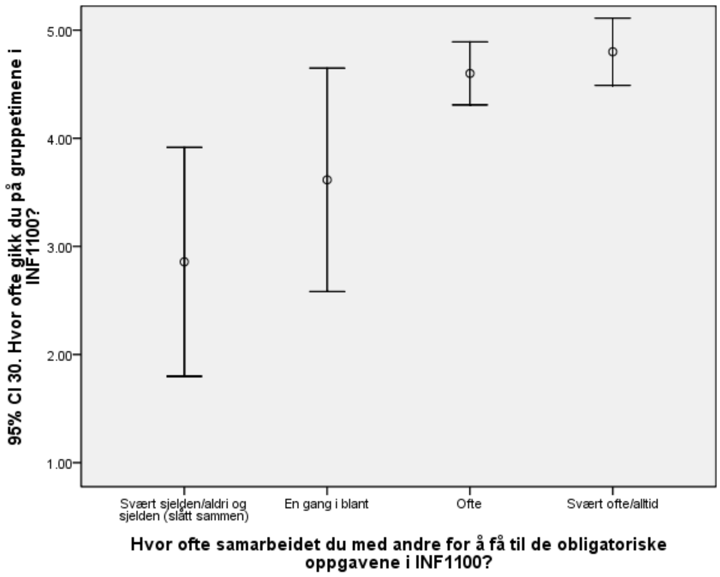
I figur 4.10 vises studentenes samarbeidsvaner og gruppetimevaner i INF1100. Det ser ut til at mange velger å samarbeide med oppgavene og enda flere er hyppige brukere av gruppetimetilbudet. Det er ikke nødvendigvis slik at disse diagrammene sammenfaller – det kan være at studenter drar på gruppetimer for å søke hjelp hos gruppelærer uten nødvendigvis å samarbeide med andre. I figur 4.11 undersøkes om de som møter opp til gruppetimer er de samme som samarbeider med andre. Figuren viser at når studentene er på gruppetimene, samarbeider de aller fleste med andre studenter. På samme tid er det derimot noen studenter som er på gruppetimer en gang i blant, men som ikke samarbeider med andre. I tillegg plotter jeg oppfattelsen av vanskegrad i kurset mot samarbeidsvanene i figur 4.12 der det fremkommer en sammenheng mellom oppfattelse av vanskegrad og samarbeidsvaner.



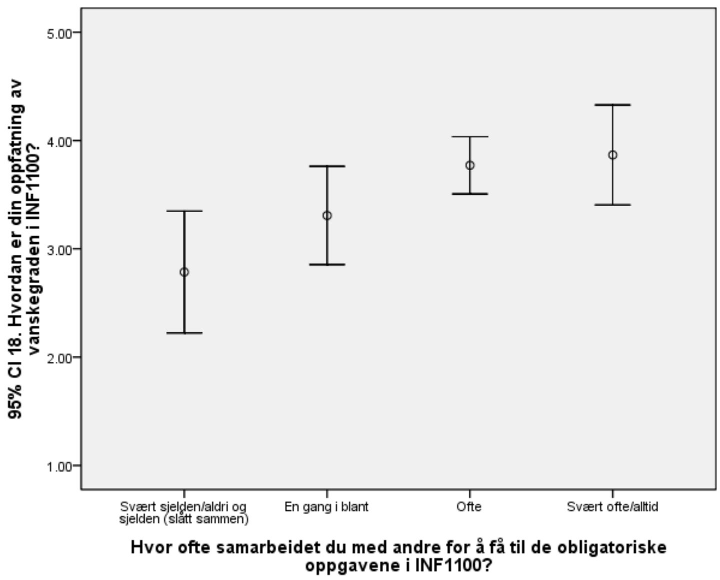
Figur 4.9: Diagram over studentenes arbeid med de obligatoriske oppgavene i INF1100.



Figur 4.10: Diagram av studentenes samarbeidsvaner og "gruppetimegange" i INF1100.



Figur 4.11: Gruppetimegange plottet mot samarbeidsvanene i INF1100 (error-bar-plott med 95% konfidensintervall).



Figur 4.12: Vanskegrad i INF1100 plottet mot samarbeidsvaner i kurset (error-bar-plott med 95% konfidensintervall).

Noen syn på INF1100

Fokusgruppeintervjuene ble nyttet til eksplorerende forskning, der det under diskusjoner rundt vanskegrad og kursinnhold kom fram noen ytringer som viste seg å være mer interessante i ettertid enn de gjorde ved første øyekast:

Fra runde 1, gruppe 1:
S3 Ja, altså, jeg synes at i MAT1100 så må man konsentrere seg mye mer for å faktisk få til iallfall vanskelige biter, mens i informatikk så må du ikke – det er mer prøve og feile, og det er ikke så mye du må, liksom, tenke deg fram til. Du må bare finne ut hvordan du skal gjøre det, så gjør du det, og hvis ikke så gjør du det på en annen måte – så det er ikke så veldig vanskelig sånn sett.

Fra runde 2, gruppe 1:
S1 [Om programmeringen:] Må bare skjønne ideen bak det, så er det ikke så farlig. Bare å prøve seg fram.
S4 Prøve og feile litt.
S1 Det er det som ofte har vært fint i informatikk. Bare prøve å kjøre – også funker det ikke – også er det bare å prøve en gang til.

Disse studentene ser ut til å innta et tidlig prøv-og-feil-forhold til utfordringer i informatikkfaget.

Endringer av meninger om vanskegraden til MAT-INF1100 underveis i studiet

Ved første runde med fokusgruppeintervjuer ble MAT-INF1100 av de fleste ansett som det letteste faget, mens det var delte meninger om hvorvidt INF1100 eller MAT1100 var det vanskeligste. Mange anså INF1100 som det vanskeligste ettersom det innehold fullstendig nytt stoff og nye tankemåter, mens andre anså det vanskeligst å henge med på en del av de mer abstrakte temaene i MAT1100. Figurene 4.2 og 4.3 stammer derimot fra spørreundersøkelsen gjennomført nærmere slutten av semesteret og der kan vi se at trenden virkelig er snudd på hodet, og MAT-INF1100 blir ansett som vanskeligst og kanskje også mest arbeidskrevende. En liten fokusgruppediskusjon kan utdype og presisere:

Fra runde 2, gruppe 3:
I Ja, sist gang fikk jeg et inntrykk av at MAT-INF var det letteste faget?
Alle [latter]
S5 Ja, det var helt til vi begynte med kompendiet!
S4 Ja, numerisk!
[...]
S5 Nei, altså, selve stoffet er jo veldig, veldig vanskelig, liksom.
S2 Ja, det var formulert på en veldig avansert måte, da. Vi fikk ikke inntrykk av at det her var noe du skulle lære deg, men bare noe du skulle lese.
[...]
S2 Ja, men du har jo ikke mulighet til å lære deg det i første omgang uten at han forteller på norsk i undervisningen – nei, forelesningene! Også har du slengt en bibel på gresk og du skal lese den, ikke sant? Det er ikke helt ...

S3 Næ, det var jo *engelsk*, da. Man skal ikke overdrive! Det er engelsk og matematiske symboler – de er ikke *så* vanskelige.
S4 Det er litt tungt, da – å lese på engelsk.
S3 Ja, det er sinnssykt tungt når man må, liksom ... men det kunne vært gjort sånn at man, nei eller, jeg vet ikke om det er så lurt å gjøre det sånn, men man kunne gjort det sånn at det var mindre å jobbe med, men at man jobbet litt grundigere, da. Så hadde vi kanskje lært hvordan man gjorde det selv, på en måte. Jeg hadde aldri hatt sjans til å gjøre sånne beviser som han gjør og sånn – så ekstremt detaljert. Det hadde vært greit å kunne? Håper vi lærer det!

Så godt som alle gruppene kom innpå noe av det samme, og mener at kompendiet bidro gjorde kurset vanskelig. Fra en annen gruppe kommenterer en student på at kompendiet er skrevet på engelsk:

Fra runde 2, gruppe 1:
S1 Nei, det blir bare irriterende og det blir mye tyngre å lese for du må faktisk konsentrere – i stedet for at du må konsentrere på innholdet, men hvordan det er skrevet. Forklaringer blir veldig krunglete, så må du gå tilbake og lese en gang til for å få oversikt. Så det bør være enten skikkelig engelsk eller norsk.

S1 presiserer her at engelsk tekst i og for seg går greit, så lenge det er *god* engelsk (og legger til litt senere "med god språkflyt") – noe flere andre også gav uttrykk for at de savnet.

Koblingen mellom numerisk matematikk og programmering

Den numeriske matematikken anvendes i informatikkfaget og koblingen mellom numeriske algoritmer og programkode skjer på tvers av emnene MAT-INF1100 og INF1100. Spørsmålet er hvor uproblematisk overføringen av kunnskap mellom fagene fremstår for studentene. Dette ble diskutert på fokusgruppene og det ble i tillegg stilt et lite spørsmål i spørreskjemaet (figur 4.13). En del sitater fra fokusgruppene er illustrerende:

Fra runde 2, gruppe 1:
I Ja, kunne dere tatt MAT-INF uten å ha hatt INF - eller omvendt?
S2 Ikke med 2. obligen, egentlig. Den var ganske urimelig hvis du ikke kan programmere littegrann. Mens resten er ikke så veldig ille å ikke ha INF på.
[...]
S2 Da sliter vel MENA litt mer, egentlig. De skal ikke ha INF-en og skjønner ikke en dritt av programmeringen.
[...]
S4 I mat-inf oblig 2 der var det jo en del programmering, så hvis du sliter med informatikken så har du problemer med å gjøre mat-inf også, for eksempel.

Fra runde 2, gruppe 1:
S1 Ja, du skjønner mye bedre den numeriske utledninga i mat-inf når du har programmert de litt og sett på dem og brukt dem litt i praksis. Og omvendt så blir det vanskeligere å gjøre inf-en hvis du ikke har hatt mat-inf.
[...]

S1 Spesielt så får du sånn oversikt fra programmeringa for du må ikke nødvendigvis skjønne alle formlene, men du skjønner i alle fall hva de gjør. Og det hjalp ganske mye når du da skal gå inn i dybden og analysere mer.
S4 Det er lettere å forstå når de forklarer både i boka og i mat-inf-kompendiet. Samme greiene også får du vinkla det på to forskjellige måter.
[...]
S1 I hvert fall: Du får en større bonus på MAT-INF-en på å ha informatikk enn du får trekk for å ikke ha MAT-INF i informatikken.

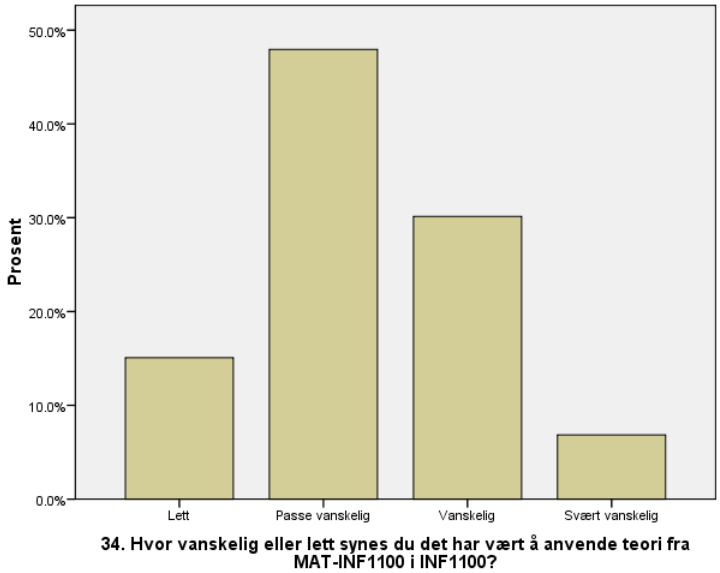
Fra runde 2, gruppe 3:
S1 [...] første gang gikk ad undas, også andre gangen jeg prøvde å programmere det her, da, så forstod jeg for første gang hva systemer av difflikninger faktisk var. Så da var det på en måte det at jeg satt og programmerte det som gjorde at jeg forstod det, da.

Fra runde 2, gruppe 4:
S2 [...] Du bare lærer forskjellige måter å gjøre det på, mens det er ikke krevd at du kan programmere det på den måten. Lærer feil. Så MAT-INF-en hjelper vel mer INF-en enn INF-en hjelper MAT-INF-en.
S1 Men det er jo viktig å ha begge. Hvis du har informatikk uten å vite noe om avrundingsfeil, så går det fort galt.
S2 Ja, på en måte, for MAT-INF-en hjelper INF, men INF hjelper ikke MAT-INF så mye.
S1 Ja, men det er jo motivasjonsmessig, da. Det er jo litt kjedelig å sitte i MAT-INF-en og lære masse om avrundingsfeil uten INF – det virker litt fjernt.

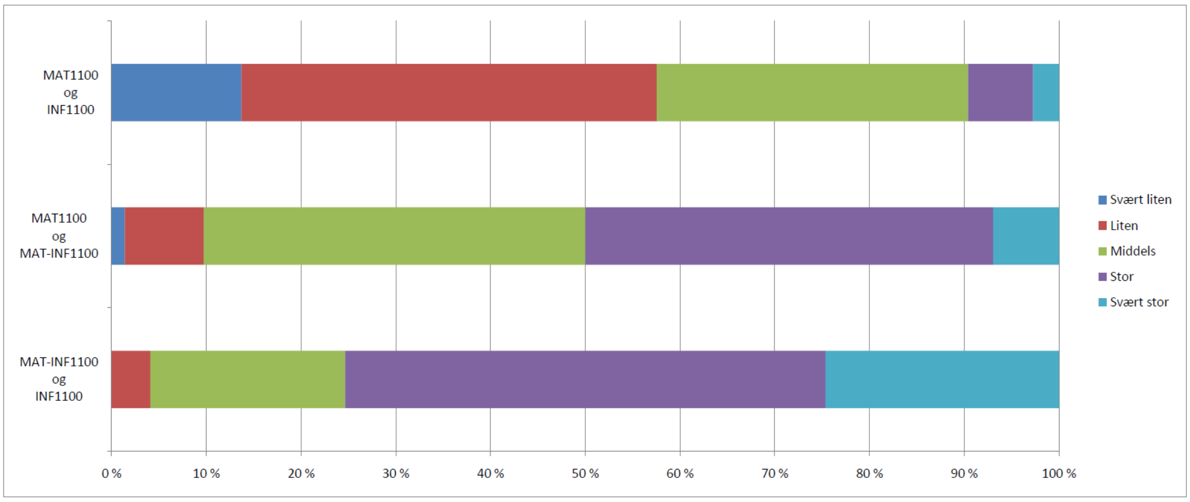
Fra runde 2, gruppe 3:
S3 De algoritmene i MAT-INF er nesten for bra, holdt jeg på å si. Eller sånn – på obligen og sånn, når jeg kjente at jeg hadde dårlig tid, så gadd jeg ikke prøve å forstå hva jeg gjorde, jeg bare skrev av over til python mens jeg leste rett av kompendiet også putta jeg inn riktig variabelnavn – også funka det.
[...]
S4 Jeg føler at når jeg har algoritmen, så er den mye greiere å bare programmere, for da er det jo kun å bare oversette det til ...
I Det blir som å skrive av boka?
S4 Ja!
[...]
S3 Man hadde lært algoritmen bedre hvis han ikke skrev det i boka, holdt jeg på å si. I hvert fall for min del.

4.5 Første semester – en “grunnpakke”?

Det er et ønske at det første semesteret studentene møter skal fremstå som en “helhetlig pakke”, der kursene og deres innhold virker utdypende og relevante på hverandre. Spesielt kurset INF1100 er innført som et tverrfaglig kurs der numerisk matematikk og naturvitenskapelige anvendelser står i høysetet sammen med programmeringen. I figur 4.14 kan vi se hvordan studentene vurderer den faglige og undervisningsmessige sammenhengen mellom kursene i første semester. Det er tydelig at studentene oppfatter den sterke koblingen mellom MAT-INF1100 og INF1100.



Figur 4.13: Diagram over studentenes syn på om teorianvendelsene (eller "broen") mellom MAT-INF1100 og INF1100 er vanskelig. PS. Ingen har svart "svært lett".

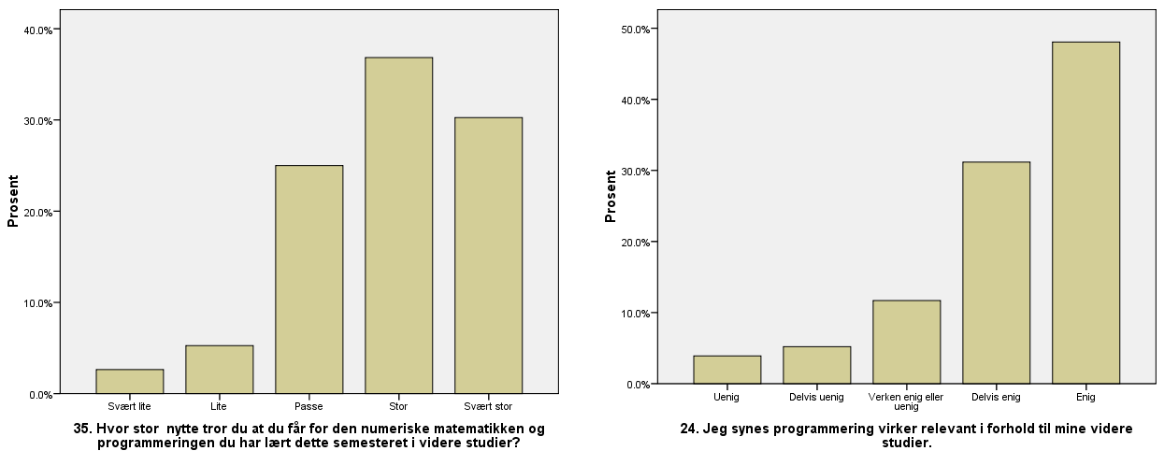


Figur 4.14: Diagram som viser hvorvidt studentene opplever en faglig og undervisningsmessig sammenheng mellom kursene.

På fokusgruppene uttrykte studentene også en sterk *undervisningsmessig* kontrast mellom MAT1100 og MAT-INF1100 og INF1100. De to sistnevnte fikk skryt for sin relasjon til studentene under forelesning og tidvis åpne dialog der spørsmål fikk sin plass og ble diskutert i fellesskap i motsetning til det mye mer forelesningspregete MAT1100. Det var en bred enighet om at studentene ønsket mer rom for diskusjon rundt gode spørsmål under forelesning.

4.6 Nytteverdien og relevansen av programmering og numerisk matematikk

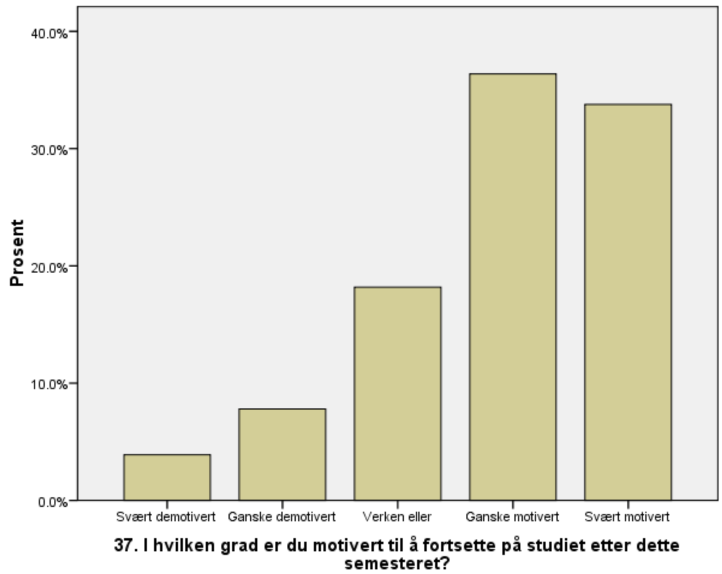
Det kan være vanskelig å motivere seg til å jobbe med noe man ikke ser noen nytte av. Mange av studentene innehar forhåpentligvis en genuin interesse for de enkelte emner som gjennomgås og en indre motivasjon for å lære og å jobbe med fagene og de temaer som tas opp. Uansett om studentene har en slik motivasjon eller ikke, vil nytteverdi og relevans være en faktor som kan spille inn i større eller mindre grad på den totale motivasjonen for å jobbe med fagene enkeltvis eller i det hele tatt å tilbringe sin tid på studiet som helhet. I figur 4.15 kan vi se studentenes syn på dette. Det kom fram av fokusgruppene at foreleserne hadde spilt en viktig rolle i å presisere under forelesning at kunnskapene vil bli anvendt i senere kurs, med spesiell vekt på FYS-MEK1110.



Figur 4.15: Studentenes syn nytteverdien av numerisk matematikk og programmering som helhet, samt relevansen av programmeringen spesifikt.

4.7 Motivasjon for å fortsette på studiet

Til spørsmålet om hvorvidt studentene var motivert til å fortsette på studiet, ble svarene fordelt som i figur 4.16. Dette gir et svært positivt inntrykk av de studentene som er med i undersøkelsen. Det er her viktig å huske at vi ikke har fått med studenter som uteble fra forelesningen i INF1100 under gjennomføring av spørreundersøkelsen, men de som var tilstede ser i alle fall ut til å være motivert til å fortsette. Tallmaterialet viser også en viss forskjell mellom kjønn der guttene har en større andel "ganske motivert" og "svært motivert" enn jentene, eventuelt mellom studieprogrammene grunnet overvekten av jenter på MIT.



Figur 4.16: Diagram av hvorvidt studentene føler seg motivert til å fortsette på studiet.

Kapittel 5

Resultater: Anvendelse i mekanikk

Dette kapittelet tar for seg studentenes anvendelse av kunnskaper fra første semester i andre semesters obligatoriske oppgaver i mekanikk. Jeg vil presentere deler av de interessante temaene og diskusjonene fra oppgaveløsingsøktene som danner grunnlaget for diskusjonene i kapittel 6. Metoden som ble brukt her var observasjon av studentenes løsing av tre obligatoriske oppgaver. Dette kapittelet blir derfor delt i tre – én del for hver oppgave som igjen blir delt i hver sin del for de to gruppene. Resultatene blir presentert hovedsakelig deskriptivt, men med kommentarer der jeg synes det er nødvendig. Diskusjon og drøfting av resultatene finnes i kapittel 6. Resultatene blir presentert som en gjennomgang av observasjonssesjonene i kronologisk rekkefølge. Hver enkelt observasjon vil også bli gjennomgått tilnærmet kronologisk, men med unntak av temaer som ikke er avgrenset til en spesiell hendelse. Alle oppgavene som gjennomgås i dette kapittelet kan sees i sin helhet i tillegg E.

5.1 Beskrivelse av gruppene

Gruppene som deltok på observasjonen ble plukket ut og spurt i etterkant av fokusgruppeintervjuene om de ønsket å delta. Guttene som deltok hadde blitt kjent med hverandre i løpet av det første semesteret der de også tidvis samarbeidet med oppgaveløsing. Jentene hadde ikke samarbeidet med oppgaveløsing tidligere, men kjente til hverandre og hadde en god tone og kom godt overens under fokusgruppene. Alle fire har det til felles at de ikke viste noen problemer med å uttrykke sine synspunkter på fokusgruppene og at alle kom seg gjennom første semester uten alt for store problemer og med en forventning om å fortsette videre på FAM-programmet. At gruppene blir kalles "jentegruppe" og "guttegruppe" er kun får å navngi gruppene med et tydelig og enkelt skille i all gjennomgang, diskusjon og drøfting.

5.2 Oppgave 1: "Modeling a 100m race"

Denne oppgaven ble gitt som obligatorisk oppgave nr. 2 for studentene, altså relativt tidlig i semesteret.

5.2.1 Gruppe 1: Guttene

Å tegne et "free body diagram"

Guttene setter raskt i gang med oppgaven – uten noe annet enn kalkulator, skrivesaker, papir og oppgaveteksten på bordet. De starter med å tegne et "free body diagram" av sprinteren og virker relativt sikre på hva de skal gjøre. Begge løser oppgaven ved å hente inn egne erfaringer fra løping og kunnskaper fra videregående.

G1 Skal vi ikke bare – er ikke free-body diagram bare – sånn?
G2 Jo. Men altså – på starten så har han jo en sånn bjelke han står mot og ...
G1 Det er det ingen som har sagt.
G2 Nei, vel. Nei. Ok, så da tenker vi bare at han løper – veldig rart.
G1 Det er kanskje mer naturlig at han løper mer ... [viser tegningen]
G2 Ja, hvis vi skal tegne inn alle kreftene vi kommer på, da er det i alle fall luftmotstand!

Begge to er ganske opptatt av hvordan et løp foregår i virkeligheten når de skal tegne diagrammet. G1 retter på G2 sin påstand om at det finnes en bjelke i starten, men hevder selv like etter hva som er mest "naturlig" i et løp, uten at han klarer å sette ord på det. Etter at figuren er ferdigtegnet, blir ikke figuren eller modellen i særlig grad mer diskutert. G2 viser tegn til mer analytisk matematisk tilnærming, men diskusjonen blir ikke tatt opp:

G2 Nei, må bare passe på lengden av vektorene!
I Ja, hvor lang er luftmotstandvektoren?
G1 Mindre enn F i hvert fall! I alle fall om han skal komme seg framover! Men det vet vi vel ærlig talt ikke enda.
G2 Jeg vil vel tro at når han akselererer på en sånn bane, så er det ikke luftmotstanden som akselererer ham bakover.
G1 Nei, det får vi ikke håpe. Kan være en morsomt plott-tvist i oppgaven.

Diskusjonen mellom guttene er kort og presis, og begge slår seg til ro med at sine kunnskaper om krefter fra videregående og at deres hverdagsforestillinger stemmer overens med oppgavens tema.

Å finne løpstiden

Neste steg er å finne tiden løperen bruker på 100 meter. Guttene fatter raskt hva oppgaven går ut på og begynner å regne analytisk. De tar utgangspunkt i at akselerasjonen er den dobbeltderiverte av posisjonen mhp. tiden, $a = \ddot{x}$, og integrerer opp med $t_0 = 0$ og $v_0 = 0$ til å få bevegelseslikningen for konstant akselerasjon: $x = \frac{1}{2}at^2$, i stedet for kun å hente fram fra hukommelse eller formelhefte. Jeg forundret meg litt over at de gikk gjennom denne prosessen, når formelen er såpass kjent. Det viste seg at grunnen til arbeidet var antakelsen om at det var dette som måtte gjøres for å få riktige svar på oppgaven – selv om oppgaven kun spurte etter tiden sprinteren brukte på løpet. Begge viste også interesse i å trene på fremgangsmåten, selv om de hadde gjort det før. Utspringet til dette kommer antakelig fra foreleser:

I Hva gjør dere nå? [litt overrasket over at de ikke bare brukte formel for konstant akselerasjon]

G2 Nå finner vi akselerasjonen! Vi blir bedt om å finne tiden han bruker på 100 meter, og vi vet kreftene.
G1 Jeg tenker å finne farta, da. Og finne – hvordan blir det? – jo, finne x(t) da, gjennom farta, og så sette x(t) = 100.
[...]
I Har han [kursansvarlig] sagt at dere må, liksom, gå sånn stegvis fram for hver gang?
G2 Han har sagt at vi bør gjøre det til vi holder på å kaste opp på det, holdt jeg på å si. Sånn at det sitter ordentlig, da. Sånn at vi vet når vi bare kan kaste det opp og når vi ikke kan.

Det er verdt å merke seg at ingen av guttene har hentet fram hjelpemidler som lærebok eller formelhefte ennå.

Hva er “terminal velocity”?

Neste steg er å finne terminalfarten. Begge forstår raskt hva oppgaven spør om og vet hvordan de skal gå fram matematisk, men ser ikke ut til å forstå *hva* denne terminalfarten egentlig er.

G2 Vi skal finne farten når akselerasjonen hans er null? Ehhh. Okei?
I Ja, hva betyr det? Sånn fysisk sett?
G2 Må være ved konstant fart, da?
I Ja, når skjer det?
G2 Når luftmotstanden når den øvre grensen sin, da. Den terminalfarten?
G1 Det er vel bare å si at G og F er like? Siden summen av kreftene er like og motsatt rettet?
G2 Ja, det stemmer det! [entusiastisk] Det blir når den der er 400 newton det da? [drivkraften ble gitt som 400N]
[...]
G1 Jeg synes jeg fikk et ganske høyt svar jeg, men?

Guttene kontrollerer så utregninger og benevninger uten at jeg kan se at de har noen feilaktige svar. Etter en del grubling, velger jeg å bryte inn. Av diskusjonen under kan vi se at G1 kommer raskt inn på riktig bane så fort han får mulighet til å uttrykke tankene muntlig. G2 trekker raskt inn hverdagserfaringer for å underbygge G1 sine argumenter.

G1 Må ha glemt noe, altså.
I Hva er problemet nå, da?
G1 Nei, jeg bare håpa at det skulle bli noe lavere enn 121 km/t. Men det er jo fare for at det er så høyt, da? Han trenger jo ikke treffe den terminal velocity mens han løper, akkurat. Det var jo ikke noe gøy, egentlig? Hvis vi skal plotte, så er det jo morsommere om den slår inn, liksom.
G2 33,82 fikk jeg
G1 Ja, det var det jeg også fikk.
I Men hva betyr det, liksom? Terminalhastighet?
G1 Det er jo så fort han løper – eller når man løper så fort at du ikke klarer å lage større krefter, eller, krefter større enn luftmotstanden. Sånn at du ikke akselerer lenger, men ... Det kan jo stemme det? Kanskje?
G2 Altså, det blir jo 121 km/t da!

G1 Nesten 122! Ja, altså, ikke at jeg er verdens raskeste løper, men jeg har aldri merka at det har skjedd når jeg har løpt. Eller vært i nærheten.
G2 Men når du løper i motvind, så merker du det. Eller når du løper med jakka åpen i motvind. Eller sykler!

Overgangen til programmeringsbiten av oppgaven

Instruksjonen "write a program to determine the motion" byr på litt problemer. Guttene har ikke fått en eksplisitt instruks om at de skal gjøre en numerisk integrasjon og det oppstår et spørsmål om hvor mye som skal gjøres for hånd og hvor mye som skal gjøres på datamaskinen.

G1 Men skal vi fortsatt gjøre dette analytisk?
G2 Nope!
G1 Nei, det var det jeg skulle si. Jeg foreslår heller at vi ... [ruller mot datamaskinene] Ja han har jo ikke sagt noe om det, så vi kan vel bare gjøre den sånn som vi vil?
G2 m-en var ...? Åtti. Og så skal vi løse systemet? [fortsetter å regne for hånd]
G1 Ja, men det står jo at vi ikke skal gjøre det analytisk?
G2 "Write a program to determine the motion".
G1 Ja, da kan vi jo bruke programmet også til å finne v-en for oss.
G2 Vi må jo fortsatt først finne hvilke likninger vi skal programmere. Han spør jo ikke om akselerasjonen.
G1 Nei, men vi integrerer med datamaskinen?
G2 Ja! Men da må vi først ... Vi har et uttrykk av akselerasjonen som er avhengig av farten. Og når vi skal finne posisjonen da, altså x, så må vi dobbelintegrere a, ikke sant? Den er jo avhengig av den deriverte til ... Så det blir ikke noe enkelt integral det, for å si det sånn. Jeg klarte ikke å forklare det, men.
G1 Nei, jeg skjønner hva du mener! Men ...

Begge to sliter med å forstå *hva* de faktisk skal gjøre for å løse denne oppgaven. Selv om de er usikre på fremgangsmåte, tar ingen av guttene fatt i forelesningsnotater eller undervisningsmateriale fra verken dette kurset eller tidligere kurs. G2 beveger seg i riktig retning når han prøver å huske tilbake til liknende oppgaver fra INF1100:

G2 Skal vi løse noe system av difflikninger?
I Ja, hva tror dere?
G2 Jeg ville trodd det i alle fall?
I Hvorfor det?
G2 Nei, vi har jo ... Vi har et uttrykk for den dobbelderiverte med den deriverte. Og så har vi også posisjon – vi har x – hmm. Vi har jo liksom ikke noe ... Det er lenge siden jeg har drevet med det her nå.
G1 Men altså ...
G2 Altså, vi har et system av difflikninger. $x_1' = x_2$.
G1 Mmm?
G2 Altså, da vil vi få ut verdier for x_1 derivert og x_2 derivert – eller farten, da.
G1 Hva sa du nå?
G2 Hvis vi løser det her, da får vi ut verdier for a og verdier for v. Og vi kan bruke Eulers, kan vi ikke det da?
G1 Jo, vi kan jo bare bruke Euler på å løse de der to og så integrerer du det, da – det du får da – for du får jo farta di?

G2 Nei, nå ble det litt blankt her.

Vi ser at G2 absolutt er inne på riktig framgangsmåte. Begge er likevel usikre og sliter med å huske hva de gjorde i INF1100 og hvordan Eulers metode tar form. Diskusjonen fortsetter på samme måte, der begge formulerer seg upresist og er usikre på hva de prøver å gjøre og hva de ønsker å gjøre. G1 spør flere ganger om hvorvidt differensiallikningen skal løses numerisk eller analytisk. Antakeligvis kommer dette av at oppgaveteksten ikke presiserer dette, men kun ber om at et program skal skrives til å "determine the motion", noe guttene ikke helt vet hva de skal legge i. Jeg ender opp med å si at systemet skal løses numerisk og spør om de har lest den numeriske delen av kapittelet, men guttene viser stor motvilje til å lese undervisningsmaterialet og vil heller finne ut av problemene på egenhånd:

I Har dere lest den numeriske delen av kapittel 2, kanskje? Hint-hint!
G1 Ehhhmmm hehehe
G2 Hvor står det hen? [Begynner å bla raskt gjennom kompendiet] Er det sånn egen numerisk del, liksom?
I Ja.
[Det letes etter den numeriske delen]
I Eller kanskje det var kapittel 1 ...
G1 Nei, jeg skjønner ikke hvorfor dette skal være så vanskelig, jeg. Er ikke dette bare helt vanlig Euler, egentlig? Hvor vi kan velge en vanlig Euler og vi har en funksjon $f(v, t)$? Som gir en ...
G2 Jo, vent litt a!
G1 Så får vi liksom ...?
G2 Vanlig Euler? $x_{i+1} =$ ... eller se på farta først også?
G1 $v_{i+1} = a_i dt$ der a_i er alltid [leser opp uttrykket for akselerasjonen] og vi vet v_0. Det er jo ingenting som hindrer oss?

Hukommelsen begynner å løsne og diskusjonen blir mer konkret og presis. Guttene begynner også å huske flere metoder, hhv. Euler-Cromer og Runge-Kutta. Etter å ha skrevet opp riktig form for Eulers metode og begge velger å bruke denne metoden, husker G2 også forskjellen mellom Eulers metode og Euler-Cromers metode.

Å bestemme steglengden

Steglengden, dt, velger guttene tilsynelatende ubegrunnet og uten å tenke særlig over saken. Mens guttene programmerer og snakker litt løst og fast om koeffisientene gitt i oppgaveteksten mens de skrives inn, skal G2 til å gi en verdi til dt:

G2 Hva slags dt skal vi velge, da? Skal vi bare velge 0.1, liksom?
G1 [svarer ikke og er konsentrert om sin egen programmering]
G2 Da velger vi det.

Videre møter G2 et problem G1 ikke har ettersom de har valgt forskjellige framgangsmåter. G1 bruker lister og pythons tilhørende append()-funksjon, mens G2 skriver med arrayer og må definere lengden av arrayene på forhånd:

G2 Hvis vi setter dt til 0.01 og skal integrere opp til 100, hvor mange indekser skal vi ha i lista vår da? 101, da?

G1 Driver du med sånn n-greie og sånn? Kan du ikke bare si "tilføre mens tiden er mindre enn det", da? Og vi vet tiden? Lage en while-løkke?
G2 Jeg hater while-løkker!

Her hadde G2 også endret sin verdi på dt fra tidligere uten å nevne dette eller noen begrunnelse. Etter hvert skal G1 også sette sin dt og spør G2:

G1 Tja, kanskje sette en dt. Hva er dt-en din?
G2 0.01 tok jeg.
G1 Null komma NULL én?!
G2 Ja, hvorfor ikke?
G1 Nei, jeg ...
G2 Ble du overrasket?
G1 Ja. Det var så lite.

Det skapes ingen diskusjon rundt temaet og begge slår seg til ro med at det sikkert er en grei verdi. G2 reviderer etter hvert sitt utsagn om antall indekser og tenker høyt som følger:

G2 Da blir den ... Det blir tusen indekser? Mellom null og hundre med 0.01 i steg, da er det 1001 utregninger? Da skal vi bruke den tusende indeksen til å regne ut den siste. Da må i gå opp til 1000, da.

Etter en stund innser G2 at han også burde brukt det han var mest komfortabel med fra INF1100, nemlig lister:

G2 Neeeei!
I Hva skjer?
G2 Jeg har jo sagt "åh, deilig å bruke lister", også har jeg gjort så jeg bruker arrays. Man kan jo bruke den append()-funksjonen for lister!
I Hvorfor bruker dere, eller vil dere bruke, lister i stedet for arrays?
G1 Jeg er ikke så komfortabel med arrays. Eller – da ville jeg brukt for-løkke, men det er mye kjekkere å bare si "while noe er mindre enn det" også bare "append"-e. Mister jo ikke noe særlig tid. Regna opp til tusen meter med 0.1 – det gikk kjempefort.
I Du kan vel while-e med arrays også?
G1 Ja, men jeg får jo ikke ... Jo det får jeg selvfølgelig. Jeg kan jo bare si at indeksen skal bli det og det, det kan jeg. Ja, det kan jeg. Nei, jo, det er ikke noe problem det – det er ikke noe problem å bruke arrays.

Etter hvert velger også G2 å bruke lister i stedet for arrays fordi han synes det ble lettere å forholde seg til.

Programmering i FYS-MEK1110 sett i forhold til INF1100

Guttene har også noen kommentarer underveis som peker på forskjellen mellom INF1100 og FYS-MEK1110:

G2 Dette er jo et mekka for oss som har hatt INF1100, for nå kan vi bare hoppe ned et hakk og gjøre det på den slække måten. Vanligvis skal vi drive og surre med arrays og nå kan vi gjøre akkurat som vi vil. Vi kan bruke treige lister.

Diskusjonen om koeffisienter bringer også minner fra INF1100 og G2 husker arbeidet med en av de første oppgavene i faget:

G2 En av de første oppgavene vi løste i INF1100 var jo noe sånt drive-coefficient-drit. Ingen skjønte hva det var for noe, vi bare programmerte det.
G1 Hva da?
G2 Noen sparka en fotball eller noe sånt. Hadde aldri hørt om noen ting. Satt der og er ikke vant til noen ting på engelsk, også var det “husk å ta med benevningene i kommentarer!”, så var det ingen der som skjønte hva han hadde skrevet – ingen som skjønte noen ting. Det var en sånn der fyr, da – det så ut som om han hadde studert et par år – han satt der og hjalp oss.
G1 Ja, jeg husker ikke en drit, jeg.
I Men det er litt lettere nå, kanskje?
G2 Ja, det er lettere nå, ja!

Ettersom guttene sleit med å huske tilbake til INF1100 og utseendet på Eulers metode, spurte jeg litt mer direkte:

I Det dere gjør nå har dere gjort i INF1100?
G1 Ehhh, ja, jo ...
G2 Jeg vet ikke hva vi har gjort der? Vi har i alle fall gjort det sinnssykt mange ganger. Bare at vi driter i alt som heter restledd og sånn. Det er litt deilig.
G1 Men jeg tror aldri vi har gjort det på den her måten? Som er samme måte som jeg løste forrige oblig på. Jeg husker ikke helt hvordan vi egentlig gjorde det.
G2 Nei.
G1 Jo, nå husker jeg det. Det var med for-løkke forrige gang.
G2 Ja, vi pleide å gjøre det med for-løkke og indekser.
G1 Ja, det var derfor jeg hadde en i der, men jeg har ikke noen i her nå ...

Guttene kobler delvis hva de gjør nå mot det de har gjort i INF1100 og G1 innser plutselig hvorfor han tidligere i økten laget en i som han senere ikke trengte.

Resultatene nærmer seg – og viser seg

Når de programmeringstekniske bitene løser seg, begynner G1 å både se for seg resultatene, og ganske raskt etterpå få resultater som stemmer med hans forutsigelser:

G1 Det blir spennende å se hvordan det utvikler seg, da! Hvis han ikke slutter å løpe, får vi kanskje se at han treffer denne “terminal velocity”?
G2 Ja, det hadde vært fantastisk, hadde det ikke? Heheh.
[...]
G1 Her er den ganske lineær, da. [peker på grafen]

Og etter en liten stund kommer resultatene til G2:

G1 Ble DET din?!
G2 Hahaha, nei gud, den var pen, da!
G1 Jeg synes i alle fall min lager sense, da! Farten øker til å begynne med, men så – nå har jeg 10000 meter da – også blir den konstant. Eller – tilnærmet lineær.

Her har G1 endret programmet slik at løperen løper til 10000 meter for å lettere kunne observere innslaget av terminalhastigheten. Videre følger en god del tid brukt på å få G2 sin kode til å slutte å gi feilmeldinger, samt få fram pene og riktige grafer for både posisjon, hastighet og akselerasjon. Dette går ganske greit, men tar litt tid. Oppgaven om å finne hvor lang tid løperen bruker på 100 meter med luftmotstand, går også ganske greit. G1 fokuserer en del på nøyaktigheten til resultatene, mens G2 slår seg til ro med å lese av grafen:

G2 "Use the results to find the race time". Åja, det var såpass ja. Nei, er ikke det bare å lese av, da?
G1 Ja, men vi kan vel gjøre det mer nøyaktig enn som så, kan vi ikke det, da? Vi kan hente ut den siste t-en?
G2 Nei, det kan du ikke.
G1 Nei, det kan jeg faktisk ikke.
[...]
G1 For min kan ha hoppet $v_i dt$, holdt jeg på å si.
G2 Ånei! Hva er dt for noe, da? Null komma ...?
G1 Nei, jeg tror det skal gå fint. Ja, 6,9 fikk jeg.
[...]
G1 Etter min siste har den faktisk gått 101,7 meter, da!
G2 "Use your results ...", ja det har jeg gjort. Leser av – ja, jeg leser av. Kan vi zoome inn her? Fantastisk!
[...]
G1 Sånn, nå er det nøyaktig nok, synes jeg. 100,08 – hva er din da, G2?
G2 Nei, hvis jeg skal gi deg et overslag, ville jeg sagt 6,80.
G1 Jaja, men for å sjekke hvor nøyaktig det er, da. Det er jo ikke sikkert at du har truffet hundre? Eller jo, du bruker sånn for-greier du?
G2 Jeg leser av grafen min, jeg! Hva i helvete skal du med et plot hvis du ikke skal bruke det til noe, liksom?

Å gjøre modellen mer realistisk

Neste steg er å gjøre modellen "mer realistisk" ved å legge til noen flere krefter. G2 leser teksten og tenker høyt om modellen:

G2 "The cross-sectional area" – er det den A-en her?
G1 Ja.
G2 Slenge inn en if-test, da?
G1 Hæ? Han gir en F her da, gjør han ikke det?
G2 Ja, jeg trodde han ville ha inn en eller annen A og sånn, jeg – i de første meterne eller hva det var.

Her viser G2 evne til å selv finne ut måter å gjøre modellen mer realistisk ved mer programmeringstekniske endringer enn de matematiske endringene som blir gitt i oppgaveteksten. Tanken er å endre parameterverdier avhengig av hvor langt ut i løpet vi har kommet. Etter å ha lest gjennom oppgaveteksten, er G1 sin første reaksjon ganske positiv, mens G2 ikke er like overbevist og ønsker å forstå modellen bedre:

G1 Men dette er vel ikke noe problem? Det er jo bare å legge inn flere konstanter og endre F-en og a-en?

G2 Men F_C er en kraft som vi behandler på samme måte som luftmotstanden, eller?

At det ikke bør være noe problem å innføre noen ekstra ledd i likningene og kjøre på nytt, har G1 rett i. Det å *forstå* modellen viser seg derimot å være et problem – spesielt med skrivefeil i oppgaveteksten:

G1 Mangler det en parentes? Nei, det gjør det ikke. Eller gjør det?
[...]
G1 [...] altså – hvor slutter den parentesen der? Er det en halv ganger alt?
G2 Antakeligvis, ja. Jeg tror ikke han ville satt parentes rundt den eneren der.
G1 Det kunne jo vært en parentes rundt der, eller? Nei, det er vel sikkert rundt alt, da. Hva tok du? [spør meg]
I Ja, hva tror dere?
[...]
G1 Altså, han forklarer vel ikke særlig godt hvorfor det er en halv der i det hele tatt, gjør han det?
G2 Den der skal i alle fall bli ganget med en halv, for det er ut fra definisjonen av den gamle D-en, så da vil jeg tro at den også skal være med der. Også har du F_C her, virker det som? Bare at det av en eller annen grunn står det 0,25 foran?
G1 Ja, for den eksponensialfunksjonen der viser liksom hvordan han reiser seg opp. Gjør den ikke? Og det spiller inn på arealet. Nei, en halv, skal ikke den være ganget inn med alt, da? Eller – jeg skjønner ikke, jeg vet da faen ... Hvor kom den fra?
G2 En halv et-eller-annet v^2?
G1 Det er det eneste jeg har i mot det her – at det kan være litt vanskelig å henge med på, altså, vi vet at den der "crouched phase" varer i t_c og da har han en ekstra driving force, og derfor er det sånn? Det skjønner jeg ikke. Jeg kan godt gå med på å regne med det der, men jeg vet ikke hvorfor det ble sånn.

> Kommentar: Skrivefeil i oppgaven før oppretting
>
> I oppgaveteksten som ligger vedlagt i tillegg E, har skrivefeilen i oppgave e) blitt opprettet. Der det nå står
>
> $D = \frac{1}{2}(1 - 0.25\texttt{exp}(-(t/t_c)^2))\rho C_D A(v-w)^2$
>
> stod det tidligere
>
> $D = \frac{1}{2}(1 - 0.25\texttt{exp}(-(t/t_c)^2)\rho C_D A(v-w)^2$

Etter hvert deltar jeg i diskusjonen for å komme videre og oppklare. Med én gang guttene får vite hva som er det riktige uttrykket begynner de å regne ut den nye akselerasjonen og starter endringen av programmet. Diskusjonen om modellen blir avsluttet og det å gjøre ferdig oppgaven står i fokus. Under den videre programmeringen og innsetting av koeffisienter, kommenterer G2 på valg av verdier, uten at noen videre diskusjonen oppstår:

G2 Det hadde vært gøy å spørre Anders [kursansvarlig] en gang: "Hvorfor det? Og hvorfor det?" på alle variabelvalgene hans. Konstantvalgene hans.

Den resterende programmeringen går for seg ganske uproblematisk.

Avslutningen: "Comment on the results"

Når begge guttene etter hvert får de plottene de skal få fram begynner de å føle seg ferdige med oppgaven og småpirke på koden og liknende. Det er likevel et viktig spørsmål som står ubesvart: "Comment on the results". Jeg ber de gjøre dette muntlig. Guttene ser ikke ut til å helt forstå hva det går ut på, men etter en stund begynner kommentarene å komme:

G2 Her ser det ut som at han funker. F_C er kreftene av at han er "croucha", den skal jo begynne høyt og gå lenger ned – eller kort ... F_D skal være konstant og D skal være det greiene der. Og så kommer den der ... [får problemer med at grafene ikke kommer opp]
[...]
G2 "Comment on the results", ja. Hva i helvete skal jeg kommentere, da?
G1 Hehehe, eeeehhh, ja.
[...]
G1 Hvilken er det egentlig vi skal kommentere på?
I [...] Det er egentlig alle dere har fått opp nå. De nye x, v og a. Kommenter det dere synes er verdt å kommentere.
G1 Hmm ... hæ? Den ekstra force-en er F_0, derfor er F_C lik – dette?
I Jeg tror nok at det er en skrivefeil. Det skal stå F_C der også.
[...]
G1 Ånei, det er når t er større eller lik t_c så skal det bli – nei, hmmm ... Nei, jeg skjønner ikke hvor han kaller alt, jeg. Men da blir det jo én, da, så det blir iallfall minus én. Jeg skjønner ikke helt den modellen her, jeg. Burde ikke den vært null, da? Etter t_c? Den ekstra kraften?
G2 Hva er t_c for noe, da? 0,67? Den går iallfall mot null.

Både "nye" skrivefeil fra oppgaveteksten og oppdagelser av nye deler av modellen som ikke er forstått, oppstår i det kommenteringen av modellen setter i gang skikkelig. Spesielt oppstår det forvirring ved kraftleddet som beskriver den ekstra kraften i begynnelsen, der løperen sparker fra og er bøyd, $F_C = f_c\texttt{exp}(-(t/t_c)^2)$, og kommenteringen fortsetter:

G2 Vi ser at akselerasjonen går mot null. Den er stor i starten og går sakte mot null?
G1 Den holder seg positiv, da. Altså, farten øker, men avtar. Altså økningen avtar? Hmmm, og at, at, men? Nei, det er kanskje ikke så realistisk at han klarer å akselerere gjennom alle hundre meterne? Nei, eller å holde farta, da. Å ikke akselerere andre veien? Ikke miste fart? Jaja, nei jeg veit da fader, jeg. Det er fin sammenheng mellom de da i hvert fall! De ser vi er sine deriverte, holdt jeg på å si. Her er det vel ikke mer enn at luftmotstanden nærmer seg en konstant med farta, da? Så ettersom farta går liksom mot en konstant så gjør også luftmotstanden mot en konstant? Men den er litt annerledes i begynnelsen, da. Og da, liksom, på grunn av denne crouchinga, holdt jeg på å si. Hva var denne F_C-en? Åja, det er den ekstra force-en ja. Ja, så den er veldig stor til å begynne med. Og t_c er 0,67? Så egentlig burde den ekstra kraften vært borte etter t_c, da? Noe den ikke er.
G2 Er det her en kommentar, liksom? "Vi ser at akselerasjonen er stor i begynnelsen og går mot null. Farten øker kraftig i starten og blir konstant."
[...]
G1 [...] "The crouched phase lasts for a time t_c".

I Men er F_C null når $t = t_c$?
G2 Nei, den er f_c?
G1 Jeg skjønner ikke helt modellen hans, jeg. Skulle jo tro at man måtte ha noen minus her sånn at man fikk null.
G2 Altså, $F_C = f_c$ når $t = t_c$,
G1 Neeeei, er den det? Du får e^{-1} ganget med f_c.
G2 Nei, den blir jo så klart ikke null, hehehe.
G1 Altså, den vil nærme seg null – i og med at t-en blir større og større.
G2 Jajaja, "simple model, simple model". Vi sier at det er en simpel modell.
G1 Ja, hva kommenterer man da? Litt oppsiktsvekkende, kanskje?

Selv om den matematiske modellen ikke gir helt mening, kommenterer G1 ikke lenge etterpå:

G1 Men, eeeh, nei, altså, er det mer å si? Er det mer å si? [spør meg]
I Jeg vet ikke, jeg? [ønsker å høre mer av hva de tenker]
G1 Grafene synes jeg gjenspeiler min forståelse av modellen, i alle fall.

De øvrige kraftleddene forstår guttene ganske raskt:

G1 Ja, hvor kom den fra? $f_v v$? Åja, det var ...
G2 "Simple model"! Hehehe.
G1 Ja, ja, det er ettersom farta virker, liksom? Så han klarer mindre og mindre? Det er den "physiological limit". Men, eh, på h) da? Er vi enige om at vi må sette at hvis han har vinden i ryggen, så må vi sette $w = 1$? Og hvis han løper mot vinden så er det $w = -1$?
G2 Hva var det du sa nå? Ja, for hvis han har vinden med seg – eller i ryggen, da – da blir det jo ...
G1 Da blir luftmotstanden mindre og da må det leddet der bli mindre.
G2 Ja, da blir det akkurat som at han, for eksempel hvis han kjører bil, da, det blir sånn relativt.
G1 Hvis han løper akkurat like fort som vinden i ryggen, så blir det null. Da har han ikke noen luftmotstand. Så den er positiv når han har den i ryggen og negativ når han ikke har den i ryggen.
G2 Hva om han – på en måte – tar igjen vinden, da? Da blir den positiv.
G1 Mhm.

Her ser vi at G1 analyserer modellen matematisk og trekker slutninger ut fra hvordan kraftuttrykket ville sett ut hvis variablene ble satt til det ene eller det andre. G2 velger hele veien å relatere resonnementene til hverdagsfenomener. Helt i slutten, når de begynner å skrive ned sine kommentarer til oppgaven i rapporten, spør likevel G2 en ekstra gang:

G2 Hva var F_D?
G1 F_D er jo ... Jo, det er jo det han maks klarer å yte i oppreist tilstand.
G2 Hvor står det?
G1 Jo, det må jo bli det. Det er jo det totale ... Han sier ikke hva F_D er, men den totale kraften han gjør er F_D, også pluss det her som er den ekstra kraften, det sier han. At det er den ekstra kraften når han bøyer seg. Og den skal liksom bli null, da – når han ikke bøyer seg lenger. Og det der skal gjenspeile de fysiologiske ...

G2 Er det ikke den kraften han har når han står helt stille? Og farten er null? I oppreist tilstand?
G1 Når farten er null?
G2 Det er en v der som ødelegger F-en.
G1 Ja, men da er t også null, så den her blir ikke null, da. Så det er ikke det. Det er jo det, når han løper maks, hvis han ikke hadde hatt noen fysiologiske grenser, så ville han løpt med F_D – eller akselerert med krafta F_D, da.
[...]
G2 Luftmotstanden, ekstra bøyekraft og F_D virker i samsvar med akselerasjonen – dette er vakkert!

Når svarene skal skrives ned, skjer det altså en ekstra oppklaring av begreper og vurdering av svarenes rimelighet.

Hva synes studentene om denne typen oppgaver?

Siden dette var første oppgave der studentene fikk anvendt sine kunnskaper i programmering og numerisk matematikk i et annet fag enn der de ble undervist, ville jeg høre hva guttene synes om oppgaver av denne typen i mekanikk.

I Hva synes dere egentlig om å gjøre sånne oppgaver som det her? I stedet for penn-og-papir-oppgave?
G2 Nei, jeg synes det er mye greiere egentlig, jeg.
G1 Jaa-a. Jeg synes det er morsommere det her, egentlig. Eller ... Det er jo gøy å klare å løse de analytiske også, holdt jeg på å si, men det virker som så mye jobb.
I Det her er mindre jobb?
G1 Det her, ja? Ja! Her vet man liksom hva man skal gjøre med en eneste gang. Eller ... Vi hadde kanskje litt oppstartsproblemer, men ... Hvis jeg skulle løst det her analytisk så hadde jeg sikkert brukt mange timer.

Jeg spør også om hva de synes om denne oppgaven spesifikt:

I Ja, var det en grei oppgave?
G2 Det var mye surr, da.
G1 Jeg synes den var ganske grei jeg, egentlig.
G2 Den var jo grei, da.
I Lett å hoppe rett i gang med den? Uten å egentlig ha gått gjennom noe sånt siden i fjor?
G1 Jaaaaaaa. Den her var forsåvidt enkel. Holdt jeg på å si.
G2 Ja. Veldig, veldig lett i starten, men så ble det mer og mer surr og tunga rett i munnen.
G1 Jeg tror liksom det vi skulle gjøre, det var lett å vite hva man skulle gjøre. Men det blir jo selvfølgelig ganske stygge uttrykk å skrive dette i python, bare, det er lett å gjøre feil og sånn. Det var ikke noe vanskelig, var det det?
G2 Ikke annet enn at plotteprogrammet stuker noe helt sinnssykt her, da.

De sitter altså igjen med et inntrykk av at denne oppgaven var relativt enkel og at de store utfordringene var mer eller mindre programmeringstekniske.

5.2.2 Gruppe 2: Jentene

Å finne løpstiden

Jentene var etter kort tid ferdige med å tegne "free body diagram" på riktig måte og hadde ingen kommentarer eller spørsmål til dette. De fortsatte raskt med å gå i gang med å finne løpstiden:

J1 "Show that the sprinter uses t to reach the 100 meter mark". Da må vi ta akselerasjonen = dv/dt og så integrerer vi et par ganger sånn at vi får et uttrykk for lengden – og så vet vi at lengden er hundre. Jeg vet ikke om vi faktisk trenger å skrive opp den utregninga, for han sa i timen her om dagen at det var lurt å gjøre det selv når du regna ut for å bli vant til det, liksom, men at det egentlig sier seg selv.
J2 Ja, og så bare summen av krefter og så finner man akselerasjonen ut fra det, også bare setter man inn, da.
J1 Ja, altså, du bare tar kraft delt på masse, da får du akselerasjonen og så bare integrerer du akselerasjonen. Ja, du bare skriver opp formelen?
J2 Ja, jeg har gjort det så mange ganger at jeg gidder ikke utlede det nå, holdt jeg på å si.
J1 Nei, jeg skriver den sånn jeg, at $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$ og så bare skriver jeg formelen.

Begge finner ganske raskt svaret på oppgaven og vurderer rimeligheten av svaret:

J1 6,3 – sånn!
J2 Blir det det, da?
J1 Jaja, 250 delt på 5 er 50, kvadratroten av 50 er 6,3.
I Ja, er det et rimelig svar?
J2 At han løper 100 meter på 6,3 sekunder? Da hadde han vært rik!
J1 Ja, det hadde han! Men vi må jo ha med drag-force, da – etter hvert.

Hva er "terminal velocity?"

Jentene setter stillferdig i gang med å finne terminalfarten uten å reflektere i særlig stor grad over hva de *egentlig* leiter etter. De vet hva de skal finne matematisk:

J2 Ja. Men poenget her er da "finn et uttrykk for hastigheten når akselerasjonen til sprinteren er null".
J1 Skal me sjå, "find an expression of the ..." ja. For at akselerasjonen skal være null, så må summen av krefter være null. Det vil si at 400 minus drag force-en er nødt til å være null. Og da blir drag force-en lik 400 newton. Og så bare surrer du rundt på den til du får et uttrykk for v som er terminal velocity. Enig?

Men når de begynner å regne på det, ser det ut til at svarene ikke kommer til å stemme helt overens med hva de hadde forestilt seg:

J2 Det var 400 newton? Ganger 2 over ... Blir ikke det her et helt sykt svar?
J1 Det er bare å regne ut, det!
J2 Det bare ser ut som om det blir litt – høyt? Men ...

Dette setter i gang en liten ekstra drøfting hos jentene mens de regner seg fram til resultatene:

J1 Men hva er det vi finner nå? Er det topphastigheten eller er det hastigheten ...
J2 Det her er jo hastigheten når ...
J1 Åja, når luftmotstanden blir så stor at den ...
J2 At man ikke klarer å løpe fortere på grunn av luftmotstanden? Så det må jo egentlig være en syk hastighet!
[...]
J1 Ja, DET er jo forsåvidt veldig fort. Hehehe. Da er det kanskje ikke så rart at det blir et stort tall, da?
J2 Men det her skal vel komme ut i et eller annet som personen faktisk kan løpe?
J1 Nei, det skal jo ikke det? Det vi får nå er bare når luftmotstanden blir så stor at du har null i akselerasjon.
J2 Men "terminal velocity", betyr ikke det slutthastighet? Eller hva betyr det?
J1 Nei, det er sånn – indikator da eller noe sånn? Nei, jeg veit ikke jeg.
[...]
J2 Et eller annet i meter per sekund, i alle fall. Og da burde jo det være noe sånt som femten eller noe, da? Nei.

Og når resultatene viser seg, er det blandete meninger om hvorvidt resultatene gir mening:

J1 33,8 m/s.
J2 Holy jesus!?
J1 Det er 121 km/t.
J2 Ja.
J1 Det er helt greit det, altså. Det gjør ikke noe det. Fint tall.
[...]
J2 Men da vil jeg si at det er en ekstremt dårlig modell for luftmotstanden til en sprinter?
J1 Nei, for luftmotstanden til en sprinter er jo ikke så stor at han sliter med å løpe fordi det blåser så fælt ...
J2 Nei, så da får vi jo egentlig ikke bruk for det her i det hele tatt i løpet av ...
J1 Jojo! For det har jo litt å si! Altså, for 120 km/t er når det har så mye å si at det er lufta som stopper han. Men det er jo ikke vanligvis lufta som gjør at han ikke løpe fortere. Det er jo det at han ikke klarer det, liksom! Med beina.
J2 Ja. Ja.

Det ser ikke ut til at J2 er fullstendig overbevist, men lar det ligge. Jeg forklarer at begrepet (kanskje) enklest kan kobles til fallskjermhopping, der hastigheten raskt når en konstant verdi på grunn av den økende luftmotstanden – selv uten fallskjermen utløst. Dette oppklarer litt og begge fortsetter videre med oppgaven.

Overgangen til programmeringsbiten av oppgaven

Jentene fortsetter med oppgaven og ser at de skal begynne å programmere:

J2 Hmmmmm nå kommer det noe sånn ...
J1 PC-leking?
J2 Ja.

Jentene får den enkle instruksjonen om å "write a program to determine the motion of the runner", som ikke viser seg å være så enkel. Etter å ha klargjort at luftmotstanden nå skal tas med i beregningene, samt en liten stund med tenking og fundering, begynner riktig diskusjon å ta form:

J1 Men jeg lurer litt på om – nei, vent da ... Jeg lurer littegrann på om – det her er en differensiallikning? Skal vi løse den numerisk eller analytisk?
J2 Hva det er? Det er numerisk.
J1 Ja. Da bare drar vi fram en sånn Foreward-Euler eller noe sånt, da?
J2 Men hva er det vi har? Vi har et uttrykk for akselerasjon ...
J1 Vi har et uttrykk for akselerasjonen og det uttrykket inneholder v – ehh, så da har du liksom, ehh, en funksjon og dens deriverte i samme uttrykk, og da har vi en differensiallikning.
J2 Jah.
J1 Nå bare dro jeg fram et program som jeg har fra i fjor, som har den Foreward-Euler-greia, så skal jeg bare redigere den litt. Det er det mest lettvinte tror jeg, i stedet for å skrive et helt nytt program.

J1 kobler oppgaven “å løse en differensiallikning på datamaskinen” med “Foreward-Euler”. Hun velger å hente et program fra INF1100 som hun mener bør kunne gjøre jobben. J2 velger derimot å skrive fra bunnen av. J2 har prøvd å lære seg litt Matlab i tillegg til Python og har problemer med å komme i gang på grunn av sammenblanding av syntaks. Spesielt det at Matlab bruker runde parenteser for å indikere indeks til arrays mens Python bruker firkantete parenteser til dette, og de runde er avholdt funksjoner, ser ut til å være et “uforståelig problem”.

Videre har J2 problemer med å skrive fra bunnen av fordi hun trenger å forstå hvert steg, mens J1 bare kopierte en kode som ser ut til å passe med oppgaven. J1 later til å forstå hva programmet hennes gjør:

J2 Men uansett så må man jo lage en funksjon for den – eller lager du den inni en løkke – funksjonen for den luftmotstanden?
J1 Jeg lager en funksjon for a som inneholder den deriverte av a. For du har $F_D - D = ma$, det er summen av krefter. Så tar du a på andre sida, da får du $F_D - \frac{D}{m}$, så bare setter du inn uttrykket for D slik at du får F_D minus [stort matematisk uttrykk]. Det var uttrykket for D.
J2 For D?
J1 Ja, i stedet for å ta $F_D - \frac{D}{m}$ så setter vi inn uttrykket for D.
J2 For å finne a da, ikke sant?
J1 Ja, for å finne a.
J2 Men altså, D er jo en funksjon av v.
J1 Ja, nettopp! Øh, fordi, Foreward-Euler-programmet mitt løser den differensiallikninga. Nå har jeg at a er lik etellerannet av sin egen deriverte og så løser Foreward-Euler den.

J2 strever fortsatt en del med å klare å skrive et fungerende program fra bunnen av og henvender seg til J1 sin løsning. J1 sitt program bruker lister mens J2 prøver å skrive med arrays.

J2 Men lager du en vektor på den – for luftmotstanden?
J1 Hva sa du?
[...]
J2 Men har du det bare i en løkke sammen med alt det andre da eller?

J1 Vel, kom og se på det, da. Det her er standard Foreward-Euler som funker for alle slags funksjoner. Og så ... Ja ... Og den tar en funksjon, så da har jeg laget en funksjon som er a, og så tar den dt og v_0 og ... Ikke sant? Så for å kunne bruke den som jeg har brukt tidligere så må jeg gi den en funksjon som er differensiallikninga mi, som den skal løse.
J2 Men hvorfor har du den tida der?
J1 Fordi at for at dette programmet skal fungere så må den ta en funksjon med to variable, og selv om vi ikke har brukt tida her i det hele tatt, så må den bare være der. Jeg bruker den ikke.

J1 ser sitt program fra INF1100 som en mer eller mindre statisk måte å løse en "hvilken som helst" difflikning på, så lenge den avhenger av v og/eller t. I stedet for å fjerne tiden fra funksjonen for akselerasjonen, tar hun heller og lager en "dummyvariabel" for tiden slik at funksjonen blir matet med det den trenger "for å fungere".

Å bestemme steglengden

Jentene har ingen særlig formening om hva steglengden, dt, bør være og ser ut til å sette den tilfeldig:

J2 Hva skal vår dt være da?
[...]
J1 Jeg har satt den til 0,1. Jeg har ikke plotta noe enda så jeg vet ikke om det er en lur ting.

Det kommer ingen diskusjon ut av dette, men J2 ser ut til å kopiere J1 sitt forslag og samtalene går over i noe annet. Ved en senere anledning vil J2 definere lengdene til arraysene ut fra en makstid og steglengden, og samtidig velger J1 igjen å stille spørsmålstegn ved steglengdevalget:

J2 Hvor mange verdier lot du den løpe over, da?
J1 Øøøhhh, opp til ti sekunder.
J2 Ja, så hundre?
J1 Ja. Vi burde kanskje ta å redigere dt litt.
J2 Ja, til mer, mener du?
J1 Nei, jeg vet ikke jeg, for det var bare helt tilfeldig valgt. Vi burde kanskje tenke gjennom noe som er logisk? Det kan godt hende at det er fint?

Dessverre springer det ikke ut noen diskusjon av dette, men det følger heller en lang pause der jentene i etterkant går over til å diskutere noe annet.

Initialverdier og "rar begynnelse på akselerasjonen"

Etter hvert begynner jentene å få noen resultater, blant annet grafer for akselerasjonen. Ved setting av initialverdier har begge satt $x_0 = 0$ og $v_0 = 0$, men J1 har i tillegg satt $a_0 = 0$. Dette setter i gang følgende diskusjon:

J1 Får du også en litt sånn rar begynnelse på akselerasjonen?
J2 Jeg vet ikke, nå har jeg rota det til her, så ... På akselerasjonen? Jeg vet ikke, jeg!

I Hva er rar begynnelse?
J2 En myk start, kanskje?
J1 Nei, for akselerasjonen begynner på null, men kommer veldig fort igang da, så det blir liksom rett opp, og sånn der. Og det er jo helt naturlig i forhold til sånn han løper, men det bare så litt rart ut. Altså, du bruker jo en liten brøkdel av et sekund på å få den akselerasjonen fra null og opp.
J2 Ja?
J1 Ja, så det er helt greit.

Her slår J1 seg til ro med sin forklaring som baserer seg på løping som hverdagsfenomen. Når det rett etterpå viser seg at J2 *ikke* har lik start som J1, fortsetter diskusjonen:

J2 Jeg har ikke fått det, jeg, men ...
J1 Det er derfor jeg spør, for du hadde ikke det, men jeg har det.
J2 Men det er veldig logisk, det er jo det?
J1 Jeg har ikke noe problem med at den er der. Men jeg har forsåvidt ikke noe problem med at den ikke er der hos deg heller, derfor ble jeg litt sånn – what?
[...]
I Ja. Er $a_0 = 0$?
J1 Nei, kanskje ikke? Det kommer an på åssen du tenker på det. Han begynner med å stå i ro. Men han står jo ikke ... Altså fra vi begynner tida, så står han jo ikke i ro lenger.
J2 Men jeg har jo ... Jeg har fått den største akselerasjonen først fordi jeg har ikke satt $a_0 = 0$, men da er det jo bare den – luftmotstanden ...
J1 Nei, vent litt da, for kanskje jeg ikke trenger a_0 i det hele tatt? Jo, jeg trenger a_0 – du må jo sette ... Jo, nei, nå vet jeg det. Jeg må sette a_0 til å være noe annet. Jeg bare satt sånn fordi det passet så bra i programmet mitt. Men det stemmer jo ikke.

Her begynner J1 å innse at a_0 ikke nødvendigvis trenger å settes til null, men er fortsatt usikker på hva den bør settes til. J1 forstår etter kort tid hva problemet er:

J1 Nei, men jeg fikk feil, for jeg tenkte at vi trengte a_0 fordi vi trengte x_0 og v_0 og det der.
J2 Men åssen blir det der, da? Akselerasjonen – hvordan blir det, egentlig?
[...]
J1 Nå får jeg det samme som deg! Det er greit, du har rett.
I Fordi ... Når begynner akselerasjonen? Eller når er det akselerasjonen har noe å si?
J2 Jeg tenker, altså, i punktet null der tida er null og farta er null, på en måte. Men altså, jeg er fornøyd jeg, altså.
J1 Du begynner jo ikke tida før du har begynt å akselerere. Det er jo hele definisjonen på når vi begynner tida!

Nå har J1 etter en ganske kort diskusjon, hovedsakelig med seg selv, slått seg til ro med det andre resultatet enn hva hun ikke mange sekundene tidligere hadde slått seg til ro med. J2 er enkelt og greit "fornøyd", selv om spørsmålet "Hvordan blir det, egentlig?" aldri blir besvart eller får noen særlig diskusjon.

Hva er en "sinnssyk" akselerasjon?

Jentene klarte på greit vis å finne løpstiden med de nye kreftene, men når de skal kommentere resultatene, viser det seg at de ikke har fått samme graf for akselerasjonen:

J1	Ni sekunder så kommer han 100 meter. Så har han en akselerasjon på 5,15 cirka på max også går det nedover?
J2	5,15?
J1	Mhm. Får du noe annet?
J2	Elleve.
J1	Akselerasjon på elleve?
J2	Ja, men det høres litt spesielt ut. Hvordan ser din ut, da? Ser din sånn ut?
	[...]
J1	Ja, det har du naturligvis hvis du har høyere akselerasjon enn meg også. Skal vi sjå, har du gjort noen heltallsdivisjon?

Diskusjonen går direkte inn på å undersøke J2 sin kode etter typiske programmeringstekniske feil som heltallsdivisjon. Når det viser seg at det ikke blir gjort noen heltallsdivisjoner hos J2, prøver jentene å koble resultatene til hverdagserfaringer:

J1	Er det jeg eller hun som har rett?
I	Hva tror dere?
J2	Jeg tror du har rett.
J1	Jeg tror også jeg har rett fordi det er nærmere den opprinnelige akselerasjonen. Altså, en akselerasjon på 11 er jo helt sinnssykt, er det ikke det?
J2	Jo ...?

Jentene virker sikre på at det er J1 som har rett, men usikre på *hvorfor* hun har rett, bortsett fra at en akselerasjon på 11 er helt "sinnssykt". Jeg følger dette opp direkte:

I	Ja, hvor sinnssykt er det?
J1	Altså, hvis det er ...
J2	Jeg tenker! Hehehe.
J1	Du kommer opp i en fart på 400 km/t hvis du holder på i ti sekunder. Det er en rask bil!
J2	Den faller sinnssykt raskt, da. I løpet av ett sekund så har den jo falt til 2 m/s^2.
J1	Okei ...?
J2	Men nå er det sikkert et eller annet feil med formelen, da! [les: programkoden, tror det er skrevet feil i akselerasjonsuttrykket]
J1	Det vil si at du vil komme nesten halvveis på 100-meteren din i løpet av det første sekundet, hvis du har den akselerasjonen!
J2	Ja.
J1	Det er litt drøyt?!
J2	Det er tydeligvis et eller annet feil med formelen, da? Ja, jeg vet ikke jeg, altså.

Her er begge overbevist om at det er en alt for høy akselerasjon for et menneske, og J1 sammenlikner farten etter ti sekunder med en bil. Nå ville ingen, ikke en vanlig bil heller, klare å holde jevn akselerasjon opp til en så stor fart, og det gjør heller ikke løperen i dette tilfellet – noe J2 antyder. Videre gjør J1 en feilaktig utregning av strekningen som ikke er med på å hjelpe resonneringen: $s = \frac{1}{2}at^2$ gir 5,5 meter på ett sekund og ikke 55, som hun betegner "halvveis på 100-meteren". Jeg gir videre et konkret tips til hvordan de skal gå fram for å finne ut av hvem som har rett, ettersom ingen av jentene ser ut til å gå i riktig retning. Jeg prøver å få jentene til å se på den matematiske modellen litt nærmere:

I For dere la jo til et sånt kraftledd til i starten som virka fordi han var crouched og fraspark og litt sånn. Hvor mye kan det ha å si, liksom? I forhold til i stad?
J1 Luftmotstanden er jo mindre, men den har jo ikke noe å si – eller den har jo ...
J2 Vil det si at nå så burde han egentlig bruke kortere tid enn i stad?
I Nå, det kommer jo an på, da. Det er jo ganske mange ting som er lagt til?
J1 Ja, men ...?
J2 Men luftmotstanden blir jo mye større på slutten nå enn den var i stad, blir den ikke det?
[...]
J2 Jeg synes det er litt vanskelig å si om det er rimelig, da, at han kan ha 11 m/s^2 i begynnelsen som akselerasjon! Altså, det er jo sinnssykt mye!
J1 Nei, altså, det er jo ikke rimelig! Synes jeg.
J2 Nei, men jeg tenker bare på at den faller så fort.
J1 Ja. Men altså ... Enten så er det noe feil med mitt program, eller så er det noe feil med ditt program, for vi skal jo ha det samme. Og jeg anser min akselerasjon som mer sannsynlig enn din, da! Hehehe.
J2 Ja, men det er jo sant, da!
I Hvorfor det?
J2 Fordi hun er mer skilled!

Det kommer ganske klart fram at ingen helt vet hvorfor den ene akselerasjonen er noe særlig bedre enn den andre. J2 er usikker fordi hun ikke vet hvordan man anslår rimeligheten av akselerasjonene, men J1 er ganske sikker på at hennes akselerasjon er mer korrekt. Dette kan komme av hennes tidligere feilaktige utregning.

Jeg skjønner at de ikke har noe særlig referansegrunnlag til å anslå rimeligheten til akselerasjonene og spør derfor, med tyngdeakselerasjonen i bakhodet, som følger:

I Hvor mye er elleve og en halv m/s^2?
[...]
J1 Det er som jeg sa i stad – det er en HEFTIG bil!
I Hva kan vi sammenligne det med, egentlig?
J1 Ehm. Jeg vet ikke, egentlig. Jeg er så vant til å tenke i fart og ikke i akselerasjon.
I Hvilken akselerasjon er det vi vet best – eller kjenner best til?
J1 Tyngdekraften!
J2 Åja!
J1 Ja, ikke sant, så du løper like fort som, eller fortere enn en gjenstand faller du nå! [antyder at det er alt for raskt]
I Det første – sekundet.
J1 Ja, det første sekundet!
I Hvor fort faller en gjenstand da? Det første sekundet?
J1 Den faller ikke så ... nei jeg vet ikke jeg. Skal vi prøve?
[...] [slipper penn mot bakken]
J2 Ja, halloo!

J1 Var det mindre enn et sekund? Det var mindre enn et sekund!
I Det var – to meter?
J1 To meter på kanskje et halvt sekund?
I En sprinter som tar fraspark ...
J2 Men faen, det er jo ikke SÅ mye!?
J1 Men da er det jo ikke så ille, da! Er det?

Sammenligningen med tyngdeakselerasjonen viser at jentene ikke hadde særlig grunnlag fra hverdagserfaringer til å anslå rimeligheten av denne akselerasjonen. Etter et svært raskt forsøk, viser det seg at holdningene til resultatene er ganske annerledes enn før. Dette er likevel ikke et svært nøyaktig eksperiment, så jeg prøver på nytt å få jentene til å ta en nærmere titt på den matematiske modellen, litt mer eksplisitt denne gangen:

I Hva med det leddet som ble lagt til, da? Det kraftleddet? Hvor stort er det i starten?
J1 Det ... 2.219?
J2 Det er ganske stort i starten, da!
J1 Det er jo helt håpløst å se! Vi kan jo sjekke.
[...]
J1 Tiden den er lik null? Så da blir det ... Eksponensialfunksjonen til null, hva er det, da? [...] Ja, han får en akselerasjon på elleve! Da er det jeg som har feil, da?
J2 I hope!

Endelig tar jentene fatt i den matematiske modellen, og selv om det kanskje ikke er helt lett å se, regner J1 seg ganske raskt fram til at det var hun som hadde feil. Følgelig legges temaet dødt og jentene fortsetter med oppgaven.

Kommentar: Hva med analytisk matematikk?

Jentenes problemer med å finne riktig startakselerasjon for løperen, kan vi finne ganske raskt ved hjelp av god gammel analytisk matematikk. Vi har kraftuttrykket

$F = F_D + f_c e^{-(\frac{t}{t_c})^2} - f_v v - D$

der luftmotstanden D er gitt som

$D = \frac{1}{2}(1 - \frac{1}{4}e^{-(\frac{t}{t_c})^2})\rho C_D A(v-w)^2$

Siden $v = 0$ og $e^{-(\frac{t}{t_c})^2} = 1$ for $t = 0$, og vi har satt $w = 0$, er både $f_v v = 0$ og $D \propto v^2 = 0$. Vi sitter kun igjen med $F_{t=0} = F_D + f_c = 412N + 488N = 900N$. Med en masse på 80kg finner vi akselerasjonen:

$a_{t=0} = \frac{F_{t=0}}{m} = \frac{900N}{80kg} = 11,25m/s^2$

Avslutningen: "Comment on the results"

Når alle grafene viser seg på begge skjermene, spør jeg jentene om å besvare oppgaven "Comment on the results" verbalt. Det er hovedsakelig J1 som tar til orde, mens J2 sier seg enig og har ingenting å tilføye:

J1 Ehh, comment on the results, om hvorvidt det høres bra ut? Ja, det gjør jo det, da, sett at vi fant ut hvem av oss som hadde feil ved å bare sjekke om det var logisk! Skal vi se: Det er helt naturlig at han har høy akselerasjon og så dabber litt ut, for han gir jo på også blir han sliten. Den er helt grei. Hmmm. Det er helt naturlig at ... Vent da ...

J2 Det her er posisjonen?

J1 Ja, det er posisjonen. Integralet til posisjonen skulle bli det samme som farta. Janei ja, nå vet jeg det. Den ser litt slakere ut på posisjonen – den er litt slakere på begynnelsen enn den er på slutten og det er helt naturlig fordi han bruker litt tid på å få bygd opp farta si.

J2 Ja.

J1 Så den er også helt naturlig. Og så er det farta: Ehm, den begynner på null og går fort oppover, og så dabber den av litt etter hvert og det er også helt naturlig. Har du noe mer å si?

J2 Jeg synes egentlig at det var litt rart at posisjonen – at den ikke er brattere på begynnelsen, da.

J1 At du synes det er rart at den er slakere på begynnelsen?

J2 Ja.

J1 Nja, det synes ikke jeg? For når du starter med å stå stille og skal opp i en viss fart, så ...

J2 Ja, han bruker jo tid på å få fart, ja.

J1 For hvis du ser på så står han først stille også kommer han fort opp i fart, eh, og når du har høy fart så vil denne være brattere – altså posisjonsgrafen vil være brattere når fartsgrafen har en høy verdi. Og det stemmer.

J2 Ja.

J1 Så helt på begynnelsen så er jo farten lav og da er posisjonen – stigningstallet til posisjonen – liten.

Jeg spurte også jentene om hvordan de oppfattet oppgaven mht. vanskegrad og forkunnskaper, og de hadde følgende å si:

I Men var det greit? Oppgaven? Var det enkelt i forhold til forkunnskaper fra i høst?

J1 Ja.

J2 Når man kommer i gang, så.

J1 Altså, det er alltid veldig mye knøling og tulling med pc-en, altså. Det er det der med pc-en som tar tid, da, men det betyr ikke nødvendigvis at det er vanskelig av den grunn.

Til tross for at oppgaven bød på en del problemer, sitter ikke jentene igjen med en oppfatning av at oppgaven var spesielt vanskelig – med unntak av "problemene med pc-en".

5.3 Oppgave 2: "Ball in a spring"

Denne oppgaven ble gitt som obligatorisk oppgave nr. 4 for studentene, to uker etter forrige observerte oppgave.

5.3.1 Gruppe 1: Guttene

"Identify the forces", men hva er egentlig sentripetalkraft?

Det første guttene bes om er å gjenkjenne kreftene som virker på legemet og å tegne et kraftdiagram. Ingen tar opp noen hjelpemidler, men setter heller raskt i gang med å tegne. Her oppstår det problemer i det G2 vil ha sentripetalkraften inn i bildet.

G2 Så har vi forhåpentligvis tyngdekraft nedover! Også har vel den her kanskje en fart også.
G1 Må vi ha med farten, da?
G2 Nei, men den vil få en akselerasjon mot sentrum hvis den har en fart og beveger seg på en sirkelbane. Du vil ha sentripetalakselerasjon da.
G1 Det står jo ikke at man skal tegne farta, gjør det det da?
G2 Nei, men det er en kraft som avhenger av farta. Radius var R_0?
G1 Kalte du den F_S den som gikk oppover?
G2 Jess, "force sentripetal"! Heheh. $\frac{mv^2}{r}$.
G1 Hmm? Det vet vi vel ikke?
G2 Hvorfor ikke?

G2 forbinder sirkelbevegelser med sentripetalakselerasjon og ser ikke hvorfor dette ikke er aktuelt i dette tilfellet. G1 prøver å forklare:

G1 For det er jo summen av akselerasjonen i en sirkelbane, men den er jo ikke i sirkelbane hvis vi tenker oss at den her kan endre seg? Når du sier at kraften på et eller annet sted i en sirkelbane – der – er lik $\frac{mv^2}{r}$ så er det fordi akselerasjonen er $\frac{mv^2}{r}$ (*sic*), så det er summen av kreftene!
G2 Altså, den har en akselerasjon inn mot sentrum $\frac{v^2}{r}$?
G1 I en perfekt sirkel så har den det.
G2 I en krummet bane så har den vel det?
G1 Og det vil si at summen av kreftene er $\frac{mv^2}{r}$ – ikke den ene kraften.
G2 I en perfekt sirkel? Altså, det er en pendel med "ball on a rope" da.
G1 Jaja, men den vil vel avhenge av fart og kraft og sånn, så vil den jo variere lengden – det er jo elastisk!
G2 Er repet elastisk?
G1 For ellers er det vel ikke noe vits å bruke sånn "spring model"?
G2 Det kommer sikkert seinere, da ...?

Her kunne forsåvidt diskusjonen stoppet opp ved at G2 tilsynelatende kun har oversett det faktum at ballen henger i et "fjæraktig" tau og har elastisitet. G2 ser derimot på sentripetalkraften som en egen kraft som skapes av farten når noe beveger seg i sirkel, og diskusjonen fortsetter:

G1 Det er jo summen av kreftene som er det der. Det er $F_S + G$ som er det der.

G2 Ja, men altså, hvis du har en akselerasjon og slenger på en m så får du jo en kraft, men det er ikke noen nettokraft?
G1 Jo, det er nettokraften, jo. I en sirkelbane med den kula som snurrer – på et visst tidspunkt – så vil den ha en akselerasjon innover, og den a-en – altså: Den har jo både den kraften og kraften fra tauet – summen av de er det som skaper akselerasjonen og akselerasjonen har samme retning som den. Hvis tauet holder, ikke sant, så er den her større enn den.
G2 Hva vil du si F_S er da?
G1 Det er jo ... Altså, hvis $G + F_S = ...$
G2 Det er det jo ikke.
G1 Jo! Summen av kreftene er ...
G2 Ja, men G er jo mg, da. F_S er jo ikke $\frac{mv^2}{r} - mg$?
G1 Det må jo bli det?
[...]
G2 Sentripetalkraft. Ja. Hva i all verden har den med mg å gjøre?
[...]
G2 Summen av kreftene er jo ikke $\frac{mv^2}{r}$?
G1 Jo!
G2 Akselerasjonen – du kan jo ikke si at den er $\frac{v^2}{r}$?
G1 Nei, nei i en perfekt sirkelbane kan du si det!

G1 gjør så godt han kan i å forklare at kreftene i en sirkelbevegelse sammen utgjør en sentripetalkraft, men G2 lar seg ikke overbevise og har forstått det slik at sentripetalkraft er noe som oppstår i en sirkelbevegelse.

G2 Altså, jeg trodde at sentrifugalakselerasjon var $\frac{v^2}{r}$, jeg.
G1 Ja, *sentripetal*akselerasjonen er det.
G2 Ja? Altså, uansett hvilke krefter som virker så er den akselerasjonen en sirkel?
G1 Hm? Altså, sentripetalakselerasjonen er akselerasjonen i en sirkel.
[...]
G2 Ja, men du sier at selv om du har med det tyngdekraftleddet så er det fortsatt $\frac{v^2}{r}$ – akkurat som at den ikke har noe å si?
G1 Nei, men hvis kula henger stille, ikke sant? Da er G og F_S like store – da er det ingen akselerasjon.
G2 Hvis kula henger stille så har den jo ikke noen sentrifugalakselerasjon. Sentripetal ...
G1 Nei, det er fordi du ikke får noen akselerasjon når de er like store – da er summen av kreftene null. Når den henger stille så drar tauet like mye som tyngdekraften drar på ballen – ikke sant? Så den står stille. Altså, er du ikke med på det? Hvis en ball bare henger i en snor?
G2 Ja, men hvis den henger i en snor og du bare dytter den så henger den jo fortsatt stille i det punktet her, men da vil den ha en kraft.
G1 Ja, nei, ja, jeg mener når den henger stille. Ikke at du ser på den i et punkt der den er sånn, men ...
G2 Står det at den henger stille?
G1 Nei, men hvis den henger sånn stille, da har den null akselerasjon. Når du gjør sånn her, så har den tydeligvis en akselerasjon innover, så det vil si at summen av kreftene er lik akselerasjonen den har i sirkelbanen. Akselerasjonens retning og summen av kreftenes retning er den samme og du vet at den har en akselerasjon innover – og det klarer jeg ikke å bevise – men den er $\frac{v^2}{r}$ hvis den følger en sirkelbane. Det lærte vi.

G2 Jeg trodde at den $\frac{v^2}{r}$-delen var liksom sentripetalakselerasjonens bidrag, jeg.
G1 Nei, det ER sentripetalakselerasjonen.
G2 Hmm ...

G2 begynner å bli skikkelig frustrert av at han verken har forstått eller ser ut til å forstå begrepet slik det er ment. Han prøver å finne fram til eksempler der hans oppfatning er korrekt og blar i kompendiet. G1 fremtrer som sikker, men åpen for innspill i diskusjonen som fortsetter:

G2 Nei, men hvis du veit ... Hvis krafta alltid er lik $\frac{v^2}{r}$ (*sic*), trenger vi å lage noen modell for det da, da?
G1 Hæ? Jeg skjønner ikke hva du mener, jeg. Farta her endrer seg, ikke sant? Så akselerasjonen vil endre seg. Kraftforholdet vil endre seg – F_S vil endre seg.
G2 Altså, det var jo kapittel 6, det har vi jo ikke ...
G1 Altså, øverst i banen, hvis den har perfekt fart så snordraget er null, ikke sant? Og den eneste krafta er g. Nå er g ned sånn. Så har den ikke noe snordrag. Da er det g-en som lager akselerasjonen. Men det er jo bare å fortsette da, så kan vi se. Det kan jo godt hende at jeg også tar feil, holdt jeg på å si. Altså at jeg tar feil og ikke du, men det er da sånn jeg husker 3FY. Og det synes jeg virker helt logisk – det må jo være sånn? Men vi skal vel ikke ha luftmotstand?
G2 Så da har ikke jeg forstått noen ting egentlig, jeg da?
G1 Hva mener du?
G2 Hvis en bil som kjører over en bakketopp ... Jeg trodde at hvis den skal lette så må det være sånn at $\frac{mv^2}{r}$ var større en mg, eller at $\frac{v^2}{r}$ var større enn g.
G1 For at den skal lette i en sirkel, liksom?
G2 Jaja.
G1 Når den har en fart sånn? Altså, for at den skal følge den banen, så må summen av kreftene, som da er G her, da må G være større, eller den blir jo LIK mv^2, da, over r.
G2 Ja, fordi summen av kreftene er lik null.
G1 Sånn at hvis farten blir større, altså her er det jo bare en fart, m og r endrer seg ikke, så hvis farten blir stor nok, så er ikke G nok til å skape en akselerasjon i den banen her. Det er akselerasjonen som endrer banen.
G2 Det jeg lærte i hvert fall, da, var at du hadde $\frac{mv^2}{r}$ oppover og mg nedover. Og hvis den mv^2 var større da, så vil det jo naturligvis virke en større kraft oppover enn det nedover klarer å holde igjen.
G1 Nei, det er ikke riktig, for den får ikke noen akselerasjon oppover. Det som skjer når de to der er like store – åssen blir det a – ja, altså, bilen vil aldri kunne kjøre oppover. mv^2 kan bli så stor at den blir større enn G, og da fortsetter den sånn.
G2 Jaja, men det er fordi det er en kraft som virker oppover som er større enn G.
G1 Nei, det er jo ikke fordi det er en kraft, det er fordi G ikke er stor nok til å bøye av krafta, nei farten, til den banen. Hvilken kraft er det som virker den veien, da?
G2 Altså, den krafta som produseres av at du har en hastighet i en bane? Det vil jo gjøre at du blir kastet oppover.

G2 husker tilbake til et eksempel på sin oppfatning av sentripetalakselerasjonen ved at biler som kjører over bakketopper (eller gjennom svinger, for den saks skyld) i sirkelbuer, vil ha en sentripetalakselerasjon. Her sitter han med den oppfatningen av at sentripetalakselerasjonen fungerer som en *sentrifugalakselerasjon* (som han også selv sier) som slynger deg utover.

Kommentar: Bil over (sirkulær) bakketopp

G2 husker litt feil angående kreftene som virker på bilen her. Bilen blir (svært forenklet) påvirket av to krefter, men de er hhv. gravitasjonskraften og normalkraften fra underlaget – ikke gravitasjonskraften og sentripetalkraften. Hvis bakketoppen er sirkulær, vet[a] vi at *summen* av kreftene er:

$$\Sigma F = mg + N = \frac{mv^2}{r}$$

For at bilen skal “lette” må N være null og vi får:

$$N = \frac{mv^2}{r} - mg = 0 \Rightarrow v = \sqrt{gr}$$

Farten må altså være *minst* $\sqrt{gr}$ for at bilen skal miste kontakt med underlaget.

[a]Kan utledes eksempelvis fra geometriske betraktninger og vektorkalkulus, men dette har studentene ganske sikkert verken sett eller gjort

G1 Neineinei, hvis en kraft *ikke* virker, så er det en rett bane. Hvis en kraft virker, så kan det fortsatt være en rett bane, men poenget er at hvis du har en kraft innover der, så bøyer du av banen. Og den banen kan bøyes i en sirkel hvis den kraften der er $\frac{mv^2}{r}$.

G2 Altså, når Anders skrev opp de likningene og sånn på forelesningene og sånn, så satt han jo opp at ... Jeg vet ikke om det er mulig å finne det her, jeg, men ... Jeg synes bare det er jævlig rart, for jeg har aldri hørt om ...

G1 Men hvorfor er det rart? Det er jo ingenting som får en kraft av å være i fart? Det må virke en kraft for at den skal ha en annen bane enn en rett linje. På en bil i en bakke så er den krafta G. Og en kraft N, fra underlaget.

G2 Nei, jeg vet ikke jeg, men jeg trodde at jeg forstod det her, jeg.

G1 henvender seg videre mot meg og spør om dette er viktig for å fortsette. Jeg stiller meg litt tilbakeholden, men erkjenner at det ikke er en direkte nødvendighet for å klare oppgaven. G2 lar det likevel (heldigvis) ikke ligge, men ønsker å faktisk forstå hva han ikke helt forstår:

G2 Men hvorfor kan vi ikke tegne inn den [sentripetalkraften]? [...] hvorfor blir det feil å tegne den?

G1 Nei, men det er ikke en reell kraft, liksom. Det er bare summen av en masse krefter! Du kan få en sentripetalkraft ... Altså, hvis den her går i en sirkelbane så har den en sentripetalkraft som er summen av G og S.

G2 Den er lik $\frac{mv^2}{r}$?

G1 Ja, $\frac{mv^2}{r}$, ja.

G2 Alltid?

G1 I en sirkelbane, ja.

G2 Jeg trodde at et objekt som bevegde seg i en sirkelbane fikk en kraft, jeg, fordi den bevegde seg i en sirkelbane.

G1 Nei, den beveger seg i en sirkelbane fordi det virker en kraft på den.

G2 Men, altså, bilen kjører ikke i sirkel fordi det virker en kraft på den – det er fordi jeg svinger.

G1 Ja, da virker det en kraft på den.
G2 Ja, og jeg trodde at den kraften som fikk bilen min til å svinge da, den var $\frac{mv^2}{r}$.
G1 Ja, hvis du kjører i en sirkelbane, så er den $\frac{mv^2}{r}$. Den kraften, da friksjonskraften på hjulene dine, er $\frac{mv^2}{r}$. Størrelsen på den.
G2 Men, altså, hvis jeg hadde kjørt, ja men friksjonskraften har vel ikke retning innover?
G1 Hvis du svinger i en sirkel, så må den det. Jo, altså, friksjonskraft OG gravitasjonskraft. F og N, da, hvis du setter N som sammenslått fra underlaget og ... For at du skal klare å kjøre i en sirkelbane, så må summen av kreftene bøye farta di innover perfekt. Krafta må gi deg en akselerasjon $\frac{v^2}{r}$ inn mot sentrum. Og når du kjører bilen din, så endrer du jo hele tiden retningen på friksjonskrafta siden du svinger.
G2 Men, altså, du har jo en sentripetalkraft selv om sirkelen din ikke er perfekt i det hele tatt. Det er fordi r endrer seg hele tiden.
G1 Nei, man kaller det ikke en sentripetalkraft hvis det ikke er en sirkel.

Et nytt problem oppstår her. G2 tror at sentripetalkraften virker så lenge man "svinger", uansett hvilken *form* svingen har. En sving kan alltid innfelles i en del av en sirkel, bare man endrer radiusen tilstrekkelig, tror han. Og man kan hele tiden "konstruere nye sirkler" for hver del av banen slik at man har en sentripetalkraft overalt, men at den endrer seg.

G1 Jo, men en sving må jo ikke følge en sirkelbane? En parabelbane kan den følge, for eksempel. Da vil jo ... Hvis du skal putte inn en sirkel i en parabel så vil den jo bare treffe på ett punkt.
G2 Nei, nå forvirrer du meg.
G1 Altså, en sirkelbane er et helt spesielt tilfelle. Alle buer er jo ikke sirkler.
G2 Men hvis du kjører i en ellipse, så tar man det som om man kjører i en sirkel som ...
G1 Nei, hvis det kjører i en ellipse så gjelder det ikke, tror jeg. Da blir det annerledes.
G2 Det gjelder jo i den forstand at hvis du kjører i den halvsirkelen her, eller delen av den ellipsen her, da, så får du krefter som om du kjører i den sirkelen her til du har kommet ned hit. Da er det bare rett fram, så kjører du her som om du kjører i den sirkelen her. [tegner noe som kan ligne en ellipse]
G1 Men det der er jo ikke en ellipse.
G2 Det her er jo en ellipse, det!
G1 Hvis du setter to sirkler ved siden av hverandre, og trekker linja sånn, så får du ikke en ellipse. I en ellipse så har du ikke en sirkel her og en sirkel her?
G2 Ja, men du har jo en rund kant?
G1 Ja, men det er ikke en sirkel! Den følger ikke en sirkelbane.
G2 Ja, men hvordan vet bilen din at du ikke har tenkt til å gjøre en sirkel, da? Og bare gjøre en U-sving?
G1 Jo, det er poenget! Altså, hvis du følger en sirkelbane her, sånn at du kan tenke på det som en sektor av en sirkel, DA kan du bruke det. For da følger den en sirkelbane, men i en ellipse så følger den ikke en sirkelbane. Du kan ikke si at det der er en sektor av en sirkel når det er en ellipse. Ellipsebanen er annerledes.

Litt mer avklaring rundt hva som er en ekte sirkelbane og ikke bare en bue, blir gjennomgått, men G2 er fortsatt ikke overbevist.

G1 Mhm. Ja. Når man kjører i sirkler, så gjelder det. Eller i en sirkelbane. Når du kjører over en topp, så kjører du jo ikke i en sirkel. Du bare følger en sirkelbane en liten stund.

G2 Men selv om du følger den i en liten stund, så får du den $\frac{v^2}{r}$-greia.
G1 Ja, for å følge den så MÅ akselerasjonen være $\frac{v^2}{r}$. Det er det som er betingelsen for at du kjører i en sirkelbane.
G2 Okei, så for at du skal kunne kjøre i sirkelbane, så må du ha $\frac{v^2}{r}$?
[...]
G2 Men åssen kan du egentlig bestemme at du har det, da? Hvis du tråkker litt mer på gassen så får du mer fart!
G1 Altså, på jorda så vil jo det begrense seg av seg selv, da. For der har du både en kraft fra gravitasjonen og fra underlaget. Der er det bare å passe på at farta di ikke blir for stor.
[...]
G2 Så hvis du har en partikkel som får en akselerasjon innover mot et sentrum med lengde r fra det sentrumet, og så lenge den akselerasjonen tilfeldigvis er kvadratet av farta over den radien, så vil han følge en sirkelbane?
G1 Ja, hvis akselerasjonen endrer retning hele tiden – inn mot sentrum.
G2 Ja, men da må farta på en eller annen mystisk måte balansere seg perfekt også, da.
G1 Altså, for en partikkel rundt der da ...
G2 Men hvis den akselerer hele tida så vil den jo få større og større fart også?

På slutten, angående akselerasjonens fartsøkning, berører G2 det som skal vise seg å være kjernen til problemet, eller den siste biten av informasjon som må på plass før begrepet sentripetalakselerasjon skal vise seg å gi mening. Jeg har også begynt å bidra i små porsjoner til å løse problemet.

G1 Nei! For hvis den peker innover sånn, og er $\frac{v^2}{r}$ så bøyer den av farta i en sirkel.
G2 Greia er at farta hele tiden står normalt på ...
G1 Den endrer farta, men den endrer ikke størrelsen på farta.
I Den endrer på en måte hastighetsvektoren, da. Endrer retning, liksom.
G2 Så den endrer retning på farta, men ikke størrelsen?
[...]
G2 Men da skjønner jeg. Hvis farta hadde vært for liten så hadde den unnslippet, da, og hvis farta er for stor så ...
G1 Nei, hvis farta er for liten så hadde den falt ned, og hvis den hadde vært for stor så hadde den ikke klart å bli bøyd av i en sirkel.
G2 Hvis den hadde vært for stor så hadde den blitt bøyd av for lite, da?
G1 Ja. Eller for sakte.
[...]
G2 Ja, men da så. Da har jeg rett og slett bestått 3FY med glans og gått naivt gjennom et par år og tenkt at det var en reell kraft som var et resultat av at du gikk i sirkelbane.
G1 Ja, det blir helt feil.
G2 "Hei, jeg kjører i sirkel, jeg får denne kraften."
G1 [utydelig, kort kommentar]
G2 Ja, jeg skjønner det nå. Jeg skjønner det at: Herregud, hvordan i helvete skal du klare å holde den banen her hvis ikke du har en kraft som holder deg i banen? Og den kraften må være der her for ellers så hadde du ikke klart å holde deg i den banen.
G1 Ja, sånn er det.
G2 Men her på jorda, da. Si at den bakketoppen er av et fast materiale, da – selv om du avbøyes for mye – har for stor eller har for liten fart – så vil du slavisk følge den.
G1 Ja, summen av kreftene vil bli det, ikke sant.

G2 Du vil slavisk følge den fordi du har en tyngdekraft som drar deg ned mot noe som holder deg igjen – en normalkraft. Men du har fortsatt ikke noe som holder deg igjen fra å ha for mye fart, da.

G2 virker først nå sikker på at han har forstått hva sentripetalkraft er og hvordan begrepet brukes.

"Spring force" og enhetsvektorer

Guttene sier seg til slutt ferdig med kraftdiagrammet sitt og etter en kort digresjon om kvantefysikk og elektronbaner med tanke på forrige tema, velger de å fortsette videre i oppgaven. De skal nå vise at kreftene som virker på ballen kan vises som et uttrykk bestående av tyngdekraft og fjærkraft.

G1 [...] Menneh, jeg synes dette var litt forvirrende. Burde de ikke bare skrevet ... Nei, jeg bare kødda. Nei! Jeg kødda ikke likevel.
[...]
G1 Nei, jeg kødder ikke. Det var bare forvirrende at r-en var retningen på snora og ikke retningen på kraften. Så jeg ville hatt en pluss der, men ikke hvis r går den veien. Da må det bli minus, ja.
[...]
G2 Hvis r er større enn L her, altså den er strukket, den krafta som virker på ballen vil jo være positivt retta da? Vil den ikke det da? Altså, at det er fjæra som drar på ballen?
G1 Altså, hvis r er større enn L? At den nye r-en her, liksom?
G2 Ja. Da vil jo ballen bli trukket oppover? Oppover er positiv retning, er det ikke det da? Hvorfor i all verden er det minus?
G1 Fordi r-en, $\vec{r}$, bestemmer posisjonen til ballen. Så kraften skal virke mot r, så det blir det her ganger minus r, men da kan du bare sette minus foran. Retningen på kraften er jo den motsatte av posisjonen til ballen.
G2 Åja ... Okei. Åja, nja, okei.
[...]
G1 Mhm. Men $\vec{r}$ går sånn der, ikke sant? Og her er ballen. Og da vil krafta virke i den retningen, ikke sant?
G2 Hvis L ligger her da, så vil krafta være negativ. Og hvis den er mindre enn L, så vil krafta være positiv. Stemmer det? Ja, det stemmer. Da er jeg med.

G1 resonnerte ganske raskt og stille seg fram til løsningen på sitt eget problem, men G2 trenger litt mer tid til å koble fortegnene i likningen sammen med hvordan kreftene virker i forhold til posisjonsangivelsene. G1 gir god støtte, og G2 får ganske raskt oversikt, spesielt ved å se for seg hvordan en fjær vil oppføre seg hvis han drar eller dytter i den. Guttene ser raskt veien videre, og G2 kommenterer hvordan han hadde likt å slippe $\vec{r}$ til fordel for kraften uttrykt ved $\vec{x}$ og $\vec{y}$:

G2 $\vec{a} = -g\vec{j} - k/mr - ...$? Ehm, det som hadde vært kult var om vi hadde hatt et uttrykk for den $\vec{r}$. Har vi det? Nei, det har vi vel ikke. $\vec{r}$ beskrevet ved $\vec{j}$ og $\vec{i}$. For da kunne vi spleisa opp og laget et x-y-enhetsvektor ut av det. Vi får kanskje en [gitt av oppgaveteksten].
G1 Ja, men poenget er at det blir kanskje litt vanskelig å si da, på grunn av spring force-en.
G2 Spretter langt helvete ... Kan ikke sette det som noe sinus og cosinus i hvert fall. Naive modell.

Før de kommer i gang med dette, starter guttene en diskusjon som berører modellering på datamaskinen på sitt mest grunnleggende – diskretisering av tid og rom.

En diskretisert modell – *når* er egentlig "idet du slipper"?

Etter å ha funnet et uttrykk for akselerasjonen som begge er fornøyd med, fortsetter de videre med oppgaven. Hvorfor vinkelen mellom tauet og vertikalen ikke er nok for å beskrive posisjonen, forklarer de raskt og korrekt ved at tauet kan strekke seg og du kan få flere posisjoner for samme vinkel. Neste steg, derimot, "If the ball is at $\theta = 0$ with no velocity, what is the position of the ball?", viser seg å skape problemer. Ikke problemer i ordinær forstand, for selv om G2 tenderer mot en feilaktig beskrivelse, klarer de oppgaven raskt og enkelt. Problemet blir at G1 vil ikke slå seg til ro med at oppgaven er entydig:

G2 "No velocity". Altså, tenker han ikke noen vibrasjoner heller, da? Tenker at den er i ro i alle retninger? Altså, sånn at den har L? $r = L$?
G1 Neeeei. r er vel ikke L? For det virker jo en kraft ned.
G2 Ja, absoluttverdien av r, da.
G1 Hmm? r vil den jo være! Du skal finne r. Men absoluttverdien til r vil ikke være L.
[...]
G2 Ja, okei, så du tenker som om du har bare satt den der og den henger sånn at tyngdekraften drar den nedover.
[...]
G1 Hva er egentlig spørsmålet her?
G2 Vi skal finne posisjonen – da setter vi ...
G1 Jaaaa, men, det er ikke et helt entydig svar på det der, da. Den kan jo ha to posisjoner. Hvis du ser for deg at du holder den først i null, og så slipper du den, så vil jo vinkelen være null, farta null, men så har den litt akselerasjon nedover, så går den nedover til den har funnet likevekt på nytt, liksom. Og det er en annen posisjon.

Her kan det nok virke som at G1 kun er pedantisk, noe han sikkert også *er* til en viss grad, når han henger seg opp i at oppgaveteksten spør om hvilken posisjon ballen har ved "farten lik null" – og problemet er at vi i modellen setter $v_0 = 0$. Når G2 videre ikke vil la G1 henge seg opp i slike ting uten motstand, og G1 samtidig mener han har et poeng, bærer diskusjonen av sted:

G2 Ja, men ikke sant, det står "no velocity", betyr det at den er helt i ro? Da må den jo være helt i ro.
G1 Hvis den ikke skal ha noen akselerasjon heller, da er det entydig bestemt, men den kan jo ha en akselerasjon da - den kan jo ha to posisjoner avhengig av om den akselererer eller ikke.
G2 Ja, men hvis den er akselerert så hadde den jo hatt en fart.
G1 Nei, ikke helt i begynnelsen!
G2 Etter null sekunder? Før den beveger seg i det hele tatt? Da ville den jo stått på samme sted selv om den hadde hatt en akselerasjon og var klar til å millisekundet etterpå bevege seg, så hadde den fortsatt vært i den posisjonen sin?
G1 Nei, jeg mener at, hvis du holder ballen her, ikke sant, holder den sånn at der er L, du holder den der, ikke sant? Idet du slipper den så vil den da være på samme sted med L, men noen sekunder etterpå så vil den være litt lenger ned.
G2 Ja, men de spør jo ikke noen sekunder etterpå, de spør jo om når den står i ro!

G1 Hæ? Ja, men den står jo i ro akkurat etter at du har sluppet den!
[...]
G2 Okei, okei, hvis vi tenker at "her er det ingen som slipper den og tar bilde akkurat i det den er sluppet", jeg tror det han mener er ...
G1 Ja, det tror jeg også! Jeg sier bare at det ikke er entydig bestemt, jeg.
G2 Ingenting er entydig bestemt hvis du skal tenke sånn på det, da!
G1 Jo, hvis han sier at akselerasjon og fart er null, da er det entydig.

Diskusjonen utvikler seg derimot ikke slik jeg hadde tenkt, og diskusjonen handler ikke om *modellen*, men G2 argumenterer mot G1 ved at det han foreslår ikke er mulig i *virkeligheten*, og G1 svarer tilbake på en måte som antyder at det faktisk *er* mulig i virkeligheten. Dette syntes jeg var spennende nok til å bryte inn for å utfordre G1 til å fortelle sin utdypete versjon:

I Men har den null fart like etter at du har sluppet, liksom?
G1 Ja, den må jo ha det!
I Hva er "like etter", da?
G1 Idet du slipper den.
I Eller – idet du holder den? På en måte?
G1 Nei, altså ...
I Med en gang du slipper den, så vil den jo ...
G1 Nei, hvis du setter opp en funksjon a, ikke sant, så får du en v av den a-en. Og v_0 da, idet du slipper den,
I v_0 er jo før du slipper den. Hvis tiden er null?
G1 Nei ...?
G2 Det må jo være det?!

Her kommer det tydelig fram, som jeg antok, at G1 ser rent matematisk på problemet. Mine kommentarer gav også G2 ny tillit til sin fysikktolkning av problemet, og diskusjonen fortsetter:

G2 Med en gang hånda di har sluppet så har det allerede gått milliarder av milliarder av én delt på en milliard sekund.
G1 Ja, men man må jo se matematisk på det, da?
G2 Men hvis du har et objekt som du har holdt i en tilstand og du ikke holder på den lenger, så har du jo ikke ...
G1 Akkurat som når du skal beregne en ball som faller fra et sted, så sier du at akselerasjonen er det og det, og $v(0) = 0$. Det blir akkurat det samme som du sier der. Bare at den har en litt annen akselerasjon, da. Fordi det virker to krefter.
G2 Ja, for før du begynte å gjøre noe med ballen så hadde den null fart. Når du har sluppet så har du gjort noe.
G1 Nei, altså, hvis du skal regne ut hvor lang tid det tar for en ball å treffe bakken, så sier du at akselerasjonen er det og det, farta er null - SÅ regner du ut hvor lang tid det tar. Du sier ikke at farta er *litt* over null.

Mens G2 tviholder på sin virkelighetsnære fysikktilnærming til spørsmålet, mener G1 at man "må jo se matematisk på det" og refererer til tilsvarende utfordringer i videregående skole. De fortsetter diskusjonen:

G2 Det går ikke an å si at den står i ro etter at du har sluppet. Den vil ikke stå i ro et mikrosekund etter at du har sluppet!
G1 Men jeg sier ikke at den står i ro.
G2 Du gjør jo det!
G1 Nei, det står "with no velocity"!
G2 Ja, med én gang du slipper, så får den velocity.
G1 Ja, med en gang etter at jeg har sluppet, ja!
G2 Så det du sier er at du holder på den? Hvis du sier at den har fart med en gang du slipper?
[...]
G1 Den har en akselerasjon akkurat idet du har sluppet, ja. Ikke sant? Nå tenker man 100% matematisk analytisk på det, ikke sant? Du hadde ikke klart å ...
G2 Altså, du holder den jo, og da har den jo en akselerasjon nedover, men da holder du den igjen, ikke sant? Men når du slipper den så begynner den å virke!
G1 Når du holder den så har den jo ikke noen akselerasjon nedover!
G2 Jo, men du holder igjen den kraften den akselerasjonen skaper!
G1 Den har en kraft, men ikke en akselerasjon!
G2 Den har en kraft nedover da som skaper en akselerasjon hvis du hadde sluppet.
G1 Ja, nettopp.
G2 Ja? Med en gang du slipper så begynner den å virke.
G1 Med en gang du slipper så har den en akselerasjon, men ikke en fart. Dette her er ikke noe å diskutere engang, dette er jeg 100% sikker på!

Som vi kan se, er G1 "100% sikker" på sin forståelse for problemet, og hevder samtidig at han tenker "100% matematisk analytisk på det". Men har ballen akselerasjon *idet* du slipper, men ingen fart? Dette er ikke et spørsmål uten problemer, og jeg utfordrer videre:

G2 Men hvis du slipper en ball så vil du jo ha en fartsendring.
G1 Ja, det er det jeg sier. Så den har en akselerasjon, men ikke en fart.
G2 Altså ...
I Men når får den en fart, da?
G1 Like etter at han har sluppet.
I Ja?
G1 Ikke idet du slipper. IDET du slipper så er farta null.
I Ja, men når er "idet du slipper".
G1 Det betyr "samtidig som du slipper".
I Ja, går det an å ...?
G1 Det går ikke an å måle det, nei, men det *må* eksistere!
I Hva er forskjellen mellom at du holder og at du slipper?
G1 Altså, når du holder ballen så virker det to krefter på den, ned og opp, fra hendene dine. Så tenker du at du fjerner den krafta - da vil den ha en akselerasjon, ikke en fart, i tiden lik null. Krafta blir fjerna ved t=0 og akselerasjonen oppstår ved t=0, farta ved t=0 er fortsatt null.
G2 Jeg vil fortsatt *se* deg klare det!

Enhetsvektorer, forsøk nr. 2

Etter å ha blitt mer eller mindre enige om det forrige temaet, eller i det minste skapt aksept for hverandres tilnærming til problemet, kan guttene endelig finne posisjonen til den *hengende* ballen:

G2 Men vil ikke absoluttverdien til r avhenge av r? Det er en skalar, den er ikke noen vektor, men – jeg synes det er litt rart.
G1 Ehm, skal vi se, hvor var jeg hen nå?
G2 For sånn ... Hadde vi funnet ut hva lille r var, uten vektortegn, så hadde vi løst oppgaven. Hvis vi hadde visst at den var ti, så hadde den jo hengt ti meter ned. Vi vet at x-en er null. Alt som står foran $\vec{i}$ er null i r. Så jeg ville sagt at den lille r-en her, den var lik $\vec{r}$.
[...]
G2 Hvis vi har $x\vec{i} + y\vec{j}$ ...
G1 Men hva er det?
G2 $\vec{r}$.
G1 Ja.
G2 Så vet vi at x-en er null, θ er null, så stryker vi den. Hvis vi tar lengden nå, så er det rett og slett bare y. Lengden av den er y.
G1 Mhm.
G2 Slenger vi på $\vec{j}$ her nå, så får vi $\vec{r}$. Så det jeg mener er at vi kan ta den r-en der og at $\vec{r}$ på en måte er $r\vec{j}$, da.

Her leder G2 an diskusjonen og har tilsynelatende god kontroll på vektormatematikken sin. Han bruker aktivt tegningen av pendelen i resonneringen og tenker seg at $r\vec{j}$ er det samme som $y\vec{j}$ i stor grad ut fra den rent visuelle observasjonen av at pendelen henger rett ned. Når de sier seg enige prøver jeg å presisere relasjonen som også viser dette matematisk:

I Det dere også kan si er jo, altså, r er jo $\sqrt{x^2 + y^2}$ og x er jo null, så $r\vec{j}$ er jo $y\vec{j}$, liksom.
G1 Ja, og r er y.
G2 Det er derfor vi har den likheten der.
G1 Ja, så $r = L - \frac{mg}{k}$.
G2 Mhm, det er det samme som jeg fikk også. Og jeg synes den virker veldig pen og det er veldig lett å forklare den, da. Jo større masse jo lenger henger den ned, altså.

Igjen viser de kontroll og G2 forklarer også den fysiske tolkningen av løsningen uoppfordret og raskt.

Programmeringen starter: "Hvis min går feil vei, så vet vi at det er noe feil" og valget av dt

Guttene begynner nå på programmeringsbiten og setter opp grovstrukturen ganske stillferdig hver for seg. G2 er den første som bryter den faglige stillheten og spør:

G2 Er det bare jeg som stusser over hvordan i helvete vi skal finne et uttrykk for r?
G1 Nei, er det noe problem da? Altså, den r-en er jo L.
G2 Så vi trenger en r_0, og det har vi jo?
G1 Vi vet jo at r_x er lik noe sinus eller cosinuser av theta L, da.
G2 Ja! Du har at r ... [utydelig tale] Da er faktisk y_0 lik minus ...
G1 y blir sinus, da.
G2 Ja.
G1 Minus?
G2 Teller du ikke fra ... Er ikke null origo der tauet henger, da?

G1 Ja, r er da ...
G2 Cosinus 30 er den delt på den.
G1 $r = cos(\theta)r\vec{i} + sin(\theta)r\vec{j}$? Du kan jo ikke ta minus? Da får du jo feil?
G2 Minus på y, jo? Det går jo nedover, jo?
G1 Men du tar jo sinus på vinkelen? Den bestemmer jo fortegnet?
G2 Det må jo bli minus nedover der? Positivt er jo oppover sånn.
G1 Ja, jaja, men poenget er at den har jo ikke vinkelen 30 grader som ... Jo, hvis man skal putte inn 30 grader her så må man ta minus. Men det er jo mye bedre å bare finne ut hva vinkelen er i forhold til horisontalplanet? For da blir jo ...
[...]
G1 Hm? Men man burde jo bare putte inn en vinkel og så skal sinus og cosinus bestemme fortegnet? Det er jo det de er her for?
G2 Ja, whatever.
[...]
G1 Jo, men da gjør den alt av seg selv, da. Jeg kan putte inn alle mulige theta-er og så setter den fortegnet riktig.
G2 Men du er jo bare ute etter de første koordinatene?
G1 Nei, jeg skal vel lage masse r-er? Nei, jeg veit ikke jeg. Hvis min går feil vei, så vet vi at det er noe feil.

Her prøver begge å tenke seg hvordan modellen best bør implementeres på datamaskinen og ser for seg en vinkelavhengighet (som forøvrig ikke er nødvendig) til å bestemme r. De blir uenige i hvordan fortegnene skal behandles med tanke på at vinkelen settes ut fra vertikalen og tauet (i fjerde kvadrant) i stedet for den vanlige horisontalen (i første kvadrant). Ingen tar til orde for en analyse av problemet, men diskusjonen blir heller avsluttet med den enkle forventningen om at “hvis min går feil vei, så vet vi at det er noe feil”. Dette er en tendens videre, der noen diskusjoner under programmeringen er som følger:

G1 Lager du deg enhetsvektorer, eller?
G2 Hmm?
G1 [bestemmer seg uten respons] Nei, jeg bare lager sånne vektorer jeg, så håper jeg at python klarer å gange sammen selv.
G2 Ikke med sånne lister sånn som du gjør?
G1 Neinei, men må skrive array, da. Ja. Det liste-greiene, altså ...

Igjen prøver G1 på noe og håper på det beste; han håper at python klarer å gange sammen selv. Litt senere kommenterer G1 denne fremgangsmåten selv:

G1 Jeg kjenner at dette er litt sketchy opplegg, altså. Fra min side.
G2 Ja, jeg kjenner også at det er litt sketchy, for at – den r-en – den er jo ...
G1 Ja, jeg må jo lage en r_0 og v_0, takk.
I Hva er det som er sketchy nå, egentlig?
G1 Nei, jeg bare ... Jeg er ikke helt sikker på hva jeg gjør. Så får jeg heller bare se om jeg gjør noe feil etter hvert.

Med samme framgangsmåte og holdning velges også etter hvert en dt:

G2 Hva skulle vi bruke n som? 10? Nei?

G1 Nei, jeg veitta fader jeg. 10, nei, tja.
G2 Får sette dt til 0,1 da og ... [utydelig mumling]

Hele veien er det en tendens av at det letteste er prøv-og-feil-metoden i håpet om at feilmeldinger fra kjøringsforsøk vil løse opp eventuelle problemer. Guttene tyr aldri til hjelpemidler av noe slag – verken mekanikkpensum eller, det kanskje mer aktuelle i denne delen av oppgaven, pensum fra INF1100.

Programmeringsfasen og håndtering av problemer som oppstår

Det blir en del trøbbel med programmeringen og feilsøkingen. De bruker mye tid på prøv-og-feil uten å komme særlig vei. Deler av problemene og løsningene forløp som følger:

G2 Ja, det var jo nydelig! Hehehe! [ironisk]
G1 Hahah!
G2 Nei, jeg beveger meg ikke på sånn ti i sjette og sånn
I Haha, nei, den var litt tvilsom, kanskje.
G2 Ja, jeg ville sagt at den posisjonen her er litt tvilsom. Pendelen bare – "pjiuoooo"! [fyker av gårde]
G1 Jajajaja, jaja!
G2 Helvete, da. Vær så snill, nå ber jeg om at det står en feilmelding der. Jada, det var ikke en liten en heller. "Deprecation warning".

Feilmeldingene kom som bestilt, men ikke alle var like lette å tolke. En del tid blir brukt på å undersøke om plottekommandoene ble utført på korrekt måte. G2 valgte en verdi av dt ganske tidlig i programmet, mens G1 har ventet litt med å gjøre det. Han gjør det på en mindre eksplisitt måte:

G1 Altså, t er 10 – vi skulle plotte i ti sekunder. Så setter jeg n lik 100, da er dt - hvor gjør jeg det, da? Den trenger jeg ikke. Og da kan jeg si at dt det er t delt på n.
[...]
G1 Den r-en min er skremmende lik seg selv, holdt jeg på å si. OK. Det er noe feil med ... Åja, det er ikke så rart, "$v + dt \cdot a$", da er det a-en min som er feil, da.

Begge skriver ut resultater fra kjøringen og ser at initialverdier er satt og blir registrert riktig, men etter ett steg er akselerasjonen fullstendig gal og følgelig er også fart og posisjon det. G1 sine tall blir null, mens G2 sine tall fyker til værs. Ovenfor ser vi at G1 henger ut akselerasjonsfunksjonen (-formelen) i programmet som syndebukk, og ikke lenge etterpå gjør G2 det samme:

G1 Det var en voldsom akselerasjon?! [om G2 sine tall]
G2 Tusen, ja! Det var jo nydelig.
G1 Og så får *jeg* null utslag? Heheheh. Dette er jo bare ...
G2 Altså, jeg tror det er allerede på akselerasjonsformelen min.
G1 Hehehe, det er sånn jeg sitter også. Åja! Her er det noe rart. Når jeg printer ut r_0 ganger – dette var r_0 – og så ganger jeg det med dt så får jeg null!

Rett etterpå innser derimot G1 at hans feil lå i at han delte på massen i uttrykket for akselerasjonen og den var angitt som et helt tall – heltallsdivisjon. Dette var opphavet til hans problemer, og i oppstyret etter å ha "løst" sitt problem, blir G2 sitt helt avgjørende spørsmål fullstendig oversett:

G2 Hva har du *dt* som da?
I Åh, haha!
G1 Aaaaaaahhhhrg!
I Faktisk heltallsdivisjon! Jeg håper det var hele feilen. Det pleier jo å være det.
G1 Det håper jeg også! Å fy fader, det er første gang jeg har gjort, tror jeg. Å faktisk ha glemt meg på det. Hmm, åja, jeg har ikke med plottekommando, da er det ikke så rart.
G2 Hvis du får noe riktig nå, så ... [...]
G1 [...] Hah, da var jeg tilbake der jeg var, ja. [lik oppførsel som G2 sin]
G2 Men, altså, det må være noe rart med akselerasjonsformelen min. Det er det eneste jeg kan tenke meg at er noe rart her. Den starter jo på riktig sted. Hvis jeg tar med noen axis. Og liksom ser på ...

Begge fokuserer deretter fullstendig på akselerasjonsformel og plottekommandoer, og som eksempler på hvor langt vekk fokuset ligger på steglengden, følger et par sitater:

G1 Hvorfor får jeg så vanvittig stor akselerasjon?! Minus m? Åja! heheh. Nei.
[...]
G1 Hæ? Åja! Man må kanskje gange r-en med L? Men jeg får fortsatt helt latterlig akselerasjon, da.
[...]
G2 Hahaha, etter tiden 0,1 har den fått en akselerasjon på 10g nedover! Og jeg aner ikke hvor mange g i motsatt x-retning.
[...]
G1 Heheh, vent da. Altså, r_0-en min er jo null. Så r_1 blir jo null pluss den første farta som også er null. Vent da. Nå får jeg sikkert nærmere deg.
G2 Ja, jeg brukte Cromer.
G1 Nå fikk jeg en annen graf igjen, da.
G2 Hahahaha. Ja, det er det samme som jeg hadde. Eller HAR, da. Beklageligvis.
[...]
G2 Jeg skjønner ikke jeg, altså. Den bare danser oppover jo. Akkurat som om fjæra var helt gæærn.
[...]
G1 Men hvis man tenker seg at man printer ut v_1, så skal den være “[0,$-9.81 \cdot dt$]” – noe den er.
G2 Mhm. Hehe.
G1 Så v_1 er riktig. Og r_1 blir da gitt ved r_0 som også var riktig, pluss farta v_1, som er riktig, ganger dt.

Det hele er preget av en stor del “prating med seg selv” og ytring av irritasjonsmomenter. En gang i blant sammenlignes grafer og utskrifter. I det helt siste sitatet presiserer G1 at *alt* er riktig bortsett fra *dt*, men åpner likevel ikke for at det kan være noe galt med den. Steglengden er mer eller mindre “gitt” for lengst og kan ikke være opphavet til problemet. Ettersom dette viste seg å ta forferdelig mye tid uten å føre noen vei, og jeg for en stund siden hadde fått en mistanke om at problemet kunne ligge i steglengden, valgte jeg etter hvert å bryte inn:

I Du har dt på 0.1 nå, ikke sant? Prøv å gjøre den mer fin [...]
G1 Ja, skal vi se.
[...]

G2 Det kan faktisk være det!
I Det var det, faktisk!
G1 Hahaha!
G2 Okei, om jeg hadde lyst til å drepe noen i stad, så fikk jeg veldig mye mer lyst til å gjøre det nå.

Begge blir lettere sjokkert, lettet og irritert når de endelig får grafer som gir mening, og som en direkte konsekvens kommer en liten digresjon om metodevalg for å løse differensiallikninger:

G2 Altså, det var rett og slett bare Euleren som ikke klarte å gjøre det bra nok! Hvorfor bruker vi ikke Runge-Kutta 4? Hvorfor gjør vi ikke det?!
G1 Runge-Kutta! Ja, jeg vet ikke jeg? Vi kunne gjort det, da?
[...]
G1 Den hadde nok klart det mye bedre. Hvor mye bedre er Runge-Kutta enn Euler, da? Det er ganske mye?
G2 Altså, Euler er bare h, liksom. Det er jo det mest ræva du får tak i.
G1 Ja, men Runge-Kutta, hvis du bruker 4, er det h^4, liksom? Ja, så feilen ville jo blitt ekstremt mye mindre.
G2 Runge-Kutta er jo helt ekstrem, liksom. Vi prøvde med helt sinnssyke verdier på dt, sånn tilnærmet lik 1, og den fulgte jævlig bra, liksom. Hvor Euler bare hadde driti på draget med én gang.
G1 Ja, fader - det vi egentlig burde gjort, det var det der den ODE-solver-greia vi lagde i fjor. Vi skulle bare importert den hver gang så kunne vi bare brukt Runge-Kutta-en.
G2 Ja, "from ODE-solver import Runge-Kutta 4" og kjørt det inn der.
G1 Ja, men det er ikke noen grunn til - vi har vel lov til å gjøre det? Har vi ikke det, da? Vi må ikke bruke Euler, han bare foreslår det? Men vi viser jo ikke at vi løser, men det er kanskje ikke så viktig – når vi importerer noe vi allerede har laget så viser vi jo ikke at vi løser diff-likninga da. Da skjer det bare "av seg selv". Men nå gjør vi jo det samme hver gang, bare.
G2 Men når vi fører inn i LaTeX, helt på starten fører inn "det her er programsnutten runge-kutta4 som jeg importerer" ...

Her berører guttene et viktig tema innenfor beregningsorienterte fag, nettopp det å bruke ferdige metoder fra programpakker og viser både kunnskap og vilje til å kunne løse problemet på en slik måte. G1 viser til og med selvinnsikt i at de da ikke ville vist framgangsmåte og at systemet ville blitt løst "av seg selv".

"Det er et ganske stramt tau, da. Vi kan prøve å endre k."

Det aller første G2 gjorde etter å ha fått programmet til å gi riktigere grafer, også før den korte diskusjonen om "Runge-Kutta 4" ovenfor, var å prøve å skape mening i grafen:

G2 Ok, så den skal se sånn ut? Sånn vinglete?
G1 Ja, for den spretter opp og ned, vet du.

Og G1 fortsetter like etter diskusjonen om "Runge-Kutta 4":

G1 Det som hadde vært gøy var å si at theta var theta og strekke skikkelig i den! Nå sier vi jo at den er L. Det hadde vært gøy å se om vi klarer å få den til å "pjjiiifjiii" [kommentar: fly av gårde], liksom? Med programmet?

G2 Hahaha, setter $2 \cdot L$, liksom?
G1 Det hadde vært gøy, da? Ja? $2L$? Hvorfor ikke $3L$? Jeg bare prøver jeg og ser hva som skjer. Ikke ti sekunder, da – det er ikke nødvendig.
G2 Ta to sekunder, bare se starten.
G1 Utrolig kult at det går, da. Ja, sånn! Det er kult, da.
G2 Ta tjue sekunder da og se om du får ...
G1 Jeg prøver $2L$ jeg og – den var kanskje litt vel ...
G2 Det – jeg tror det er et ganske så stramt tau, så $2L$ er fortsatt å dra den litt mye, tror jeg.
G1 Hehe, ja, det stemmer det.
G2 Der, ja! Der oscillerte den litt også.
[...]
G2 Det her er et mer realistisk bilde. For her ser man at man strekker den ut, men da ser du ikke oscillasjonene på samme måte, da. Også sprettern: “duiduidui”. Så det tauet ... Det er et ganske stramt tau, da. Vi kan jo kanskje prøve å endre k.
G1 Ja, for hvis du ser på det sånn her, så beveger den seg jo bare litt. Ja, det er vel på grunn av k det, ja. Ja, se der ja. Der er k lik 20. Den blir hengende i en strikk.

Det første G1 ønsker å gjøre er å eksperimentere med programmet de har laget, og G2 henger seg raskt på. Begge blir entusiastiske og prøver å dra i strikken, men ender bare med at den spretter svært raskt rundt origo. G2 er ikke fornøyd med dette resultatet og endrer fjærkonstanten i håp om en mer observerbar “strikk-effekt”. Dessverre mener også G2 etter ganske kort tid at det eneste de gjør nå er “å kaste bort tid” ettersom dette ikke er en del av oppgaven.

Drøfting av resultatene

Ingen ønsker vel “å kaste bort tid”, så de går derfor over til å “describe and interpret the motion”, som gitt fra oppgaveteksten:

G2 Det virker som om det bare vingler litt, og sånn.
G1 Fordi ... Når man slipper den ...
G2 For du holder den, så slipper du, så detter den litt ned. Du kan jo tenke deg at den går jo egentlig sånn uansett. Men så går den litt sånn, ikke sant.
G1 Jaja, men g må jo da ... Altså, siden den spretter inn her.
G2 Den kommer opp igjen? Hvis du tenker deg at bevegelsen hadde vært sånn da, med $k = 10000$, så er jo bevegelsen en sirkel.
G1 Det er ikke det som er spørsmålet. Spørsmålet er hvorfor den beveger seg som den gjør, for det må jo ha med kreftene som virker på den å gjøre.
G2 Nei, altså, det er fordi den har evnen til å ... At den går opp og ned ...
G1 Nei, jeg veit hvorfor den går opp og ned, men *hvorfor* går den opp der den går opp og går ned der den går ned? Det er jo det vi må beskrive?
G2 Det er fordi den begynner med å dette ned, er det ikke? Den begynner i L – så vil g dra den litt ned.
G1 Så det er L der og så dytter g den litt sånn at den spretter opp igjen og så drar g den ned igjen og så ... Ja.
G2 Den begynner i L, g drar den ned til det punktet hvor kraften oppover blir større enn det g klarer å dra ned, da drar den opp. Og så begynner g å dra ned igjen. Og så drar krafta oppover igjen. Og så blir det bare et spill mellom det til energien er borte.

G1 Energien blir jo ikke borte.
G2 Borte fra strikken.
G1 Ja, sånn sett, ja.

Det siste synes jeg er verdt en utdyping, ettersom det ikke er noe i modellen som skulle tilsi at energien blir borte:

I Ja, men ... Blir den det?
G2 Altså, det går jo over til varme og sånn, da.
G1 Nei, ikke i den modellen her?
G2 Nei, ikke den, nei. Men hvis du tenker virkeligheten hva som skjer?
G1 Jaja, men ikke etter modellen vår. Vi kan jo bare legge på luftmotstand da, så får vi ... Vi kunne kanskje gjøre det.
G2 Ja.
G1 Ja, skal vi gjøre det? Det er jo ikke noe problem det?
G2 Hvorfor i all verden vil du det, da?
G1 Det er gøy, da! Kanskje gjøre oss ferdig med obligen først, og så kan vi gjøre det?
G2 Du kan sitte med de optional-oppgavene, du! Og kose deg!

Det var en strikk fra hverdagen G2 beskrev og ikke den de har med å gjøre i denne modellen. G1 får som følge av dette lyst til å prøve å legge inn noe som kan endre dette, for eksempel en modell for luftmotstand. Dette blir hindret av G2 sin frykt for å "kaste bort tid".

Begrensninger ved modellen – eller virkeligheten?

I oppgave h) blir de bedt om å beskrive noen begrensninger ved modellens evne til å modellere en pendel i et *stivt* tau – eller en stav, om vi vil. De finner raskt ut at det er fjærkonstanten de må endre på, og analyserer hva som skjer rent matematisk:

G1 Så hvis vi gjør det med 2000 så vil den gå veldig sånn, ikke sant? Da vil den bare så vidt ...
G2 Da vil den være tilnærmet en vanlig pendel, for en vanlig pendel er jo bare en metallfjær bare at den har sinnssyk k, da. For en metallstang er jo bare en sinnssyk fjær, egentlig.
G1 Så først må den ... "limitations to this approach" ...?
G2 Hva er begrensningene? Hvis du ser på akselerasjonen – hvis k er lik 2000, hva er det som faktisk skjer da? Da blir jo bare det leddet du tar minus av jævlig svært, da?
G1 Hvis du ser på kraften, da?
G2 Men hvis du ... Den begynner jo i L. Og med en gang du prøver å dra den, så drar den tilbake drithardt, ikke sant? Så du får jo ikke gjort ... Med en gang tyngdekraften detter ned, så tar det et millisekund før den fjæra holder igjen. I stad tok det litt lenger tid og så ble den dratt opp igjen og ned igjen.
G1 Men er ikke det hele poenget med et stiff rope, da?
G2 Jo? It looks like this: Den spratt ikke så mye. Det er jo ikke noe vits i å skrive et nytt program, er det det? "Describe the motion in this ..." Veldig små oscillasjoner. Hvilken k skal vi bruke, da? Bare bruke en svær k?
G1 Men kan det være at kraften i den retningen der kan bli så stor at ...
G2 Du kan tenke deg en stiv stang som en super-dupersterk fjær! Det skriver jeg. Sette k lik 40000.

G1 Se nå, nå blir det kanskje litt for mye for den Euleren her, tror jeg.
G2 Oi! Det her var med 4000.
G1 Jaaa, det er det jeg mener at den kan bli så stor at den trekker liksom, uten at den egentlig skal gjøre det.
G2 Den bare imploderer, da! At det blir så stor ...
G1 Men har du vanlig L hos deg, da?
G2 Da tror jeg på en måte at den blir SÅ sterk at den ikke klarer å holde seg i ro uten å klikke?

Ettersom svakheter med Euler allerede er fremmet som syndebukk, tenkte jeg at guttene allerede var på sporet av *dt*. Det var ikke lenge siden den skapte problemer med hele modellen (i starten av oppgaven). Likevel snakker de tidvis om en “sinnssyk fjær” og mumler litt hver for seg over grensa for når modellen bryter sammen mht. makstid og fjærkonstant, så jeg bryter inn:

I Hva er din dt, da?
G1 10/2000
G2 Jeg har bare 10/100, jeg. Nei, 10/1000, mener jeg.
G1 Ja, jeg kan se hva som skjer med min med 10/1000, da.
G2 Jeg tror ikke det er så veldig fascinerende, egentlig.
G1 Er det rett og slett bare for dårlig t, liksom? Nei dt?
G2 Ja, altså, kan vi si at limitations da er avrundingsfeil?

Ok, så de var kanskje ikke helt på sporet likevel, så her er det verdt å undersøke deres alternative tolkninger:

I Hva er det andre dere mente det var?
G1 Var det noe annet? Heheh.
G2 At det var ...
G1 Neida, men jeg sliter litt med å sette meg inn i modellen.
G2 At fjæra ble for sterk?
G1 Det er sånn – at hvis du trekker – altså ... Kan den bli så stor sånn at hvis du bare trekker den bittelitte grann liksom, så flyr den bare sinnssvakt langt, da?
G2 Ja? Hvis en fjær har potensial til å utøve 40000 newton hvis du drar den en mikrometer, så kan du tenke deg hva som skjer da hvis den er L lang.
G1 Ja, ikke sant?

Det kommer tydeligere og tydeligere fram at guttene ser for seg nettopp det oppgaveteksten sier – en fjær med enorm fjærkonstant – men oppfatter problemet som at den nye “fjæra” nærmest vil rive i stykker hele systemet og ikke det som egentlig er problemet her: en numerisk feil som følge av steglengdevalget. Først prøver jeg å endre troen på at noen (ut over gravitasjonen) “drar” i fjæra, så griper jeg fatt i G2 sin sammenlikning mellom en metallstang og en veldig stiv fjær:

I Du trekker den ikke her da, men det er gravitasjonen som trekker den.
G1 Ja, eller ... jaja, det blir jo det ... Ja.
I Men hva var det dere sammenlignet med i stad? Et så stivt tau? Eller en så stiv strikk, da?
Begge En metallstang?

I Så en metallstang i pendelbevegelse vil fly ...?
G1 Nei?
G2 Nei, den kan jo ikke det?
G1 Nei, det er det jeg mener, men det kan den kanskje med den modellen her?
G2 Hahah, ja.
G1 Jo, altså, sett at du har en metallstang, da. Og trekker den litt sånn, så vil den jo ... Neeei, det gjør kanskje den og, det.
G2 Hvis du trekker en metallstang, så vil du deformere den. Den vil jo ikke trekke seg sammen igjen.
G1 Det vil den vel? Til en viss grad, jo.
G2 Hvis jeg tar en metallstang og brekker den, så vil den jo ikke "biooiiiing"? Den har jo ikke det – den har ikke den egenskapen?
[...]
G1 Ja, men den modellen her – gir den da noe kraft hvis dette er et tau – og du drar i den – så slipper du den, så vil jo ikke et tau dytte den veien igjen? Et tau vil jo bare gå opp og så ... Et tau drar bare, men dytter ikke.
G2 Men hvis det tauet har en k på 40000 så dytter det.
G1 Hæ? Nei, det jeg mener er: Et tau vil bare ha spring force hvis du drar – ikke hvis du dytter. Hvis du dytter inn så vil den jo bøye seg, da.
G2 Det vil jo en slapp fjær også?

Her blir begge to ganske pedantiske igjen og diskuterer forskjellen mellom et tau og en fjær og hvorvidt det er et tau eller en fjær vi modellerer. Denne diskusjonen bærer galt av sted og jeg bryter inn:

I Men hvordan forklarer dere den ville bevegelsen? Som dere fikk først?
G2 Det er vel at den flyr til alle kanter, da?
G1 Det er jo at den snorkrafta blir jo helt vanvittig stor av bare veldig sånne små endringer der, da. Så g-en gjør bare en liten endring, så da gir den modellen her en vanvittig stor kraft tilbake?
I Og hva skjer da?
G2 Da spretter den dritlangt?
G1 Da spretter den jo dritlangt, da?
I Ja, hvordan spretter den? Ville det skjedd i virkeligheten?
G1 Nei, men den gjør det ikke her heller om du har fin nok dt, da?

G1 nevner hele tiden svakheter med modellen og her igjen spørsmålet om fin nok steglengde, men hver gang dette blir nevnt, styrer likevel diskusjonen inn på en "sinnssykt sterk fjær" fra den virkelige verden og hvordan den oppfører seg. Det er på tide med litt oppklaring, så jeg velger å delta mer og mer som rettledende spørsmålsstiller:

I Ja, for hva skjer der, liksom? [ser på grafen der fjæra "flyr sinnssvakt langt"]
G2 Nei, den bare flyr fram og tilbake sånn, da? Gjør den ikke det da?
[...]
I Og hvordan er det fysisk ...?
G2 Nei, det er vel sånn at med en gang han får en forflyttelse – sånn at r-L-leddet ikke er L-L så blir den 40000 selv om den er ganget med noe veldig lite, så blir det veldig mye – og akselerasjonen blir plutselig veldig stor. Og så vil den der fly til helvete et sted. Og der vil den jo være ekspandert noe helt sinnssykt?

I Men fjæra flyr, liksom? [...]
G1 Nei, det er på grunn av modellen!
G2 Den henger jo i fjæra da, og da må jo fjæra følge etter?
[...]
G2 Ja, det som hadde skjedd i virkeligheten er at ...
G1 Det er jo det som hadde skjedd i virkeligheten med en fjær?
G2 Da ville hele pendelen blitt ødelagt fordi det hadde kommet så mye krefter og knust alt!
[...]
G2 40000 newton i en fjær som er hengt i pendelen – jeg ville ikke vært pendelen!
G1 Hvis du ser for deg en ekstremt hard fjær da – og du bruker veldig mye kraft på å trekke litt i den ...

Mitt forsøk her er å få guttene til å se at selv om fjæra har en fjærkonstant på 40000, eller et hvilket som helst stort tall, ville den likevel ikke “knust alt” ved kun å bli satt i en pendelbevegelse under påvirkning av gravitasjonen. Det kan hende dette er med på å ta fokuset vekk fra steglengdeproblemet, men poenget er at fjæra blir *ikke* trukket ut av en sterk kraft, som er det forklaringene handler om, men likevel “flyr” og “spretter” fjæra nærmest veggimellom.

I Men bruker du mye kraft her?
G1 Neinei, men for å få trukket i den, da. Men bare hvis du klarer å trekke i den, liksom, selv om det er en ekstremt hard fjær, og du slipper – så vil den jo ikke fly sånn!
G2 Er det limitation, liksom?
G1 Så det er enda mer urealistisk at du lar gravity, hva heter det – tyngdekraften, virke, og så ...
G2 Jeg er inne på noe nå – jeg må bare prøve å få det ut. Det jeg tror er greia her nå er at du kan øke k og øke k og øke k, men du kommer til et punkt der k er så stor at du ikke kan behandle det som en fjær lenger. At du kommer til et sted der hvor ... Selv om du utøver en liten akselerasjon sånn at posisjonen ville endret seg litt og skapt fatale konsekvenser, så ville ikke det skjedd fordi den lille kraften ville ikke gjort en dritt med den fjæra?
G1 Ja?
G2 Sånn som en stiv metallstang.
G1 Men da er spørsmålet hvorfor det er sånn da – i vår ...
G2 Det er en slavisk programmert modell som må følge det vi sier.
G1 Nei, ja, så lenge vi ikke trenger å komme på en modell som er bedre, så er jeg fornøyd.
G2 Det tror jeg ikke er så veldig innen rekkevidde. En bedre modell ville vel sagt at hvis k var så og så stor, så ...
G1 Men samtidig så er det litt rart at det blir sånn at man trekker og så sprettern, for se at du trekker litt, da – så virker det en veldig stor kraft når du slipper. Eller, du trekker litt, og så virker det en veldig stor kraft, men da blir den jo dytta inn, så da skal det jo virke en like stor kraft motsatt vei igjen, da.

Her er G2 i ferd med å prøve å finne et forslag for en *bedre* modell, men blir avbrutt av G1 som begynner å tenke i mer riktige baner, men fortsatt eksemplifisert med en eller annen som trekker i fjæra. Jeg tar fatt i dette:

I Du trekker den ut sånn, ikke sant? Så vil den bevege seg opp igjen og stoppe, for den samme “sinnssyke kraften” virker på den sida. Så spretter den ned igjen.

G1 Ja.
I Men det skjer ikke her.
G1 Men det er derfor jeg lurer på om det ER det som skjer, fordi, hvis jeg har 4000 som tall – og så har jeg en n på 10 / 2000 – så blir det jo helt fint. Akkurat som i stad da jeg hadde ... Da hadde jeg jo fortsatt bare 200 her, men så hadde jeg ... Nei, jeg husker ikke hva jeg hadde, jeg. Sikkert ikke det engang. Og da får jeg akkurat samme greia.
G2 Men da er limitations det at datamaskinen ... Eller at du kan nå bare et så og så stort nivå til du ikke kan beskrive det uten å få avrundingsfeil, da? For du kan jo sikkert finne en n-verdi som tilsvarer at 40000 ville gått helt riktig, men den ville vært så liten at du klarer ikke ...

Guttene er svært nærme "riktig løsning" og de har brukt fryktelig lang tid på dette. Jeg velger å prøve å hjelpe til litt med å strukturere ideene som har kommet frem uten at jeg egentlig sitter med noen ren fasit på oppgaven:

I Ja, jeg veit ikke hva han spør om, altså, om hva han spør om – hva som er limitation. Men det som skjer der er at du trekker den ut og at krafta virker så sinnssykt at du får en akselerasjon som beveger den – *SÅ* langt da, på vårt lille neste tidssteg – altså, problemet er jo at vår tid er diskretisert og at den har gått *SÅ* langt før neste tid blir tatt med i beregningen, ikke sant? Slik at motkrafta aldri rekker å få virket før den er forbi origo og langt uti ... ja.
G1 Ja!
G2 Åja! Haha.
G1 Nettopp, så når motkrafta fungerer så er den lille r-en langt borti huttiheita, selvfølgelig!
I Ja, fordi den fikk så veldig stor akselerasjon på den første lille bevegelsen.
G1 Så du trenger rett og slett uendelig nøyaktighet da for å klare å bruke den der modellen.
[...]
G2 Du kan aldri få en delta t som kan matche – liksom – du kan jo velge delta t til å være 1/10000, men da kræsjer bare maskinen.
G1 Jaja, men hvis du skal ha et helt stivt tau ... Nei, jeg synes det er en dårlig modell for et tau uansett, jeg, men en helt stiv fjær da, eller hva det nå skal være, så må du ... Nei, fanken da. Hvis du velger det høyeste tallet du kan få på datamaskinen, da, til en k. Så går det ikke an å finne en dt til å bruke den modellen.
G2 Nei, altså, hvis du kommer under et nivå så får du avrundingsfeil uansett.
G1 Du får det ikke så veldig stivt, for du klarer ikke å få så små tidssteg.
G2 Når du tar delta t og ganger det med akselerasjonen og delta t er liten nok, så tar datamaskinen og regner det som null.
[...]
G2 For datamaskinen tar jo ikke og regner ut hva som egentlig fysisk hadde skjedd fra den spratt hit til dit, for egentlig så er den jo der og blir dytta tilbake igjen, men han er der og da blir den jo plutselig der, og plutselig der.
G1 Men har vi ikke funnet en limitation da, da?

Guttene fortsatte deretter med en rekke av plotteøvelser, litt dekomponeringsproblemer og diverse "finpuss". Ingen av optionaloppgavene ble gjort ettersom de syntes nok tid allerede var brukt på oppgaven og deloppgave k) ble nedprioritert til fordel for inntak av mat. Det oppstod ingen nye store diskusjoner.

5.3.2 Gruppe 2: Jentene

Møtet med oppgaven

Jentene tar raskt opp kompendiet og skrivesaker. Etter litt lufting av frustrasjon over enhetsvektorer, begynner de å lese oppgaven nøyere. J1 uttrykker en viss lettelse over at luftmotstanden ikke er tilstede, og finner videre fram til hvordan de skal behandle fjærkrafta:

J1 Null luftmotstand, ja. Da blir det ikke så vanskelig.
J2 Ja, okei, så vi skal se på den snora som ballen henger i – vi kan se på den som en fjær, da.
J1 Ja.
J2 Med fjærkonstant k.
J1 Da er formelen for – for det står "you may describe the force from the rope using a spring model" og den formelen står på side 164.

Tegningen av kraftdiagrammet går for seg ganske problemfritt, men på samme måte som guttene får også jentene fortegnsproblemer med akselerasjonsuttrykket:

J1 Her skjønte jeg ikke helt hvorfor det er -mg.
J2 Det er vel positiv retning oppover, da?
J1 Ja, men da vil den andre? Nei, vent nå.
J2 Den er vel negativ sånn at den er i positiv retning, holdt jeg på å si.
J1 Ja, den er i negativ retning, ja, ok.

Så gravitasjonen virker i negativ retning, men hva med det andre leddet? Etter litt småprat, spør jeg:

I Ja. Men det neste leddet, da?
J1 Den har ikke noen sånn vektor.
J2 Nei, fordi det er hele posisjonsgreia er over lengden – er det lengden på tråden?
J1 Men $\frac{\vec{r}}{r}$ er det sånn enhetsvektor det da?
J2 Ja, det må være det da?
J1 Ja.
J2 Men det må være i ... Det må være enhetsvektor i retninga – blir det ikke det da? Når du drar ut banen så blir retninga bare rett opp mot sentrum da?
[...]
J2 Skal vi bare henvise til modellen – fjærkraftmodellen – for det som står på side 165? 164? Ja, vi kan bare skrive ned det som står der.
J1 Jaja, vi kan bare skrive ned det som står der [leser høyt fra kompendiet]. Og så bare fjerner vi den fordi den er lik null og setter fjæra til å være festet i origo?
J2 Ja, okei, så origo er toppen av snora, da?
J1 Ja, for da blir den formelen unit vector u_r blir $\vec{r}$ delt på absoluttverdien til $\vec{r}$ – og det er det vi har.

Jentene bruker altså kompendiet hyppig når de skal skape en forståelse av fjærkrafta og få fortegn og enhetsvektorer til å stemme overrens med modellen. Videre går det å finne akselerasjonen greit – det er jo bare å dele kraftuttrykket med massen. J1 stiller seg derimot spørrende til om det kan være lurt å dekomponere nå med en gang, for hånd, eller om det kan vente til programmeringsøkten:

J1 Nå har vi bare et helt generelt uttrykk for akselerasjonen og vi vil jo etter hvert kanskje ha det spesifikt i x-retning og y-retning?
J2 Ja, kanskje vi skal finne uttrykk for det med én gang, eller? For det neste er jo å finne bevegelsen.
J1 Jeg vet ikke, jeg.
J2 Ja, for å finne bevegelsen til objektet så må vi jo uansett ha akselerasjonen i x- og y-retning, så det er kanskje greit å finne det med en gang?
J1 Ja. Jeg er litt usikker på om det er nødvendig å gjøre det på papir eller om vi bare skal gjøre det i programmet – når vi lager det.
J2 Ja, for du pleier ikke skrive inn for hver retning i programmet?
J1 Jo, forsåvidt.
J2 Altså, vi kunne ha laget i x- og y-retning, men det som er ... Den må jo hele tiden ... Når den skal finne ...
J1 Det er bare det at akselerasjonen i x-retningen kommer an på vinkelen.
J2 Ja, ikke sant, så du må oppdatere vinkelen hele tiden, da?
J1 Ja. Jeg lurer på om vi bare skal gjøre det på pc-en. For det står jo bare "finn et uttrykk for akselerasjonen". Vi trenger ikke gjøre det mer komplisert enn det er.
J2 Nei, okei, det var c). "Finn et uttrykk for akselerasjonen", da har vi gjort det.

Jentene slår seg til ro med at de har gjort hva oppgaven ber dem om, og velger å fortsette. Begge har en formening om hvordan dekomponeringen burde foregått, men unnlater seg å gjøre det i påvente av at det blir spurt om eksplisitt i oppgaven.

"Prescribe the motion of the ball"

Jentene går raskt videre og leser den engelske oppgaveteksten, men har litt problemer her og der:

J1 "In this project we will not prescribe the motion of the ball, but instead use Newton's second law to determine the motion" - hva betyr det? Prescribe ...
J2 Er det ikke det man alltid gjør da? Bruke Newtons andre lov for å finne akselerasjonen? Og så finne farta, og så finne "motion"? Er ikke det bevegelsen, da?
J1 Jo, det er bevegelsen. Da må man dobbeltderivere [mener nok *integrere*] akselerasjonen som vi har funnet fra Newtons andre lov. Så kanskje de bare mener at vi har akselerasjonen fra Newtons andre lov i stedet for at de bare har gitt den til oss. Sånn som forrige gang når vi fikk en liste og sånn.
[...]
J1 "In this model we can measure the tension in the rope as well as the motion of the ball and analyze these to learn about the motion".
J2 Det virker jo som ...
J1 Vi må finne snordraget.
J2 Ja. Det som skal skje er vel at den ballen, liksom, i tillegg til at den, hva er det det heter – pendler – holdt jeg på å si – så vil den jo gå opp og ned fordi det er en fjær? Det er vel det som er poenget med å beskrive bevegelse.
J1 "It is customary to describe the position of the pendulum with the angle with the vertical alone. Does this give a sufficient description of the ball in this case?"
J2 Skal vi se – det er vanlig å beskrive posisjonen til pendelen bare ved hjelp av ... ehh
J1 Altså, for å vite hvor ballen er, så må vi vite vinkelen og ...
J2 Men her står det jo at det er vanlig å beskrive posisjonen til ballen ved hjelp av vinkelen.

J1 Men det er jo hvis tauet ikke strekker seg. Og så står det jo ...
J2 Gir dette en god nok beskrivelse av posisjonen til ballen i dette tilfellet?
J1 Det gjør det jo ikke fordi snora strekker seg.
J2 Ja.

Direkte påfølgende dette, "løser" de neste oppgave raskt som følger:

J1 Ehm, "if the ball is at zero angle with no velocity, what is the position of the ball?". Da er det vel 0 i x-retninga og $-r_0$ i y-retninga?
J2 Ja. Men jeg tenker på – ja, det blir jo $-r_0$? Vi skal ikke skrive ...

Diskusjonen går nå inn på om hvorvidt de skal angi svaret med kartesiske koordinater eller polarkoordinater. Når denne diskusjonen nærmer seg slutten, spør likevel J2 meg i forbindelse med koordinatsystemvalget, og jeg antyder en blindvei i en annen retning:

J2 Hva burde vi gjøre? Har vi gått på en blindvei?
I Ehm, er dere sikre på at dere har riktig svar i det hele tatt? Nå?
J1 At posisjonen er ...
I Vil den henge i r_0? Nedover?
J2 Altså $-r_0$?
I Ja, altså $-r_0$, da.
J1 Hvis du tenker på massen til kula - at den drar snora litt?
J2 Ja, fader! Det tenkte ikke jeg på!
[...]
J2 Hmm, men vi har jo ikke fått ... Ja, da vil det virke en kraft mg da – nedover – som drar fjæra.
J1 Skal vi sette den $mg =$ [resten av uttrykket]?
J2 Ja, fordi summen av krefter er da null fordi farten [mener nok *akselerasjonen*] er null. Blir det ikke sånn?
J1 Nei, for du må tenke på at kraften som virker på snora er den kraften som kula har og kula har kraften mg – og når du da vet kraften på snora så kan du finne ut hvilken lengde den er dratt i.
J2 Jaja, men vi må jo først finne snordraget. Eller snordraget er vel mg?
J1 Ja, snordraget er jo mg.

De finner så raskt fram til både riktig løsningsmetode og riktig svar etter at jeg stilte spørsmålstegn ved løsningen deres.

Programmeringen begynner – men den er jo dobbeltderivert?

Jentene går nå over til programmeringsbiten av oppgaven, og uttrykker i den forbindelse:

J1 Nå kan vi programmere!
J2 Å, jess, "wiiuuuh"!

J2 begynner å skrive "fra scratch", som hun vanligvis pleier å gjøre, mens J1 vil hente fram et program fra INF1100, eller fra tidligere i semesteret (f.eks. fra oppgaven omtalt tidligere i dette kapittelet). Jentene setter opp programstrukturen og velger parametre litt på samme måte som guttene:

J2 Hvor mange punkter skal vi ha, da? 100? Er det for mye?
J1 Neeei, det holder det.

Videre støter J1 på et problem når hun skal bruke programmet hun har laget tidligere:

J1 Vi skal integrere den "numerically" – det er jo greit. Bortsett fra at vi har en differensiallikning her som har dobbeltderivert.
J2 Akselerasjonen er jo avhengig av posisjonen her, så ...
J1 Ja, det er det jeg sier.
J2 Åja.
J1 Det gjør det litt tricky.

J2 ser egentlig ikke problemet, og hun har heller ikke kommet like langt ettersom hun skriver fra bunnen av, og velger derfor å ikke kommentere det nærmere. Begge arbeider heller videre hver for seg. Mens de prøver å sette en startposisjon ved å finne x- og y-koordinatene ved hjelp av r og startvinkelen, fremmer J1 igjen problemstillingen sin:

J1 [...] Åssen blir det? Vi skal dobbeltintegrere og ikke enkeltintegrere som vi pleier?
J2 Ja, men vi må jo gå om farten likevel?
J1 Jaaaaa, men vanligvis så pleier du ...
J2 Jeg pleier iallfall å gå via farta, jeg vet ikke hva du ...
J1 Ja, jeg pleier det jeg også!

Igjen fortsetter begge å arbeide hver for seg uten noen nærmere diskusjon. De har forskjellige problemer som må løses, og J2 ser ikke J1 sitt problem. Etter litt mer snakk om dekomponering (kommer under neste overskrift), lufter J1 sitt problem atter en gang:

J1 Det jeg sliter litt med er at i en differensiallikning så skal du ha akselerasjonen som et uttrykk av farta, mens her så har vi akselerasjonen som et uttrykk av posisjonen, så vi må dobbeltintegrere det alt i en jafs.
J2 Vi pleier vel egentlig ikke å ha et uttrykk av – altså – akselerasjonen som et uttrykk av farta, gjør vi det da? Det er bare det at vi bruker det $\frac{dv}{dt}$-opplegget og så integrerer vi for å få farta for så å få posisjonen.
J1 Ja, men Foreward-Euler – den fungerer jo sånn at du har en funksjon for akselerasjonen uttrykt med blant annet farten – altså uttrykt med farten og tida.
[...]
J2 Jeg bruker aldri – sånn – den metoden, da. Når man setter inn sånn ... Jeg lager hver gang. Men – så jeg skjønner ikke helt det at den må ha farten. Eller et uttrykk for farta, da.
J1 Ja, hmmm. Kan jeg få se på det du har gjort, da?

J1 får se på hva J2 har gjort uten at de snakker så alt for mye. Etter at J1 har satt seg tilbake for å revidere sitt program, spør etter hvert J2:

J2 Har du fått til ...?
J1 Ja, jeg skjønner det litt bedre nå. Jeg pleier å bruke en funksjon for akselerasjonen inni for-løkka. Og det er egentlig veldig lurt, men det forvirrer meg litt av og til. Men jeg bare gjør den sånn som du gjorde den i stad, jeg.

Her har J1 valgt (eller hentet fra tidligere program) den første metoden fra kommentarboksen, mens J2 har valgt den andre metoden.

Kommentar: To skrivemåter

Jentene står mer eller mindre fritt til å velge sin “programmeringsstil”, men i INF1100-kurset har de blitt oppfordret til å lage funksjoner for å få programkoden nærmere matematikkspråket og mer strukturert. Her kommer et eksempel på en integrering av en (helt vilkårlig) valgt akselerasjon med sin eksplisitt gitte funksjon “acc” som avhenger av både fart, posisjon og tid, ved hjelp av Euler-Cromers metode:

```
def acc(v,x,t):
    D = 300 # drivkraft
    luftmotstand = 0.4*v**2 # kraft som er proporsjonal med v^2
    posisjonmotstand = 0.34*x # kraft som avhenger lineært av posisjonen
    tidstilleggskraft = 0.12*t # kraft som avhenger lineært av tiden
    total = D - luftmotstand - posisjonsmotstand + tidstilleggskraft
    return total # sender tilbake utregningen

for i in range(n-1):
    a[i] = 1/m*acc(v[i],x[i],t[i])
    v[i+1] = v[i] + a[i]*dt
    x[i+1] = x[i] + v[i+1]*dt
    t[i+1] = t[i] + dt
```

Den andre metoden er å skrive inn direkte i Euler-Cromer-løkka:

```
for i in range(n-1):
    a[i] = 1/m*(300 - 0.4*v[i]**2 - 0.34*x[i] + 0.12*t[i])
    v[i+1] = v[i] + a[i]*dt
    x[i+1] = x[i] + v[i+1]*dt
    t[i+1] = t[i] + dt
```

Den første metoden har, som sagt, fordeler ved at den kan gjøre koden mer ryddig og strukturert. Du selv er med på å navngi de forskjellige kraftuttrykkene og kan på den måten få bedre oversikt og forståelse for hva som inngår. Den andre metoden gjør det hele mer kompakt, men mindre oversiktlig.

Dekomponering av snorkraft og r – nødvendig med en vinkel?

På et punkt, etter litt stillferdig individuelt arbeid, lufter J2 sitt problem (før J1 sitt problem ovenfor ble løst):

J2 Altså, jeg har sånn ... Jeg gjør alltid sånn akselerasjonen a_x, a_y – jeg gjør i hver retning sånn. Jeg bruker ikke ...
J1 Ja, men da må vi jo ha ...
J2 Jeg bruker ikke matriser, altså.
J1 Neida, men da må vi jo ha et uttrykk for a_x og et uttrykk for a_y å sende inn?
J2 Det får vi jo fra den summen av krefter som vi fant i stad. Det som er ... For hver gang

vi kommer til posisjonen da – fordi man får jo først akselerasjonen, og så farten og så posisjonen, ikke sant? For hvert steg så må vi oppdatere vinkelen, da?
J1 Ja.
J2 Så det må jo egentlig være først i løkka, må det ikke det, da? Eller må det være til slutt? Nei, det ...
J1 Til slutt tenker jeg.
[...]
J2 Men akselerasjonen i y-retning – der har man jo g? Eller minus g, da.
J1 Ja. That's it?
J2 Nei, g, og så minus ... Og så må man jo bruke det vi fant i forrige oppgave – at vi delte på m overalt. Og så setter vi inn i stedet for den enhetsvektoren så må vi jo sette inn posisjonen også, da. Eller hvordan blir det?
J1 Men den r-vektoren har jo en x-retning og en y-retning.

J2 begynner å bli litt frustrert og avbryter diskusjonen for å spørre meg om det er viktig å være flink med enhetsvektorer på eksamen. J1 henter diskusjonen raskt inn igjen:

J1 Men den r-vektoren – den er jo helt når vi begynner ... Den er jo Lsin(theta) Lcos(theta) og så bare oppdaterer vi den r-vektoren i hver runde, da har vi den.
J2 Lsin(theta) Lcos(theta) ?
J1 Ja? Den vektoren angir i hvilken retning snora er i. Og i begynnelsespunktet så vet vi jo hvor det er, for det var det vi nettopp fant ut.
J2 Men har du skrevet for hver retning nå? a_x og a_y?
J1 Ja.

De velger altså å dekomponere eksplisitt og lage dobbelt opp av alle arrayer og funksjoner. Etter litt småprat har J1 prøvd å lage dette:

J2 J1, hva gjør du?
J1 Ehm, jeg har laget en funksjon for a_x og a_y i stedet for den samlede a-en. Og jeg vet ikke om den funker så jeg tenkte at jeg skulle se om det så logisk ut det jeg fikk.
J2 Ja, okei. Ja – men jeg tenker på – at – hvis vi bare bruker vanlig [utydelig] for snorkraft – og så bare dekomponerer den i x og y-retning, går ikke det, da?
J1 Til å finne hva da?
J2 Til å finne snordraget i x-retning og i y-retning?
J1 Ja, det gjør det. Kan vi vanlig snordrag, da?
J2 Det står jo et eller annet sted?
J1 Vi finner det et eller annet sted, vet du!
[...]
J2 Det er ikke verre enn at vi har – vi har to krefter, g og snordraget, g virker bare i y-retning og snordraget virker i begge. Da burde man jo bare kunne dele opp snordraget i x-retning og i y-retning? Jeg kan ikke skjønne noe annet.
J1 Ja.

Hun har likevel ennå ikke løst problemet med fartavhengigheten i Eulersmetoden sin. Etter en liten tenkepause kommer det også en liten predikasjon på hvordan oppførselen vil være:

J2 Jeg tenker på at akkurat i det bevegelsen starter, så vil jo snordraget være null fordi den er i likevektsposisjon.

J1 Ja, og så vil den øke og så vil den minke og når den er i toppunktet på andre siden så vil den være null igjen.

J1 ser for seg en slags “slakk strikk” som strekker seg ut helt til den har nådd bunnpunktet og så trekker seg sammen igjen. Etter dette tidspunktet blir J1 sitt problem fra forrige overskrift diskutert og løst. Etter en stund tar J2 opp et nytt “problem”:

J2 Jeg er egentlig litt skeptisk til at vi ikke oppdaterer vinkelen noe sted.
J1 Jeg oppdaterer vinkelen!
J2 Gjør du det? Hvordan gjør du det da?
J1 Akkurat som resten av regla!
J2 Men bruker du noe arcus-etellerannet, da? Hva bruker du? Arcus sinus eller arcus cosinus?
J1 Jeg bruker ikke arcus? Hvorfor skulle jeg bruke arcus?
J2 Til å finne vinkelen? For den går jo ikke ...?

J2 begynner så å lage en vinkel for å komme i overensstemmelse med J1 sitt program, til tross for at ingen har produsert noen gode resultater ennå. Jeg bryter inn:

I Hva bruker dere vinkelen til?
J1 For å finne ...
J2 Det er sant! Vi bruker ikke vinkelen til noen ting! Etter ...
J1 Bruker vi ikke vinkelen?
J2 Nei! Eller – *jeg* gjør ikke det?
J1 Æhhh, nei, jeg gjør jo forsåvidt ikke det? Tror du det funker uten vinkelen?
[...]
J2 Nei, men jeg bare – hvis vi bare bruker Euler – jeg skjønner liksom ikke helt hvordan man skulle fått bruk for vinkelen heller, hvis vi bare bruker det, da?
J1 Det er sant, det. Vi bruker jo ikke den til noe.
J2 Så – vi bruker den første gangen.
J1 Mhm.

J2 blir etter mitt spørsmål med en gang veldig selvsikker på sin tidligere holdning. J1 går etter hvert også bort fra å ta med vinkelen i beregningene. Ingen av jentene får noen gode resultater og sitter i stor grad og jobber hver for seg. Begge bemerker seg at posisjonen ikke endrer seg når de skriver ut posisjonene under kjøring av programmet. J2 snakker litt med seg selv, og sier noe jeg bemerker meg:

J2 Det gjør jo ikke det! Ah, haha, du er så dum! [snakker med og til seg selv] Hvis man tar likevektslengden og så posisjonen til x-en, man burde jo få snordraget i x-retning da, burde man ikke det?

Jeg titter innom programkoden og ser at J2 har dekomponert faktorene $k(r - L)$ fra fjærkraftbidraget til en x-komponent $k(x - L)$ og en y-komponent $k(y - L)$. Dette bekrefter min mistanke om at jentene, på samme måte som guttene, ikke har særlig trening i dekomponering og ikke kobler at r kan skrives som $r = \sqrt{x^2 + y^2}$. Å kun bytte ut r med hhv. x og y tyder også på en manglende konseptuell forståelse for hvordan fjærkraften endres i takt med lengden r i forhold til likevektslengden L, så jeg velger å bryte inn:

I	Hvordan blir det riktig i forhold til L? Fordi x vil jo forandre seg. Hva sier det kraftuttrykket, egentlig? [fjærkraften]
J2	Det er posisjonen av x jeg har putta der. Det er jo egentlig lengden fra sentrum og ut til x som man skal ha? [...]
J1	I stedet for r så har jeg lengden i x-retninga og lengden i y-retninga. Og istedenfor $\vec{r}$ så har jeg – noe som kanskje ikke stemmer. Jojo, det stemmer jo fordi når jeg bruker den så har jeg hele tiden oppdatert theta-en.
I	Men hvordan vil den kraften oppføre seg nå, liksom? Siden det er lengden av x og lengden av y – minus L?
J1	Hva sa du nå?
J2	Men det lønner seg ikke å finne totalt snordrag først? Og så dekomponere for hver gang i løkka? Blir det ett fett om man gjør det først eller om man gjør det for hver ...?

Jeg prøver å få de til å undersøke hvordan snorkraften egentlig fungerer, men uten særlig hell. Når L hele tiden er lik én, og x etter kort tid er nær null (vinkelen starter ved 30 grader og avtar), vil snordraget i x-retning raskt bli lik fjærkonstanten, noe som er fryktelig mye større enn den burde være. Jeg prøver meg med et eksplisitt hjelpespørsmål:

I	Ja, et sånt "hint-spørsmål" er hvordan den kraften, snorkraften, oppfører seg hvis dere bare bytter r med henholdsvis x og y? Og hvordan den fungerer når r står der? Altså, r minus L, da.
J1	Men r er jo en skalar. Det er størrelsen på lengden av $\vec{r}$. Men hvordan kan vi vite hvor lang den er, da?
J2	Det kan vi jo hvis vi ...
J1	Det regna vi ut i stad.
J2	Men for hver gang inni løkka hvis vi regner ut vektoren fra origo og ut til punktet, da.
J1	Ja.
J2	For da får vi jo r. Og så ta minus L. Da får vi total snorkraft. Og så dekomponere etterpå?
J1	Ja.

Så jentene er på sporet av noe, men vil ikke slå opp i hjelpemidler eller liknende og sitter heller ganske lenge med prøv-og-feil-metoder. Jeg avbryter etter hvert og ender opp med å vise jentene sammenhengene $\vec{r} = \vec{x} + \vec{y} \Leftrightarrow r\vec{e}_r = x\vec{i} + y\vec{j}$ og $|\vec{r}| = r = \sqrt{x^2 + y^2}$ og hvordan disse kan settes direkte inn i kraftuttrykket for å dekomponere.

Resultatet er lettelse og raskt oppsatte korrekte uttrykk i programkoden. Jentene får likevel ikke gode resultater.

De programmeringstekniske feilene ...

J2 har nå begynt å få opp grafer som i det hele tatt viser noe, men ikke noe som gir mening. Det neste problemet uttrykker J2 som følger:

J2	What? Én strek. Det var jo ...

Etter at jeg spør om heltallsdivisjon, og hun selv oppdager at hun har deklarert enkelte parametre flere steder i programkoden, får hun et annet plott:

J2 Der, dada! Der skjedde det et eller annet stygt noe.
I Det skjedde NOE der da, i alle fall.
J2 Jeg fikk jo ikke noe større utsnitt av dette, da, hehe, ja? Den var jo fin?
J1 Vent nå litt, skal vi sjå.
J2 Det er bare helt sykt, jeg har bare endra antall trinn til 100 – det er et eller annet som er feil i programmet. Den er null, den er null. ... Det her er bare helt ... $5 \cdot 10^{37}$ meter – det er kanskje litt i overkant når det gjelder en ball i en fjær? Heheh.

Dette får i det minste meg til å tenke på steglengden, men siden guttene hadde relativt store problemer med dette, velger jeg å avvente for å høre hvordan jentene løser problemet. Etter en liten stund med stille arbeid, får også J1 opp noen grafer:

J1 Jay, nå fikk jeg et plott! Fy feite!
J2 Var det fint?
J1 Hva skjer her, da?
J2 Hva har du fått på aksene, da?
J1 Ehhhh, $+10^{37}$
J2 Ja! Det fikk jeg også!
J1 Og minus sju opphøyd i – hei, å, fy søren!

I forsøket på å finne feilen til problemet, ytrer igjen J1 misnøye med at de ikke har noen vinkel i utregningene sine. Videre oppdager de ved sammenlikning av grafer at de har speilvendte grafer i forhold til hverandre. Jeg forsøker å få de til å studere plottet for å se hva som skjer – den starter jo i alle fall på riktig sted, eller?

I Men hva skjer i plottet, da? Det starter jo på riktig sted, eller? Kanskje?
J1 Neei.
J2 Jeg har ikke det i alle fall.
[...]
J1 Den begynner ikke riktig sted engang. Det irriterer meg.
J2 Min begynner på $3 \cdot 10^{37}$, så ...
I Ja, begynner den oppe til høyre?
J2 Eller begynner den der?
J1 Ja, men den skal ikke begynne på null – det er jo forsåvidt riktig det, kom jeg på.
J2 Startvinkel 30, blablabla.

Ingen av grafene begynner på riktig sted uansett hvordan du ser på det, ettersom de har satt i gang systemet med feil fortegn på x- og y-koordinatene. De har begge grafene opp-ned, men J1 har i tillegg speilet grafen om y-aksen. Begge leser av grafen feil vei og tror i utgangspunktet ikke at grafen kan begynne i midten. Nå blir aksene strukket svært mye ut (10^{37}) slik at startpunktet ikke kan leses av særlig nøyaktig, så "i midten" virker riktig, selv om den skal begynne i en lengde én fra midten i en vinkel på 30 grader.

J2 begynner å lese gjennom programkoden for å se etter skrivefeil og forsøker da å bruke Euler-Cromers metode i stedet for Eulers metode. Videre prøver hun (og feiler!) å variere steglengden, og jeg klarer ikke la være å bryte inn:

J2 Når jeg tok 10 i stedet for 100 steg så gikk den andre vei.
I Ti steg på ti sekunder?
J2 Ja, men det var fortsatt helt feil, da.

I Ja, men hvorfor – hvorfor velger du ti steg? Eller hundre steg?
J1 Ja, skal man velge 10000 kanskje?
J2 Altså, jeg hadde valgt 100 i utgangspunktet, da.
J1 Derja! Det er avrundingsfeil!
J2 Wow, hva skjedde her? [har også endret steglengde og får opp en mer korrekt graf]
J1 Fikk du det til?
J2 Ti tusen steg. Ja, det var jo litt bedre, da.
J1 Hvordan er aksene dine, da?
J2 Hallo, det stemmer jo nesten – med aksene.
J1 Har vi for få steg? Det er logisk.
J2 Okei, nå prøver vi en million steg. [...]

Jentene får opp grafer som viser nesten-riktige resultater. Begge grafene begynner derimot på positiv y-akse og viser derfor nesten en hel sirkel, og fjærkraftutslagene er såpass små at de nesten ikke synes. Jeg prøver å høre om de kan analysere hva som faktisk gikk galt med feil steglengde:

I [...] Men hva skjedde egentlig? Hvorfor gikk den ut til sånn 10^{37}, liksom?
J1 Eh, hmmm, hvorfor den gikk ut i ...
I Ja, hva skjedde, liksom?
J2 Ja, den ble ikke noe bedre med 100 000.
[Stille pause. Individuelt arbeid: J1 tenker, J2 prøver seg fram med steglengder]
J2 Det jeg synes er rart er at den ikke går ...
J1 Den akselererte for lenge med feil akselerasjon, kanskje?
I Hmm?
J1 Nei, jeg vet ikke jeg.
I Jo, hva sa du?
J1 At den akselererte for lenge med feil akselerasjon? Fordi vi tok et for langt tidssteg og da hadde vi den akselerasjonen som gjaldt i ett punkt, at vi holdt den for lenge, og da fikk den en heidundrandes fart og fløy vegg-i-mellom.

J1 fant ut av problemet, dog litt usikker, etter å ha tenkt litt på egenhånd. Det er likevel litt misnøye: J2 liker ikke sløsingen med tid på et så trivielt problem, samt at grafene både er opp-ned og at de ikke lever helt opp til forventningene til en fjærbevegelse:

J2 Han kunne kanskje gitt et lite tips om at man burde ha en del steg, da? At folk ikke bare sitter og ...
J1 Neineinei, det har de lært oss med Foreward-Euler kjempelenge – det burde vi vite! [...]
J2 Men hallo – tusen steg? Jeg synes det er ganske mye! Men jeg skjønner fortsatt ikke at den ikke hopper opp og ned, da.
I Ja, gjør den ikke det?
J2 Er det det lille utslaget her, liksom? På den rød? At den er så tjukk?
I Ja, men hvor starter den nå, da?
J2 Nå starter den der.
I Er det riktig?
J1 Ja!
J2 Neeeei?
J1 Nei, altså – det er opp ned! For den skal starte på 0,5 og -0,8. Så vi har feil akser.

J2 Men min starter ... Men er det ikke bare det at den går tilbake? At den nesten er rundt?

J1 innser at grafen er speilvendt, men synes den er “såpass riktig” at hun roper “Ja!” til om den er riktig eller ikke. J2 er ikke helt innforstått med hvorfor den ikke er riktig og prøver å forklare utseendet ved at pendelen svinger tilbake. Jentene fortsetter med å diskutere kortfattet sinus og cosinus og hvorvidt fortegnet bør være positivt eller negativt for at startvinkelen på 30 grader skal gi dem en startposisjon for $x = 0.5$ og $y = -0.8$, men ingen er helt sikre og de ender opp med å prøve og feile i programkoden. J2 får etter hvert en graf som er kortere og viser samtidig tydeligere utslagene fra fjærkraften:

J2 Oi! Den var skikkelig fin, jo! Oi!
J1 Fordi du skrev minus cosinus?
J2 Oooooh, alright!
J1 Nei, det får ikke jeg. Æsj. Hva gjorde du?
J2 Bare satt minus L i stedet for – bare satt minus L på begge to.
J1 På begge to?
J2 Hvorfor satt jeg minus L på begge to?
J1 Men det er sikkert lurt det?
J2 Den blir jo veldig fin, da! Jeg vil jo ikke endre det nå?
J1 Men hvorfor satt du minus på begge to?
J2 Nei, det var vel ikke helt smart.
J1 Det var jo tydeligvis litt smart, men vi kan jo se hva som skjer hvis du ikke gjør det?

Uansett om det er riktig eller galt matematisk sett – om den starter i tredje eller fjerde kvadrant – gir fortegnene i alle fall en “pen graf” som både viser tydelige utslag fra fjærkraften og som svinger mellom riktige ytterpunkter.

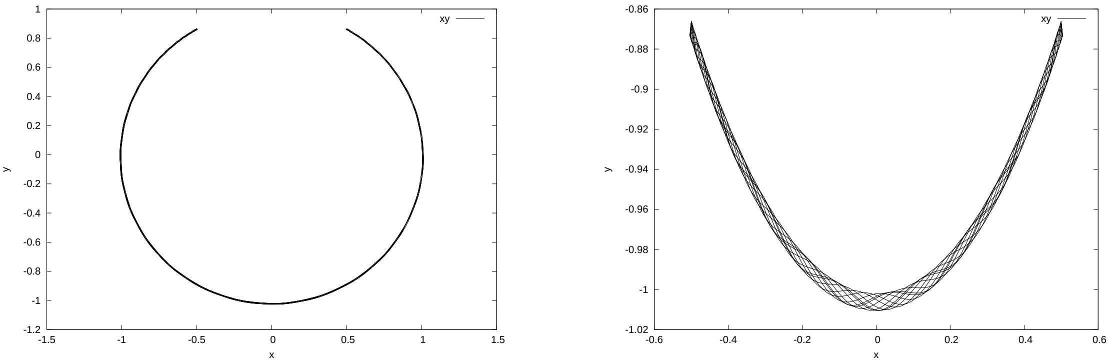
Noen kommentarer angående utseendet ble og ytret:

J2 Wooo! Den var jo skikkelig kul, da.
J1 Dæven så tøff den ble, da!
J2 Og så var den SÅ stygg i stad bare med feil startpunkt. I forhold, da.

“Describe and interpret the motion” og endringer av programmet

Jentene er helt klare for å fortsette videre med oppgaven, men i det de skal til å gjøre det, bremser jeg dem litt ned:

I Har dere “described and interpret the motion”, da?
J2 Ja. Han går jo ... Først så har den jo pendelbevegelse og det vil den ha selv om den går opp og ned som en fjær.
J1 Vent, da. “Use the program to find the behaviour of the given initial condition ...”. “Describe and interpret the motion”. “To find the behaviour of the given initial condition”? Hva betyr det?
J2 Ja, det er bare de med 0,1 kg og alt det der.
J1 Ja, men hva er det vi skal?
J2 Bare beskrive hva slags bevegelse det er og hvorfor den får et sånt utseende.
J1 Ja, den går jo sånn-sånn-sånn-sånn. [beveger hendene]



(a) En stygg graf

(b) En kul graf

Figur 5.1: Et eksempel på hvordan jentenes “stygge” (a) og “kule” (b) graf så ut.

J2 Ja, først er det en pendelbevegelse – og så er det en fjær som gjør at den går opp og ned i tillegg. Og så er det fordi du får sånne spiraler – eller det er jo fordi den går flere ganger att og fram.
J1 At den fjærer ut på forskjellige tidspunkt? Eller ...
J2 Ja, på forskjellige steder.
J1 Åssen forklarer man det, da? Det er lett å si at “den går sånn sånn-sånn-sånn”, men jeg vet ikke helt åssen jeg skal forklare det.

J1 “beskriver” bevegelsen på en svært deskriptiv måte, og J2 prøver å formulere noe i samspill med J1. J2 deler så bevegelsen opp i to for å få en mer oversiktlig beskrivelse:

J2 Altså, uavhengig av fjærbevegelsen så vil den jo følge en pendel, ikke sant?
J1 Ja, det var lurt å si det sånn. At uten fjærleddet så ville den svinge som en pendel – og det gjør den jo forsåvidt, bare at fjærbevegelsen gjør at den vakler litt hit og dit. Men det som er så kult er at denne går i fase, sånn at det blir et pent mønster. For det går jo an å gjøre sånn her og at den ikke går i fase også – og da blir det litt rotete.
J2 Altså, jeg skal ikke prøve meg på å ikke få den til å gå i fase, for det vet jeg ikke hvordan jeg gjør, men ...
J1 Det kan det hende at vi får lov til å gjøre etterpå.
J2 Ja, kanskje, når vi skal bytte ut med 2000 som fjærkonstant. Da går den sikkert bare som en vanlig pendel.

Diskusjonen går heller over i mulighetene for å endre på fjæra og oppgavens kommende utfordringer. Videre endrer først J2 og deretter J1 k fra å være 200 til å være 2000, men endringen er ikke kjempespennende:

J2 Ja, la oss prøve. Ja, det var ikke så tøft.
[...]
J1 Skal vi se, 2000. Der, ja – der har vi en stivere fjær.
J2 Det er bare litt bølger der.

Litt senere kommer utfordringen om “et helt stivt tau”:

J2 Ja, det er mulig. Eh, “hvordan kan du bruke denne metoden som modell for en stiv fjær”? Eller stiv tråd, da.
[...]
I Ja, hvordan får dere et stivt tau nå?
J2 Bare ha høy nok konstant?
J1 “How can you use this method to model a pendulum in a stiff rope?” k = uendelig? Ja, teknisk sett.
J2 Hehe, ja, men veldig høy k, da. Da vil vi jo få et stivt tau. Da var vi enige om det?
J1 Ja.
J2 Hehe, var det spesielt, eller?

Så generaliseringen av fjærkonstanten til å omfatte “et helt stivt tau”, var ikke vanskelig å ta på strak arm. Men hva med begrensningene til metoden?

I Hva kan være begrensningen, da?
[...]
J2 Ja, at du ikke får et så stivt tau, da? At det er vanskelig å lage?
J1 Neei, bare man får k høyt nok så får man et stivt tau.
J2 Ja, kanskje det er vanskelig å lage?
J1 Hva da? Et så stivt tau?
J2 Ja.
J1 Ja, men det er det praktiske problemet – ikke vårt problem!

J2 prøver å begrense utfordringen i praksis, men J1 gjennomskuer at problemet må ligge nærmere vårt fagfelt. J2 utfordrer tilbake:

J2 Ja, men hva tror du kan være “the limitation of this approach”?
J1 Hmmmmm, jeg veit ikke jeg. Skal vi prøve å kjøre k heidundrandes høyt opp? Og se hva som skjer? Om jeg føler meg begrenset? Nei – jeg følte meg litt begrensa.
J2 Funka det ikke?
J1 Jeg fikk en rett strek for k = 2 000 000. Ehm ...

J1 sitt enkle svar på utfordringen var altså av typen “la oss prøve og se hva som skjer”. Var det en god måte å undersøke problemet på? Jeg spør:

I Hvorfor det?
J1 Det kan ha med steglengden igjen, da. Hvis du øker k så mye så må vi øke [mener nok *minske*] steglengden også, og da vil programmet gå ufattelig treig.
J2 Ja, for nå får vi en syk akselerasjon igjen.
J1 Gjør vi det? Vent da.
J2 Gjør vi ikke det, da? `a_x[i] = -k ...`
J1 Ja, nå får vi en helt usakelig akselerasjon, så da – hvis vi minker steglengden tilsvarende lite så går det bra. Men da kommer det til å ta ufattelig lang tid.
J2 Ja. Jeg hadde 100 000 i stad og det tok tid. Ja, så begrensninga på det her er at det tar veldig lang tid å kjøre programmet, hvis det er det de mener?
J1 Ja? Ja.

Med steglengdeproblematikken ferskt i minnet, løser jentene problemet raskt og presist.

Avslutningsvis ... har bitene falt på plass?

Etter litt småprating skal de ta til med å plotte de forskjellige grafene som oppgaven ber de om, men J1 møter et problem:

J1 Ja, hva er det som er snordraget her? Jeg har ikke noe snordrag, jeg har en akselerasjon, jeg.
J2 Du har jo snordraget? Eller ...
J1 Hva er det som er snordraget? Er det $k(r - L)$ også ... Er det snordraget?
J2 Det er snordraget, ja. [...]
[...]
J1 "The magnitude of the spring force"? Hva er det for noe igjen, da?
J2 Det er bare den formelen her.
[...]
J1 Men jeg trodde det var rope tension, jeg.
J2 Ja, det er det samme.
J1 Hvorfor skal vi da finne "find and plot the rope tension T minus the magnitude of the spring force – and the angle"?
J2 Nei, det er tankestrek, da. Det betyr ...
J1 Jaokei, ja. Ja.
J2 Tror jeg ...?

J1 har etter en lang programmeringsøkt tilsynelatende glemt hvordan modellen ser ut og har latt kraftuttrykket beskrevet i starten av oppgaven gått mer eller mindre i glemmeboka. Videre blir det enda mer problematisk med kombinasjonen av engelske uttrykk og tankestreker som blir mislest som minustegn. De forskjellige grafene kommer etter hvert opp og de kan lese av vinkelutslaget:

J1 Vinkelen blir like stor på hver side fordi vi ikke har luftmotstand? For eksempel?
J2 Ja, det er viktig. Egentlig en evighetsmaskin, det her.
[...]
J2 Men vi ser jo at krafta vil være rettet nedover – altså være negativ eller positiv ettersom krafta, nei fjæra, vil være presset sammen eller dratt ut. Eller? Jo, for den er ...
J1 Men på x-aksen så har vi jo vinkelen. Så dermed så er det ikke så rart om den svinger fram og tilbake mellom den, der. Og så har vi snordraget som aldri går over null og som hver gang den er i enden er på null. Men at den ikke rekker så høyt de andre gangene.

At "snordraget aldri går over null" er interessant i og med at guttene snakket en del om at fjæra nærmest "føyk til værs" som forklaringsmodeller for feil steglengdevalg, og J1 hadde tidligere også en uttalelse som antydet noe liknende, men forklart med steglengden. Når man bare slipper en fjær fra likevektsposisjonen (eller lavere) der den er kun påvirket av tyngdekraft, vil aldri fjæra bli dratt opp forbi likevektsposisjonen igjen, men kun opp til samme sted som du slapp den fra. Jeg spør derfor:

I [...] Hva betyr det fysisk at den aldri er større enn null?
J1 Æh – at – at den aldri – at du ikke kan trykke snora sammen. Og så få snora til å skyte deg ut igjen.
J2 Men det gjør den jo? Gjør den ikke det?

J1 Nei ...
J2 Nei, det gjør den ikke.
J1 For, altså, hvis snordraget blir større enn null, så vil snora bare bøye seg. Den vil ikke samle opp energi for så å kunne skyte det tilbake.

Ingen av jentene utfordrer denne forklaringen og fortsetter å arbeide med delvis rapportskriving og plotting av grafer. Dette er en modellbeskrivelse guttene også i stor grad brukte på "tauet".

5.4 Oppgave 3

Denne siste observasjonen ble litt annerledes enn antatt ettersom det skjedde en glipp fra kursansvarlig som førte til at jentene (som var kronologisk først ut denne gangen) gjorde en oblig de egentlig ikke skulle gjøre. Siden oppgavene har helt forskjellige temaer, har heller ikke rekkefølgen av observasjonene noe å si, så resultatene gjennomgås i samme rekkefølge som for de andre oppgavene – altså med guttene først.

Oppgavene ble gitt som obligatorisk oppgave nr. 11 for studentene, ganske nær slutten av semesteret.

5.4.1 Gruppe 1: Guttene ("Kirkwood gaps")

Møtet med oppgaven og "astronomical unit"

Begge setter raskt i gang med oppgaven og prøver å ordne opp i uttrykk fra oppgaveteksten. Etter å ha klart oppgave a) og b) relativt lett, dog mer eller mindre rent algebraisk, leser G2:

G2 "The position and velocity of Jupiter can be found from Cassadena jet propulsion laboratory" – det var jo en nyttig opplysning, takk for den!
G1 Mhm, hahah! Dette har jeg egentlig gledet meg til siden vi begynte med FYS-MEK.
G2 Gravitasjon?
G1 Ja, å lage et dataprogram som ...
G2 Hahaha, gratulerer, da!

Begge to har for lengst nok godkjente obliger til å kunne ta eksamen, og G2 virker ikke så alt for glad for å måtte bruke tid på faget. G1 viser derimot genuin interesse for emnet, og lar seg ikke i stor grad bli påvirket av G2 sin mer negative holdning. Litt mer klarhet rundt uttrykkene trengs, og de henger seg en del opp i astronomiske enheter og dimensjonsløshet:

G2 Ok, r_0 er én sånn der astronomical unit som er det stygge tallet der?
G1 Hmm? Nei, men ... Veldig forvirrende at r_0 skal være AU?
G2 Hehehe. Det er logisk, da! [ironisk]
G1 Hmm. Jaja, det er ikke så farlig, sikkert.
G2 Er det liksom tilfeldig? Eller sa de at "nei, én AU det er posisjonen til Jupiter akkurat da".
G1 Nei, men jeg tror ikke at det er det de sier. Det var det jeg synes var forvirrende er at r_0 her betyr jo ikke startposisjonen.

De sitter tilsynelatende og regner med tall og uttrykk de ikke aner hva betyr, så jeg tenker at det er verdt en oppklaring:

I Vet dere hva en astronomisk enhet er?
G1 Kanskje lengdeenhet?
I Men hva den er, hvordan den er definert, liksom?
G2 Kanskje en skaleringskonstant?
G1 Det har sikkert noe med lyshastighet å gjøre.
I Det er lengden mellom sola og jorda.
G2 Er den konstant, da?
G1 Er det gjennomsnittsavstanden, liksom?
I Ja. Så det er bare en vanlig enhet for litt lengre – reiser.
G2 Ja, mhm. Så du sier at i stedet for så og så mange meter så sier du at det var så og så mange ganger avstanden fra jorda til sola?
[...]
G1 Det er vel lurere enn lyshastigheten når man holder seg innenfor solsystemet.

Oppgave c) går deretter for seg ganske greit og blir mest en trening i å holde tunga rett i munnen og samtalene handler mest om det rent algebraiske.

Videre til programmeringen

Etter å ha brukt en del tid på å regne seg gjennom a), b) og c) på mer eller mindre rent matematisk vis, er det gledelig å få sette seg foran datamaskinen. Oppgaven gir guttene programkoden som skal brukes og endres, så det går lite tid til å lage programmet. Begge kopierer og limer inn programkoden som er gitt, og får raskt kjørt programmet, men kjøringen gir ikke de resultatene som var forutsett:

G1 Øhhh.
G2 Fikk du fram plottet nå?
G1 Går den i en perfekt sirkelbane?!
G2 Øh, sikkert? Kanskje Jupiter er valgt på grunn av dens egenskaper. Går den i perfekt sirkelbane? Det stod at den var basert på ekte data? Programmet er kanskje ikke så ekte?
I Jeg veit ikke hvor perfekt den er, jeg. Altså, er det en perfekt sirkel, liksom? Eller?
G1 Det kan jo hende at dette ikke er en perfekt sirkel, da. Men at den går – nesten ...?
G2 Jeg trodde at planeter pleide å gå i ellipser, jeg?
G1 Men hadde det vært en perfekt sirkel, så ... Siden vi har satt sola til å være i origo, så vil jo da sentrum til sirkelen være i origo. Og det er den ikke. Så da er det ikke en sirkel, da. Eller?
G2 Det ser jo ut som en sirkel, men den går jo ikke i en sirkelbane rundt sola, da?
G1 Nei, det ser ut som at den går i sirkel rundt her et eller annet sted?

Forventningen om at planetbaner er ellipser gjør at resultatet først ser veldig feil ut, men så blir det kanskje "litt riktig" når de ser at sentrum ikke treffer helt nøyaktig origo. G2, som ønsker å bli ferdig med oppgaven raskest mulig, tar raskt ordet for å fortsette med oppgaven og finne periodetiden:

G2 Men vi blir bedt om å finne hvor lang tid den bruker på et år? Da bare sjekker ... Da løper jeg gjennom alle verdiene i r og bare sjekker når han kommer tilbake igjen til r_0. Men ...

G1 Hva sa du nå?
G2 Jeg løper over alle verdiene i r – alle posisjonene da – og sjekker om de noen gang blir ... Om de kommer tilbake ...
G1 Det står at vi skal gjøre det ved å se når den krysser x-z-planet.

G2 har ikke lest oppgaveteksten nøye og tenker seg selv måten man kan undersøke det på. G1 retter opp og ønsker å følge oppgaveteksten. Jeg spør så om hva som ville vært problemet med hans forslag:

I Hvorfor vil ikke det funke, det som du foreslo? Eller ville det også funket?
G2 Skal vi se, hvordan er det planet hans ligger da?
G1 Ditt ville jo fungert hvis du hadde kontinuerlig r, her. Hvis du tenkte å sjekke når den ble det samme igjen.
G2 Jeg tenkte å dra en sånn absoluttfeil-greier, men det er kanskje ikke noe vits. Det blir håpløst. Nei, x-z, ja. Da tenker du at den roterer i x-y-planet, da?

Begge viser at de er inneforstått med begrensningene til diskretisert posisjon og har alternative løsninger på plass. De velger likevel å følge oppgavetekstens framgangsmåte, som jo nok er den enkleste, og bruker krysning av y-z-planet som grunnlag for rundetiden.

Endringer av programmet og et lite møte med et velkjent problem

Guttene setter i gang med å endre programmet til å produsere nye grafer for de gitte endringene i e) – dobbel masse og halv og dobbel initialhastighet. De begynner derimot å stille seg selv noen spørsmål når de skal endre massen:

G1 Hva er det egentlig massen ... Hva er det den heter?
G2 Den heter gmJ som er g ganger massen til Jupiter.
G1 gmJ? Nei, det er det ikke.
I Hva er gmJ, sa du?
G2 Er det ikke det, da? [...] Er ikke det massen til Jupiter?
G1 Nei. gmJ er jo satt til GMsun ganger years^2 over ... Det er noe drit.
G2 Faen.
G1 Jeg tror det er ... Ja, hva tror jeg det er? Han har i alle fall “msundivmjup” som er massen til sola delt på m_J.
G2 Jeg blir gal. Hvis man dobler massen til Jupiter, skjer det ikke en dritt, da? Den er jo ikke med en dritt i utregninga?
G1 Den er bare med som M delt på m_J. Så hvis du deler den på to, da, kanskje?
G2 Men altså, det eneste du bruker til å regne ut der er gmJ og den avhenger av gMsun, som ikke avhenger av massen til Jupiter, altså – om en tennisball eller Jupiter roterer i den banen, så hadde ikke det hatt noe å si.
[...]
G1 Massen har jo noe å si? Hvis ikke så hadde det ikke vært noen tiltrekningskraft her?
G2 Ikke i følge programmet her, i alle fall. Fordi, altså, du dividerer jo bort massen til Jupiter på hver side av den kraftlikninga.
G1 Åja, sånn ja.
G2 Hvis du ser på disse likningene her, så er ikke de avhengige av massen til Jupiter.
G1 Nei, så akselerasjonen blir akkurat den samme.

Guttene blir først overrasket over at massen ikke har noe å si i utregningene, men godtar raskt at det er et faktum ettersom programkodens likninger ikke avhenger av den. De videre resultatene ser ut til å stemme overens med hva guttene forespeilet seg, blant annet ble banen med halv hastighet en mye mer tydelig ellipsebane, og med dobbel hastighet kommenterer G2:

G2	Nice. It disappears. It gets energies to escape it's orbits.
G1	Gets og gets ...
G2	Når vi dobler startfarten så dytter vi ganske hardt.
G1	Jajaja.
G2	Det hadde vært gøy om det plutselig skjedde, da. At Jupiter plutselig forsvant. Hvis Jupiter hadde kommet farende mot oss, hva hadde skjedd da egentlig? Da hadde den bare forsvunnet gjennom oss og så hadde alle dødd? Eller hadde vi kollidert?
G1	Eller at vi forsvant gjennom den?
G2	Den er jo bare gass, er den ikke det? Kraftig vind!

Jupiter unnslipper altså solens gravitasjonsfelt og resultatene gir G2 muligheten til å utforske et par virkelighetsfjerne digresjoner. Litt tidligere i oppgaven hadde derimot G1 gjort en uoppfordret test av kvart initialhastighet, der han bemerket planetbanen med "Oi, den var fancy – en fjerdedel av startfarta", og jeg bemerket meg også resultatet. Dette var verdt å utforske:

I	Ta en fjerdedel også da, som du gjorde. [henviser til G1]
G2	Neeeeei, ok, da. Oioioi.
I	Hva skjer her?
G2	Nei, det er jo vanskelig å si. Den blir sugd – den begynner der i alle fall – så blir den sugd inn, så bare får den mer og mer energi?
G1	Hmm? Den får jo ikke mer og mer energi?
G2	Den spretter jo ut hit, jo!
G1	Ja, men der har den sikkert null fart?
G2	Åja, jeg tenkte helt feil, jeg. Er sliten i dag.
G1	For den treffer jo neeeesten sola, da. Rett forbi sola. Eller går den gjennom? Nei, det kan den ikke.
G2	Da hadde jo programmet stoppa.
G1	Jaaaa, hadde det det?
	[...]
G2	Nei, jeg veit ikke jeg, altså.
G1	Nei, men hva som skjer, det er vel ikke noen feil der, er det det? Det er bare at den blir sendt sinnssykt brått ut igjen når den bommer på sola? Sola bøyer jo av banen veldig kraftig.
G2	Jeg ville tro at den ble bøyd av ut hit, og så ville den begynne å gå i sirkelbane.

Den første forklaringen til G2 er at den får mer energi, men G1 retter raskt opp dette, for det er jo ikke noe sted den kan få energi fra. Den neste forklaringen går ut på at sola "bøyer av" banen til Jupiter. Planetbaner endrer seg jo litt over tid i virkeligheten, men det er ikke fordi sola "bøyer av" banen – og det er ingen grunn til at banen skal endre seg i *denne modellen* (som foreløpig kun inneholder to punktlegemer). Det første plottet på kun 50 år fram i tid, viser kun et par runder, så jeg ber dem prøve en litt lengre periode. De prøver 500 år i stedet:

G1 Den stakk av til slutt? Det var merkelig. Man skulle jo tro at den gikk nærmere og nærmere.
G2 Ja, den får jo masse energi! Det var det jeg sa.
G1 Det går jo ikke an?
G2 Det gjør jo ikke det! Hehehe. Men altså, det må jo komme til et grensetilfelle der den der kraftloven ikke fungerer når den kommer så nærme sola. Liksom, r går mot null så går jo krafta mot uendelig, liksom.
G1 Jaja, men den skal fortsatt ikke få energi. Men vi vet jo ikke om den får energi her nå.
G2 Kanskje det er avrundingsfeil. Hehehe.
G1 Når jeg sa at den hadde null fart her så er jo det bare tull, for her har den jo fart. Men den vil jo, den vil jo ...

Forklaringene går tilbake til energi, selv om dette, som de presiserer, ikke skal kunne skje. G2 foreslår avrundingsfeil, men det virker som om dette kun er et forslag ment for fleip, og blir ikke tatt seriøst. Å se 500 år fram i tid lagde en veldig uoversiktlig graf der mesteparten av plottet kun viser en rett strek der Jupiter tilsynelatende unnslipper solas gravitasjonsfelt. Vi går litt ned i antall år igjen for å få et noe bedre utgangspunkt for årsaksforklaringene, og jeg prøver å rette fokus mot det viktige, nemlig "avbøyningen av banen" og det som ser ut til å skape en slags "blomsterformasjon":

I Men hva skjer her, da? Hvorfor er det ikke noen ellipsebane, men den blir sånn blomsteraktig?
G2 Hehehe, veit ikke.
G1 Det er jo flere ellipser der, da.
I Er det noen grunn til at den skal endre retning, liksom?
G1 Det gjorde den jo på halve også, da.
I Gjorde den det?
G1 Ja. Den fulgte jo ikke én ellipsebane. Det var først én, og så kom det en nesten borti den også ... Det var derfor den ble tjukk.
G2 Det så ut som en sånn "3D-ring".
[...]
G1 Men nå plotter vi jo bare x- og y-koordinatene, da. Men så regner den med z. Det kan hende at med z-koordinaten så er det en ellipsebane, liksom? Men når vi ser det ovenfra så liksom ... Ikke helt da, men ... [utydelig kommentar] ... endrer den banen her seg uansett, da.
G2 Jeg veitta faen!?

De ser ut til å gå tom for forslag. G1 forsøker å forklare det med at Jupiter endrer litt bane og at vi kun ser banen i x-y-retning og ikke ser bevegelsen i z-retning, men han ønsker ikke å utforske dette nærmere. Jeg spør eksplisitt og tipser om svaret:

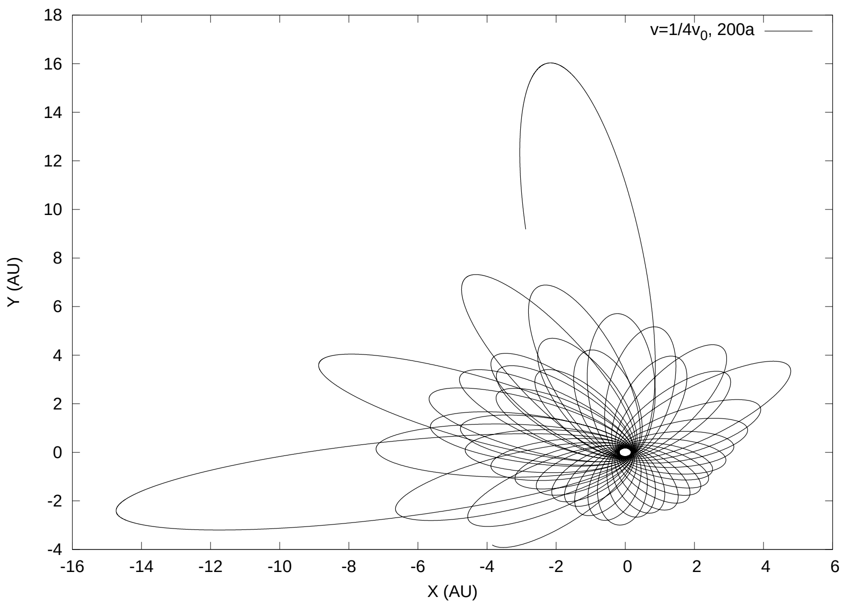
I Tomme for forslag?
G1 Jeg synes ikke det virker så ulogisk jeg, egentlig. Men det er kanskje det?
I Jeg stemmer for ditt [G2] forslag i stad, jeg, å sjekke avrundingsfeil. Å sette den litt skarpere. Litt mer nøyaktig den dt-en. Hvis den heter det.
G1 Det har vel ikke med avrundingsfeil å gjøre? Den dt-en vil jo bare spille inn på om den regner akselerasjonen for lenge? At den blir rundt ... Tja ...
G2 Alright!
G1 Men nå endrer den jo fortsatt bane, da! Men poenget er vel da at hvis du gjør den uendelig nøyaktig så vil den ikke endre bane i det hele tatt, da?

Dette er et tilfelle av det kanskje mest klassiske tilfellet av numerisk feil, og kanskje det første de var borti om emnet, der den numeriske tilnærmingen til en ikke-lineær kurve produserer et større og større avvik fra den analytiske kurven. Jeg spør derfor hvordan de kan være så sikre på at den doble hastigheten også ikke skyldes numerisk feil, men faktisk er en unnslippning fra gravitasjonsfeltet. Dette tar de på strak arm fra bevaring av mekanisk energi, og mens G1 prøver å finne fram til formelen på egenhånd, finner G2 den på Wikipedia og begge fastslår riktige svar.

Den neste oppgaven, som jeg bad dem gjøre selv om den var optional, viste seg å ta svært lang tid og resulterte kun i en ny mengde med algebraisk holde-tunga-rett-i-munnen-arbeid, og når denne var ferdig, var det såpass sent at vi gav oss. Det ville vært interessant å få med seg implementeringen av asteroiden i programmet, men alle var sultne og slitne. Vi valgte derfor å gi oss.

Kommentar: En blomst?

Som en hjelp til å lettere se for seg hva det er guttene prøver å forklare fysisk, legger jeg ved et plot av planetbanen med en fjerdedels startfart i en periode på 200 år framover i tid:



5.4.2 Gruppe 2: Jentene ("Dynamics of a periodically driven pendulum")

Denne oppgaven handlet om en pendel med en periodisk drivkraft som, i kombinasjon med luftmotstand og gravitasjon, gir opphav til et kaotisk system med de rette parametre. Jentene hadde ingen anelse om hva "et kaotisk system" egentlig var og hadde ikke særlige forutsetninger for å klare oppgaven. J2 hadde i tillegg arbeidet relativt lite med faget i det siste (av ymse grunner), og da spesielt om rotasjon og spinn. Observasjonen bar også sterke preg av dette og det var ikke så mye å hente ut av de få diskusjonene som oppstod.

Møtet med oppgaven

Oppgaven tar for seg et ganske komplekst tema og dette i kombinasjon med at jentene ikke ante hva temaet dreide seg om, gav opphav til noen bemerkelsesverdige utsagn:

J1 "In this project, you will learn about chaos and non-linear systems". Oi, det var kult!
[...]
J1 "... that the sphere is subject to both gravity and air resistance". Subject, er det den lille kula på bunnen?
[...]
J1 "It is important to realize that we are not forcing the motion of the pendulum, but only applying a varying torque" ... Okei?!
[...]
J2 Hva er "hinge" for noe?

Oppgaveteksten er ut til å skape en del spørsmålstegn, som igjen gjør at J2 mister litt motet, men J1 velger å være positiv:

J2 Altså, det her er litt gresk for meg akkurat nå, men ...
J1 Neida, det går bra. "Show the forces and torques affecting the pendulum ..." – kreftene er jo tyngdekraft og luftmotstand.
[...]
J1 "The differential equation for the pendulum can be written ..." Ja okei ... Hvorfor er "the differential equation of motion" lik theta – nei torque, mener jeg? Jaja, vi prøver. Vi tar og lager alle kreftene om til torque-er? Også legger vi de sammen?
J2 Okei?! Heheheh.
J1 Ja, siden det er det likninga – det står at torque av theta og t er lalalalala, så da vil vi jo rett og slett prøve å skrive alt sammen som torque. Vi har jo den der som allerede er det, men så har vi de to andre som vi må gjøre om til det. Og det er jo r kryssa med F, er det ikke?

Underveis i oppgaveløsingen henvender J2 seg til J1 for hjelp:

J2 Du bare setter inn for v, da? Hele veien?
J1 Ja. Og når du skal finne torque, så er torque lik r kryssa med farta. Og hvis du setter inn det du har for F nå, det der nede, setter inn det her oppe så får du -q omega krysset med r – og da har vi en annen formel som heter lagrange som viser hvordan du skal krysse de sammen.
[...]
J2 Men egentlig, hvis man vil, så kan man bare bruke vanlige kryss-regler, kan man ikke? Bare at det blir veldig mye jobb?
J1 Hmmmm, ja, jeg tror det. Så da kunne du først ha kryssa omega med r og så ganga det med minus q og så tatt det og kryssa med r igjen. Det er bare at det tar lang tid.
J2 Kryssa med r igjen, ja. Ja. Ja, okei, men da skjønner jeg i alle fall hvordan jeg skal gjøre det.

J1 ser ut til å ha ganske god kontroll på hva hun skal gjøre, og bruker en formelbasert algebraisk fremgangsmåte mens J2 sliter en del med å holde følge. Når J1 er ferdig med a), er ikke J2 i nærheten av ferdig med utregningene av kryssproduktene på "vanlig måte". J1 prøver å forklare hvor enkel "hennes fremgangsmåte" er:

J1 Ehhh, ja. Så skal du først ha b, for q-en skal jo inn i parentesen, så hvis du bruker omega, så må du dra med -q. Så har du b lik -q*omega*r*r. Men når du tar c da så trenger du ikke ta den en gang til, for da er den med, liksom.
[...]
J1 Den neste er veldig lett, da, for da slipper du å bruke den der Lagrange-greia. For da er det bare en kryss, da bare lager du sånn matrise med enhetsvektorer og sånn.
J2 Ja, skjønner.
J1 Jeg delte først G opp i radiell og tangentiell, for da får du den vinkelen du skal ha på den, da. Og da er det bare å plusse sammen. Og den siste biten, den der, den tar du bare av at torque er lik $I\alpha$, og α er andrederiverte av θ, og I for en kule med lengde L fra rotasjonssenteret er mL^2. Det står, det er en sånn konstant som står i kompendiet, bare.
J2 Ja okei.

En ordknapp J2 aksepterer J1 sine innspill, men får neppe med seg hva hun sier. Hun prøver å finne fram til de samme formlene som J1 sitter med og leter etter aktuell teori i kompendiet, men finner ikke særlig mye, nettopp fordi dette ikke har vært særlig prioritert pensum i år. De fortsetter etter hvert videre uten at J2 har gjort oppgave a) fullstendig, men påstår at hun vet hva som må gjøres.

Kommentar: Lagranges formel

J1 velger altså å bruke "Lagranges formel" for å regne ut kryssproduktene, mens J2 velger den mer regnekrevende "vanlige metoden" med å sette opp "kryssdeterminanter". Lagranges formel ser ut som følger:
$$\vec{a} \times (\vec{b} \times \vec{c}) = \vec{b}(\vec{a} \cdot \vec{c}) - \vec{c}(\vec{a} \cdot \vec{b})$$

Programmeringen – "Du bare prøvde deg fram? ... Ikke godkjent!"

I overgangen til programmeringen, kommenterer J1 på hva hun synes om å få tildelt ferdige programmer:

J1 Jeg liker ikke helt at han gir oss programmer, jeg synes det er juks, jeg.
I Blir det for enkelt når han gir programmer?
J1 Ikke nødvendigvis for enkelt.
J2 For min del, jeg synes det er lettere å skjønne programmet bedre hvis jeg lager det selv enn hvis jeg må bruke andres program.
J1 Det er mest det, at du skjønner programmet bedre da. Og da skjønner du litt bedre hva du driver med også. Så er det litt gøy å lage programmer så jeg synes han tar litt av gleden fra oss når han har laget de ferdig!

Koden kopieres så inn, men enkelte deler må fylles ut. En rekke konstanter er angitt i slutten av oppgaveteksten, men "alpha" er ikke eksplisitt gitt, selv om den er ganske godt uthevet i teksten:

J1 alpha = ... , skal vi finne ut det selv da?
J2 Nei, men altså, her så står det jo ... [viser til tabell over verdier]
J1 Åja, er alpha gitt der?
J2 Er den ikke det? Jeg synes det er litt komisk, for å skrive en sånn z_b også "åh nei, må finne på et eller annet", men så står det her. Det er litt sånn "nå skal vi se om dere klarer å sette inn variabler!". Heheh.
J1 Men den er jo ikke gitt, da. Han har ikke gitt alpha?
J2 Ånei, nei, men det er jo sikkert ikke store ...

Her må man koble at "alpha" i programkoden til å være det samme som $\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$. Dette *burde* være greit hvis man gjenkjenner for-løkka til å være en løsning av differensiallikningen med Euler-Cromers metode, men så greit skulle det ikke vise seg å være. J2 blir sittende og bruke mye tid på å prøve ut mange forskjellige verdier for alpha (konstanter):

J1 Hva slags alpha tok du?
J2 Nei, jeg tok 1, og så tok jeg 0,2!
J1 Du bare prøvde deg fram?
J2 Jaja!
J1 Ahhh, ikke godkjent!
J2 Men det er jo sikkert ikke det han skal ha?

Jeg tenker at her trengs det en påminnelse om hva de har gjort tidligere i semesteret angående integrering av differensiallikninger med Eulers metode, og prøver å rette fokus til riktig sted:

I Men, hva er det du gjør der, egentlig? [peker på for-løkka]
J2 Nei, spør du meg, så spør jeg deg, egentlig! Men hva er det det står i oppgaven da? Nei, men hva er det det står om alpha?
J1 Ehm, hva det står om alpha? Det står jo ikke så mye om alpha. Men hvis du tar torque og deler på I, så får du alpha.
I Se første linje i oppgave B. Første setning, da.
J1 Ja, "calculate the motion for the pendulum from equation ..." ja, ikke sant? Da må vi jo bruke den formelen.
J2 Ja ...
J1 Hmhm, alpha_0 ja ...
J2 Men, altså, selve uttrykket er satt inn ...?
J1 På alpha så står det bare prikkprikkprikk.
J2 Åja, det er det ja. For det så jo ut som at det var en konstant og da skjønte ikke jeg ... Hmmm, ja.

J1 har løst dette og laget en array for α, selv om det ikke står oppført som en array i den gitte programkoden. Det er likevel ikke helt klart hva denne α-en er, eller bør være, og jeg spør om hvorfor de velger å lage en array (og samtidig vil sette en initalverdi, α_0, for α-arrayen):

J2 Menneh, skal ikke alpha oppdateres, eller?
J1 Joda, jeg gjør jo det. Men hvis du starter med null akselerasjon, så blir den jo hengende.
J2 Ja. Åja. Men da er et vel egentlig – hvorfor ikke sette alpha_0, hmm.

I Trenger dere en array for alpha?
J2 Ja.
J1 Hmmm ...
I Hvorfor det?
J1 For du trenger jo ikke nødvendigvis å lagre den hele tiden, kanskje, men ... Den er jo ikke konstant, da. Tror jeg. Det vet jeg ikke. Vi kan prøve noe lurt, vi kan sette den til å være sånn, så kan vi se om den oppfører seg konstant.
J2 Men hvis du setter inn det uttrykket her, da? For det står jo for alpha, det siste her? Eller gjør det ikke det?
J1 Joda.

Selv om temaet blir tatt opp og J1 er inne på en forklaring, skjer det ingen endring i programkoden. I tillegg overser J2 fullstendig uttrykket i midten av "likning 45", og feiltolker $\tau(\theta, t)$ til å tilsvare den gitte τ_{z0} (i programkoden endret til "τ_{y0}") som hun har angitt tidligere i programmet. Ettersom denne er gitt som null, blir alle resultatene gale. J2 stiller etter hvert spørsmålstegn ved dette:

J2 Ja. Fikk du til det alpha-opplegget?
J1 Nei, men, jeg lurer litt på det der om alpha er konstant. Fordi, den er jo liksom ikke helt lagt inn, da. Men, eh ... Jo, fordi den ikke blir utsatt for, jo det blir den, nei, jeg vet ikke jeg. Om den blir påvirket av eksterne krefter?
J2 Hæ?
J1 Om den blir påvirka – jo, den blir jo det. Den blir jo påvirket av en ekstern kraft. Den her torquen som er litt sånn humørsjuk. Så vi må jo ha ...
J2 Det der har jeg faktisk ikke sett. Jeg pleier ikke å lese så særlig mye på det som står her, jeg pleier bare å se om jeg får noe ut. Hvis den ikke stopper, da er det greit!

Det ser ikke ut til at J1 har klart å finne ut om hun trenger en array eller ikke ennå, og J2 presiserer i siste linje tydelig sin prøv-og-feil-baserte fremgangsmåte. Denne α-en og array-problematikken trenger en utdyping og presisering, så jeg blander meg litt inn:

J2 Men sånn som han har skrevet det, så ser det ut som at alpha er konstant.
[...]
J1 Sånn som han har skrevet programmet, ja? Ja.
I Hvorfor det?
J2 Han har jo ikke skrevet noen indeks, holdt jeg på å si.
J1 Fordi han har ikke gitt noen alpha_0 og ikke noen alpha-array eller noe. Men det kan jo være fordi at vi skal finne ut det helt selv, da.
I Men sånn som du har skrevet alpha der, da. Hvis du ikke har den i array der, vil den da være konstant for hver gjennomkjøring?
J1 Altså, siden du spør så vil den kanskje ikke det, da! Men jeg synes den skal være det!
I Ja, jeg hinter littegrann, kanskje.
J1 Ånei, jaja, at du bare oppdaterer den for hver gang – ja, det var lurt!

J1 har forstått hva som foregår, mens J2 fortsatt sitter med sin feilaktige τ og får gale svar. Jeg ender opp med å eksplisitt si at oppgaveteksten "that calculates the motion of the pendulum" er ekvivalent med å si at "that solves the 2. order differential equation". Etter dette går J2 rett i gang med å skrive inn riktig uttrykk på riktig måte og begge får raskt resultater. Disse resultatene og resten av oppgaven gav veldig preg av at pensum var ukjent, og de fleste diskusjoner ble ren gjettelek og spørsmål til meg om hjelp. Det hele forekommer som relativt uinteressant i denne oppgavens sammenheng og utelates.

Kapittel 6

Diskusjoner og drøftinger

I dette kapittelet vil jeg diskutere problemstillingene i kapittel 1 i lys av resultatene fra kapittel 4 og 5 og med teorien fra kapittel 2. Etter å ha tatt for meg studentenes første semester, vil så godt som resten av kapittelet vies til temaer knyttet til beregningsorienterte tilnærminger i mekanikkundervisningen. Jeg vil i denne delen først legge fram og påpeke de spesifikke temaer som kan trekkes ut av observasjonene, for deretter å prøve å knytte inn pedagogisk og didaktisk teori og samtidig løfte temaene ut fra de spesifikke observasjonene og opp på et mer generelt nivå omhandlende beregningsorienterte tilnærminger til fysikkfaget. Alle sidetallshenvisninger til observasjonsresultatene hører sammen til *overskriften* og ikke den aktuelle diskusjonen eller sitatet.

6.1 Studentenes første semester

Begrunnelser for å studere fysikk

Angell et al. (2004, s. 695) har undersøkt hvilke deler av fysikken elever og lærere i videregående skole anså som viktig, der "Understanding everyday phenomena" og "Understanding the world" kom ut som vinnere. Resultater fra TIMSS Advanced 2008 viser at 3FY-studenters viktigste grunner for valg av faget, er kategoriene "Gir flere muligheter videre", "Fysikktimene interessante", "Gunstig for karriere" og "Gjør det bra i fysikk" (Lie et al., 2010, s. 168–169). Alle disse grunnene blir ganske godt speilet hos studentene i fokusgruppene og deres grunner for å velge studieretningen fysikk. Den vanlige grunnen er en forkjærlighet for faget der noen uttrykker eksplisitt en nysgjerrighet for å "forstå ting" og å forstå hvordan verden henger sammen. At studiet åpner for mange yrkesmuligheter senere, blir også uttrykt som gyldig grunn for valget. Interessen og nysgjerrigheten for faget kan kategoriseres som en *indre motivasjon* for faget og dets innhold og er en god motivasjonsfaktor som vi ønsker at studentene skal ivareta – et ønske om å studere for å lære, ikke hovedsakelig av ytre motivasjonsfaktorer som yrkesstatus og lønn. Å møte et første semester der fysikk ikke eksplisitt inngår, *kan* dermed fremstå som en liten motivasjonsdemper. Dette uttrykte også noen studenter noe misnøye med, men viste samtidig forståelse for at det var nødvendig å lære matematikken og informatikken som grunnlag for å lære fysikk videre. I denne sammenheng er det godt at informatikkfaget tar for seg naturvitenskapelige anvendelser slik at mange studenters hovedgrunn for å velge studiet blir ivaretatt i det minste til en viss grad. Det er også gledelig at foreleserne har vært flinke til å formidle nytteverdien av emnene studentene går gjennom i dette semesteret (figur 4.15), slik at de ser fram til kommende semestre – der fordypning i temaer som lå til grunn for studievalget møtes – med positive forventninger, samtidig som det første semesteret kan ansees som relevant for nettopp dette målet.

Vanskegrad og arbeidsmengde

Fra figurene 4.2, 4.3 og 4.4 kan vi se at studentene i utvalget synes studiet er både (svært) arbeidskrevende, (svært) vanskelig og både mer arbeidskrevende og vanskelig enn de hadde forventet. Likevel virker ikke dette nødvendigvis avskrekkende – verken ut fra fokusgruppeintervjuene å dømme eller ut fra spørreskjemaets spørsmål om motivasjonen til å fortsette på studiet (figur 4.16). Mange av fokusgruppedeltakerne anså både vanskegraden og arbeidsmengden som naturlig, kanskje med unntak av arbeidsmengden, som for noen virket litt i overkant av hva som er gjennomførbart. “Å hele tiden henge bakpå”, som det blir uttrykt, kan bli en stressende og slitsom affære gjennom et helt semester. Mange anerkjenner likevel at de ser på det som selvsagt at det er både vanskelig og arbeidskrevende, og de forventet dette når de søkte på studiet. De trodde bare ikke at det skulle være *så* arbeidskrevende.

Ser vi dette i sammenheng med at nær halvparten av respondentene bruker 31-40 timer i uka og at cirka en fjerdedel sier at de bruker over 40 timer i uka, kan årsaken være at det faktisk *er* mye å gjøre. Samtidig forventer kanskje ikke studentene å bruke en normal arbeidsuke (eller mer) på skolearbeidet, i hvert fall ikke hvis de samtidig ender opp med “å hele tiden henge bakpå”, som noen uttrykte på fokusgruppene.

Gruppetimetilbudet i INF1100 ser ut til å bli hyppig brukt og de fleste av studentene samarbeider med andre på gruppetimene. Hvor bevisst dette valger er, er derimot ikke like opplagt: Studenter som vil samarbeide kan dra på gruppetimene for å gjøre det, eller så kan studenter som drar på gruppetimene velge å samarbeide med andre som er der. Figur 4.12 antyder også en tendens til at studenter som oppfatter kurset som vanskelig, tyr til samarbeid. Det å søke hjelp hos andre i møtet med utfordringer en selv ikke klarer å løse, er verdt å bygge opp under sett fra et sosiokulturelt læringsperspektiv.

Når det gjelder oppfattelsen av vanskegrad sett i forhold til forkunnskaper, er det oppsiktsvekkende, men ikke unaturlig hvis vi ser på emnenes innhold, at generelle dataferdigheter spiller inn i den grad det gjør på studentenes oppfattelse av studiets vanskegrad. Dette gjelder spesielt i INF1100, men også studiet *som helhet* (figur 4.7). Sett i sammenheng med at studentene ikke forventet å måtte bruke datamaskinen i så utstrakt grad eller dybde som de gjør (figur 4.8), kan det bety at en tydeligere formidling av dette til potensielle søkere på studiet bør vurderes.

Møtet med informatikk – vanskelig for noen, nytt og spennende for andre

Det var blandede meninger i fokusgruppene om kurset INF1100. Noen synes det var vanskelig, mens andre mente det var spennende. Begge deler kan stamme fra at faget er noe *helt nytt* for de aller fleste. Selv om noen påstår at de har programmert noe tidligere, kan ikke Texas TI-kalkulatorprogrammering sammenlignes i særlig stor grad med den programmeringen de nå står overfor. Det er tilsynelatende fortroligheten med bruk av datamaskinen (figur 4.7) som styrer hvorvidt faget oppfattes som vanskelig eller lett, og antakeligvis som skiller mellom om kurset oppfattes som vanskelig eller "nytt og spennende". Forkurset i databruk (med blant annet innføring i Linux) bør nok ansees som et nødvendig minstekrav for å minske denne, ganske tydelige, forskjellen mellom studentene, og andre tiltak bør kanskje vurderes. Det er uheldig om gruppelærerne i INF1100 må bruke for mye av sin tid til "trivielle dataferdigheter", når de egentlig skal formidle programmeringsteori, -språk og anvendelser. Det kan i tillegg virke urettferdig å bli straffet for å mangle forkunnskaper skolesystemet ikke legger opp til, og som heller ikke har blitt formidlet i god nok grad til studentene om at var nødvendige (se forrige overskrift).

Et sitat som aldri festet seg veldig hos meg, men som underveis og i etterkant av observasjonene i mekanikk gjorde seg mer og mer gjeldende, er det G3 sier i kapittel 4.4, side 79, om at informatikkfaget ikke krever like stor grad av konsentrasjon som de andre fagene og at "[...] det er mer prøve og feile, og det er ikke så mye du må, liksom, tenke deg fram til. Du må bare finne ut hvordan du skal gjøre det, så gjør du det, og hvis ikke så gjør du det på en annen måte – så det er ikke så veldig vanskelig sånn sett". Dette, sammen med et par liknende utsagn, ble sagt under den første intervjurunden og var det første synet på programmering som gjorde seg gjeldende hos noen studenter. Det er rimelig å tro at denne oppfatningen kan gjelde hos mange andre av studentene også. Denne prøv-og-feil-mentaliteten som tilsynelatende gror fram ganske tidlig, er et tema for videre diskusjon i drøftingene senere i dette kapittelet angående anvendelser i mekanikk.

Numerisk matematikk og programmering – et komplementært forhold?

I hvilken grad kursene "hjelper hverandre", var det litt uenighet om. Mens noen få anser INF1100 som nødvendig for å klare enkelte obliger i MAT-INF1100, ettersom det ville være nærmest umulig å programmere noe som helst uten den grundige innføringen i INF1100, anser andre INF1100 som en god hjelp til å utdype og presisere en del av teorien fra MAT-INF1100. Den første av disse to grupperingene legger i større grad vekt på hvordan kursene hjelper hverandre med hensyn til "å mestre/klare oppgaven" mer eller mindre teknisk og utførelsesmessig, mens den andre gruppa vektlegger i større grad forståelsesaspektet. Den forståelsesmessige tilnærmingen er kanskje den viktigste, og handler i stor grad om at studentene får en anvendbar kontekst å eksperimentere med og fordype seg i den numeriske matematikken – de får et større referansegrunnlag for sin begrepsforståelse.

Det ble uttrykt på fokusgruppene at studentene ikke synes det er særlig vanskelig å "kopiere" algoritmer fra boka og "oversette" til programmeringsspråket slik at de får noen fornuftige resultater. De nevner at de ikke trenger å sette seg inn i algoritmen for å få til dette, men at en "oversettelse" kan sammenlignes med "å skrive av boka". Her har trolig forståelsen av programspråkets syntaks større betydning enn detaljforståelsen for algoritmen.

Et motiverende semester?

Til tross for at mange av studentene synes semesteret har vært både arbeidskrevende og vanskelig, ser det likevel ut til at semesteret har vært *motiverende* (figur 4.16). Dette kan igjen forklares av sitatene fra fokusgruppene der det fremkom at mange synes "selvsagt" at semesteret var arbeidskrevende og vanskelig – "det var jo forventet".

6.2 De beregningsorienterte oppgavenes krav til kunnskap og ferdigheter

De beregningsorienterte oppgavene skiller seg en del fra "tradisjonelle" oppgaver i fysikk. Der de tradisjonelle oppgavene tar i bruk hovedsakelig *analytisk* matematikk for å studere (tidvis svært forenklede) fysiske systemer, tar de beregningsorienterte oppgavene utgangspunkt i å bruke programmering og *numerisk* matematikk for å studere mer komplekse og virkelighetsnære fysiske systemer. Dette bygger, som omtalt, på kunnskap og ferdigheter studentene er ment å tilegne seg i løpet av studiets første semester. Jeg vil ikke gå grundig gjennom de spesifikke oppgavene som studentene ble gitt (tillegg E), men vil gi noen generelle kommentarer til beregningsorienterte oppgaver som en innledning til resten av kapittelet.

Ulike innfallsvinkler, ulike krav

I oppgavene studentene møter, må et fysisk system studeres på "flere plan". Meningen med de innledende oppgavene er vanligvis å skape en oversikt over det fysiske systemet holistisk og konseptuelt, samtidig som studentene får satt seg inn i de fysiske lovene med den grunnleggende matematikken for systemets oppførsel – vanligvis ved bruk av Newtons 2. lov. Her holder det ofte med fysikkunnskap fra videregående skole sammen med elementær analytisk matematikk. Deretter fremmes – enten implisitt eller eksplisitt – en eller annen motivasjon for å ta i bruk en beregningsorientert tilnærming. Under denne delen av oppgaven holder det ikke lenger med kunnskap fra videregående skoles fysikk- og matematikkpensum, men det må i tillegg tas i bruk kunnskap fra første semesters numeriske matematikk og programmering.

Å skille mellom hvilke evner som trengs til oppgaven

Når studentene under arbeidet med den beregningsorienterte biten av oppgavene blir stilt spørsmål om det fysiske systemets oppførsel eller forklaringer og tolkninger til resultater de produserer, medfører dette at studentene må være klar over hvilket plan de bør legge seg på for å kunne besvare spørsmålet på en tilfredsstillende måte. Under problemer som oppstår, må de også velge hvilken tilnærming som egner seg for å løse problemet. Hva løser problemet? En konseptuell drøfting, en matematisk analyse, en *numerisk* matematisk analyse eller en rent programmeringsteknisk feilsøking? Eventuelt hvilken kombinasjon av disse? Et fysisk system kan betraktes gjennom mange ulike *representasjoner* (Angell et al., 2008) og med en innføring av helt nye tilnærminger til studiene av disse, blir i alle fall ikke denne rekka av ulike representasjoner noe særlig kortere.

Studentene eller "sjonglørene"?

En betegnende metafor på studentenes oppgaveløsing kan være "å ha mange baller i luften". Studentene bør med andre ord være flinke til å "sjonglere" mellom ulike kunnskaper og ferdigheter, og tilnærme seg fysikken med ulike representasjoner. I tillegg til å inneha tilstrekkelig kunnskap på tvers av faggrensene til å kunne løse oppgavene, er det også en utfordring å vite når og hvordan denne kunnskapen skal tas i bruk.

6.3 Studentenes arbeidsmoduser

Med et løst utgangspunkt i det Angell et al. (2008) bemerker ved studenters arbeid med emprisk-matematisk-modellering av fysiske systemer – at de tenderer mot å enten jobbe i fysikkmodus eller matematikkmodus – kan jeg i denne oppgaven til en viss grad kategorisere studentenes arbeidsformer på en tilsvarende måte. Formålet vil være å belyse en "ny modus" som en følge av den beregningsorienterte tilnærmingen – en slags "programmeringsmodus". I mange tilfeller er studentene flinke til å trekke linjer mellom matematikken og fysikken – de arbeider på tvers av moduser – men enkelte ganger låser de seg fast i én modus. Jeg vil belyse noen steder der det sistnevnte forekommer med noen illustrerende eksempler fra fysikk- og matematikkmodusene, og med en grundigere gjennomgang av den nye modusen jeg presenterer i denne oppgaven.

Fysikkmodusen

Mange steder møter studentene utfordringer som oppstår gjennom diskusjon der de i hovedsak bruker spontane begreper, enten fra hverdagen eller fra fysikkbakgrunnen fra videregående skole. De resonnerer ikke alltid presist og korrekt ut fra lærebokstandard, men de nærmer seg problemene med en konseptuell fysikkforståelse som grunnlag. Det kan også omhandle å studere krefter og bevegelse, men uten å nærme seg matematikken. Dette er det vi kan omtale som "fysikkmodus". De fokuserer på den fysiske meningen og virkeligheten fremfor matematikk og algebra. Noen eksempler følger for å eksemplifisere og presisere dette ytterligere.

Allerede helt i starten av den første oppgaven, under *"Å tegne et 'free body diagram"* (s. 86), angriper guttene oppgaven ved å ta i bruk sine spontane begreper knyttet til et sprintløp. G2 trekker inn "en bjelke" i sin oppfatning av løpet – en ren hverdagsoppfatning med referanser til det virkelige sprintløpet der løperne tar avspark fra startblokkene.

Når jentene går over til *"Avslutningen: Comment on the results"* (s. 104), velger J1 å kommentere grafene hun har fått med mer eller mindre virkelighetsnære oppfatninger av løpet (med innslag av grafenes utseende ved at de er hverandres deriverte). Hun sier for eksempel at utseende på grafene er "helt naturlig" ettersom "han [sprinteren] blir sliten" og at "han bruker litt tid på å få bygd opp farta si". Hele tiden et sterkere fokus på det virkelige løpet sett i forhold til grafenes form enn på de matematiske uttrykkene som ligger bak grafene.

Et annet eksempel med G2 som hovedperson, er når guttene går i gang med *"Drøfting av resultatene"* (s. 121). Han trekker en parallell mellom fjæra i modellen og en strikk fra virkeligheten, der han kommenterer samspillet mellom kreftene "helt til energien blir borte". Drar man i en strikk, vil den ikke oscillere i all evighet, men avgi energi som varme – en mer realistisk og virkelighetsnær oppfatning som det ikke blir tatt hensyn til i modellen. Oppfatningen stammer fra G2 sitt spontane begrepsapparat i forståelsen av en fjær (eller *strikk*).

Matematikkmodusen

Noen andre steder, men ikke mange, møter studentene utfordringer ved å bruke (hovedsakelig analytisk) matematikk og legger dette til grunn for resonnementer og forklaringer uten å reflektere særlig rundt den fysiske meningen bak. Eksempler er der de er opptatt med å løse likninger uten fysikalsk drøfting eller der de prøver å forklare en observasjon ved bruk av matematikk som hovedgrunnlag. Dette er det som kan omtales som en "matematikkmodus". Konkrete tilfeller fra observasjonene følger for å eksemplifisere og presisere dette.

Ganske tidlig i guttenes første oppgavearbeid, under *"Overgangen til programmeringsbiten av oppgaven"* (s. 88), når G2 ikke vil slippe pennen til fordel for tastaturet, begynner de mer eller mindre å memorere forrige semesters kunnskap. Når han tenker seg fram til et system av differensiallikninger og henter fram fragmenterte biter, uttrykkes de som "$x_1' = x_2$" – rent matematisk – i stedet for "$v' = a$". Like etterpå henger G1 seg på og sier "... en vanlig Euler og vi har en funksjon $f(v,t)$" – han også med generell matematikkformalisme fremfor den mer korrekte i denne konteksten: akselerasjonen, $a(v,t)$. Kunnskap memoreres fram fra der den ble innlært, fra en matematikkfaglig kontekst – de befinner seg i en matematikkmodus.

Når guttene i sin andre oppgave diskuterer begrepet "tid", under *"En diskretisert modell – når er egentlig 'idet du slipper'?"* (s. 113), kan vi observere at G1 hele tiden prøver å argumentere for sitt syn med en grunnleggende matematisk synsvinkel. Han vil drøfte innføringen av funksjoner med initialverdier og setter blant annet $v(0) = 0$ i sin argumentasjon, fremfor å drøfte mer virkelighetsnære tilnærminger.

En ny "programmeringsmodus" – en "prøv-og-feil-modus"?

I tillegg til de to arbeidsmodusene gjennomgått over, oppstår det i denne oppgavens kontekst en ny, svært utslagsgivende og karakteristisk arbeidsmodus – "programmeringsmodusen". Her vil jeg gjøre en gjennomgang av observasjoner som skisserer hvordan oppgavene arbeides med i denne modusen.

I guttenes første oppgave, under overskriften *"Å bestemme steglengden"* (s. 89), fremtrer tidlig den typiske tilnærmingen til arbeidet under programmeringsfasen av oppgavene. Etter at G2 har valgt en verdi for steglengden er han veldig opptatt med antall indekser og eksemplifiserer hvordan programmeringsarbeidet til tider fokuserer svært mye på rent programmeringstekniske temaer og bærer preg av en slags "prøv-og-feil"-mentalitet. G2 klarer ikke å se koblingen[1] mellom steglengde, dt, og antall indekser, n, og prøver seg heller fram med 100 eller 101 til han får noe som fungerer. Han ender til slutt opp med å droppe hele problemet til fordel for å gå over til å bruke lister i stedet for arrays.

Ikke lenge etterpå, mot slutten av guttenes digresjon om *"Programmeringen i FYS-MEK1110 sett i forhold til INF1100"* (s. 90), minnes guttene å ha gjort det de nå gjør i denne oppgaven, men sammenlikningen skjer mer eller mindre rent visuelt. De viser en slags *billedlig representasjon* for programmeringen fremfor å minnes *algoritmen* – løsingen av differensiallikninger og bruk av Eulers metode – som egentlig er uavhengig av "for-løkker" og "*i*-er". Det vil si: Den er grunnleggende uavhengig av programmeringsspråklig syntaks (den kan forklares med ord) og kan skrives ned på flere forskjellige måter

[1] $dt = t_{max}/n \Leftrightarrow n = t_{max}/dt$

innenfor samme programmeringsspråk. Guttene velger i denne oppgaven å bruke while-løkker (ikke for-løkker) og Pythons append-funksjon for lister, og trenger heller ingen i-er i programkoden sin. I den forbindelse er det bemerkelsesverdig at G1 lager en i i programmet sitt uten å vite hvor den skal inngå. Programmeringen ser ut til å bygge på en betydelig grad av (visuell) memorering av tidligere liknende oppgaver kombinert med en ustrukturert prøving og feiling, der parametre og variable defineres ubegrunnet, i stedet for en planlagt problemløsende modelleringstanke som grunnlag for programmets utforming.

Litt senere, når *"Resultatene nærmer seg – og viser seg"* (s. 91) og guttene skal bruke resultatene til å finne tiden brukt på 100-meteren, velger de forskjellige løsningsmetoder. G1 problematiserer diskretiseringen av lengde og sier seg ikke fornøyd med svaret før han har en tid som samsvarer med en lengde på 100,08 meter, og han fokuserer veldig på *nøyaktigheten* i svaret. Dette *kan* tyde på et overdrevent fokus på programmeringen og delvis den numeriske matematikken på bekostning av den konseptuelle fysikken, men akkurat i dette tilfellet kan det også tyde på et genuint ønske om å modifisere og eksperimentere med programmet på egenhånd – å få programmet til å "adlyde hans ordre".

Der guttene i forkant av programmeringen var litt flinkere til å komme fram til en felles forståelse av hva de skal gjøre, hopper jentene i stedet direkte inn i oppgaven uten særlige diskusjoner. Ved *"Overgangen til programmeringsbiten av oppgaven"* (s. 98), bruker J2 en god del tid på det tekniske og syntaksmessige, mens J1 henter fram et av sine egne programmer fra tidligere. I sitt program lager J1 en "dummyvariabel" for at, som hun sier, "programmet skal fungere". Dette tenderer mot det Sins et al. (2005) omtaler som "model fitting behaviour" der Eulers metode og modellen som helhet ansees som en artefakt som hun prøver å få til å fungere ved å legge til parametre kun for det formål å få et fungerende program. J1 sin overordnede forståelse av hva som må gjøres for å løse problemet, sammen med hennes ferdiglagde program som hun har fått til å fungere, gjør at jentene etter hvert får resultater av kjøringene. De velger også *"Å bestemme steglengden"* (s. 100) på nogenlunde samme måte som guttene. Selv om J1 etterspør en diskusjon rundt temaet, ender de ikke opp med å diskutere det.

I feilsøkingen, under *"Hva er en 'sinnssyk' akselerasjon?"* (s. 102), kan vi se hvor lett jentene tenderer mot å henge ut programkoden som syndebukk. De sitter i programmeringsfasen med et program som ikke gir like resultater, og for å finne ut hvem som har rett, går jentene først inn på programkodenivå i søken etter enkle skrivefeilforskjeller. De beveger seg litt innom resonnering med hverdagsbegreper, men når dette ikke fører fram går de tilbake til utgangspunktet igjen, og J1 presiserer fremgangsmåten som "... enten så er det noe feil med mitt program, eller så er det noe feil med ditt program, for vi skal jo ha det samme" – en slags sammenligningsbasert prøv-og-feil-metode som veier høyere enn å grave seg ned i den matematiske modellen. Etter at de har løst problemene og jeg som oppfølging nærmest tvinger de til å undersøke i alle fall *ett* kraftledd nærmere, uttrykker J1 først at det er "helt håpløst å se" og stiller seg spørrende til hva eksponensialfunksjonen til null er. Dette kan tyde på at matematikkunnskapene ikke sitter veldig godt eller at de ikke ligger lengst framme i hodet under problemløsing i programmeringsfasen.

I den andre oppgaven kan vi på ny se guttenes tilnærming til programmeringsfasen under overskriften *"Programmeringen starter: 'Hvis min går feil vei, så vet vi at det er* *noe feil' og valget av dt"* (s. 116). Her spør G2 ganske tidlig "Er det bare jeg som stusser over hvordan i helvete vi skal finne et uttrykk for r?". Like før, under diskusjonen om enhetsvektorer der guttene viste tilsynelatende god kontroll over vektormatematikken, nevnte jeg relasjonen $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ for dem. Denne ser nå ut til å ha blitt glemt. I diskusjonen videre, og i mine egne kommentarer, fremheves den typiske mentaliteten som til tider preger programmeringsfasen sterkt. Både at ingen tar til orde for å analysere fortegnet til y-koordinaten og de påfølgende hendelser der G1 "håper at python klarer å gange sammen selv" og kjenner at det er "litt sketchy opplegg", men fortsetter og ser an om han gjør noe feil etter hvert, sammen med G2 sin metode å velge dt på, viser igjen et sterkt preg av en "prøv-og-feil-mentalitet". Guttene velger å avvente og se hva programmet "spytter ut" før de i det hele tatt vil vurdere en dypere analyse av fremgangsmåten eller å lage noen plan for hva de skal gjøre og hvordan.

Videre, under *"Programmeringsfasen og håndtering av problemer som oppstår"* (s. 118), kommer guttenes feilmeldinger som bestilt sammen med grafer som ikke gir mening. De har et relativt stygt uttrykk for akselerasjonen, så begge fokuserer på å ha denne skrevet riktig og den blir tidlig uthevet som syndebukk. Diskusjonene speiler fokuset i problemløsingen, og de driver en hyppig søken etter skrivefeil i programkoden og prøver å skrive ut deler av programmets oppførsel til skjerm for så å endre noe i koden og skrive ut på nytt, uten å analysere i særlig grad hva som er galt (eller enda viktigere: hva som *kan* være galt) mellom hver kjøring. Problemet i dette tilfellet er forøvrig valget av steglengden som ble bestemt helt tilfeldig, uten noen form for drøfting eller diskusjon rundt valget.

Jentene velger steglengden (eller antall punkter) på samme måte som guttene, under *"Programmeringen begynner – men den er jo dobbeltderivert?"* (s. 129), helt tilfeldig og uten diskusjon. Videre, under *"Dekomponering av snorkraft og r – nødvendig med en vinkel?"* (s. 131), møter jentene problemer med dekomponeringen av snorkraftuttrykket, men når de nå sitter ved datamaskinen, velger ingen å ta til orde for en matematisk analyse av problemet. Begge anser en vinkel som oppdateres i løkka som nødvendig. Hadde de derimot valgt å dekomponere akselerasjonsuttrykket i x- og y-retning med enhetsvektorene $\vec{i}$ og $\vec{j}$ og tatt med i beregningene at $\vec{r} = \vec{x} + \vec{y}$ *i forkant* av programmeringen, hadde de sett at en vinkel er overflødig og unødvendig (ut over det å finne startposisjonen) og de kunne raskt satt opp riktige uttrykk i programkoden. I stedet blir de nå sittende og prøve og feile mens de programmerer, uten noen dypere analyse av fremgangsmåtene. De ender opp med å ha mange problemer samtidig og liten struktur i arbeidet mens de diskuterer relativt overfladisk om de skal dekomponere eller ikke. Litt senere, når J2 stiller seg kritisk til at hun ikke oppdaterer vinkelen, kan vi igjen se tendensen til at programmeringen foregår stykkevis og usammenhengende ved at J1 har laget en array for vinkelen som oppdateres i for-løkka uten at den brukes noe sted – hun bare anså den som nødvendig fordi de arbeidet med en pendel. Selv hvor mye jeg prøver å få de til å studere kraften og dekomponering uten tastaturet, men heller med penn og papir, er det tydelig at de arbeider med "programmeringsbiten av oppgaven" og er fastlåst i sin "programmeringsmodus" der tastaturet styrer arbeidet. Analyse av systemet la de bak seg når de begynte på oppgave f). Enkle matematiske sammenhenger står ikke i høysetet når de møter problemer, og J1 sier for eksempel høyt "Men r er jo en skalar. Det er størrelsen på lengden av $\vec{r}$. Men hvordan kan vi vite hvor lang den er, da?".

En siste gang i arbeidet med denne oppgaven, under *"'Describe and interpret the motion' og endringer av programmet"* (s. 137), kan vi igjen observere programmeringsfasens prøv-og-feil-mentalitet ved J1 under diskusjonen om å endre fjærkonstanten fremmer sin fremgangsmåte ved "å se hva som skjer" – og denne gangen fungerer det!

I den siste oppgaven får studentene servert et ferdiglaget program, og også her kan vi se arbeidsmåten tydelig. Under guttenes *"Endringer av programmet og et lite møte med et velkjent problem"* (s. 143), starter de med å diskutere hvorvidt massen har en innvirkning på banen og begge virker lettere overrasket over at den ikke har noe å si. Guttene har flere ganger kjørt programmet og studert grafene, men ikke satt seg inn i programkoden i det hele tatt. De har kjørt programmet som en sort boks. Den typiske misoppfatningen i dette temaet er at mer massive gjenstander faller raskere enn mindre massive gjenstander, men dette ser ikke ut til å være problemet her. Guttenes fremgangsmåte for problemløsingen til dette spørsmålet er rent programmeringsteknisk, som den pleier å være i programmeringsøktene, og de *studerer programkoden* for å se hvor parameteren for Jupiters masse inngår. Når de finner ut at Jupiters masse ikke inngår i akselerasjonslikningen, stopper diskusjonen og begge godtar at den ikke har noen innvirkning. Så lenge programmet kjører feilfritt og den serverte programkoden påstår at massen ikke skal inngå i uttrykket, drøftes ikke fysikken noe nærmere.

I jentenes siste oppgave, med et annet tema enn guttene, under *"Programmeringen – 'Du bare prøvde deg fram? ... Ikke godkjent!"'* (s. 148), kan vi se at J2 etter å ha kopiert og limt inn programmet på ingen måte kobler for-løkka i programkoden til å være en numerisk integrasjon av vinkelakselerasjonen. For det første bruker hun en ren prøv-og-feil-fremgangsmåte ved behandlingen av α og den rent billedlige forståelsen av programkoden gjør at hun ser på alpha-en som en konstant som må få tilegnet en verdi, på samme måte som de andre konstantene i programmet (skrevet som "`k = ...`" i motsetning til "`k[] = ...`" som er en array). Her er det lite eller ingen fysikk- eller matematikkforståelse til stede og heller ingen plan for modelleringen av systemet. Selv J1, som tidvis viser stor forståelse for både matematikken, fysikken og programmeringen, er litt usikker på hvorfor α-en ikke er gitt som en array – noe begge tror er en nødvendighet. J1 laget til og med en overflødig array og initialverdi for α ganske tidlig. Når jeg etterspør en grunn for å lage en array, er det enkle svaret "... vi kan sette den til å være sånn, så kan vi se om den oppfører seg konstant". Her burde det ikke være nødvendig å prøve-og-feile for å se om akselerasjonsuttrykket hun har skrevet inn i for-løkka oppfører seg konstant, men det er kanskje den minst (tanke)krevende måten å gjøre det på? De senere par avsnittene viser at J2 sin tro på at α skal være konstant, nærmest har "smittet over" på J1, som i større og større grad tviler på sin egen løsning. J2 presiserer videre sin prøv-og-feil-mentalitet under programmeringen ved at "Hvis den ikke stopper opp, da er det greit!".

Som en avsluttende kommentar og presisering, hvis det ikke er fremmet tydelig nok: Denne "programmeringsmodusen", som jeg kaller den, oppstår idet studentene skal lage eller endre programkoden. De inntar raskt en tydelig prøv-og-feil-mentalitet. Skriving av programkoden foregår svært fragmentert og ustrukturert og problemer blir løst ved å "endre noe" i programkoden for så å kjøre programmet på nytt i håp om å møte en feilmelding som kan lede i retningen av et fungerende program. De lager sjelden eller aldri noen plan for programmeringen, men "hopper i det og ser hva som skjer". Vi kan også observere en manglende evne til å slippe tak i tastaturet i møtet med problemer.

Flere av problemene studentene møter kunne vært løst ved hjelp av et dypere blikk i den analytiske eller numeriske matematikken. Kanskje føler de en større tiltrekning til minste motstands vei der de kan prøve og feile uten å tenke for mye over hva de gjør? Dette er et tema for videre diskusjon i oppgaven.

6.4 Modellering med en splitter ny verktøykasse

I denne seksjonen vil jeg presentere noen temaer knyttet til arbeidet med de beregningsorienterte oppgavene ved å hente fram og kommentere noen observasjonsresultater som underbygger og presiserer disse temaene. Jeg vil gi kommentarer underveis som en hjelp til å rette fokuset på andre temaer jeg senere vil komme tilbake til – problemer knyttet til å skape en individuell forståelse som samstemmer med hva vitenskapen anerkjenner og hva som kreves for å bli en "god beregningsorientert modellør".

Valget av og forholdet til steglengden

Studentene viser et gjennomgående manglende forhold til steglengden og omstendighetene rundt valget. Følgene et valg av for grov steglengde gir, blir diskutert senere. Noen observasjoner av det direkte valget og noen uttalte kommentarer om dette følger.

I den første oppgaven velger G2 *"Å bestemme steglengden"* (s. 89) tilsynelatende fullstendig fra løse luften. G1 presiserer også sitt forhold til steglengden når han blir veldig overrasket over den (i hans øyne) svært lave verdien på 0.01 uten å egentlig kunne begrunne det noe særlig. Jentene velger en tilsvarende tilfeldig måte *"Å bestemme steglengden"* (s. 100). Selv om J1 etterspør en diskusjon rundt temaet, ender de likevel ikke opp med å diskutere det.

Det samme gjelder for den andre oppgaven. Under *"Programmeringen starter: 'Hvis min går feil vei, så vet vi at det er noe feil' og valget av dt"* (s. 116), velger G2 igjen steglengden ubegrunnet og uten noen diskusjon eller særlige innspill fra G1. Litt senere i oppgaven, under *"Programmeringsfasen og håndtering av problemer som oppstår"* (s. 118), kommenterer G1 under feilsøkingen at "$v + dt \cdot a$, da er det a-en min som er feil, da" og steglengden ansees mer eller mindre som statisk. I den helt siste diskusjonen under *"Begrensninger ved modellen – eller virkeligheten?"* (s. 122) presiserer G2 sitt forhold til steglengden ved at hvis de velger dt til å være "1/10000 [...] da kræsjer bare maskinen", noe som på ingen måte er riktig.

Jentene velger, under *"Programmeringen begynner – men den er jo dobbeltderivert?"*, igjen steglengden (eller antall punkter) ubegrunnet og uten diskusjon. Ikke lenge etterpå velger J2, i sitt forsøk på å løse problemene, å endre antall punkter fra 100 til 10 og samtidig endre steglengden fra 0.1 til 1. Dette forslaget er ganske meningsløst og jeg ender opp med å bryte inn (nærmest ufrivillig). Etter å ha avslørt i hvilken retning de bør endre steglengden, og etter å ha kommet fram til hva som gikk galt, presiserer J2 at "... tusen steg? Jeg synes det er ganske mye." – igjen ubegrunnet.

I den siste oppgaven fikk studentene utdelt programkoden og trengte ikke å velge noen steglengde på egenhånd. Her oppstod det altså ingen bemerkelsesverdige valg av størrelsen.

En kommentar til dette: Studentene ser ut til å velge steglengden ut fra "gammel vane". De ender nesten alltid på 0.1, men ønsker tidvis å diskutere valget. J1 sier selv at "det burde vi vite!" når de finner ut av at steglengden er for stor. Det er rimelig å anta at de ikke har noen særlige forutsetninger for å diskutere dette *veldig* i dybden, men de burde, som J1 sier, kjenne til problemene knyttet til valget av for grov steglengde. En variasjon av steglengden burde følgelig stå i høysetet under problemløsing. Dette er noe den derimot *ikke* gjør.

Eulers metode: En formel? En sort boks?

Eulers metode – metoden som ligger til grunn for løsingen av differensiallikningene i de beregningsorienterte oppgavene og kjernen i programkoden – har, eller får, studentene noen innsikt i denne metoden i arbeidet med de beregningsorienterte oppgavene? Eller blir den oppfattet som en sort boks – en slags "formel" for å løse problemet de står overfor og et middel for å nå målet om "rett svar"? Fra observasjonene kan vi hente ut en del tilfeller der dette blir belyst ganske tydelig.

Deler av jentenes arbeid med den første oppgaven, under *"Overgangen til programmeringsbiten av oppgaven"* (s. 98), er kanskje det tydeligste eksempelet på dette. Når ordet "differensiallikning" blir nevnt, kobler J1 det raskt til "Foreward-Euler", nærmest som et middel for å nå målet – en formel. Hun finner også fram et program hun har laget som tilfeldigvis passer mer eller mindre perfekt til denne oppgaven, så det oppstår ingen store problemer som en følge av dette i denne oppgaven, men jeg stiller meg likevel spørrende til om hun *forstår* hva hun gjør, eller om denne "Foreward-Euler"-en blir en sort boks som løser problemet hun står overfor på samme måte som man kan bruke en formel uten å forstå den? Dette fremtrer spesielt med utsagn som "Vel, kom og se på det da. Det her er en standard Foreward-Euler som funker for alle slags funksjoner" som svar på J2 sine spørsmål om programstrukturen. Når hun også ender opp med å lage en variabel for tiden selv om den aldri brukes – programmet trenger den for å fungere, mener hun – tenderer det mot hva Sins et al. (2005) omtaler som "model fitting behaviour" der Eulers metode og modellen som helhet ansees som en artefakt som hun prøver å få til å fungere ved å legge til parametre kun for det formål å få et fungerende program.

Mot slutten av guttenes andre oppgave, under *"Begrensninger ved modellen – eller virkeligheten?"* (s. 122), er det også noe som er verdt å merke seg. G1 predikerer allerede fra start at endringen i fjærkonstanten "blir for mye for den Euleren her", og til tross for at jeg også avslører feilen ganske tidlig, beveger guttene seg i en lang diskusjon der det blant annet kommer antydninger til at modellen er syndebukken (og mye annet som diskuteres seinere). Selv etter å ha konkludert med at de kunne funnet en steglengde til en vilkårlig stor fjærkraft, men at begrensningen ligger i at "datamaskinen ikke klarer det", blir de likevel svært overrasket og forbauset når jeg forklarer hvordan Eulers metode går fram og at det er dette de har studert i grafen sin. I sine kommentarer om at modellen, programmet eller datamaskinen kan være opphavet til problemene, beveger de seg aldri inn på noen nærmere studie av Eulers metode og dens virkemåte. Dette kan tyde på at metoden blir ansett som en sort boks som løser differensiallikningen og at feilen ansees som en "for stor steglengde" uten at dette har noen dypere årsaksforklaring.

I jentenes andre oppgave kommer J1 sin tilnærming til Eulers metode på ny i lyset, under *"Programmeringen begynner – men den er jo dobbeltderivert?"* (s. 129), der hun igjen velger å hente fram et tidligere skrevet program for å løse problemet. Hun får raskt problemer med sitt program ettersom hennes akselerasjonsfunksjon avhenger av både fart og tid fra tidligere, mens ingen av disse variablene er nødvendige i denne oppgaven. Det er også tydelig at hun ikke har noen formening om *hva* Eulers metode gjør, hun bare vet at hun "skal integrere opp akselerasjonen". Koblingen mellom matematikken og programkoden – at de egentlig løser et koblet sett med førsteordens differensiallikninger (noe de også gjorde i forrige oppgave) – omtales av J2 som å "gå via farten", men fremstår ikke særlig klart for J1. Litt senere sier hun også "... Foreward-Euler, den fungerer jo sånn at du har en funksjon for akselerasjonen uttrykt med blant annet farten" og presiserer godt at hun har et inntrykk av metoden som en statisk sort boks og den gitte "formelen" for oppgavens problemstilling.

Litt senere møter jentene *"De programtekniske feilene ..."* (s. 134), på samme måte som guttene ved at steglengden er for stor. Når J2 går i helt feil retning og velger 10 steg i stedet for 100 steg på 10 sekunder, bryter jeg inn og ender igjen med å antyde at det er steglengden det er noe galt med og i hvilken retning den bør endres. Jentene tar i bruk finere steglengder og får gode resultater, men når jeg etterspør *hva* som gikk galt, trenger begge en betenkningstid. Koblingen mellom dårlig steglengde og hva som faktisk gjorde at grafen ble nærmest en rett strek ut til $+10^{37}$, sitter dypere inne. J1 klarer etter hvert å si noe som er *ganske* riktig, at den akselererer for lenge med for stor akselerasjon – eller riktigere, som hun også sier, at vi "holdt den for lenge". Det hun ikke nevner direkte her er at dt-en også spiller inn på hvor lenge vi regner med samme *hastighet* i det andre integrasjonssteget. Det er her posisjonene som danner grunnlaget for grafen de studerer regnes ut.

Dette er også aktuelt ved slutten av guttenes siste oppgave, under *"Endringer av programmet og et lite møte med et velkjent problem"*, der guttene prøver å finne ut hvorfor grafen ser ut som en blomst. G2 bemerker blant annet underveis at "Da hadde jo programmet stoppa" til G1 sitt forsøk på å undersøke om Jupiter går "gjennom Sola", eller om den bare går "rett forbi" og kommenterer med humoristisk tone at steglengden kan være for grov. Når jeg tar opp hans forslag og fremmer dette som opphavet til deres problemer, svarer derimot G1 at "Den dt-en vil jo bare spille inn på om den regner akselerasjonen for lenge?" og, på samme måte som for J1 i forrige oppgave, tar han ikke hensyn til at den også spiller inn ved utregning av posisjonene ved at vi holder samme *hastighet* (i samme retning) for lenge.

Som en avslutning er det verdt å nevne guttenes digresjon i slutten av *"Programmeringsfasen og håndtering av problemer som oppstår"* (s. 118), der guttene spør seg selv om hvorfor de ikke kan importere en ferdiglaget Runge-Kutta til å løse oppgavene. Dette er et viktig tema innenfor beregningsorientert vitenskap og den vanligste måten å gjøre beregninger på, men hvis de hadde importert en ferdiglaget metode ville denne fremstått som en sort boks og skjult koblingen mellom den numeriske matematikken og programmeringen og samtidig også koblingen mellom matematikken og *fysikken*. Uansett er det verdt å spørre seg: Fikk de egentlig *mer* innsikt i hva den reelle feilen var i disse tilfellene? Eller blir feilen enkelt og greit sett på som "en for liten steglengde" uten at de egentlig tar i bruk eksisterende kunnskap fra (eller får noen ny i) den numeriske matematikken? Med tanke på at guttene i slutten av oppgaven ikke klarte å forklare den "nye" numeriske feilen ved økt fjærkonstant på en god måte, og at de igjen i siste oppgave på nytt sliter med steglengdeproblematikk og Eulers metode, kan dette tyde på at de *ikke* fikk noen stor ny innsikt i numerikken, eller i det minste at den ikke ble satt på dagsorden for fremtidig drøfting i modelleringsoppgaver.

Å bruke importerte metoder ville riktignok fratatt studentene *muligheten* til (eller gjort det enda vanskeligere) å studere den numeriske metodens oppbygging, men studentene ser fint ut til å klare å lage "Euler-løkka" og deretter bruke den uten å vurdere i særlig grad hva den gjør og hva som er dens svakheter. Hadde studentene hatt til vane å sette steglengden enda finere enn den nå (tilfeldigvis) blir satt til, ville de heller kanskje ikke møtt noen problemer som tvang dem til å studere Eulers metode overhodet. Å fordype seg i den numeriske matematikken kan altså ikke ansees som et *krav* for å mestre oppgaven.

Numeriske og diskretiseringsbaserte feil og deres forklaringer

Studentene møter i sitt arbeid med oppgavene en god del problemer som stammer direkte fra problemer knyttet til numerisk matematikk og diskretisering. Det vanligste er et valg av for grov steglengde som blir opphavet til numerisk feil i Eulers metode, eller spørsmålsstillinger knyttet til diskretisering av tid og rom som skaper en diskusjon mellom studentene. Mange av disse diskusjonene viser seg å bære feil av sted og omhandle emner og temaer som ikke er hensiktsmessige for å nå målet. Jeg vil her gå gjennom og kommentere disse tilfellene fra observasjonene.

Det første tydelige diskretiseringsproblemet oppstår i jentenes arbeid med den første oppgaven, under overskriften *"Initialverdier og 'rar begynnelse på akselerasjonen' "* (s. 100). J1 får en svært brå start på akselerasjonen, der den hopper fra å være null til litt over fem m/s^2 på "kort tid", eller rettere sagt: ett tidssteg. Her lager J1 sin egen "fysiske" (bort-)forklaring på fenomenet ved at "Du bruker jo en liten brøkdel av et sekund på å få den akselerasjonen fra null og opp" og ser på det som "helt greit" at det ser sånn ut. J2 vedkjenner seg at hun ikke har liknende start på sin graf, men synes likevel at J1 sin graf "er veldig logisk". Jentenes forståelse av begrepet "akselerasjon" består sannsynligvis i "fartsendring" og bruker det til å forklare den brå stigningen, men problemet de står overfor er et rent diskretiseringsproblem, eller et *modellerings*problem om vi vil. Jentene ser ikke ut til å ha, eller ta i bruk, et godt nok begrepsapparat til å angripe problemet på en god måte og få svar på hvem som har rett. Når verdien til a_0 blir problematisert, vet de heller ikke hvordan de skal angripe problemet. Den matematiske koblingen er ikke til stede. De kunne funnet ut at de ikke trenger en a_0 i det hele tatt ved hjelp av et kort matematisk blikk på integrasjonsstegene i Eulers metode. De to stegene som integrerer opp differensiallikningen er `v[i+1] = v[i] + dt * a[i]` og `x[i+1] = x[i] + dt * v[i]`. Her blir `a[i]` funnet i forkant av hvert integreringspunkt ved hjelp av Newtons 2. lov, så det de trenger å definere "manuelt" er `v[0]` og `x[0]`. Jentene fokuserer derimot på det begrepsapparatet som de kjenner best, som handler om fartsendring – de sitter i en fysikkmodus med fokus på kunnskap fra videregående skole og hverdagsbegreper. Dette er en kunnskap som ikke er tilstrekkelig for å løse problemet i dette tilfellet. Hadde de i stedet tatt i bruk kunnskaper fra *numerisk matematikk* og *programmering* fra forrige semester, ville problemet ha kunne blitt løst ganske raskt.

I guttenes arbeid med sin andre oppgave, under *"En diskretisert modell – når er egentlig 'idet du slipper'?"* (s. 113), møter ikke guttene et direkte *problem*, men de diskuterer et problem med forskjellige begrepsapparat og tilnærminger til temaet. Der G1 hevder ved hjelp av matematikkargumenter at sin kritikk av oppgaven er velplassert, bruker G2 mer virkelighetsnære argumenter for å fremme sin side av saken – noe som preger hele diskusjonen. De sitter i hver sin modus. Hele veien ønsker jeg å se at *modellen* skal bli diskutert – at de begynner å problematisere begrensningene til det å modellere virkeligheten og hva dette innebærer. I stedet tviholder de, og spesielt G1, på sitt syn. Mot slutten, når jeg kommer med innvendinger mot G1 sine syn og han sier angående tidspunktet "samtidig som du slipper" at "Det går ikke an å måle det, nei, men det *må* eksistere!", virker ikke skillet mellom modell og virkelighet til å være særlig stort. Det de hele veien *burde* diskutert – eller vært klar over at de diskuterer – er skillet mellom en kontinuerlig og diskretisert modell av virkeligheten. Det at fysikkfaget tar sikte på å *modellere* virkeligheten matematisk, med sine begrensninger (avhengig av innfallsvinkel), får ikke plass i denne diskusjonen.

Litt senere i samme oppgave, under *"Programmeringsfasen og håndtering av problemer som oppstår"* (s. 118), får studentene feilaktige posisjonsgrafer som en følge av for grovt steglengdevalg. Allerede det første tidssteget gir opphav til en stor hastighet som igjen gir opphav til at pendelen flytter seg alt for langt før neste tidssteg blir tatt med i beregningen. Fjæra er strukket *langt* ut fra sin likevektsposisjon. Dette gjentar seg med økende utslag og det hele bare baller på seg. Guttene beveger seg gjennom en rekke forsøk på å forklare det de ser på skjermen. I sitt første forsøk på å tolke grafene kommenterer G2 for eksempel at pendelen ser ut til "å fly av gårde". Litt senere sier han på tilsvarende vis at "Den bare danser oppover jo. Akkurat som om fjæra var helt gæærn". Han sitter i en fysikkmodus og prøver å forklare det han ser med begreper knyttet til hverdagserfaringer med en fjær. Han burde heller ha studert den numeriske matematikken og den matematiske *modellen* som helhet for å komme til bunns i problemet.

Mot slutten av oppgaven blir dette på nytt et tema, under *"Begrensninger ved modellen – eller virkeligheten?"* (s. 122). De får på nytt numeriske feil etter å ha økt fjærkonstanten betydelig i et forsøk på å "lage et helt stivt tau". Igjen blir steglengden for grov, denne gangen til å takle de enorme kreftene den nye fjærkrafta gir opphav til ved bare en bitte liten forskyvning. Farten blir stor og posisjonsberegningene strekker fjæra *alt* for langt. Til tross for at dette problemet tilsvarer det samme som guttene for ikke lenge siden "løste", kommer de alternative forklaringene på nytt fram. G2 starter tidlig med en bemerkning om at "med en gang tyngdekraften detter ned, så tar det et millisekund før den fjæra holder igjen". Allerede her ligger egentlig kjernen i problemet – guttene er ikke bevisste på at det er *de* som angir om modellen skal bruke "millisekunder" eller "noe-annet-sekunder". Det er de selv som angir steglengden! Forklaringene hans når problemet oppstår går nemlig ut på at fjæra "imploderer" og at krafta "blir SÅ sterk at den ikke klarer å holde seg i ro uten å klikke". Når jeg så åpner for en utdyping av disse alternative forklaringene, *etter* å ha rettet fokuset litt inn mot steglengden og egentlig "avslørt" problemet, blir begge likevel raskt opptatt med å forklare det de visuelt ser på grafene, som for eksempel at fjæra "flyr sinnssvakt langt". De tar ikke hensyn til at fjæra ikke kan få energi, selv om fjærkonstanten er aldri så høy. Hvis man slipper noe hengende i en fjær i gravitasjonsfeltet, vil aldri toppunktet for bevegelsen ende opp høyere enn der du slapp gjenstanden fra (jfr. bevaring av mekanisk energi), men likevel ser de for seg en fjær som "flyr til værs" og prøver hele tiden å flette inn at det er "noen som drar" i fjæra – eller *tauet* – for å underbygge påstanden.

I guttenes siste oppgave er det også et tilfelle av nesten det samme. Mot slutten av *"Endringer av programmet og et lite møte med et velkjent problem"* (s. 143), når studentene får endret verdier og studert tilhørende grafer, viser begge tegn til å unnlate å studere grafene med tanke på *modelleringsproblematikk* og den numeriske matematikken, men fokuserer heller på hverdagsforståelser. De sitter i en slags fysikkmodus. Hadde G2 sin kommentar om at "Da hadde jo programmet stoppa" til G1 sitt forsøk på å undersøke om Jupiter går "gjennom Sola", eller om den bare går "rett forbi" ledet til en diskusjon og blitt undersøkt nærmere, kunne den reelle feilen blitt oppdaget. I stedet gir det heller mening for guttene at Sola hele tiden "bøyer av banen til Jupiter" for hver passering. Her bruker de ikke bare feil kunnskaper i møtet med problemet, men de sliter i det hele tatt med å se at det finnes noe problem.

Oppsummert kan det se ut til at studentene svært ofte tar i bruk et utilstrekkelig begrepsapparat – en "feil verktøykasse" – i møtet med denne typen feil. De møter problemer som stammer grunnleggende fra begrensninger knyttet til den numeriske matematikken eller modellen, men i stedet for å diskutere begrensninger ved modellen, imøtekommer de disse problemene med referanser til fysikk fra videregående skole og hverdagserfaringer. Disse referansene er ikke tilstrekkelige for oppgaven de står overfor.

Et par andre problemer som møtes med "feil verktøykasse"

Alle problemene i avsnittet over har til felles at de stammer fra en numerisk feil eller en følge av begrensninger tillagt modellen eller modelleringsteknikken. Her vil jeg gjennomgå noen andre problemer studentene møter med feil verktøykasse, men som ikke har denne karakteristikken.

Når guttene i sin første oppgave skal i gang med *"Å gjøre modellen mer realistisk"* (s. 92) får de en rekke kraftuttrykk presentert relativt matematisk, med noen få kommentarer i oppgaveteksten angående valget av dem. Studentene går inn i en matematikkmodus i håndteringen av uttrykkene og i møtet med skrivefeilen i det ene uttrykket. Hadde de drøftet parametre og kraftledd fra en fysikkmodus, ville antakelig parentesen vært grei å plassere. Når man ser på uttrykket og tenker på at det hele skal ha en fysisk benevning, kan parentesen raskt plasseres riktig – en benevningsløs konstant i et kraftuttrykk gir ikke mening. G1 berører så vidt den fysiske tolkningen av uttrykket med eksponensialfunksjonen, men gir opp så å si med én gang han har begynt.

I jentenes arbeid med den første oppgaven møter også de et ganske stort problem når de får forskjellige grafer for akselerasjonen og begynner å omtale den korrekte grafen som en "sinnssyk akselerasjon". Under *"Hva er en 'sinnssyk' akselerasjon?"* (s. 102), ønsker jeg å få jentene til å vise sin begrepsforståelse for "akselerasjon" og hva som i så fall gjør den "sinnssyk". Her inntar jentene straks programmeringsmodusen og leter etter skrivefeil i programkoden. De løser ikke problemet på denne måten (selv om de kunne gjort det). Jeg prøver å få de til å studere kraftleddene i detalj med matematikk, men det lar seg ikke gjøre. De vil heller studere grafene og finne ut hva som er mest "logisk" med bruk av et begrepsapparat som ikke viser seg å være tilstrekkelig. Når dette ikke fører fram, stemmer J1 for å heller gå tilbake til programmeringsmodusen igjen. Jeg viser i kommentarboksen tilhørende avsnittet hvordan en ganske raskt kan finne den rette akselerasjonen ved hjelp av analytisk matematikk, men denne verktøykassa skyves til side til fordel for programkodestudier og "logisk tenking".

Forskjellen mellom modell og virkelighet?

Som nevnt under forklaringene til problemene studentene møtte på grunn av numeriske og diskretiseringsbaserte feil, inntar studentene ganske ofte en fysikkmodus med forklaringsmodeller som tar utgangspunkt i deres hverdagserfaringer og en viss grad av konseptuelle fysikkunnskaper i møtet med problemer. De argumenterer ofte med at "det er slik det er", når det egentlig burde være "det er slik *modellen* er". De kan se ut til å ha et manglende skille mellom modellen og den virkelige verden. Ut over de steder studentene møtte problemer knyttet til modellen, er det også noen steder der jeg (eller oppgaveteksten) etterspør en forklaring på fenomenet de observerer. Igjen kommer innsikt i modellens begrensninger til kort og andre forklaringsmodeller fremmes.

I guttenes andre oppgave, når de skal i gang med *"Drøfting av resultatene"* (s. 121), prøver G2 på et tidspunkt å generalisere det de leser av i grafene til å gjelde virkeligheten. Her kan vi merke oss at han nevner et samspill mellom fjærkraft og gravitasjon helt til "energien blir borte". Han legger plutselig den virkelige verden til grunn for generaliseringen, uten å ta hensyn til at modellen ikke legger til rette for noe energitap (eller rettere: overganger til mer lavverdig energi). Når jeg prøver å utfordre deres oppfatninger litt senere, under *"Begrensninger ved modellen – eller virkeligheten?"* (s. 122), er det en rekke flere tilfeller av noe liknende. Det de egentlig burde diskutert var den aktuelle fjærmodellen, men i stedet kommer de inn på både hvordan en metallstang deformeres og hvordan et "ekte" tau og en "slakk strikk" bøyer seg *i virkeligheten.* G1 nevner hele tiden "i denne modellen her", men er han klar over *hva* denne modellen er en modell *for*? En matematisk modell for en fjærkraft med et punktlegeme i enden (der all masse er samlet), satt i en like matematisk pendelbevegelse? Han er tilsynelatende klar over at han har med en modell å gjøre, men han virker ikke bevisst på hva dette medfører – eller *kan* medføre.

Jentene viser litt av den samme tendensen i sitt forsøk på å modellere denne fjærpendelen. Under *"'Describe and interpret the motion' og endringer av programmet"* (s. 137) prøver J2 å nevne en begrensning til utfordringen "å modellere et helt stivt tau" ved å presisere at det kanskje vil være vanskelig å *lage* et slikt "stivt tau" *i virkeligheten* – en direkte referanse til hverdagsbegrepet "et tau" uten å ta hensyn til modellens utforming og begrensninger. Under *"Avslutningsvis ... har bitene falt på plass?"* (s. 140) får jentene opp en graf som viser at snordraget aldri er positivt. Dette skyldes, som nevnt, bevaring av mekanisk energi i gravitasjonsfeltet og at systemet slippes med fjæra i likevektsposisjon. Når jeg etterspør grunnen for dette, argumenterer J1 for at snora "vil bøye seg". Hverdagsartefakten "et tau" blir igjen stilt mer sentralt enn den matematiske modellen som ligger til grunn for programmet.

Å starte programmeringen uten noen plan

Overgangen fra å ha gjort de innledende oppgavene for å sette seg inn i oppgavens tema til å skulle begynne å programmere, har ett særskilt fellestrekk gjennom alle observasjonene: Studentene har *ingen* plan for hva de skal gjøre. De ser nærmest ut til å "sette i gang og håpe på det beste". Først kan vi se på noen observasjoner.

Det første tilfellet kan observeres i guttenes første økt, under *"Overgangen til programmeringsbiten av oppgaven"* (s. 88). G1 ønsker å sette i gang med programmeringen, ettersom det er dette oppgaven ber dem om, mens G2 ønsker en tydeligere klargjøring rundt *hva* de skal programmere før de setter i gang. Han ønsker å skape et helhetsbilde av program og modell med klare mål for programmeringsøkten. Likevel setter begge seg ved datamaskinene, men G2 beholder pennen i hånden og fremtvinger her en diskusjon rundt hva de skal gjøre. I dette tilfellet får G2 dem begge til å skape seg et bilde av hva som må gjøres og han tvinger til og med fram Eulers metode fra hukommelsen. Likevel, når de først setter i gang, bærer programmeringen preg av liten struktur, og G2 driver lenge med en programkode som han ender opp med å forkaste til fordel for G1 sin alternative tilnærming (mot slutten av *"Å bestemme steglengden"*, s. 89). Begge har ganske klart for seg at de skal løse differensiallikningen, men hva med strukturen av programmet og algoritmens utforming? De lager unødvendige parametre i et forsøk på å bygge opp programmet basert på en sammenligning av tidligere oppgaver ved hjelp av en billedlig representasjon for programmeringen (se *"Programmeringen i FYS-MEK1110 sett i forhold til INF1100"*, s. 90). Algoritmen for løsning av problemet, uavhengig av arrays eller lister i programkoden, virker uklar. Dette er likevel en relativt god økt; de får gode resultater. Guttene husket seg fram til Eulers metode og hadde tidlig klart for seg at det var denne metoden som skulle brukes til å løse problemet. De klarer å sette opp den matematiske formen og deretter oversette den til å passe inn i programkoden, selv om G2 gir opp forsøket på å bruke arrays (noe som fint ville ført fram), og velger å følge G1 sin fremgangsmåte med bruk av lister.

For jentene, under *"Overgangen til programmeringsbiten av oppgaven"* (s. 98), oppstår det derimot ingen stor diskusjon om hva som skal gjøres før de setter seg ved datamaskinen. De leser "write a program ..." og inntar med én gang plassen ved tastaturet. J1 ender opp med å bruke en tidligere laget Eulers metode mer eller mindre som en sort boks (som tidligere omtalt), mens J2 sliter ganske mye med syntaksproblemer i sitt forsøk på å skrive et program fra bunnen av. De får likevel etter hvert et program kjørende gjennom avlesning av den eldre koden til J1. Diskusjonene senere bærer preg av at de ikke har noen særlig innsikt i Eulers metode, og spørsmålene om "den rare akselerasjonen" og om hvorvidt a_0 er nødvendig viser igjen at de har fått et program til å kjøre uten en spesielt god oversikt over detaljene i programmet eller den numeriske matematikken.

Litt ut i guttenes andre oppgave, under *"Programmeringen starter: 'Hvis min går feil vei, så vet vi at det er noe feil' og valget av dt"* (s. 116), hopper guttene på nytt i gang med programmeringen etter å ha blitt kommandert til å "write a program ...". Etter at guttene nettopp har sittet og regnet med vektormatematikk, har de nå tydelig inntatt den omtalte "programmeringsmodusen" der G2, til tross for at det nettopp ble diskutert, stiller spørsmålet "... hvordan i helvete vi skal finne et uttrykk for r?". Matematikkunnskaper er tilsynelatende skjøvet bort og prøving-og-feiling står i hovedfokus. Guttene viser svært liten struktur i programmeringen. De vil ikke engang drøfte fortegnet til y-koordinaten til fordel for heller å avvente og "se hva som skjer". Det er mange spørsmål rundt den matematiske modellen som guttene hadde vært tjent med å ha avklart i forkant av programmeringen.

Når jentene i sin andre oppgave skal i gang med å programmere, under *"Programmeringen begynner – men den er jo dobbeltderivert?"* (s. 129), har J1 store problemer med å finne ut en løsningsmetode for den andreordens differensiallikningen. J2 har en viss idé når hun nevner "å gå via farten", og viser små tegn til at hun er innforstått med at de skal løse to koblete førsteordens differensiallikninger med Eulers metode. J1 ser på sin programkodesnutt som en sort boks, og J2 gjør "som hun pleier" og "integrerer for å få farta for å så få posisjonen". Begge to har tillagt programkoden en variabel for vinkelen, men som de finner ut når jeg stiller meg kritisk, er denne ingen nødvendighet. At de likevel lagde den kan virke rart, men kan samtidig forklares med at jentene ikke har klart for seg hva de skal gjøre. De har satt i gang med programmeringsfasen av oppgaven uten å ha analysert systemet og uten å ha spesifisert problemstillinger godt nok. De har som overordnet mål å skrive et program som finner ballens bevegelse – det har de fått beskjed om av oppgaveteksten – men hva dette innebærer har ikke blitt diskutert. Når J2 litt senere, under *"Dekomponering av snorkraft og r – nødvendig med en vinkel?"* (s. 131), viser en manglende forståelse for fjærkraftuttrykket og for dekomponering av kraften, der hun setter $(r - L)$ til hhv. $(x - L)$ og $(y - L)$, er dette fordi hun "prøver å dekomponere", men feiler. Matematiske sammenhenger står ikke i høysetet når de møter problemer. J1 sier for eksempel høyt "Men r er jo en skalar. Det er størrelsen på lengden av $\vec{r}$. Men hvordan kan vi vite hvor lang den er, da?", på samme måte som G2 gjorde i guttenes programmeringsfase. Noe tilsvarende skjer mot slutten av *"De programtekniske feilene ..."* (s. 134), der sinus- og cosinusverdiene til startposisjonen unnlates en diskusjon til fordel for å endre dem og bare "se hva som skjer". Dette er også eksempler på spørsmål knyttet til den matematiske modellen som kunne (og nok burde) vært utgreid i forkant av programmeringen.

En kort kommentar til dette: Studentene tar seg sjelden eller aldri tid til å analysere problemstillingen de står overfor i tilstrekkelig grad i forkant av programmeringsfasen av oppgaven. Når denne fasen i tillegg bærer preg av en sterk prøv-og-feil-mentalitet og et overfokus på programkodens utforming og syntaks, virker dette uheldig for problemløsing og modellforståelse.

6.5 Den individuelle forståelse

> "... men det er mye kjekkere å bare si 'while noe er mindre enn det' også bare 'append'-e"
>
> – G1 uttrykker sitt forhold til bruk av lister fremfor arrays.

Sitatet er et eksempel på at G1 har gitt innpass for begrepene "while" og "append" fra informatikkfagets sosiale språk i oppgaveløsingens uformelle talesjanger. Den adresserte ytringen konstrueres med en form som forutsetter at en like uformell G2 (og meg selv) forstår hva han sier og kan gi en meningsfull respons. Sitatet eksemplifiserer samtidig hva denne seksjonen handler om: Et forsøk på å ta på de pedagogiske brillene med øynene fortsatt rettet mot observasjonene fra oppgaveløsingene. Temaene som gås gjennom her vil i stor grad ha grunnlag i den sosiokulturelle teorien i kapittel 2.2 og de didaktiske temaene i kapittel 2.3. Jeg vil først ta for meg store deler av observasjonene som ikke ennå er diskutert, men som i større grad spiller på det aktive samspillet mellom studentene og deres læring og meningsskaping i arbeidet. I et forsøk på å ikke gjenta meg selv for mye, vil allerede omtalte diskusjoner og hendelser fra tidligere i dette kapittelet i liten grad gjennomgås på nytt. De vil kun belyses og drøftes med andre begreper og en annen synsvinkel i et forsøk på å koble den pedagogiske teorien opp mot de mer direkte observerbare temaene som allerede er lagt frem.

Case: G2 sin store misoppfatning

I starten av guttenes arbeid med sin andre oppgave, under *"'Identify the forces', men hva er egentlig sentripetalkraft?"* (s. 106), gjennomgås det som skal vise seg å være observasjonenes "store misoppfatning". Diskusjonen som oppstår egner seg godt til å introdusere denne seksjonens tema, nemlig fysikkfagets utfordringer når det gjelder å forme studentenes individuelle begrepsforståelse til å overensstemme med det den anerkjente vitenskapen legger i de samme begrepene.

G2 starter som relativt skråsikker på sin tegning av kreftene og ser intet problem med sin forståelse når G1 stiller spørsmålstegn ved den. G1 følger opp direkte med å gi G2 faglig korrekt informasjon om sentripetalkraften, men som vi bør merke oss, ved bruk av en autoritativ teoretisk-generalisert taleform (som fysikkteori ofte blir fremstilt med), og presiserer at den er en *resultantkraft* og ikke en enkeltstående reell kraft. En ren autoritativ "overbevisning" rikker derimot ikke på G2 sin forståelse, og han fortsetter diskusjonen ved sammenlikningen med "en krummet bane". Samtalen fortsetter og begge virker åpne for hverandres innspill. De fører en interaktiv dialog. Spørsmålet er likevel om de fører en *dialogisk* dialog? G1 svarer på alle innspill og spørsmål som G2 måtte komme med ved bruk av teoribaserte "fasitsvar" der G2 sine innspill egentlig ikke blir drøftet, men heller autoritativt "motbevist", og ingen fremmer noen form for alternative hypoteser. Det hele arter seg som en interaktiv, men autoritativ, diskusjon som ikke fører noen vei. G1 begynner etter hvert å sammenligne med et tilfelle der ballen henger stille, i motsetning til der den beveger seg i sirkel, men klarer ikke å "overbevise" på noen bedre måte enn før. Han sier f.eks. at "og du vet at den har en akselerasjon innover – og det klarer jeg ikke å bevise – men den er $\frac{v^2}{r}$ hvis den følger en sirkelbane. Det lærte vi.". G2 blir på ingen måte overbevist. G1 refererer her til lærestoffet og diskusjonen åpner på ingen måte for en utforskning av ideer, ingen drøfting av forståelse – kun en overbevist G1 som prøver å overtale G2 om hva som er rett.

Etter at G1 tydelig åpner for innspill på hans forklaringer, begynner G2 å fremme sine problemer med forståelsen gjennom en sammenligning av denne oppgavens problemstilling og en bil som kjører over en bakketopp. Han presiserer samtidig sin grunnleggende misoppfatning ved at "Altså, den krafta som produseres av at du har en hastighet i en bane? Det vil jo gjøre at du blir kastet oppover". Dette er en ganske typisk misoppfatning om at bevegelser i sirkelbane gir opphav til en *sentrifugalkraft* som virker utover fra sentrum (se f.eks. Angell, 2004, s. 6). G1 gir kommentarer til dette ved bruk av flere tilnærminger. Han begynner med å ta for seg hvordan tilfellet ville utspilt seg dersom en kraft *ikke* virket – en alternativ hypotese. Dette er en relativt dialogisk overbevisningsmetode, men tidvis kan det se ut til at den er litt for teoretisk for G2 som heller tar for seg det mer håndfaste og konkrete. G2 går inn på en ny tilnærming til problemet: en bil som *svinger* i en sirkelbane. Her belyses, på kort tid, flere "mangler" i G2 sin forståelse. Spesielt utpeker det seg at han, som han også tidligere har presisert, "trodde at et objekt som bevegde seg i en sirkelbane fikk en kraft". Videre mener han at "bilen kjører ikke i en sirkel fordi det virker en kraft på den – det er fordi jeg svinger" og viser samtidig en ganske dårlig kobling mellom virkeligheten og fysikkfaget – en dårlig overensstemmelse mellom spontane og vitenskapelige begreper knyttet til kraftoverføringer i en bil. Dette viser seg også gjeldende når han spør "... men friksjonskraften har vel ikke retning innover?". G1 rekker nesten ikke stable på plass gode svar før G2 stiller nye spørsmål – nå om nødvendigheten av en sirkelbane for å kunne snakke om en sentripetalkraft. Sentripetalkraften blir utledet nettopp fra det faktum at bevegelsen foregår *i en sirkel*. I den forbindelse kommer det fram flere mangler i matematikkunnskapene (deriblant forskjellene mellom sirkler og ellipser) hos G2. Utsagnet "hvordan vet bilen din at du ikke har tenkt til å gjøre en sirkel, da?" tyder igjen på at fokuset ligger på at kraften "oppstår" som en følge av sirkelbevegelsen, mens det heller er omvendt: Sirkelbevegelsen er en forutsetning for at *vi kan vite* at (resultant-)kraften er gjeldende. Det samme gjelder for utsagnene "Men åssen kan du egentlig bestemme at du har det, da?", "... så lenge den akselerasjonen tilfeldigvis er kvadratet av farta over den radien, så vil han følge en sirkelbane?" og "... da må farta på en eller annen mystisk måte balansere seg perfekt også, da". G1 besvarer hele tiden spørsmålene, men G2 går samtidig hele tiden videre til nye spørsmål når svarene ikke viser seg å være oppklarende nok. Det hele løser seg når siste bit i puslespillet faller på plass: Akselerasjonen gir ikke større og større fart, men den *endrer retningen* på hastigheten. G2 oppsummerer til slutt sin "nye forståelse" for sentripetalakselerasjonen, spesielt med referanse til bilen som kjører over en bakketopp som han underveis i diskusjonen viste stor interesse for.

Hele diskusjonen er et tydelig eksempel på *hvor mye* som spiller inn i forståelsen for enkelte begreper og hvor dypt og komplekst forståelsen sitter. Guttene beveger seg gjennom en lang rekke spørsmål, retter hele tiden opp og fletter hele tiden inn begreper i et forsøk på å skape mening hos G2. Hans forståelse for begrepet "sentripetalkraft" kan brytes ned i en rekke andre begreper som enten må settes inn i riktig sammenheng og i riktig forhold til hverandre, eller som må få avkreftet sin feilaktige mening gjennom gode alternativer til hans nåværende forståelse. Det er verdt å legge merke til at hvis "sentrifugalkraften" faktisk hadde kastet bilen oppover i sin vei over bakketoppen, er resonnementene rundt bakketopp-problematikken konsistente. Han skaper en indre konsistens i "den vitenskapelige historien" ved å innføre alternative oppfatninger. Det samme gjelder til en viss grad også sirkelbuene, der han mangler god nok kjennskap til forskjellen mellom sirkelbaner og "andre buede baner". Hvis det ikke var noen forskjell, ville resonnementene være konsistente. G2 innehar en rekke kunnskaper som er grunnleggende feilaktig, men som ligger som en grunnmur i hans forståelse for konseptene og som bidrar til å gi det hele mening. G2 skaper til slutt en helhetlig og korrekt begrepsforståelse når den siste biten – om akselerasjonens endring av hastighets*retning* og ikke farten i seg selv – faller på plass. Vi kan gjennom diskusjonssekvensen observere at noen reell fremgang ikke skjer, og kjernen til problemet kommer heller ikke fram, før G2 får lov til å utforske sine konkrete problemer, eksempelvis gjennom bilen som kjører over bakketoppen, og at de blir møtt av G1 og reelt drøftet. En *reell dialog* er nødvendig for at noen fremgang skal skje. Det er til slutt verdt å prøve å se for seg hva som ville skjedd dersom guttene ikke fikk lov til å konseptuelt greie ut, i forkant av at kreftene blir gitt, *sin forståelse* av det fysiske systemet ved å tegne kraftdiagram, men heller hadde fått servert de gjeldende kreftene med én gang – klart for innpass i programkoden. Ville diskusjonen i det hele tatt oppstått?

Arbeidsøktenes meningsskapende samspill

Den sosiokulturelle teorien som ble gjennomgått i kapittel 2.2, legger til grunn at de sosiale *samspillene* – både mellom studenter, mellom student og lærer og mellom spontane og vitenskapelige begreper – er forutsetninger for å skape en individuell mening og forståelse. Enkelte steder, noen tydeligere enn andre, kan vi observere effektene av studentenes samspill ganske tydelig. Jeg vil påpeke de tydeligste tilfellene her og gi kommentarer rundt betydninger og konsekvenser av disse. Som forrige overskrift om G2 sin misoppfatning antyder, er diskusjonene vanligvis svært sammensatt. Det er som regel mange ting å sette fingeren på samtidig, så for å slippe å gjenta meg selv for mye i denne seksjonen, går jeg gjennom hendelsene her, for deretter å drøfte tematisk i etterkant.

Allerede i starten av den første oppgaven, under *"Å tegne et 'free body diagram"'* (s. 86), angriper guttene oppgaven ved å ta i bruk sine spontane begreper ("hverdagsbegreper") knyttet til et sprintløp. De ser for seg en "ekte sprinter" og fletter inn spontane begreper til denne sprinteren som ikke kan knyttes til oppgaven, som "en sånn bjelke han står mot", men disse blir raskt forkastet. Vi kan skue en åpen, dialogpreget og interaktiv diskusjon der luftmotstanden blir drøftet på en lettfattet og humoristisk måte, med bruk av alternative hypoteser for å underbygge valg (vinden som akselererer løperen bakover), men likevel preget av alvor og med bruk av vitenskapelige begreper.

Litt senere i samme oppgave, under *"Hva er 'terminal velocity'?"* (s. 87), møter studentene et begrep de aldri har hørt om tidligere. Begrepet blir forklart i teksten, og det settes i gang med å finne farten når kreftene er like store. G2 bekrefter at han har forstått *hva* begrepet betyr og får raskt hjelp fra G1 sine innspill til å sette problemet inn i en fysikksammenheng med like, motsatt rettede krefter, og til et konkret regnestykke. Selv om begrepet er forstått ut fra et problemløsende fysikkperspektiv, grubler G1 veldig over størrelsen på hastigheten i svaret. Han begynner å snakke om problemet og G2 tar i bruk en empirisk tilnærming med hverdagsartefakter og -begreper i sin meningsdanning og fyller inn i G1 sin mediering på det sosiale planet for å fremme sin egen forståelse og poengtere at dette begrepet *har* en virkelighetsnær bruk, om man "bare åpner jakka" eller liknende. Både vitenskapelige og spontane begreper medieres på det sosiale planet i denne meningsdanningsprosessen som også fører fram til en korrekt forståelse for begge to.

Ved *"Overgangen til programmeringsbiten av oppgaven"* (s. 88) tenker (eller memorerer) G2 seg fram til et system av differensiallikninger ved bruk av generell matematikkformalisme. Når dette fører til at han nevner "Eulers", vekker det samtidig til live tanker hos G1 som også kobler det til å løse differensiallikninger og nevner videre "... en vanlig Euler og vi har en funksjon $f(v, t)$". Dette vekker på ny tanker til live hos G2. Guttene bedriver en mediering av spontane og vitenskapelige begreper på det sosiale planet som fører til at de klarer å sette sammen en fullstendig algoritme for å regne ut posisjonen fra akselerasjonsformelen ved å gå veien om hastigheten. Dette skjer forøvrig i en matematikkmodus, i samme kontekst som begrepene ble innlært i forrige semester. Etter å ha sittet en stund hver for seg i forkant av dette, blir de relativt raskt enige om en fremgangsmåte gjennom en god dialog der tanker blir åpent luftet, drøftet og satt i system. De hjelper hverandre med å sette begrepene i relasjon til hverandre og til fysikkfagets begreper; de hjelper hverandre med å bygge opp "den vitenskapelige historien".

I en liten diskusjon mot slutten, under *"Avslutningen: 'Comment on the results' "* (s. 94), drøftes de fysiske meningene bak kraftleddene de har innført i oppgaven. G1 drøfter leddene i utgangspunktet matematisk ved å studere eksempelvis hvordan luftmotstanden endrer seg ved endrede vindparametere, mens G2 utfyller med virkelighetsnære tilnærminger til temaet, som "å ta igjen vinden" med en v større enn w med samme fortegn. G2 sine innspill med virkelighetsnære begreper utfyller G1 sin mer faglige resonnering og bidrar til å skape en felles forståelse for kraftleddene og for modellen som helhet.

På samme måte som guttene, stusser også jentene over begrepet "terminalhastighet. Under *"Hva er 'terminal velocity'?"* (s. 97) kobler J1 raskt inn hva de må gjøre for å regne ut denne "terminal velocity"-en. De gjør dette uten å ha klargjort hva de egentlig prøver å finne og begrepet blir gradvis drøftet mens de regner. Jentene fullfører nærmest hverandres setninger underveis og får et klarere inntrykk av hva de *egentlig* har regnet ut. J2 ønsket å få et svar som kan kobles til virkeligheten – et tall som representerer noe en løper faktisk kan løpe – og virker ganske misfornøyd over svaret de har fått. Hun ser ikke ut til å bli fullstendig overbevist av J1 sine forklaringer, selv om hun forklarer på en god og presis måte hvorfor svaret stemmer, der hun også (uten å være klar over det) drar inn oppgavens senere "fysiologiske begrensning" i sin forståelse av "det mer realistiske" løpet – at hovedbegrensningen ligger i beina til løperen.

Etter hvert viser det seg at de også har forskjellig størrelse på akselerasjonen, som omtales som en "sinnssyk akselerasjon". Men *"Hva er en 'sinnssyk' akselerasjon?"* (s. 102), spør jeg meg. Ganske raskt begynner de å gjøre forsøk i å resonnere seg fram til hva som ligger bak tallet for akselerasjonen og hvem som kan ha rett. Dette mislykkes i stor grad av J1 sin ubegrunnede autoritative tro på at hun selv har rett sammen med J2 sin tro på at J1 er mest "skilled". Etter at jeg spør etter en "sinnssykhetsgrad" prøver J2 å finne gode eksempler å sammenligne med, mens J1 prøver i større grad å bevise at det hun som har rett, der feilutregningen med kalkulatoren ikke hjelper særlig. Videre spør jeg direkte om deres forståelse for "$11,5\ \text{m/s}^2$" og jentene innrømmer raskt å ikke ha et særlig godt referansegrunnlag for å diskutere størrelsen. De klarer ikke å sette tallet inn i en kontekst der en drøfting av tallets størrelse skaper noen bedre forståelse. Jeg deltar i større og større grad for å få en oppklaring, men prøver å være litt tilbakeholden. I denne diskusjonen og eksperimenteringen underveis, som hovedsakelig styres av meg selv og J1, er det J2 som først tar til orde for at *hun* kanskje har rett likevel. Dialogen og meningsutvekslingen mellom meg og J1 på det sosiale planet har på ingen måte vært et passivt skue for J2, men hun har hele tiden hatt en egen "indre dialog" og vektet utsagn og innspill til å skape sin egen mening.

Når jentene går over til *"Avslutningen: Comment on the results"* (s. 104), velger J1 en svært deskriptiv kommentering hele veien med utgangspunkt i grafenes utseende koblet til deres spontane begreper om å løpe. J2 forholder seg igjen tilsynelatende passiv i J1s monolog, men kommer med innspill og spørsmål og viser at hun er med på hva som blir sagt.

Like etter G2 sin misoppfatning, fortsetter guttene med en kort diskusjon om *"'Spring force' og enhetsvektorer"* (s. 112). G1 analyserer først kraften stillferdig, men ymter frampå at problemstillingen ikke trenger å være helt triviell. G2 deltar raskt ved å relatere kraftleddet til sine hverdagslige spontane begreper for en fjær. Han ser for seg hvordan en fjær oppfører seg når man drar og dytter på den og bruker dette til å underbygge sin forståelse av fjærkraftleddet som gitt i oppgaveteksten – han bruker sine spontane begreper til å underbygge de vitenskapelige begrepene. G1 hjelper til med å sette det hele inn i en matematisk sammenheng og å gi G2 sin spontane oppfatning en relasjon til matematikken.

Under *"En diskretisert modell – når er egentlig 'idet du slipper'?"* (s. 113) blir modellen diskutert, som jeg tidligere har vært inne på, uten egentlig å diskutere *modellen*. Her sitter begge i hver sin "bås" og samtidig med hver sin autoritative vinkling til samtalen. Begge, spesielt G1, er bastante i sin mening og vil i liten grad drøfte hverandres forslag og hypoteser. Her forekommer det ingen reell dialog.

Like etter, under *"Enhetsvektorer, forsøk nr. 2"* (s. 115) avslutter G2 diskusjonen "i vanlig stil" med å relatere resultatet av utregningene til sine spontane begreper og konkrete eksempler, der han ser for seg hvordan formelen blir påvirket av å endre massen og setter dette i sammenheng med en virkelig fjær. Igjen underbygger G2 sin egen forståelse med virkelighetsnære, spontane begreper.

Jentene fortsetter i den korte diskusjonen, under *"Prescribe the motion of the ball"* (s. 128), med å finne ut hvorfor vinkelen og vertikalen ikke er nok til å bestemme posisjonen i dette tilfellet og kommenterer samtidig at de må bruke Newtons 2. lov og gå fra akselerasjonen via farten for å komme til posisjonen. De sliter hele veien litt med å oversette fra engelsk til norsk, men bruker oppgaveteksten og hverandres innspill aktivt i å løse oppgaven og å få klarhet i begrepene og systemets oppførsel. Likevel, sekunder etterpå, "løser" de oppgave e) uten å ta hensyn til at fjæra strekker seg i det hele tatt. Noen spørsmål som oppstår: Har de begynt på en ny oppgave og tilsynelatende fullstendig glemt hva de nettopp snakket om? Ville det samme skjedd dersom spørsmålet ble stilt som en del av oppgave d)? Det skal likevel ikke mye til for at J1 innser feilsteget, og mitt lille spørsmål som setter deres fremgangsmåte i tvil er nok til å rette fokus på riktig problemstilling. Her stiller jeg ingen alternativ hypotese, men antyder at deres hypotese er feil, noe som ser ut til å fremtvinge en alternativ hypotese i J1 sine tanker. Dette er et tydelig eksempel på at det er heldig med flere "stemmer" som kommer til orde under arbeidet – at flere synspunkter kommer fram i lyset. Her er det likevel verdt å huske på at *mitt* synspunkt nok veier noe tyngre og kan bli ansett som en slags "lærerkommentar". Det er ikke sikkert at det samme ville skjedd dersom J2 stilte spørsmålstegn ved J1 sin løsning.

Ved guttenes siste oppgave, under *"Møtet med oppgaven og 'astronomical unit"'* (s. 141), uttrykker G1 en stor motivasjon for oppgaven. Han har gledet seg til dette temaet og å lage et dataprogram som simulerer planetbaner siden han begynte på kurset. I stedet for å gå raskt i gang med å gjøre dette, blir guttene møtt med en masse ukjente uttrykk og et program som allerede er ferdiglaget. Ingen av guttene vet hva astronomiske enheter eller dimensjonsløse variable er for noe, og i den korte dialogen som oppstår, klarer de heller ikke skape noen mening rundt begrepene på egenhånd. G1 står nærmest klar for å gå i gang med oppgaven uten å bry seg særlig om hva r_0 betyr, ettersom det ikke er "så farlig, sikkert". G2 begynner derimot å stille spørsmål ved begrepet og hvorfor det er slik det er. En klarhet rundt begrepene oppstår svært raskt når de får vite av meg, rent autoritativt og kortfattet, hva "en AU" er definert som. En så liten ting som *hva* denne AU-en egentlig er, forklart med ord i stedet for et tilsynelatende tilfeldig tall, sammen med en svært kort diskusjon som gir klarhet i *hvorfor* det er en god idé å bruke størrelsen, er det som skiller guttene fra å løse oppgave c) uten eller med forståelse for hva de gjør og hvilken mening som ligger bak utregningene. Når oppgaven kan la seg løse uten en konseptuell forståelse, er det tydelig at guttene også velger denne, rent algebraiske, løsningsmetoden.

I jentenes siste oppgave, under *"Programmeringen – 'Du bare prøvde deg fram? … Ikke godkjent!"'* (s. 148), kan vi se enda et eksempel på effekten av flere "stemmer" i arbeidet.

I den avsluttende korte seansen mellom meg og J1 retter jeg fokuset direkte mot hva som skjer hvis α *ikke* er en array og hvordan den da vil oppføre seg. Jeg fremmer en alternativ hypotese for J1. Med én gang hjelper dette henne med å forstå problemet og å oppfatte den rette tilnærmingen. Her kan det igjen tyde på at *min* mening veier noe tyngre enn en alternativ hypotese fra "noen likestilte" ved at hun sier "siden du spør så vil den kanskje ikke det, da!". Spørsmålet blir igjen mer liknende et "retorisk lærerspørsmål" enn et "ekte spørsmål". Noe som også er bemerkelsesverdig i denne seansen er hvordan J2 tidligere i semesteret hadde god kontroll over programmeringen og løsningen av differensiallikninger med Eulers metode, men nå, med ny og ganske ukjent teori, et ferdigservert program og en samarbeidspartner som er noen hakk "for flink", ser all denne kunnskapen ut til å ha forsvunnet fullstendig.

Det dialogiske samspillet

Når jeg nå retter blikket mot samspillene som ble gjennomgått over, har jeg samtidig i bakhodet Vygotskijs mediering av begreper og Bakhtins fokus på flerstemmighet – polyfoni – sammen med Mortimer og Scott (2003) sin tilnærming til dette: om diskusjonene er *dialogiske* eller *autoritative* og hvilke følger dette får.

Spesielt er det interessant å se, som omtalt hyppig i teksten, hvordan guttene verbaliserer tanker, der G1 ofte tar i bruk vitenskapelige fagtermer, mens G2 spiller inn med sine mer spontane hverdagsbegreper knyttet til forståelsen av ett og samme fenomen. De hjelper hverandre til å hente fram kunnskap og mening gjennom hyppige og åpne diskusjoner og de utfyller hverandres forståelse i en sosial mediering med språket som hjelpemiddel til å skape en felles forståelse. Dette står til en viss grad i kontrast til diskusjonene som ble gjennomgått i forrige seksjon, der jeg antyder at samtlige studenter sjelden evner å ta i bruk et godt nok begrepsapparat til å drøfte problemstillinger. Fellestrekkene i *disse* situasjonene er at studentene under løsing av oppgavene *ikke* sitter ved datamaskinen og programmerer. Problemstillingene begrenser seg til bruk av konseptuell fysikk- og analytisk matematikkforståelse.

Det er likevel noen steder diskusjonene ikke fører fram av seg selv. Jentenes "sinnssyke akselerasjon" er et eksempel. Det som tydelig preger denne diskusjonen er J1 sin rent autoritative holdning til problemløsingen. Hun nærmer seg problemet med forsøk på å bevise at *hun* har rett, og på samme tid er begge jentene enige om at det er hun som antakeligvis har rett. J2 begrunner dette i at J1 er "mest skilled". Her foregår det i realiteten ingen dialog. Samtidig har ingen et godt fundament for å diskutere størrelsen av akselerasjonen – de har ingen referanser å knytte størrelsen til. Selv når de får servert en referanse av meg, henger ikke begrepsapparatet på greip – spesielt for J1 som mener a priori at hun har det riktige svaret. Det virker hinsides fornuften å kunne "løpe raskere enn noe faller". De ender likevel til slutt opp med et godt resultat ved at jeg, som "lærer", stepper inn og stiller meg kritisk til deres forståelse og fører dem gjennom et kort fallegemeforsøk. Jeg gir dem en meningsfull referanse.

Guttene har også et tydelig tilfelle der en autoritativ tilnærming til diskusjonen viser seg å være hemmende for meningsskapingen. Under diskusjonen av den diskretiserte modellen og tidspunktet "idet du slipper", nærmer begge seg diskusjonen fra hvert sitt ståsted, begge uten lyst eller evne til å ta innover seg den andres synspunkter. Begge mener de selv har rett og ingen enighet skapes – ei heller har noen egentlig rett, de bare betrakter samme spørsmål fra forskjellige standpunkt.

Det største eksemplet til dette temaet er likevel G2 sin misoppfatning i starten av denne seksjonen, der G1 forsøker en god stund med en autoritativ pensumbok-overbevisning der han forventer at G2 bare trenger å få vite hva som er riktig. Det viser seg, som omtalt, ikke å være så enkelt og G2 trenger en grundig gjennomgang av hans begrepsforståelser knyttet til dette temaet, sammen med reelle drøftinger av flere situasjonseksempler som danner grunnlaget for hans forståelse. G2 trengte på ingen måte å bli bevisstgjort om "hva som er riktig", men å forstå *hvorfor* dette er riktig – og ikke minst: hvorfor hans forståelse er feilaktig.

Dette er eksempler som stemmer overens med Bakhtins oppfatning av meningsskaping. En dialogisk tilnærming til samspillet – til (den vanligvis verbale) medieringen av begreper – er en *god* tilnærming for å skape forståelse og individuell mening. Når temaer derimot *ikke* drøftes dialogisk, kan det raskt virke svært uheldig for meningsskapingsprosessen.

Arbeidsmoduser – å arbeide med kontekstbunden kunnskap

Vygotskij omtaler spontane begreper som usystematiske og sterkt kontekstbundne. Disse begrepene er internalisert gjennom sosial interaksjon og tilegnet mening i en spesifikk sosial kontekst. Med dette som utgangspunkt kan vi rette blikket mot studentenes arbeidsmoduser.

Studentenes arbeidsmoduser kjennetegnes nettopp ved at de er *kontekstbundne*. De forholder seg til forklaringer med én (tidvis svært snever) tilnærming. Spørsmål blir besvart ved bruk av konseptuell fysikk og hverdagsresonnering (vanlig for G2), eller ved bruk av matematiske sammenhenger (vanlig for G1). Typisk for samarbeidet mellom G1 og G2 er nettopp at de utfyller hverandre. De hjelper hverandre med å dra linjer mellom hverandres tilnærminger; de kompletterer hverandres moduser. En sammenligning til Bakhtin: De hører hverandres stemmer. Dette skjer også vanligvis i arbeidet med oppgaver de kan løse ved bruk av fysikkunnskap fra videregående skole. Her har de allerede brukt en del tid på å koble matematikk inn i drøfting av fysiske systemer og til å studere fysiske systemer med ulike representasjoner og på tvers av disse representasjonene.

Et generelt unntak, ikke bare for guttene, er når studentene programmerer. Studentene tar i bruk informatikkunnskaper og -ferdigheter og søker å løse de aller fleste problemer ved hjelp av programkodekorrektur og sporadisk endring av parametre og variable i et håp om at det vil løse seg gjennom prøving og feiling. Å programmere er en nylig innlært ferdighet med nylig innlært kunnskap – kunnskap fra det første semesteret og samtidig kunnskap som ikke har fått like lang tid til å flette seg inn i studentenes oppfatning av den vitenskapelige historien. Begrepene har ikke fått rikelig med kontaktpunkter til andre begreper og fremstår som kontekstbundene og fragmenterte. Det er rimelig å anta at de fleste studentene kun har INF1100 som programmeringsbakgrunn og innehar derfor en rekke begreper knyttet til programmering som er sterkt bundet til INF1100 sin programmeringskontekst. Når studentene så går i gang med programmeringsdelene i mekanikkfagets beregningsorienterte oppgaver, tar de i bruk en verktøykasse med begreper fra INF1100. Begreper som tidvis kan være sterkt bundet til *programmering*. G2 uttrykte selv at programmering, og ikke de naturvitenskapelige tilnærmingene, stod i fokus i *informatikkfaget* INF1100. Med blikket på Landau (2009) sin modell, er "Implementation (program, tool set)" tilsynelatende overrepresentert under programmeringen. At de i denne fasen bruker mye tid på å søke etter feil i programkoden og å fokusere tidvis sterkt på syntaks kan derfor sees på som en manglende frigjøring av kontekst – de *programmerer*, men de *modellerer* nødvendigvis ikke.

For at modelleringsøktene skal være fruktbare, må kunnskap tas i bruk fra flere tidligere adskilte faggrenser. Fysikk-, matematikk- og informatikkunnskap skal flettes sammen på riktig måte. Angell et al. (2008) beskriver nettopp "skilled modellers" ved at de kan ta i bruk, på riktig måte, ulike representasjoner under modellering av fysiske systemer. Å studere fysikk på tvers av representasjoner og på tvers av moduser, å lære vitenskapelige begreper med grunnlag i de spontane og å løsrive seg fra den kontekstbundne kunnskapen, kan alt ansees som grunnlaget for å skape god forståelse i fysikkfaget. Her står de beregningsorienterte oppgavene overfor en utfordring med tanke på det store mangfoldet av kunnskap som må tas i bruk samtidig under løsing av denne typen oppgaver. Spesielt for programmeringsdelene av oppgavene ser kunnskapen som tas i bruk tidvis ut til å være sterkt bundet til en programmeringsfaglig kontekst som undergraver mye annen kunnskap.

Fragmentert kunnskap og oppbyggingen av "den vitenskapelige historien"

Mortimer og Scott (2003) sammenligner, med grunnlag i Vygotskij og Bakhtin, det å lære et fag med å bygge opp "den vitenskapelige historien" til faget ved bruk av dets sosiale språk. Det jeg nå ønsker å gjøre, er å ta en nærmere titt på tanken om "den vitenskapelige historien" og dens relevans for fysikkfaget.

Jeg omtalte G2 sin store misoppfatning tidligere i denne seksjonen, der hans forståelse for begrepet "sentripetalkraft" består av svært mange *fragmenter* av kunnskap som må passe inn i "historien" for at helheten skal være meningsfull. Skal historien også være korrekt ut fra den anerkjente vitenskapens syn, må alle fragmentene inneha "den riktige mening". En sammenligning kan være et ganske stort puslespill av begreper som skal settes sammen for å danne et riktig bilde av historien. Forskjellen fra et puslespill er derimot at studentene selv ikke raskt kan se at en bit mangler eller at den er plassert feil; de kan ha en oppfatning av at puslespillet er fullført når det egentlig ikke er det. Historien kan ansees som fullstendig og konsistent selv om den er feilaktig. Her oppstår grunnlaget for misoppfatninger.

I jentenes problemer, under *"Hva er en 'sinnssyk' akselerasjon?"* (s. 102), oppstår de omtalte begrepsproblemene rundt størrelsen på akselerasjonen. J1 har en intuitiv, ikke-konsistent oppfatning av at størrelsen er for stor til at den kan være riktig. Grunnen er et manglende referansegrunnlag for å kunne vurdere størrelsens virkelighetsnærhet. Hun sitter med et ufullstendig puslespill, eller: en vitenskapelig historie som ikke er fortalt ferdig. Oppfatningen om at noe "faller raskere" enn noen kan løpe, som er grunnlaget for mistilliten, mangler også et tydelig skille mellom begrepene hastighet og akselerasjon. Det kan tyde på at hun bruker referansegrunnlaget til hastighetsbegrepet i forsøket på å forklare akselerasjonens størrelse. Her får jeg bidratt med å fortelle deler av den riktige historien om akselerasjonsbegrepet til jentene: Jeg leder dem gjennom fallforsøket og lar dem få tenke over hvorvidt det de observerer er sammenlignbart med en sprinters akselerasjon fra startblokkene; de får en referanse fra virkeligheten knyttet til begrepet som bidrar til å gi det mening.

Et annet godt eksempel finner vi hos guttene under *"Møtet med oppgaven og 'astronomical unit"'* (s. 141), der ingen har hørt "astronomical units" før. De prøver å skape mening i hva oppgaven handler om og etterspør, men hindres ved at deler av historien ikke er blitt fortalt: Begrepet "AU" har ingen referanser og står helt utenfor deres begrepsapparat. Her innehar guttene derimot en såpass fyldig historie at det holder for meg kun å si *hva* denne enheten er, så kan de enkelt sette begrepet inn i historien og besvare selv *hvorfor* den er en passelig størrelse i studier av solsystemet.

Som med Wellington og Osborne (2001) sin setning – "The *atomic nucleus absorbs* and *emits energy* in *quanta*, or *discrete units*" – kan jeg selv ikke glemme en laboratorietime i elektromagnetisme der vi fikk en enkel oppgave med fire ord: "Finn susceptibiliteten til vismut". Problemene[2] oppstod raskt når ingen på gruppa visste hva "susceptibilitet" eller "vismut" var for noe. Setningen fremstod som kort, presis og helt uforståelig. Halvparten av ordene er grunnleggende vitenskapelige begreper vi ennå ikke hadde tillagt noen mening, og de ble selvsagt heller ikke utdypet noe i oppgaveteksten. En liten personlig digresjon, men det gjør den ikke mindre relevant: Ingen av studentene vet hva "terminal velocity" i den første oppgaven er og guttene vet ikke hva "en AU" i den siste oppgaven er. Den fullstendige historien er ikke blitt fortalt til studentene, og den blir heller ikke fortalt før de blir satt til å gjøre oppgavene.

Jeg argumenterer for at sammenligningen av læring i fysikkfaget (og andre fag forøvrig) med en kontinuerlig og uavsluttet historie som blir fortalt, er en svært attraktiv tanke. Dette gjelder kanskje *spesielt* for fysikkfaget med dets direkte kobling til "virkeligheten", til oppfattelsen av verden omkring oss – i fagets forsøk på å beskrive naturen med matematikk – der alle hverdagserfaringer en person har med seg fra å observere verden som en del av den noen ganger spiller inn og underbygger, men andre ganger motstrider og virker ødeleggende for forståelsen. Den vitenskapelige historien er en enorm historie som kun kan forstås med en mengde riktige referanser mellom begrepene innad i faget, og referanser til virkeligheten der det er fruktbart. En viktig del av denne historien er å gripe fatt i områder der hverdagsreferansene *ikke* er fruktbare, når de kontraintuitive delene av historien er riktige og *hvorfor* de er nødvendige for å oppnå en presis virkelighetsbeskrivelse.

Og i forbindelse med historiefortelling: En god historie har rom for digresjoner, for utdypelser og for gjentakelser som presiserer de viktige poengene. Den frykter å bli for steril og upersonlig, tom for følelser og uten referanser til målgruppens virkelighet.

Feilaktige forklaringer – søken etter "en *konsistent* vitenskapelig historie"?

Allerede i innledningens misoppfatning påpeker jeg noen tilfeller der G2s forståelse hadde vært konsistent om bare de feilaktige forklaringene faktisk hadde vært korrekte. G2 sliter med å se problemene med sine forklaringer nettopp fordi han ikke vet *hvorfor* hans forståelse (både for helheten og for delene) ikke er riktig. Inspirert av Mortimer og Scott (2003), kan vi si at han ikke ser noen problemer med "*sin* vitenskapelige historie". Den

[2]Dette kan unnskyldes med at teorien ikke ennå var gjennomgått på forelesning. At vi ikke hadde forberedt oss særlig til lab-timen, fungerer derimot ikke som unnskyldning overhodet, men slik er det nå en gang.

er konsistent og meningsbærende *for ham*, selv om den ikke stemmer overens med "*den* vitenskapelige historien" – en historie vi ønsker at studentene skal oppdage at er bedre enn alternativene.

I kapittel 6.4 berører jeg en rekke tilfeller der studentene møter problemer de ikke er i stand til å løse. Mange ganger er dette på grunn av en manglende fokus på diskretiserings- og modell-/modelleringsbegrensninger, mens andre ganger går det ut på at de møter problemet med "feil verktøykasse" – et uegnet begrepsapparat. I de fleste tilfellene forsøker studentene å forklare det de observerer, og spesielt guttene, med feilaktige argumenter forsøkt koblet til virkeligheten. Som jeg kommenterer senere i samme seksjon, kan de se ut til å ha problemer med å trekke inn modellen i diskusjonen og å skjelne mellom modell og virkelighet.

Hele veien finnes det antydninger til at studentene søker konsistens i sin forståelse. De prøver å forstå et fenomen med utgangspunkt i et utilstrekkelig begrepsapparat og modifiserer som en følge av dette enkelte tilnærminger til det fysiske systemet for at forklaringene skal være meningsfulle. Guttene prøver for eksempel hele tiden å få innpass for at noen "drar i fjæra" under forklaringene til grafene der fjæra "flyr til værs" i oppgave 2, selv om det ikke er noen forutsetninger i initialbetingelsene for at dette skjer. Fjæra blir egentlig sluppet fra likevekt. *Hadde* noen faktisk dratt (enn om veldig hardt) i fjæra, ville grafene og forklaringene vært mer samstemte og gitt en konsistent mening. En annen tilnærming skjer i den siste oppgaven, der guttene sier at Sola "bøyer av" banen til Jupiter og er opphavet til visualiseringens "blomsterformasjon". Her vet derimot ikke guttene at dette er en feilaktig forklaring til oppførselen de observerer og de har igjen en konsistent forståelse av fenomenet. Så lenge Sola er i stand til å bøye av og endre Jupiters bane, gir det mening. Et annet eksempel, nå med jentene i fokus, er J1 sin spontane forklaring på hvorfor snorkraften i oppgave 2 aldri er større enn null: at snora "vil bøye seg". Dette stemmer ikke overens med modellens begrensninger, men *om* snora var en "ekte snor", ville den bøyd seg og gitt en konsistent og meningsfull forklaring på hvorfor snordraget aldri blir positivt.

Dette er et par eksempler på at fragmenter av den vitenskapelige historien som er grunnleggende feilaktige, men som med sin feilaktige forklaring likevel blir bærebjelker i den enkelte students oppbygging av sin vitenskapelige historie – sin forståelse av systemet som helhet. Studentene ser ut til å – bevisst eller ubevisst – gjøre små endringer til systemet for å skape en indre konsistens i sin forståelse for fenomenet.

Verbalisering og forståelse

Vygotskij omtaler spontane begreper og vitenskapelige begreper ved at de spontane begrepene har forrang i individets indre tale, mens de vitenskapelige begrepene får forrang i ytre tale eller skrift – altså verbalisering av tanken – hovedsakelig for at individet skal gjøre seg forstått av motparten ut fra en felles kjerne av kunnskap. Henriksen og Angell (in press, s. 7) argumenterer for at "to think like a physicist is to talk like a physicist" – at forståelse kan sees i sammenheng med det å bruke et konsist språk til å forme tydelige og korrekte argumenter. Det er vanskelig[3] å observere forholdet mellom spontane begreper og vitenskapelige begreper, men spesielt i noen tilfeller kan vi gjøre relativt tydelige

[3]Ikke hjulpet av at jeg bevisst har rensket diskusjonene en del for "prating med seg selv" og ufullstendige ytringer for å lette leseligheten betraktelig med tanke på temaene som tas opp.

observasjoner.

I guttenes første oppgave, under *"Hva er 'terminal velocity'?"* (s. 87), sliter begge med å fatte hvorvidt tallet de har regnet ut gir noen mening. G1 får derimot relativt raskt oversikt over og forståelse for tallet så fort han begynner å "snakke høyt" om problemet. Det kan se ut til at når han uttrykker sine tanker – sitt indre språk – som ytre tale, hjelpes han med å strukturere sitt begrepsapparat, å få oversikt over de vitenskapelige begrepene og til å gi mening bak størrelsen på hastigheten. Spesielt når jeg etterspør en tydeliggjøring rundt hans forståelse av begrepet "terminalhastighet" og han får utforsket dette, styrkes G1 sin tro på svaret han har fått.

G2 sin misoppfatning under *"'Identify the forces', men hva er egentlig sentripetalkraft?"* (s. 106) avsluttes med at han forstår problemene og konseptet. Her kan vi observere at han forklarer tydelig og konsist sin "nye forståelse". Tidligere bar hans utspill i mye større grad preg av spørsmålstegn og halvferdige setninger. Det er likevel verdt å merke seg at han hadde tydelige og konsise argumenter når han forklarte at bilen hadde to krefter som virket på seg, én nedover (tyngdekraften) og én oppover som en følge av at den kjører i en bane. Her er språkbruken både tydelig og konsis, men den er også feilaktig. G1 ytrer derimot hele veien både tydelige, konsise og korrekte argumenter for sin forståelse.

Dette er et par korte eksempler som ser ut til å stemme overens med at "å snakke fysikk" krever at studentene har strukturert begreper og satt dem i en kontekst og inn i en sammenheng med hverandre som er meningsfull. At noe må verbaliseres, fremtvinger en konsis form og tydelig argumentasjon for at den skal være meningsbærende for den andre. Hos Bakhtin er *ytringen* rettet mot noen, og formes ut fra forventningen om at den skal bli forstått. Likevel kan det samtidig se ut til at forståelsen ikke nødvendigvis trenger å være i overensstemmelse med den etablerte vitenskapen, men at så lenge studenten innehar en konsistens i *sin* forståelse og at ytringen antas å bli forstått hos den andre, er tanken strukturert og "verbaliserbar".

Nødvendigheten og effekten av en "mer kompetent annen" – en lærer?

Studentene møter hyppig på problemer i arbeidet med oppgavene de ikke klarer å løse på egenhånd, så en viss nødvendighet av en lærer kan man raskt anta er til stede. Dette gjelder først og fremst de nevnte modellerings- og diskretiseringsproblemene, der studentene ikke makter å komme fram til riktig løsning eller forklaring selv.

I andre tilfeller der problemer oppstår, er det derimot påfallende hvor *lite* som skal til for at den riktige forståelsen skal vinne frem. Flere steder under samspillene som ble gjennomgått tidligere i seksjonen, trenger jeg kun å antyde at studentenes løsningsmetode er gal, før de finner frem til riktig løsning. De sitter på riktig kunnskap, men trenger en bevisstgjøring om hvilken angrepsmetode og hvilket begrepsapparat som bør anvendes.

Spørsmålet er om alt dette *egentlig* fremmer behovet for en lærer, eller om det kunne vært løst gjennom et arbeid i en større gruppe studenter der flere hypoteser, flere synspunkter og flere "stemmer" får lov til å bli hørt. Dette er vanskelig å svare på, men det er en stor mulighet for at dette er tilfelle. Et annet spørsmål er om det enkelt kan løses gjennom små grep med oppgavetekstens form og innhold. Det sistnevnte kommer jeg tilbake til senere i dette kapittelet.

6.6 Den gode beregningsorienterte modellør

I seksjon 6.4 presenterte jeg en del temaer rundt beregningsorientert modellering med bakgrunn i observasjonene gjengitt i kapittel 5. Jeg har også drøftet noen pedagogiske problemstillinger knyttet til observasjonene. I denne seksjonen vil jeg kort belyse noen syn på hva som kjennetegnes som "god beregningsorientert modellering" i forhold til denne oppgavens observasjoner og tidligere diskusjoner.

Algoritmisk og beregningsorientert tenkemåte

Jeg vil her rette blikket mot kapittel 2.4.3, der Futschek (2006) skisserer det han kaller for "algorithmic thinking" og Landau (2009) presenterer sin modell for "computational scientific thinking".

Et blikk på figur 2.3 gir oss en oversikt over de forskjellige aspektene som spiller inn ved en drøfting og vurdering av det fysiske systemet som arbeides med – en grunnmur av teori, modell, metode og implementasjon som spiller sammen med eksperimentering og simulering. Nå er ikke virkelige eksperimenter noe tema for noen av våre studenters oppgaver, men samspillet mellom "grunnmuren" og simulering er aktuelt. Observasjonene av studentenes prøv-og-feil-mentalitet og programkodefokus under programmeringsfasen av oppgavene, som er relativt store deler av oppgaven, er i modellens sammenheng et overdrevent fokus på implementasjon og en samtidig undergraving av samtlige tre andre av grunnmurens bestanddeler. Metoden, her Eulers metode, blir undergravet som enten en sort boks eller en tilsynelatende "uviktig del" av programmets kode. Et visst fokus tillegges fysikkteorien i forsøk på konseptuelle forklaringer eller nærmere studier av akselerasjonsuttrykket som utgangspunkt for integrasjonsstegene. Modellen får også noen ganger et fokus, men studentene klarer sjelden å diskutere den med et tilstrekkelig begrepsapparat. De er derimot flinke til å kjøre simuleringer og ta i bruk visualiseringer i prosessen.

Futschek (2006) vektlegger, hvis vi prøver oss på en norsk oversettelse, evnen til å analysere problemet og å spesifisere det presist, gjenkjenne de grunnleggende bestanddeler av problemet og å konstruere en algoritme som bygger på disse bestanddelene. Heller ikke her treffer studentenes prøv-og-feil-mentalitet noen perfekt innertier. Det er sjelden eller aldri noen særlig drøfting av problemstilling ut over det som står i oppgaveteksten – ofte "skriv et program for å løse, finne og/eller gjøre" – og programmeringen de "hopper blindt inn i" er preget av liten struktur og manglende evne til å slippe tak i tastaturet og ta tak i pennen for å drøfte spørsmål med en matematisk tilnærming. Det vi kan trekke ut av Futschek (2006) sine anbefalinger, er at studentene trenger "en plan" der det skapes en bevissthet rundt de viktige mål og metoder for modelleringsøkten. Dette ser til å bli undergravet hver gang studentene setter i gang med å programmere.

Modellering med datamaskinen og dets begrensninger

I tillegg til Futschek (2006) og Landau (2009) sine synspunkter på den beregningsorienterte modellør, kan vi legge til en utdyping og presisering i tillegg: En svært viktig egenskap er å kjenne til hvilke *begrensninger* som ligger i modelleringen. Modellens matematiske utforming (punktlegemer, fjærmodeller, etc.), den numeriske matematikken som ligger bak og datamaskinen i seg selv, bidrar alle til å legge begrensninger på modellen og å skille modellen fra den virkelige verden. Det er *forskjellene* mellom modellen og virkeligheten det er viktig å være seg selv bevisst om. Feilsøking og forklaringer bør som en følge raskt nærme seg modelleringsproblematikk fremfor den fysiske virkelighet. Dette er det derimot tydelig at studentene i denne oppgaven ikke får til på en tilstrekkelig måte. Dette trenger, som påpekt, *ikke* å være en følge av manglende kunnskap til disse temaene, men heller manglende evne til *å ta i bruk* denne kunnskapen der den trengs. Studentenes behandling av steglengden er et godt eksempel på dette, der studentene "burde vite" – som J1 sier – at steglengden gir opphav til numerisk feil, men de er på ingen måte bevisste over dette når problemet oppstår. En saumfaring av programkodesyntaks ansees som en mer sannsynlig løsningsmetode i en programmeringsøkt.

Som nevnt i kapittel 2.3.2 beskriver Angell et al. (2008) "skilled modellers" ved blant annet at de "are more aware of, and able to decipher the use of, multiple forms of representation during physics lessons". Noe tilsvarende gjør seg gjeldende hos våre studenter: Å løse problemene de møter i oppgavene krever å sjonglere med moduser og representasjoner. De må løsrives fra programmeringsmodusen og studere systemet matematisk eller konseptuelt for å løse problemene. En utfordring er derfor å hjelpe studentene med å løsrive seg fra moduser, og spesielt programmeringsmodusen, og å bevisstgjøre studentene på hvilken kunnskap som er gangbar til hvilken tid under arbeidet med oppgavene.

Prøving og feiling versus planlagt modellering

Likevel bringes følgende spørsmål på banen: Prøving og feiling – trenger det å være en veldig *dårlig* måte å tilnærme seg læring på? Svaret er nei. Problemet oppstår i det en eventuell feiling ikke gir opphav til en *vurdering* av feilen. Hvorfor skjedde feilen, og hva kan vi gjøre for å rette den opp? En gjennomtenkt prøving og deretter en analyse av feilingen kan være en fin måte å få ny innsikt på. Idet fremgangsmåten derimot går over til å være en øvelse i hva Sins et al. (2005) kaller "model fitting" – en ubegrunnet endring av parametre eller variable for å få programmet til "å fungere" – strider det ganske mye med hva Futschek (2006) legger i sine punkter for algoritmisk tenkemåte og hva Vistnes og Hjorth-Jensen (2005, s. 3) legger i at "to device an algorithm and thereafter write a code for solving physics problems is a marvelous way of gaining insight into complicated physical systems". *Bevisstheten* rundt modell, modellering og begrensninger er ikke tilstede.

6.7 Arbeid og eksperimentering på datalaboratoriet

Vilje til egeneksperimentering

Et av de store motivasjonsspørsmålene er om viljen til egeneksperimentering får innpass i arbeidet med de beregningsorienterte oppgavene. Søker studentene ny kunnskap i arbeidet, eller svarer de kun på spørsmålene de blir stilt for å få "godkjent"? Blir de drevet av noen form for indre motivasjon, eller springer arbeidet ut fra en ren prestasjonsmotivasjon? Noen kommentarer til de tydeligste tilfellene følger.

I guttenes første oppgave fremkommer den første antydningen til egeneksperimentering når *"Resultatene nærmer seg – og viser seg"* (s. 91), der G1 umiddelbart etter å ha fått en graf som viser nogenlunde riktig bilde, endrer sin programkode til å la løperen løpe 10 000 meter for å utforske den tidligere diskuterte "terminalhastigheten". Han ønsker å bruke modellen til å observere denne hastigheten og samtidig teste ut sin egen forståelse for begrepet. Han sier selv at han synes sin graf lager "sense" – hans eksperimentering har hjulpet ham til å bekrefte sin forståelse. Både i dette tilfellet og om tidbruken like etterpå, viser han også god fortrolighet med programkoden og programmets oppførsel. Han får programmet til å gi ham bedre nøyaktighet i svaret på neste oppgave, noe som ikke er nødvendig, men som han selv ønsker å fremtvinge. Dette er enten en høy forventning til nøyaktighetskravet eller (mer trolig) et ønske om "å gjøre programmet til sitt eget" – en egeneksperimentering.

Også i guttenes andre oppgave, under *"Det er et ganske stramt tau, da. Vi kan prøve å endre k."* (s. 120), får guttene lyst til å "dra i tauet" for å se resultatet av en fjær som "flyr rundt" på skjermen. Begge engasjerer seg sterkt og endrer programmet raskt for å undersøke dette – noe oppgaven på ingen måte ber dem om. Her tar guttene fatt i programmet som nettopp har produsert de første resultatene og gjør forsøk i å få det til å oppføre seg slik de ønsker. Her er det snakk om en genuin interesse og en indre motivasjon for å eksperimentere på egenhånd. Denne gangen uttrykker ingen eksplisitt at det er for å skape mening bak begreper, men heller for "å leke" med programmet. Det vil uansett kunne bidra til å skape eller bekrefte en forståelse for systemet, og at de ønsker å lære fysikkfaget gjennom lek, kan i alle fall ikke sees på som en negativ tendens. I dette tilfellet tar dessverre G2 til orde for å heller fortsette med oppgaven enn å drive med slik "unødvendig egeneksperimentering".

Ikke lenge etterpå, under *"Drøfting av resultatene"* (s. 121), berører G2 en noe feilaktig tilnærming til modellen og nevner at fjæra vil miste energi. Han kommenterer her på hvordan systemet ville oppført seg *i virkeligheten*. Som en direkte oppfølger til dette foreslår G1 en endring for at dette skal kunne skje, for eksempel ved å legge til luftmotstand. Han viser igjen en lyst for å eksperimentere med modellen ved å gjøre den mer realistisk på egenhånd. Igjen vil ikke G2 kaste bort tid på noe som ikke er en del av oppgaven.

Studentenes egne forslag til løsning av oppgaven

Et par ganger under arbeidet med oppgavene presenterer studentene eksplisitt sine egne løsningsforslag i forkant av å ha lest oppgavetekstens forslag til fremgangsmåte.

Det første tilfellet er i guttenes første oppgaver, under *"Å gjøre modellen mer realistisk"* (s. 92), der G2 foreslår å lage en if-test for å ta høyde for en annen verdi for "the cross-sectional area", A. Han tilnærmer seg modelleringsproblemet rent programmeringsteknisk, der en if-test vil avgjøre verdien til A, avhengig av hvor langt ut i løpet løperen har kommet – et fullgodt forslag til å gjøre modellen mer realistisk ved bruk av programmeringsferdigheter. Oppgaveteksten legger derimot opp til en matematisk tilnærming til problemet ved å ta i bruk eksponensialfunksjoner til å variere størrelsen på de ulike kraftuttrykkene.

I guttenes siste oppgave, under *"Videre til programmeringen"* (s. 142), er G2 igjen på banen med forslag. Guttene skal beregne omløpstiden til Jupiter, og G2 foreslår at de kan ta i bruk en absoluttfeil rundt de diskrete posisjonene for å kunne beregne når posisjonen er tilbake ved utgangspunktet igjen. En numerisk og programmeringsteknisk tilnærming til problemet som ville fungert, men igjen blir han servert en annen løsning av oppgaveteksten som de begge heller velger å bruke – også denne rent programmeringsteknisk.

Arbeid på datamaskinen – motiverende og gøy?

Jeg spør i første oppgave, først og fremst ved spørsmålet om kunnskapen fra forrige semester sitter godt nok, om hvordan studentene oppfattet oppgaven. Svarene de gir kan i ettertid åpne for noen spørsmål rundt deres mestringsfølelse versus forståelse.

I kapittel 6.1 antyder jeg at mange studenter i det første semesteret synes arbeidet med informatikk er spennende, relativt lett, gøy og/eller helt greit. Jeg stiller meg derimot spørrende til om dette kan skyldes den tidligere omtalte prøv-og-feil-mentaliteten som preger studentenes programmeringsmodus. Er det gøy fordi det er noe nytt? Er det lett fordi de kan prøve og feile mange nok ganger til at en grundig analyse og drøfting blir unødvendig? Slipper de "å tenke", som S3 fra fokusgruppene kaller det?

I slutten av guttenes første oppgave spør jeg: *"Hva synes studentene om denne typen oppgaver?"* (s. 96). De svarer begge med klar tale at de liker oppgaver av denne typen bedre fordi de er morsommere, kombinert med at det virker som mindre jobb. G1 påstår til og med at ved denne typen oppgaver "vet man liksom hva man skal gjøre med en eneste gang" og at "Hvis jeg skulle løst det her analytisk, hadde jeg sikkert brukt mange timer", selv etter å ha sittet i noen timer og løst oppgaven med en beregningsorientert tilnærming og uten å ha hatt fullstendig klart for seg hva han har skullet gjøre. Kanskje de beregningsorienterte oppgavene innfører en sterkere kobling mellom fysikkfaget og uttrykket "tiden flyr når man har det morsomt"? Selv om guttene sleit en del med å forstå hva de skulle gjøre i starten av oppgaven og med å få oversikt over kraftleddene og deres betydning (hvis de i det hele tatt fikk det særlig inngående), blir oppgaven likevel ansett som "ganske enkel". Dette har nok å gjøre med at de mestret oppgavens tekniske sider på relativt strak arm, uten hjelpemidler, og at de fikk sluttresultatet i form av grafer som gav mening. At matematikken som legger grunnlaget for modellen ikke ble fullstendig forstått blir ikke sett på som noe problem. Det er likevel viktig å merke seg at oppgaveløsingen ble sett på som "morsommere" og "greiere" enn den typiske penn-og-papir-økten.

Noe tilsvarende gjelder også for jentene. Under *"Overgangen til programmeringsbiten av oppgaven"* (s. 98) antyder J1 at programmering er morsomt ved å spørre om neste oppgavedel er såkalt "PC-leking". Senere, under *"Avslutningen: Comment on the results"* (s. 104), sier jentene at de synes oppgaven bar preg av "litt knøling med pc-en", men ellers relativt lett og greit. På samme måte som for guttene, spør jeg: Var egentlig oppgaven "lett og grei"? De brukte ganske mye tid på å få et program til å kjøre, og de satt seg aldri skikkelig inn i betydningen av kraftleddene de fikk servert. Blir oppgaven "lett" fordi de slipper å regne særlig mye på "store og stygge" matematikkuttrykk og heller bare kan sette de inn, kjøre programmet og "se hva som skjer"? Og fordi de, på samme måte som guttene, klarer å tolke sluttresultatene (grafene) ved hjelp av deres spontane begrepsapparat?

I jentenes andre oppgave, under *"Programmeringen begynner – men den er jo* *dobbeltderivert?"* (s. 129), uttrykker også jentene tydelig at de gleder seg over at de skal i gang med å programmere. Selv om den siste oppgaven gir guttene en ferdigskrevet programkode, under *"Møtet med oppgaven og 'astronomical unit"'* (s. 141), er det også en liten hendelse vi kan merke oss. Her uttrykker G1 en stor glede ved å endelig få muligheten til å programmere planetbaner. Dette har han, som han sier, gledet seg til siden de begynte på kurset.

Det er altså liten tvil om at disse studentene synes programmering er gøy og at denne tilnærmingen til faget virker både morsom og spennende, men vi bør stille oss kritiske til om dette er fordi det er "noe nytt" og at de oppfatter det som "enklere", der det siste kun er fordi de slipper å fordype seg i en tidvis omfattende matematikk.

En annen ting, som bare så vidt blir nevnt av studentene under observasjonen, men som jeg likevel mener er verdt å merke seg, er *skapergleden* i å lage sitt eget program – det å starte med ingenting, skrive et program, få det til å kjøre og å produsere *dine* resultater. I jentenes siste oppgave, under *"Programmeringen – 'Du bare prøvde deg fram? ... Ikke godkjent!"'* (s. 148), viser begge jentene misnøye med å få servert et ferdig program. De sier selv at de synes de forstår programmet bedre når de lager det selv fra bunnen av, og J1 presiserer eksplisitt at hun synes at kursansvarlig tar fra dem noe av gleden når han har laget dem ferdig. Dette henger sammen med følelsen av mestring, og spesielt følelsen av å være kreativ – en mestringsfølelse som bygger på at du har *laget* noe, ikke bare *reprodusert* noe.

Mulighetene for godt samarbeid under arbeid med datamaskiner

Arbeidet ved datamaskinene bar i mine observasjoner preg av en god del stillferdig programmering, uten at det nødvendigvis kommer særlig tydelig fram fra de transkriberte diskusjonene (naturlig nok – de sa jo ingenting). Studentene sitter ved hver sin PC og skriver hvert sitt program. Dette er en naturlig brems for at diskusjoner med gode, meningsskapende dialoger skal oppstå. Med utgangspunkt i at mediering og dialog er forutsetninger for et godt læringsmiljø, kan dette virke uheldig.

Alternativet kunne være at flere studenter samarbeidet på samme datamaskin for å skrive programmet og gjøre simuleringer i fellesskap. Tar vi derimot utgangspunkt i Vygotskij og hans syn på læring gjennom *imitasjon*, er heller ikke denne tilnærmingen spesielt heldig. Å imitere forutsetter at noe *gjøres* – ikke bare overvåkes. Skal studentene lære, og få trening i, å lage et program og bruke dette til simulering og eksperimentering, må de *selv* skrive, simulere og eksperimentere – ikke bare være del i at noen andre gjør det. Den andres arbeid kan gjerne være utgangspunkt for imitasjon – studenten kan gjerne etterligne eller "herme" – og vi ønsker at de skal drøfte og samarbeide om fremgangsmåter, men målet er at studenten skal *klare oppgaven på egen hånd*. Hvis studenten ikke klarer en oppgave, er det ønskelig at han eller hun inntar en samhandling med andre og åpner muligheter for mestring med hjelp, der studenten befinner seg i sin proksimale utviklingssone på veien mot å klare oppgaven selvstendig.

Som med mange andre ting i livet, kan det se ut til at en god løsning er "en gyllen middelvei": studenter som arbeider på hver sin datamaskin, men ikke for langt unna hverandre – verken rent fysisk eller sosialt og mentalt. De bør gjøre oppgaven selv, men hele tiden ha mulighet og lyst til å søke hjelp, starte diskusjoner og drøfte fremgangsmåter med andre studenter, eller med en lærer. Å imitere andres løsninger er sjelden noen passiv avskriving av den andre (så lenge det ikke skjer bokstav for bokstav og tegn for tegn), men heller en aktiv handling der læring og utvikling finner sted.

Å foreslå en fysisk flytting av datamaskinene nærmere hverandre (enten parvis, eller gruppevis), trenger derfor ikke være *så* banalt som det fort kan høres ut. Det kan lette studentene i å inngå kontakt og samarbeid med hverandre. I tillegg er det viktig at studentene oppfordres til samarbeid og til å søke hjelp hos hverandre fra "høyere hold". Foreleser og gruppelærere kan alle bidra til at studentene kommer i kontakt med hverandre og bruker hverandre aktivt i arbeidet med faget. FYS-MEK1110 sine "klikkerdiskusjoner" (konseptuelle diskusjoner rundt "klikkerspørsmålene") er et godt eksempel på at dette blir tatt seriøst i forelesningene. Spørsmålet er om det også følges opp i gruppetimene og, ikke minst, datalab-timene.

6.8 Den viktige oppgaveteksten

Siden jeg allerede har berørt ved flere tilfeller hvordan enkelte tilnærminger til arbeidsøkten kunne vært endret til studentenes fordel, blir en seksjon som tar for seg oppgaveteksten spesifikt nærmest uunngåelig. Siden innføringen av beregningsorientering i faget er noe helt nytt, er selvsagt også oppgavetekstene helt nye i form og innhold. Samtidig blir det like selvsagt at oppgavene ikke har fått den samme "finpussingen" som tradisjonelle fysikkoppgaver gjerne har fått gjennom år eller tiår. Å utforme nye oppgaver til et nytt pensum er en kontinuerlig prosess der vi bør ta oss tid til å tenke gjennom de valgene vi har gjort, og drøfte om hvorvidt de var optimale eller ei. Denne seksjonen er derfor på ingen måte ment som noen direkte kritikk av de spesifikke oppgavenes utforming eller innhold, men ment til å belyse temaer som enkelt kan generaliseres til utforming av beregningsorienterte oppgaver på et overordnet plan. Jeg vil sette søkelyset på oppgavenes tekst og innhold og hvilke følger de har, og ikke minst *kan* ha, for arbeidet med og læringen av faget.

Oppgavetekstens "stemme"

Flere steder under oppgaveløsingen kan vi observere hvordan studentenes besvarelser på oppgaveteksten får – med Bakhtins språk – form av *adresserte ytringer* med en særegen "oppgavebesvarelse-talesjanger" som bærer preg av at en annen person skal vurdere deres besvarelser ut fra en gitt, men kanskje for studentene nokså diffus og utydelig, "godkjent/ikke-godkjent"-standard. Enkelte besvarelsers form kan derfor samtidig tillegges en form for prestasjonsmotivasjon til grunn.

Under guttenes arbeid med *"Å finne løpstiden"* (s. 86) vises et eksempel på dette, der guttene velger å løse oppgaven på en mye mer omstendelig måte enn det oppgaveteksten i seg selv legger opp til, og presiserer at det er forelesers anbefaling som ligger til grunn for dette. Oppgaveteksten kan altså se ut til å bli lest med en gjenklang av forelesers stemme bak ordene – ikke kun som en steril gjøremålsliste.

Det samme gjelder jentenes arbeid med *"Å finne løpstiden"* (s. 97). J1 ytrer, på samme måte som guttene, at hun også ønsker å finne tiden ved hjelp av å "integrere et par ganger", men likevel ender ingen med å gjøre det. De noterer heller utgangspunktet for integrasjonen og viser den siste utregningen for svaret. Jentene svarer på oppgaven med en litt lavere forventning til hva som "kreves" enn hva guttene gjorde, men viser samtidig nærmest like store tegn til at de former svaret ut fra forventningen om at det skal godkjennes av noen andre.

Guttene har også en seanse, under *"Resultatene nærmer seg – og viser seg"* (s. 91), der de to viser forskjellige tilnærminger til hva oppgaven spør om og hva som forventes av dem. G1 velger å finne en svært nøyaktig verdi for tiden brukt på løpet, mens G2 velger det mer unøyaktige alternativet: å lese av grafen.

Oppgavespørsmål blir ikke besvart kun for å svare på spørsmålet, men blir formet, hvis ikke tydelig angitt i oppgaveteksten, ut fra studentenes *forventning* til en eventuell kvalitetsstandard (tillagt av personen som retter). Dette kan antyde at oppgaveteksten bærer "forelesers stemme" bak bokstavene og setningene. Det er ikke bare en hvilken som helst oppgave, men en oppgave som blir gitt av foreleser.

Forventningene til oppgavetekstens innhold

Studentene gjør store deler av alle oppgavene uten noen form for hjelpemidler, og guttene viser spesielt sterk tendens til å unnvære seg å bruke hjelpemidler eller oppslagsverk. Blant annet memorerer de seg fram til utseendet på Eulers metode i stedet for å bruke verken lærebok eller internett som oppslagsverk. Det er ikke så ofte vi kan hente ut sitater til dette temaet direkte, men G2 kommenterer ganske eksplisitt, under *"'Spring force og enhetsvektorer"* (s. 112), at han ønsker å "spleise opp" $\vec{r}$ og beskrive den med $\vec{i}$ og $\vec{j}$, men velger å ikke gå noe nærmere inn på dette i håpet om å bli gitt en slik "oppspleising" av oppgaveteksten senere. Siden dette ikke fremstår som noen direkte nødvendighet for å fortsette på oppgaven, er det heller ikke så rart at han ikke velger å gjøre det. Det som antydes er at studentene forventer å få mesteparten av den nødvendige informasjon av oppgaveteksten, eller at den enkelte oppgave skal gjøre studentene i stand til å gripe fatt i den neste. Dette er ofte riktig, men ikke nødvendigvis tilfelle i programmeringsoppgavene, der en større mengde kunnskap må tas i bruk samtidig og deler av denne kunnskapen ikke nødvendigvis er introdusert i oppgavens innledende oppgaver.

Å mestre oppgaven uten forståelse

Det store problemet når guttene skal i gang med *"Å gjøre modellen mer realistisk"* (s. 92) angående skrivefeilen og modustenkningen er at, som de selv også sier, parametre og kraftledd blir servert på en svært autoritativ måte – uten drøfting rundt valget av dem eller meningen som ligger i dem. Guttene blir ikke fortalt "den vitenskapelige historien". G1 uttrykker seg godt når han sier at "Jeg kan godt gå med på å regne med det der, men jeg vet ikke hvorfor det ble sånn". Med andre ord: Han kan enkelt "mestre" oppgaven uten å fordype seg i matematikkens fysiske innhold. Han får heller ikke muligheten til å skape noen slik forståelse ettersom teksten ikke åpner for dette, men pålegger studentene å bruke disse nye kraftleddene uten særlig diskusjon. G2 ytrer derimot et ønske om en slik diskusjon rundt variabelvalgene *med* foreleser – et ønske om å bli fortalt det vi godt kan kalle "*hele* den vitenskapelige historien".

I kapittel 2.4.3 siterer jeg Vistnes og Hjorth-Jensen (2005) på håpet om at "[...] to device an algorithm and thereafter write a code for solving physics problems is a marvelous way of gaining insight into complicated physical systems. The algorithm one ends up writing reflects in essentially all cases the understanding of the physics of the problem." I seksjon 6.4 belyste jeg en del tilfeller der Eulers metode og programmet som helhet ble brukt som en sort boks. Samtlige studenter gir kommentarer til den første oppgaven som antyder at den fremstod som “lett”. De har alle mestret oppgaven, men spørsmålene er: Hvilken forståelse de sitter igjen med? Hvor stor grad av innsikt har de fått i det fysiske systemet, og hvorvidt er det sant at algoritmen studentene har bygget opp speiler deres forståelse av fysikken? J1 har som vane å ta i bruk en gammel programkodesnutt i sin oppgaveløsing og trengte sjelden å fordype seg særlig i hva den betød. Hun kunne for eksempel enkelt “få den til å fungere” ved å lage “dummyvariable”. En stor grad av visuell memorering bidrar til alle studentenes programmeringsøkt, og, ikke minst, en stor grad av prøving og feiling til de får noe som fungerer. De matematiske uttrykkene blir heller ikke drøftet i særlig inngående grad under tolking av resultatene. Programkodens oppbygging er grei nok: De må definere variable, fylle dem med riktig innhold og deretter visualisere resultatene. Likevel, på tvers av oppgavene, kan det ikke sies at noen av studentene drøfter Eulers metode eller det matematiske grunnlaget særlig inngående.

Et bedre spørsmål enn om studentene “får innsikt eller ikke”, er *hvilken* innsikt de får, *i hvilken grad* “tvinges” studentene til å dykke dypt inn i modell eller teori for å mestre oppgaven og hvilken teori er det i så fall snakk om? Studentene ser ut til å kunne ta i bruk Eulers metode som en sort boks, de klarer å skrive akselerasjonsuttrykk inn i programkoden på riktig måte og de klarer å produsere grafer som gir mening fra et hverdagsfysikkperspektiv. Følgelig ansees eksempelvis den første oppgaven som “lett”, men med litt “holde-tunga-rett-i-munnen-arbeid” med tanke på akselerasjonsuttrykket som etter hvert ble ganske stort. Hvis vi ønsker et dypdykk inn i matematikken, inn i den numeriske metoden, eller inn i den fysiske tolkningen, kan det se ut til at dette må etterspørres *eksplisitt*. Studentene gjør det som oppgaven spør om, og ofte får de til dette uten å dykke særlig dypt inn i verken modell, metode eller matematikk – de er ikke klare over hvor dypt de bør dykke ned i teorien (ei heller hvilken teori) for å løse oppgavene tilstrekkelig. I forståelsesspørsmål blir det samme fenomenet gjeldende ved at studentene ikke vet hvilket nivå de skal legge seg på ved beskrivelser og kommentarer.

I guttenes første oppgave, under *Avslutningen: “Comment on the results”* (94), viser de stor usikkerhet på hva som er verdt å kommentere. Når guttene må gi kommentarer til grafene, prøver de også på nytt å analysere kreftene i mer detalj, men går heller over til en mer deskriptiv tilnærming der G2 for eksempel siterer hva han har skrevet ved at “Er det her en kommentar, liksom? ‘Vi ser at akselerasjonen er stor i begynnelsen og går mot null. Farten øker kraftig i starten og blir konstant.’ ”. Det tilsvarende skjer for jentene, under *“Avslutningen: Comment on the results”* (s. 104), der de ikke vet hvordan spørsmålet skal angripes, og velger en svært deskriptiv tilnærming. Også i jentenes andre oppgave, under *“‘Describe and interpret the motion’ og endringer av programmet”* (s. 137), angripes denne oppgaven *svært* deskriptivt.

“Visualiser systemet og kommenter” kan raskt bli bare “visualiser”; når grafene har kommet opp på skjermen, føles oppgaven mestret. Studentene ser ikke ut til å vite *hva* som kreves av et såpass åpent spørsmål. I studentenes første oppgave må jeg etterspørre kommenteringen eksplisitt for begge grupper, og når de først kommenterer er det stor usikkerhet rundt hva som egentlig kreves for å ha kommentert tilstrekkelig. Som en følge av at studentene ikke vet hvilken teori de skal fordype seg i og på hvilken måte, forholder beskrivelser og kommentarer seg på et svært deskriptivt og empirisk nivå. Flere mellomsteg sammen med presiseringer knyttet til hva som kreves, kan her være til god hjelp. Oppgaver med egen deloppgave-bokstav (a, b, c, osv.) vil bli naturlig vektlagt sterkere enn en kort setning på slutten av en lang oppgave. Presisering knyttet til hvilken tilnærming kommenteringen bør innta, eksempelvis med hensyn til matematiske kraftledd, til sammenhenger mellom grafene eller til det virkelige systemet vi prøver å modellere (les: modelleringsfeil, -begrensninger), ville sannsynligvis hjulpet mye.

I stedet for å gi studentene i oppgave å tolke resultater, bør det heller vurderes å be dem tolke resultater *med hensyn til* de matematiske kraftleddene, Eulers metode, grafenes sammenheng med hverandre eller programkodens oppbygning avhengig av hva det er vi ønsker at de skal fordype seg i.

Å imitere "den gode modellør"

Som jeg tidligere har antydet, mener jeg at det vil være en god tilnærming for oppgaveteksten å skissere *en plan* for programmet og modelleringen *i forkant* av studentenes programmeringsøkt. I tillegg til å bruke de innledende oppgavene til å tegne kraftdiagrammer og finne akselerasjoner som må integreres, ville oppgaver som hjelper (eller "tvinger") studentene til å sette seg inn i hva som er målet med oppgaven og programmet være til stor hjelp. Slik kan studentene bevisst eller ubevisst trenes i å lage en plan for modelleringsøkten. I tillegg kan de innledende oppgavene hjelpe studentene med å bli bevisste på hvilken kunnskap som må tas i bruk for å mestre oppgaven på en innsiktsfull måte. Dette vil være spørsmål som hjelper studentene med å hente rett kunnskap til rett tid og som setter det fysiske systemet inn i en numerisk matematikk- og informatikksammenheng, men samtidig holder et fokus på den konseptuelle fysikken. Slik kan studentene diskutere og planlegge en datamaskinbasert modelleringsøkt fremfor å "bli kastet ut i det". Det bør verken antas eller tros at studentene fikk opplæring i *modellering av fysiske systemer* i INF1100 selv om en stor del av programmeringen var med naturvitenskapelige anvendelser – de lærte først og fremst å programmere. Studentene presiserer selv at INF1100 var et *programmeringsfag*. Modelleringsaspektet må tilegnes i fysikkfaget, der kunnskaper fra forrige semester skal settes i sammenheng med hverandre og med et fysisk system; relasjonene mellom tilegnede begreper skal opprettes, utdypes og forklares. Som en hjelp på denne veien, kan en oppgavetekst med "mellomsteg" – som stegvis hjelper studentene i å bygge opp algoritmen og "planen" for programmet – der de riktige kunnskaper kobles inn på riktige steder, være til god hjelp. Dette gjelder spesielt i studentens første møter med denne typen oppgaver.

Med hensyn til Vygotskijs syn på imitasjon, vil en slik tilnærming til oppgaveløsingen tjene som et eksempel og rettesnor i deres læring av hvordan modellering *bør* foregå med de gitte redskapene – studentene kan imitere "den gode modellør" ved å gjøre oppgaven stegvis. Hvis studentene samtidig hører forelesers eller gruppelærers stemme bak oppgavens setninger, kan denne modelløren tenkes å være ham. Vi ønsker å lære studentene "den rette måten" å modellere, eller modelleringens "vitenskapelige historie" i sitt "sosiale språk" og bør samtidig ikke anta at den ønskede algoritmiske tenkningen og gode modelleringsferdigheter utvikles av seg selv bare vi gir dem verktøyene for å mestre det. Verktøyenes forhold til hverandre er en del av den vitenskapelige historien som fortelles.

For å komme med et konkret eksempel: En måte å hjelpe studentene til å ta i bruk riktig teoriverktøykasse og å "planlegge programmeringen", kan være å eksplisitt etterspørre de numeriske metoder de trenger i programmet og deres kobling til det fysiske systemet, eksempelvis fysikken bak G2 sin "$x_1' = x_2$" ($v' = a$) hvordan dette sammen med sin relasjon til posisjonen ($x' = v$) utgjør et system av koblete førsteordens ordinære differensiallikninger og hvordan de kan løses med Eulers metode. At uttrykket for *akselerasjonen* danner fundamentet for vår modell og den numeriske integrasjonen til fart og posisjon ved Eulers metode kan gjerne bli presisert. Dette vil bevisstgjøre studentene om at *denne* kunnskapen er viktig i arbeidet med oppgaven.

Den dialogiske oppgaveteksten

Sins et al. (2005) sin korte anbefaling om "flere mellomsteg" blir en attraktiv tanke både for å presisere dybde i kommentarer, å "lage en plan" og til å "tvinge fram" koblinger (og begrensningene i disse koblingene) mellom fysikk, numerikk og programmering og samtidig presisere, utdype og konkretisere disse koblingene. Spesielt tenker jeg nå på å dele opp "write a program ..." til flere steg som illustrerer en god fremgangsmåte og som samtidig utdyper delene – den detaljerte algoritmen og bakenforliggende matematikken – for programmets utforming. I stedet for at algoritmen og programmet studentene ender opp med reflekterer deres innsikt i systemet, kan heller oppgaveteksten nettopp hjelpe studentene med å nå den ønskede innsikten i dette systemet gjennom en detaljert og utdypende oppgavetekst som også *gir* innsikt i stedet for å bare *etterspørre* innsikt – spesielt når dette er innsikt som ennå ikke er tilegnet.

Jeg har flere steder antydet en nødvendighet av en mer fyldig og utdypende oppgavetekst: G2 etterspør eksplisitt et ønske om å bli forklart valget av matematiske kraftledd i den første oppgaven, men ender med å kun implementere kraftleddene i koden gjennom "oversetting" til programkodesyntaks. På samme måte vet ikke studentene hva "terminal velocity" eller guttene hva "en AU" er for noe og oppgavene står klare for å bli løst uten særlig dyp forståelse. Oppgaveteksten burde ikke være redd for å utdype begreper, presisere sammenhenger og å veilede studentene i riktig retning. Den dialogiske teksten – en tekst med eksempler, synspunkter og hypoteser som underbygger grunner for valg og tilnærminger – er noe oppgaveteksten fint kan prøve å nærme seg. Oppgavenes formål er først og fremst *læring*, ikke testing. Oppgavene kan bidra med å *fortelle* studentene "den vitenskapelige historien" i stedet for å håpe på at de klarer å fortelle den på egenhånd så lenge de holder på alle fragmentene. Puslespillmetaforen kan på nytt anvendes[4]: Studentene sitter med en bunke puslespillbrikker fra hverdagslige gjøremål, fra videregående skole og fra første semester ved universitetet (men ikke nødvendigvis samtlige brikker og ikke nødvendigvis med riktig innhold) som de trenger hjelp til å *sette sammen* til et bilde. Å sette sammen dette bildet er noe oppgaveteksten etter mitt syn enkelt kan, og bør, hjelpe til med.

Egeneksperimentering og frykten for å kaste bort tid – hva med åpne oppgaver?

I kapittel 6.7 påpeker jeg at studentene, og tydeligst guttene, viser sterk interesse og glede i å eksperimentere med programmet på egenhånd. De viser også en stor glede over at dette er mulig. Et hinder for egeneksperimenteringen, viser seg derimot noen steder

[4]For ordens skyld: Hver puslespillbrikke er ikke begrenset av maksimalt fire tilkoblingspunkter i denne sammenhengen.

å være en frykt for å kaste bort tid (eller, om ikke *frykt*, i det minste et tydelig ønske om å unngå det). En av guttene ytret også i et par tilfeller egne forslag til løsninger på oppgavene, men fikk like etter servert en løsning av oppgaveteksten og forkastet følgelig sin egen.

I tillegg til å bygge opp under studentenes egeneksperimentering, kan vi også ta høyde for Gilbert (2004) sitt syn på hva modellering i undervisningen kan bidra til – å bygge opp under den kreativiteten som ligger bak vitenskapens fremdrift og tilgjengeliggjøre "vitenskapens natur" for studentene – ved å innføre en grad av *åpne oppgaver*. Oppgaver der studentene kan utforske sine alternative løsningsmetoder, eller endre programmet ut fra en egen hypotese (eller et eget ønske om å utforske noe), som en del av oppgaven. Dette vil kunne oppfattes som mindre "bortkastet tid".

Et problem med åpne oppgaver er derimot at svake studenter kan få store problemer med å klare oppgaven på en tilfredsstillende måte. Hvis man sliter med løsningsmetoder som blir gitt, hvordan skal man da klare å finne på sine egne? Det er sikkert mange løsninger som kan anvendes, men et eksempel kan være at *én* av oppgavene 1) og 2) skal gjøres, der ett av alternativene holder en eller annen grad av åpenhet. Dette kan stimulere nysgjerrigheten, kreativiteten og ønsket om egeneksperimentering hos de som har lyst og makter å gjøre dette. Uten å ha alt for mange flere gode forslag til hvordan dette problemet kan håndteres, vil et spørsmål av typen "Kan du prøve å gjøre oppgaven *enda* mer realistisk?" etter å ha påvist at modellen *fortsatt* ikke er god nok (les: speiler virkeligheten presist nok), være en annen tilnærming som kan fungere. Dette kan være ved å endre på kraftledd, legge til ytterligere kraftledd, legge inn if-tester (som G2 foreslo), eller kanskje noe helt annet. Eksperimentering med initialverdier og parametre er en annen tilnærming som kan hypotesetestes av studentene på egenhånd. Jeg skal ikke fremme noen flere konkrete anbefalinger til dette, men ønsker kun å påpeke at dette er en diskusjon verdt å ta.

Oppgavetekstens språk

Det viktigste kulturelle redskapet i den sosiokulturelle teorien – det viktigste medierende middelet til å forstå omverden på – er språket. Språket studentene hittil har brukt i så å si all meningsskaping er morsmålet. For at studentene skal settes i stand til å møte en større verden av fysikkfaglige tekster, er de før eller senere også nødt til å bli utsatt for engelskspråklige tekster. Før jeg diskuterer dette videre, tar vi en titt på noen observasjoner.

Allerede i høstsemesteret, under *Endringer av meninger om vanskegraden til MAT-INF1100 underveis i studiet* (s. 79), ble det ytret tydelig på fokusgruppene at kompendiet i MAT-INF1100 gjorde faget betydelig vanskeligere. Problemene bestod i at språket gikk over til å bli engelsk og at det kom en flom av begreper på et nytt språk. De påstår selv at engelsk egentlig ikke er noe problem, men at det hele ble fremstilt på en krunglete måte. De ble nødt til å fokusere på hva som ble skrevet i stedet for innholdet, ble det sagt. Skal vi prøve å tyde dette, uten å synse for mye, er nok engelsk *hverdagstale* noe de fleste studentene er gode på etter en oppvekst med sterk engelskspråklig innflytelse fra massemedier og en god engelskopplæring i skolen. Nå møter de derimot et helt nytt *fagspråk* som plutselig blir engelsk – en mengde begreper de tidligere kun har blitt utsatt for på norsk. Plutselig må språket hele tiden oversettes til morsmålet i forkant av forståelsen, noe som kan oppfattes som en større barriere enn tidligere.

G2 gjør, under *"Programmeringen i FYS-MEK1110 sett i forhold til INF1100"* (s. 90), også en digresjon til høstsemesteret der han husker at det var uvant med engelske tekster og at "ingen" skjønte at oppgaven bad dem ta med benevninger i programkodekommentarene. I jentenes arbeid med den andre oppgaven, under *"Prescribe the motion of the ball"* (s. 128), kan vi se hvordan jentene angriper oppgaveteksten. De siterer hele tiden oppgavetekstens engelskspråklige oppgaver høyt og oversetter til norske begreper for å fatte hva de skal gjøre. Nærmere slutten av samme oppgave, under *"Avslutningsvis ... har bitene falt på plass?"* (s. 140), har J1 igjen problemer med de engelske begrepene i kombinasjon med en feillesing av en tankestrek som et minustegn. I jentenes siste oppgave, under *"Møtet med oppgaven"* (s. 147), oppstår det på nytt problemer med å oversette oppgaveteksten til norsk. J1 sliter med setningen "... the sphere is subject to both gravity and air resistance" og lurer på hva "subject" er for noe, mens J2 stiller seg spørrende til hva "hinge" kan være. Her er det ikke snakk om faguttrykk, men vanlige engelske uttrykk som bidrar til å skape forvirring.

Fagets undervisningsspråk – språket som brukes på forelesning og på gruppetimer – er norsk. Det samme er eksamensoppgavenes språk. Det er da rimelig å anta at alle faguttrykk og -begreper får innpass i studentenes forståelse gjennom norskspråket, spesielt hvis denne meningsskapingen foregår gjennom sosial mediering og ikke hovedsakelig gjennom lesing av pensumlitteraturen. Når vi nå er i en prosess med å skrive nytt pensum til dette kurset, og samtidig håper at dette skal kunne nå et bredere publikum, er det selvsagt en fordel å skrive på engelsk først som sist.

Likevel: Både pensumlitteraturen og oppgavene finnes ene og alene for studentenes skyld. De skal hjelpe studentene med å lære og forstå faget. Å skrive ny pensumlitteratur er en stor nok oppgave i seg selv om man ikke skal oversette til flere språk i tillegg. Når det er sagt, kan en tanke (og en mye mindre oppgave) være å oversette de *obligatoriske oppgavene* til norsk. Oppgavene kan for eksempel legges ut på begge språkformer, så kan studentene velge selv hvilken språkform de vil ta i bruk. Hvis de møter problemer med den engelske teksten, kan den norskspråklige utdype og presisere det samme stoffet på et mer nærliggende språk. Studentene bør, som sagt, tilegne seg engelske begreper som en forberedelse til senere kurs og for å settes i stand til å lese engelsk faglitteratur, men hvor mye dette skal gå på bekostning av læringssituasjonen kan være en vanskelig balansegang. Dette gjelder spesielt hvis engelskkunnskapene varierer sterkt blant studentene. Engelskspråklig svake studenter kan godt tenkes å ha god nytte av en norskspråklig oppgavetekst som en hjelp til å arbeide med og skape forståelse for faget.

Om oppgavens fokus

En siste, mer konkret, kommentar, handler om guttenes arbeid med "Kirkwood gaps"-oppgaven. I denne oppgaven fikk de servert programkoden klart for kjøring. Mye av observasjonene er utelatt fra resultatkapittelet ettersom store deler av lyden kun bestod i stillferdig "algebratrening". Oppgaven legger opp til at studentene skal gjøre endringer i den gitte koden, men innen dette ble aktuelt, endte de opp med å miste lysten til å gjøre ferdig oppgaven. De mindre interessante delene av oppgaven tok rett og slett for lang tid. At de allerede hadde gjort et tilstrekkelig antall oppgaver for å kunne gå opp til eksamen, er selvsagt også noe som bidro til dette, men likevel: Den mer interessante delen av oppgaven fra et eksperimentelt modelleringsperspektiv, der man ville lagt inn asteroiden i systemet og observert Jupiters og Solas påvirkning på dens bane, kommer ikke før i oppgave h) – og da kun som "optional". Sins et al. (2005) anbefaling av en sammenligning med virkelige datasett – her: det virkelige fenomenet "kirkwood gaps" – blir ikke realisert før i den aller siste oppgaven, også merket "optional".

Sins et al. (2005) anbefaler heller ikke å innføre særlig mange nye begreper eller ny kunnskap i modelleringsøkter, der *modelleringen* står i fokus. I denne oppgaven ender guttene med å nærmest "drukne" i utledninger av matematikken og ankommer aldri den essensielle modelleringen av Sol-Jupiter-asteroide-systemet – noe G1 uttrykte et genuint ønske om. Spørsmålet som oppstår er hva oppgaven vil at studentene skal få trening i: algebraregning eller modellering? Kanskje det er de matematiske utledningene som burde være "optional", mens den beregningsorienterte modelleringen av "Kirkwood gaps" burde vært oppgavens fokus? Et mer generelt spørsmål: *Hva* skal egentlig være oppgavenes fokus? Dette kan nok også være verdt en ytterligere diskusjon.

Om rapportskriving

Et tema jeg aldri fikk studert skikkelig i denne oppgaven er effekten av rapportskriving. Vi kom sjelden til rapportskrivingen under observasjonene og forventningen var uansett at den ville foregått stillferdig foran datamaskinen, slik rapportskriving ofte blir gjort, og derfor være vanskelig å få dokumentert med lyd. I Vygotskijs syn på verbalisering – at den indre tale får et uttrykk i ytre tale *eller skrift* – "tvinges" tankene til å dreie fra et fokus på spontane begreper til heller å vektlegge de vitenskapelige begrepene. Det kan også se ut til å tvinge fram et konsist språk og tilsynelatende en indre konsistens i studentens vitenskapelige historie. Dette kan bidra til at fragmenter finner sin plass eller at hull i historien blir oppdaget og drøftet.

Wellington og Osborne (2001, s. 81) skriver følgende om "writing for learning science":

> "[...] writing in science is essential to developing scientific literacy – an understanding of how to read science, how to write science and the content of science itself.
>
> [...]
>
> It is our belief that if only one-tenth of the thought and effort that went into the preparation of experimental work was devoted to thinking harder about the nature of the writing tasks and their demands, the learning would be repaid tenfold."

Dette er også med på å styrke nødvendigheten av underpunkter der "*kommentér og drøft resultater*" blir fremhevet som like essensielle deler av oppgaven som de rene regne- eller programmeringsoppgavene. Jeg antyder med dette at rapportskriving der studentene besvarer forståelsesspørsmål kan være et godt hjelpemiddel til å få studentene til å fremme sin egen forståelse for fenomenet konseptuelt og mer i dybden ved å konstruere meningsfulle setninger som en rettet respons til foreleser eller gruppelærer. Rapportskrivingen kan også virke oppsummerende, den kan gi studentene en oversikt over helheten og virke som en slags "refleksjonsfase".

Kapittel 7

Hovedfunn, konklusjoner og veien videre

Dette kapittelet oppsummerer kortfattet de hovedtrekkene og konklusjonene vi kan trekke ut fra forrige kapittels diskusjoner og drøftinger. Det gir også anbefalinger til videre studier som kan være aktuelle sett i lys av denne oppgavens diskusjoner og drøftinger.

7.1 Hovedfunn og konklusjoner

Ordet "konklusjoner" kan raskt bli litt bastant i seg selv, spesielt tanke på at dette er en svært kvalitativ studie, der målet er å *få innsikt* i hvordan oppgavene *kan* arbeides med og hvilke problemer som *kan* oppstå. Jeg prøver å beskrive temaer og inntrykk som er generelle, men ikke nødvendigvis generaliserbare; de diskuterte temaer gjelder neppe samtlige studenter, ei heller kan vi si noe om dette, men de gir likevel inntrykk og kan åpne for nye tanker og diskusjoner om fagets generelle form og innhold knyttet til de beregningsorienterte perspektivene.

7.1.1 Det første semesteret

Teksten som følger tar utgangspunkt i kapittel 6.1 og tar opp oppgavens første forskningsspørsmål med dets underpunkter.

Et slitsomt, vanskelig og motiverende semester?

Første semester oppfattes tilsynelatende som både (svært) arbeidskrevende og vanskelig og i tillegg mer arbeidskrevende og vanskelig enn forventet, men fremstår likevel som motiverende for videre studier. Forklaringen på dette kan antydes å være at studentene som fortsatt er på studiet i slutten av det første semesteret erkjenner at studiet er arbeidskrevende og vanskelig og anser det som "naturlig" at det er slik. Realistutdannelsen er slitsom og vanskelig – "selvfølgelig". Her er det likevel en viktig bemerkning: Den hyppige og detaljerte bruken av datamaskinen kom overraskende på mange og studentenes generelle dataferdigheter ser ut til å ha en tydelig innvirkning på hvorvidt både studiet som helhet og INF1100 spesielt oppfattes som vanskelig hos den enkelte. Av fokusgruppeintervjuene fremtrer det i hovedsak to synspunkter på INF1100 og programmering: at det er “nytt og spennende” eller “vanskelig”. Begge deler kan forklares ved at temaene som gjennomgås i kurset er, nettopp, *helt nye*. Studentenes grunnlag i generell databruk vil derfor være det naturlige referansegrunnlaget i møtet med disse temaene og samtidig være med på å avgjøre om kurset ansees som “nytt og spennende” eller “vanskelig”. Ser vi dette i sammenheng med at den utstrakte og grundige bruken av datamaskinen kom såpass overraskende på mange, kan det antyde en nødvendighet av en tydeligere formidling av datamaskinens rolle i studiet til potensielle søkere til studiet. En grundig innføring i generell databruk og de anvendelser som kursene krever bør samtidig ansees som en absolutt nødvendighet for å minske (den noe urettferdige) forskjellen i forkunnskaper som skolesystemet ikke legger opp til.

Informatikk og numerisk matematikk

Studentene har tydelig merket seg den sterke sammenhengen mellom kursene INF1100 og MAT-INF1100, og som følge faller MAT1100 litt utenfor første semesters “grunnpakke”. Angående programmeringen og den numeriske matematikken mener studentene at fagene utfyller hverandre, men er uenige om hvordan forholdet mellom dem er. Her kan det bemerkes spesielt to tilnærminger: INF1100 kan bidra til *mestring* av MAT-INF1100 ettersom enkelte av faget oppgaver ansees som svært vanskelig å gjennomføre uten en grundig innføring i programmering i forkant, og det kan samtidig bidra til å skape *forståelse* for den numeriske matematikken gjennom anvendelse og eksperimentering. Det sistnevnte er nok viktigst å merke seg: at kursene bidrar til studentenes meningsskaping på tvers av fagenes grenser (i alle fall én vei). I arbeidet med INF1100 får studentene studert den numeriske matematikken mer utdypende og de får satt den inn i en anvendbar kontekst.

Det er også tydelig at noen studenter ikke trenger å forstå den numeriske metoden for å anvende den i en programkode. Flere studenter uttrykte at de enkelt kunne “oversette” mellom fagenes syntaks for å få et program som utfører beregninger uten at de egentlig har satt seg godt inn i den numeriske metodens virkemåte.

7.1.2 Modellering med “riktig verktøykasse” – en utfordring!

Grunnlaget for teksten som følger legges fram og diskuteres i kapittel 6.3 og 6.4. Her begynner drøftingen av forskningsspørsmålene knyttet til mekanikkfagets beregningsorienterte oppgaver.

Programmeringsøktene – en ustrukturert prøving og feiling?

Allerede i fokusgruppeintervjuene på høsten uttrykker noen studenter et “prøv-og-feil”-forhold til INF1100. Dette er noe som viser seg gjeldende for arbeidet med de beregningsorienterte oppgavene i mekanikk, der utfordringer under programmeringsøktene møtes med svært sterke preg av prøving og feiling uten særlige vurderinger verken forut for prøvingen eller i etterkant av feilingen. I tillegg foregår programmeringen svært ustrukturert, der parametre og variable blir laget uten at de er nødvendige; studentene ser ut til å mangle “en plan” for programmeringen og en bevissthet rundt hva som må gjøres. Under programmeringsarbeidet forekommer det en slags “modustenkning” der studentene ser ut til å rette sitt fokus mot programkodeutforming og syntaks –

programmeringskunnskaper og -ferdigheter står i fokus og undergraver tidvis bedre tilnærminger med utgangspunkt i matematikk- eller fysikkunnskaper. Studentene viser også en form for billedlig representasjon for programkoden i noen tilfeller, ved at det rent visuelle ved parametre og variable blir hevet fram som viktigere i programkodeutformingen enn en grundigere og mer detaljert forståelse for programmets funksjon.

Den ubetydelige steglengden

Hver gang steglengden må velges, blir den tilsynelatende valgt "av gammel vane" uten noen som helst diskusjon. Til tider etterspør studentene en diskusjon rundt eller en begrunnelse for valget, men diskusjonen setter aldri i gang. Steglengden ser også ut til å være uaktuell som syndebukk i problemløsingsseanser der programkodens tegnsetting og syntaks heller står i fokus. Studentene ser ut til å kjenne til problemer knyttet til for stor steglengde, men ser samtidig ikke ut til å være bevisste på dette under arbeidet med disse oppgavene.

Eulers metode

Noen av studentene viser en gjennomgående evne til å konstruere Eulers metode som en slags "formel til å løse problemet" og som en sort boks. Dette kommer tydeligst fram som en følge av at steglengden blir oversett som syndebukk og det manglende fokuset på potensielle numeriske feil under arbeidet. Innsikten i Eulers metode fremkommer mer som en overfladisk forståelse av *hva* metoden gjør enn *hvordan* den gjør det og, ikke minst, hva som er dens begrensninger. Å ta i bruk programkodesnutter fra INF1100, kan også legge tydelig opp til sort-boks-tenkning ved både metode og programkode som helhet.

Å møte problemer med "feil verktøykasse"

Studentene møter en rekke problemer knyttet til steglengdevalget, men imøtekommer de ikke på tilstrekkelig måte. Når jeg etterspør grunner for feilaktige grafer og merkelige oppførsler, burde studentene ideelt sett drøftet modellens matematiske utforming, modelleringsbegrensninger som numeriske feil som følge av steglengdevalg eller innholdet i Eulers metode. I stedet bærer problemløsingene preg av konseptuell fysikkforståelse (eller hverdagsoppfatninger) som sjelden eller aldri er tilstrekkelig. I noen få andre tilfeller, på den annen side, møtes problemer med rene programkodeløsninger eller et overdrevent fokus på matematikken, når et kort "fysikkresonnement" ville vært tilstrekkelig for å løse problemet. Det hele bærer preg av at studentene sjelden vet hvilken "verktøykasse med begreper" – hvilket begrepsapparat – de bør ta i bruk til hvilken tid. I denne forbindelsen oppstår det også antydninger til et svakt skille mellom modell og virkelighet, der resonnementer gjøres med bakgrunn i virkeligheten (eller den *litt endrede* virkeligheten) når studentene egentlig burde drøftet modellens begrensninger.

Modellering på tvers av begrepsapparat, moduser og representasjoner

Utfordringen studentene står overfor er å ta i bruk et riktig (eller et *tilstrekkelig*) begrepsapparat til problemene de møter. Dette er kunnskap som ennå ikke er tilegnet og som viser seg å være svært utslagsgivende i oppgaveløsingen. Fagets utfordring blir derfor å hjelpe studentene med å drøfte det fysiske systemet og å møte problemer med begrepsapparater som er gangbare i de forskjellige situasjonene. En dypere forståelse for arbeidet vil medføre en innsikt i den fysiske modelleringen på tvers av disse begrepsapparatene, på tvers av moduser og på tvers av det fysiske systemets representasjoner. Å "sjonglere" med de ulike verktøykassene er noe oppgavene legger opp til (spesielt i programmeringsdelene), men samtidig noe studentene ennå ikke har fått tilegnet seg tilstrekkelig med kunnskap og øvelse til å mestre.

7.1.3 Meningsskaping i mekanikkfaget

Den følgende teksten tar utgangspunkt i diskusjoner og drøftinger fra kapittel 6.5. Her tas den sosiokulturelle teorien grundigere inn i drøftingen av de beregningsorienterte oppgavene.

Samspill og dialogisitet

Den sosiokulturelle teorien forutsetter en mediering av spontane og vitenskapelige begreper på et sosialt plan for at meningsskaping skal finne sted. Det sosiale rommet trenger samtidig flere "stemmer" – flere synspunkter, hypoteser og meninger – for at en reell forståelse skal oppstå; forståelsen trenger både referanser som viser at den er konsistent, men samtidig også moteksempler – alternative hypoteser – som viser at de eventuelle andre tilnærmingene ikke er kurante.

Gjennom guttenes hyppige diskusjoner kan vi i grove trekk observere to innfallsvinkler til samtalene: G1 tar oftest i bruk vitenskapelige, leksikale begreper i resonnementer og G2 fyller på med spontane, virkelighetsnære begreper for å relatere resonnementene til virkeligheten. Dette er hele tiden et veldig godt samspill mellom begrepstyper som ser ut til å utfylle hverandres mening, og bidrar til at guttenes resonnementer og meningsskapingsprosesser virker konstruktive. Nødvendigheten av alternative hypoteser kommer også ganske tydelig fram i tilfeller der jeg, som "lærer", setter spørsmålstegn ved studentenes hypoteser eller kommer med et alternativ. Å sette studentenes feilaktige hypotese i tvil er mange ganger nok til at en riktig hypotese og forståelse skal tre fram.

Bakhtins skille mellom autoritativ og dialogisk tilnærming til samtaler kan også observeres, og spesielt godt der samtalene ikke fører fram. Stagnerende diskusjoner er vanligvis en følge av den omtalte manglende evnen til å ta i bruk et tilstrekkelig begrepsapparat for å løse problemet eller for at en konstruktiv diskusjon skal kunne finne sted, men i en del tilfeller virker også studentenes tydelige autoritative innfallsvinkel til samtalene hemmende på meningsskapingen. En åpenhet rundt alternative hypoteser og en reell drøfting av de feilaktige resonnementene virker nødvendig for at en god forståelse skal skapes – "lærebokovertalelse" virker på ingen måte tilstrekkelig.

Arbeidsmoduser – arbeid med kontekstbunden kunnskap

Vygotskijs spontane begreper kjennetegnes som usystematiske og sterkt kontekstbundne. De "hører hjemme" i en spesifikk sosial kontekst. Med bakgrunn i dette kan det settes et tydelig skille mellom matematikk- og fysikkunnskap som har fått tid til å utvikle seg over lengre tid (fra videregående skole) og kunnskap som er nylig innlært i det første semesteret. Programmeringsøktene står i en særklasse: Når programkoden skal skrives, inntar studentene en tydelig programmeringsmodus – de setter seg inn i en mental programmeringskontekst der begreper fra INF1100 får forrang. Innsikt i det fysiske systemet og store deler av matematikken skyves til side. Når elementer i oppgaven derimot skal *forklares* eller *drøftes*, velger studentene en tydelig fysikkfaglig kontekst, der kunnskap fra videregående skole tas i bruk som et gyldig middel for å nå målet. Drøfting av fysiske systemer "hører hjemme" i videregående skoles fysikkfag, og slike oppgaver oppfordrer dermed til denne spesifikke mentale konteksten. Kunnskap fra videregående skole er derimot sjelden tilstrekkelig for å drøfte de beregningsorienterte oppgavene på en tilfredsstillende måte, der kunnskap fra forrige semester må tas i bruk og anvendes på tvers av faggrenser og kunnskap fra videregående skole. Utfordringen for fysikkfagets tverrfaglige modelleringsøkter er en dekontekstualisering av kunnskap hos studentene; å skape en evne til anvendelse av kunnskap på tvers av moduser – en løsrivelse fra tidligere tilegnet kontekst.

Mekanikkfaget som en vitenskapelig historie

Med utgangspunkt i Mortimer og Scott (2003), gjennom et dypdykk i en relativt stor misoppfatning og flere verbale samspill, skisserer jeg hvordan et syn på fysikkfaget som en "vitenskapelig historie" egner seg svært godt til å beskrive og drøfte meningsskaping og forståelse i faget. "*Den* vitenskapelige historien" forstås som den etablerte vitenskapens beskrivelse og forståelse for fagfeltet. Fagets bestanddeler kan ansees som fragmenter av kunnskap som må flettes inn i historien på riktig sted og på riktig måte for at den skal være i overensstemmelse med den etablerte vitenskapens syn. Inspirert av dette velger jeg å omtale studentenes egen oppfatning som "*sin* vitenskapelige historie", der læring av fysikkfaget går ut på å forme den enkeltes historie nærmere den etablerte vitenskapens versjon ved å fylle inn hull eller endre feilaktige oppfatninger av historiens bestanddeler. Læring og forståelse for faget handler om å skape en forståelse for at *den* vitenskapelige historien er en bedre historie enn alternativene.

Misoppfatninger, feilaktige forklaringer og den *konsistente* vitenskapelige historien

Skillet mellom den vitenskapelige historien og studentenes egne versjon, gir et godt rammeverk for å omtale både misoppfatninger og feilaktige forklaringer til det fysiske systemet som studeres. G2 sin store misoppfatning om sentripetalkraft kan som et godt eksempel ansees som en historie som både må fylles inn med riktig informasjon og hvis enkelte deler må rettes opp gjennom reelle drøftinger av hans forståelse der alternative forklaringer spiller en viktig rolle. G2 sitter med *sin* historie om sentripetalkraft og sirkelbevegelser, mens den etablerte vitenskapen sitter med en annen. Likevel ser ikke G2 noen åpenbare problemer med sin egen versjon – en misoppfatning.

Vygotskij skiller mellom indre og ytre språk der vitenskapelige begreper får forrang i ytre tale og kan "tvinge frem" anvendelser av vitenskapelige begreper for å gjøre seg forstått. Deler av diskusjonen som oppstår i misoppfatningsseansen sammen med en rekke andre feilaktige forklaringer på de numeriske feilene som oppstår, legger grunnlaget for at jeg omtaler "den *konsistente* vitenskapelige historien" som et mål for forståelse og verbalisering. Små feilaktige tilnærminger til det fysiske systemet kan vise seg å være kraftige bærebjelker for studentenes konsistente forståelse. Under møter med problemer der studentene ikke evner å ta i bruk tilstrekkelig begrepsapparat til å komme til bunns i problemene, gjøres det noen ganger små endringer til systemet slik at forklaringene blir konsistente. Relativt små detaljer ser følgelig ut til å spille stor rolle for den helhetlige forståelsen og kan skape store skiller mellom den vitenskapelige historien og studentenes egen versjon. Forståelsen trenger derfor tilsynelatende ikke å være i overensstemmelse med den etablerte vitenskapens versjon for å være verbaliserbar – den trenger bare å være individuelt konsistent, noe som kan oppnås gjennom små feilaktige oppfatninger.

Den polyfone læringsøkt

Bakhtin vektla sterkt polyfoni – flerstemmighet – i sin analyse av litterære tekster. En vektleggelse av polyfoni i læring av fysikkfaget vil tilsvare en flerstemmighet av hypoteser, synspunkter, forståelser og meninger knyttet til et fysisk fenomen, et fysisk system, et enkelt begrep eller i relasjoner til begreper seg i mellom. Denne flerstemmigheten er ikke ment for å sette den etablerte vitenskapen i tvil, men for å skape *reell forståelse* for den. Jeg stiller spørsmålet om nødvendigheten av en lærer i denne forbindelsen, der læreren kan bidra til å styre og forklare i "riktig retning". Dette er vanskelig å besvare i denne oppgaven, men flere steder kan vi observere at mine "lærerkommentarer" eller "-spørsmål" bidrar i stor grad til å rette opp feilaktige hypoteser. I disse tilfellene er det påfallende hvor *lite* som skal til for å rette fokuset i riktig retning, og derfor kunne antakelig et større *mangfold* av stemmer bidratt til akkurat det samme. Både større lærertetthet og større og mer mangfoldig studentinteraksjon kan i alle fall tenkes å bidra svært konstruktivt i læringsøktene.

7.1.4 Den gode beregningsorienterte modellør

Den følgende teksten oppsummerer de korte avsnittene i kapittel 6.6 og tar for seg hva som kan kjennetegne en "god beregningsorientert modellør".

Bevissthet rundt modell, modellering og begrensninger

Beregningsorientert modellering handler i stor grad om problemløsing, med et fokus på analysering av problemer, spesifisering av løsningsmetoder og en bevissthet rundt utførelsen av den aktuelle løsningsmetoden. I mine observasjoner kan disse elementene tidvis se ut til å mangle ved at studentene heller "hopper ut i" programmeringsøkter uten at de verken har spesifisert eller analysert problemstilling ut over hva oppgaveteksten forteller dem. De har heller ikke konstruert en bevissthet for hva de skal i gang med å gjøre og ender som en følge opp med en ustrukturert arbeidsøkt med et fokus på prøving og feiling. Med de beregningsorienterte oppgavenes store mangfold av begrepsapparater og tilnærminger til modelleringen, blir dette en generell utfordring: Studentene trenger hjelp til å bevisstgjøres om *hva* de skal gjøre, *hvordan* de skal gjøre det og, for å skape en forståelse, *hvorfor*. Som nevnt viser studentene tidvis en manglende evne til å skille mellom modell og virkelighet under forsøk på å forklare resultater. I stedet for å se på dette som manglende kunnskap, kan det like enkelt sees i sammenheng med en manglende bevissthet om hva de holder på med; en manglende bevissthet om hvordan de bør angripe problemet; en manglende bevissthet om hvilket begrepsapparat som egner seg.

Å ha en plan for modelleringen

I korte trekk kan vi si at “den gode modellør” har “en plan” for hva som skal gjøres. Han eller hun er *bevisst* om hva som skal gjøres, hvordan det bør gjøres og hvorfor det gjøres slik. Denne planen er ikke noe studentene enkelt kan lage med sin delvis kontekstbundne og fragmenterte kunnskap om fysikk, (numerisk) matematikk og programmering og bør ansees som en kunnskap og ferdighet i seg selv som må læres og trenes opp.

7.1.5 Arbeid på datalaboratoriet

Den følgende teksten oppsummerer kapittel 6.7 og gir et par korte kommentarer til datalaboratoriet som læringsarena.

Egeneksperimentering og forslag til egne løsninger

Noen få steder viser studentene tidvis sterke ønsker om, og glede i, å eksperimentere med programmet på egenhånd. Dette forekommer både for å teste ut sin egen forståelse og for å “leke” med programmet. Begge deler er gode motivasjonsfaktorer. Dessverre hindres studentenes egeneksperimentering av et ønske om å ikke “kaste bort tid” på noe som ikke er nødvendig for å mestre oppgaven. En av studentene kommer til tider også med egne forslag til løsninger på problemstillinger i oppgaven før han har lest ferdig og fått en løsningsmetode beskrevet i teksten. Alt dette er tegn på at studentene ønsker og makter å eksperimentere på egenhånd og synes at det er spennende.

Et morsommere arbeid

Alle studentene uttrykker også glede i arbeidsformene som følge av en beregningsorientert tilnærming. Det ansees som mer morsomt og mindre tidkrevende å arbeide foran datamaskinen med modellering og simulering. Likevel stiller jeg meg spørrende til om dette skyldes at arbeidet oppfattes som mindre tankekrevende ved at studentene ofte prøver og feiler til de får noe meningsfullt og at de relativt enkelt kan oversette og implementere matematiske formler til programkodesyntaks for å få et kjørende program. Som det ble uttrykt på fokusgruppeintervjuene: Slipper de “å tenke” når de programmerer? Oppfattes oppgavene som morsommere, enklere og mindre tidkrevende fordi grafene de ender opp med til slutt gir mening fra et intuitivt og spontant begrepsapparat og at arbeidet underveis ikke tvinger dem til å regne på “store og stygge” matematikkuttrykk?

Studentene uttrykte også misnøye ved å få programkoden ferdigskrevet, med en begrunnelse i følelsen av å miste noe av gleden i å gjøre oppgaven. De blir fratatt *skapergleden*. Dette kan være en glede der følger for fratakelse bør tenkes godt gjennom – spesielt når studentene sitter med en oppfattelse av en mye bedre forståelse for programmer de selv har laget.

Hva med det meningsskapende samspillet?

Selv om jeg fremhever at den store utfordringen de beregningsorienterte oppgavene står overfor er studentenes anvendelse av tilstrekkelige begrepsapparater og “sjonglering” av disse, er mangfoldet av stemmer i læringsøktene også noe som kan tenkes å miste litt fokus når studentene blir satt til å arbeide individuelt foran datamaskiner. Studentenes fokus kan raskt rettes i større grad mot skjermen enn mot hverandre. Hvis datamaskinene i tillegg er tydelig fysisk adskilt, utgjør dette en utfordring med tanke på en dialogisk og medierende læringsøkt. I et læringsmiljø som i større grad enn ellers legger opp til individuelt arbeid, er det viktig at studentene oppfordres til et samarbeid med tydelig diskusjon og drøfting der forståelse og mening kan skapes og at det er en bevissthet rundt tilretteleggingen for dette.

7.1.6 Oppgavetekstens betydning

De "klassiske oppgavene" har *lang* fartstid. Klassiske fysikkoppgaver og mange av oppgavesettene i de eksisterende lærebøkene har mer eller mindre blitt "finpusset" over mange år. Med en innføring av beregningsorientert tilnærming i undervisningen blir man nødt til å lage helt nye typer oppgaver. Situasjonen er slik at stien mer eller mindre tråkkes opp mens den tilbakelegges. Diskusjonen er ikke ment som noen kritikk, men heller et forsøk på å gi noen generelle synspunkter på hvordan oppgavenes form og innhold kan bidra til studentenes læring. Den fyldigere diskusjonen finnes i kapittel 6.8.

Den planleggende oppgaveteksten – en oppgavetekst til imitasjon

Med utgangspunkt i at studentene ser ut til å mangle "en plan" for modelleringsøkten – en bevissthet rundt modelleringsøktens *hva, hvordan* og *hvorfor* – antyder jeg at oppgaveteksten med enkle grep kan hjelpe studentene med dette. Først og fremst handler det om å ta i bruk utdypende og presiserende "mellomsteg" som både kan fremheve riktig (og viktig) teorigrunnlag for oppgavens videre arbeid og i tillegg, bevisst eller ubevisst, sette opp en plan for modelleringsøkten i forkant av programmeringsoppgavene. Det er i arbeidet med programmeringsoppgavene at all kunnskap skal tas i bruk på én gang, og da er det viktig at bevisstheten rundt hva som skal gjøres, hvordan det bør gjøres og hvorfor det gjøres slik, er på plass. Oppgaveteksten kan ansees som "den gode modellør" der studentene kan imitere "den gode måten" å arbeide med beregningsorientert modellering.

Den dialogiske oppgaveteksten – en oppgavetekst for læring

Med utgangspunkt i studentenes problemer med å ta i bruk tilstrekkelige begrepsapparater under oppgaveløsning, framhever jeg en presiserende, utdypende og eksemplifiserende oppgavetekst som en god rettesnor. Som påpekt kan små detaljer tilsynelatende være opphav til store forskjeller i de vitenskapelige historiene. I oppgaver som er ment for *læring* og ikke testing, bør en ikke være redd for å presisere og utdype teori, knytte inn riktig kunnskap på riktige steder, presisere hvorfor dette gjøres og gi informasjon som kan hjelpe studentene med å skape en *forståelse* for det de gjør. Dette kan hjelpe studentene med å bygge opp en bevissthet rundt hvilke begrepsapparater som bør anvendes til hvilke tider og i hvilken dybde – eksempelvis en presisering knyttet til *hvordan* resultater skal drøftes og i forhold til *hvilken* empiri eller teori.

Med Bakhtins termer snakker vi om en *dialogisk* tekst. Dette er en tekst som tar hensyn til flere "stemmer" – det vil si flere synspunkter, flere hypoteser, flere argumenter (og motbeviste motargumenter) – for å virke meningsskapende i forhold til *hvorfor* vi velger å modellere slik vi gjør, hvorfor modellen har de begrensninger den har og hvilke begrensninger som ligger i modellering ved hjelp av datamaskinen. Hvis ny teori innføres i oppgaven, bør denne drøftes, utdypes, forklares og settes i kontekst for å være meningsbærende. Oppgaveteksten kan bidra med å *fortelle* "den vitenskapelige historien" til studentene og ikke teste om de klarer å fortelle den på egenhånd.

Hva med åpne oppgaver?

Med bakgrunn i ønsket om å få studentene til å eksperimentere på egenhånd og deres vilje og glede over å gjøre dette, sammen med en evne til å komme med egne forslag til løsninger, etterspør jeg en diskusjon rundt åpne oppgaver. Ett av problemene jeg observerte var et sterkt ønske om å ikke "kaste bort tid" på egeneksperimentering. En viss grad av åpenhet i enkelte oppgaver ville kunnet stimulert studentene til å utforske programmet og modellen (og følgelig sin egen forståelse!) på egne premisser og med en egen tilnærming til problemet, samtidig som det er en del av oppgaven og dermed med stor sannsynlighet en mindre grad av "bortkastet tid". Dette kan også bidra til å underbygge *skapergleden* ved å jobbe med disse oppgavene – du lager et program, en modell og et eksperiment som er *ditt eget* og ikke bare en reproduksjon. Dette vil samtidig gi rom i undervisningen for kreativiteten som ligger bak vitenskapens fremdrift.

Hva med oppgavetekstens språk?

Dette er ment som en kort problematisering knyttet til tekstenes språk: Til tider opplever studentene unødvendige problemer med bakgrunn i de engelskspråklige tekstene. På samme måte uttrykte mange studenter i fokusgruppene at det engelskspråklige kompendiet i MAT-INF1100 i stor grad bidro til å gjøre faget svært mye vanskeligere, men i det tilfellet er det rimelig å anta at innholdet også spilte en viktig rolle. Mekanikkfagets forelesningsspråk er på norsk, fagets avsluttende eksamen gis på norsk og samtidig er studentenes hverdagsspråk, oppgaveløsingsspråk og språket som ligger til grunn for resonnering og høyere mental meningsskaping, sannsynligvis norsk. Det engelske språket vil derfor bli et "hinder" i veien til forståelsen. På den annen side må studentene gradvis settes i stand til å lese engelskspråklige tekster som en forberedelse til senere kurs og annen engelskspråklig faglitteratur. Pensumet som skrives til faget ønskes også å ha et bredere publikum, og da foretrekkes naturlig nok engelsk først som sist. Det er likevel verdt et spørsmål om ikke oppgavetekstene kunne fått en norsk oversettelse for eventuelle engelskspråklig svake studenter som en god hjelp til å løse oppgavene. Studentene kan gjerne oppfordres til å arbeide med de engelske tekstene, men de kan samtidig ha et valg om et støttende, mer nærliggende, språk som alternativ.

Hva med oppgavenes fokus?

En siste kommentar til oppgaveutforming springer ut fra observasjonen av guttenes siste oppgave. Dette er tilsynelatende en svært interessant og god beregningsorientert oppgave som studentene dessverre aldri får arbeidet skikkelig med, ettersom alt for mye tid og krefter går bort i matematiske utledninger (med innslag av tilsynelatende ny teori) og algebratrening. Når *modellering* og *simulering* av det fysiske systemet kommer i fokus, er studentene slitne og trøtte, og i kombinasjonen med at disse oppgavene er oppført som "optional", velges de bort. Her oppstår et viktig generelt spørsmål: Hva skal være oppgavens *fokus*? Skal en beregningsorientert oppgave innlede ny teori og inneholde matematiske utledninger, eller skal den ta i bruk allerede utledete og kjente uttrykk til å simulere og eksperimentere med et fysisk system. Skal den gjøre begge deler? Som jeg spør i drøftingen: Kanskje det er de matematiske utledningene som skulle vært merket "optional"?

7.1.7 Hvilken overføringsverdi har studentenes første semester til mekanikkfaget?

De to siste forskningsspørsmålene kan fortsatt fremstå som "ubesvart", selv om all drøfting og diskusjon har hatt de som en underliggende tanke. Denne overskriften presiserer det første: Har studentene nok kunnskap fra første semester til å gå i gang med de beregningsorienterte oppgavene i mekanikk? Sitter denne kunnskapen? Med andre ord: Kan mekanikkfaget slippe å bruke masse tid og krefter på disse temaene som ellers ville gått på bekostning av det fysikkfaglige pensumet? Dette er en av motivasjonene for å skape et delvis tverrfaglig kurs som INF1100 og et spørsmål noen lesere av denne teksten sikkert ønsker et tydelig svar på. Dessverre viser dette spørsmålet seg å være mer innfløkt enn ved første øyekast. I oppgavene tar studentene i bruk en lang rekke kunnskap og ferdigheter fra sitt første semester, men de er ikke nødvendigvis bevisst på når, hvor og hvordan denne kunnskapen skal, eller bør, tas i bruk. Om de så innehar "alt de trenger" for å modellere fysiske systemer i mekanikkfaget, møter de likevel helt nye utfordringer i den forbindelse, der kunnskapene og ferdighetene skal anvendes på tvers av hverandre og kobles opp mot et fysisk system.

Mitt svar på spørsmålet kan nok virke litt ambivalent: Uansett om studentene har nok kunnskaper og ferdigheter til å være i stand til å modellere fysiske systemer – om de har alle fragmenter som er nødvendige – trenger de likevel å skape innsikt og mening i hvordan dette skal gjøres på en god måte. Handler spørsmålet om hvorvidt studentene innehar rikelig med kunnskapsfragmenter fra de innledende kursene i numerisk matematikk og programmering, er nok svaret "ja". De har vært gjennom grunnlaget som trengs for å mestre de enkelte tekniske aspektene ved oppgavene og viser programmeringsferdigheter og kjennskap til metoder som er nødvendige.

Studentene møter derimot en rekke *nye* utfordringer i mekanikkfaget ved at kunnskaper og ferdigheter skal anvendes på tvers av de tidligere faggrensene. Det beregningsorienterte modelleringsaspektet ved fysikkfagets vitenskapelige historie inneholder mye mer informasjon enn *hva* som trengs for å modellere. Det inneholder også *hvordan* det skal gjøres og, ikke minst, *hvorfor* det bør gjøres som det gjør. Her inngår skiller mellom modellen og virkeligheten, hvilke begrensninger som ligger i modellering av fysiske systemer og hvorfor disse begrensningene er til stede. Studentene som er med i denne studien viser alle tegn til å ha vært gjennom tilstrekkelig teorikunnskap om de begreper som trengs for å gjennomføre de beregningsorienterte oppgavene – de kan programmere i Python og de kjenner til at Eulers metode er en metode som kan brukes til å gjøre de nødvendige beregningene (og memorerer til og med fram utseendet på den) – men de har på ingen måte kunnskap *om* beregningsorientert modellering av fysiske systemer. I møtet med problemer under oppgaveløsingen har de svært mange begrepsapparater å holde styr på samtidig og de kan ikke uten videre sette disse sammen på riktig måte eller vite når og hvordan det ene begrepsapparatet er bedre enn det andre. Sammen med de nevnte modelleringsbegrensningene, er dette *ny* og svært essensiell kunnskap som tilegnes i mekanikkfaget. Hvis dette skal legges til grunn for spørsmålet, blir svaret "nei". Vi kan, og bør, ikke overlate studentene til seg selv med de beregningsorienterte oppgavene og tro at de er i stand til å sette sammen det store mangfoldet av kunnskap på egenhånd. Likevel, som jeg har diskutert, kan grep rundt oppgavetekstutforming og studentenes oppgaveløsingssituasjon og samarbeidsvaner sannsynligvis i stor grad bidra til å hjelpe studentene i møtet med de beregningsorienterte oppgavenes tverrfaglige utfordringer.

7.1.8 God læring av fysikkfaget?

En del av det som nevnes under forrige overskrift gjør seg også gjeldende for spørsmålet om hvorvidt de beregningsorienterte oppgavene legger opp til god læring av faget og om studentene oppnår god innsikt i fysikken. Dette spørsmålet har også vært grunnlaget for all drøfting og kan ikke enkelt besvares kortfattet, men jeg skal gjøre et forsøk.

De beregningsorienterte oppgavene representerer fysikkfagets modellering av virkeligheten på en mer presis og nøyaktig måte enn tidligere ved å ta i bruk datamaskinen som "tallknuser" og legger opp til bred fysikkfaglig innsikt – både i konseptuell fysikk, analytisk og numerisk matematikk og programmering, samt en innsikt i modellering som ferdighet. Dette viser seg samtidig å være oppgavenes største utfordring, ved at studentene ikke enkelt makter å ta i bruk all denne kunnskapen på en fullgod måte under arbeidet. Selv om oppgavene tar utgangspunkt i å representere fagets kunnskapsbredde, er det på ingen måte gitt at studentene faktisk tar i bruk denne kunnskapen i arbeidet med oppgavene.

Mekanikkfaget kan være sterkt kontekstbundet til videregående skoles fysikkfag, med kunnskaper og ferdigheter hovedsakelig innen analytisk matematikk og konseptuell fysikk. Samtidig er kunnskap i numerisk matematikk og programmering en nødvendighet for å kunne drøfte modell- og modelleringsproblematikk på en tilstrekkelig måte i oppgavene studentene nå møter. Med den store bredden av kunnskap et fysikkfag med beregningsorientert fokus legger opp til, synes det derfor å være nødvendig med en tydelig undervisningsmessig vektlegging av de forskjellige kunnskapenes anvendelsesområder. Spesielt fremstår det som en potensiell god hjelp for studentene å få tydelig påpekt at og presisert hvordan første semesters kunnskap er grunnleggende for arbeidet med faget.

Studentene uttrykker at de beregningsorienterte oppgavene er morsommere å arbeide med enn de klassiske fysikkoppgavene. Tilsynelatende innbyr oppgavene også i en viss grad til egeneksperimentering, som i seg selv kan virke morsomt og motiverende. Arbeidet på datalaboratoriet *kan* derimot virke hemmende for samspill og meningsutveksling, noe som ansees som grunnleggende for læring i et sosiokulturelt perspektiv. Her kan tilrettelegging for studentenes samarbeidsvaner, god lærerinteraksjon og et ekstra fokus på både fagteksters og oppgaveteksters form og innhold antakelig være til stor hjelp.

Svært kort oppsummert: De beregningsorienterte oppgavene representerer fysikkfagets modelleringsaspekter svært godt og har store muligheter til å virke både motiverende og engasjerende, men de bærer samtidig med seg visse lærings- og undervisningsmessige utfordringer som det er viktig å være bevisst på.

7.2 Forslag til videre studier

Til slutt ønsker jeg, med utgangspunkt i erfaringer med denne oppgaven, å påpeke noen få temaer jeg mener er verdt ytterligere og dypere studier. Temaene handler i stor grad om meningsskaping og forståelse i fysikkfaget.

- *Verbalisering og forståelse:* En fordypning i hvordan evnen til å uttrykke seg konsist og presist henger sammen med forståelse. Hvordan blir dette preget av en individuell (muligens feilaktig) forståelse og den etablerte vitenskapens forståelse? Med mer presiserende ord: en studie med fokus på konstruksjonen av *den* vitenskapelige historien.

- *Rapportskrivingen:* Med tanke på forrige punkt antyder jeg også i oppgaven at rapportskrivingen kan være svært viktig for meningsskapingen. En studie av skriftlig verbalisering av forståelsesspørsmål i rapportskrivingsfasen, kan derfor være interessant.

- *Den dialogiske teksten:* En studie av både fysikkfaglig pensumlitteratur og oppgavetekster med fokus på skillet mellom en dialogisk tilnærming og en autoritativ tilnærming.

- *Polyfoni:* Hvor stor er effekten av antall "stemmer" og bredden av synspunkter under meningsskaping i fysikkfaget? Hvordan virker størrelsen på grupper og deres indre homogenitet eller heterogenitet av hypoteser og synspunkter inn på denne meningsskapingen?

- *Åpne oppgaver:* En innføring av åpne beregningsorienterte oppgaver og studier av hvordan disse arbeides med. Virker de motiverende og engasjerende, og bidrar de til økt innsikt i og forståelse for det fysiske systemet?

- *Programmeringsmodusen:* Hvordan foregår studentenes læring av programmering? Er arbeidet fra første stund preget av liten struktur og prøv-og-feil-tenkning?

Tillegg A

Tegnsetting i den transkriberte teksten

Svært store deler av resultatene som legges fram er i form av transkriberte enkeltsitater eller større diskusjoner. Jeg har gjennomgående gjort mitt beste for å bruke følgende lydgjengivelse bak tegnene:

- Vanlig tankestrek, –, brukes som vanlig tankestrek og til å markere en kort eller middels lang pause i ytringen som er lengre enn et komma.
- Tre punktum, ..., markerer ufullstendige setninger.
- Klammeparenteser med tre punktum, [...], markerer utelatt tekst
- Klammeparenteser med tekst, [kommentar], markerer en kommentar fra meg.

Tillegg B

Om emnene studentene møter i første studieår

Alle emnebeskrivelsene er hentet fra hjemmesidene til UiO april 2009.

Første semester

MAT1100

Kort om emnet – Komplekse tall, kompletthet, følger, kontinuitet, deriverbarhet, L'Hôpitals regel, omvendte funksjoner, arcusfunksjoner, integrasjon, integrasjonsteknikk, vektorer, matriser, funksjoner av flere variable, partiellderiverte, lineære og affine avbildninger.

Hva lærer du? – Emnet skal gi en grundig innføring i sentrale begynneremner i reell analyse. MAT1100 - Kalkulus tjener som grunnlag for videre studier i matematikk-krevende realfag. Emnet utdyper sentrale deler av skolematematikken, og gjennom eksempler og anvendelser forklares betydningen av reell analyse.

MAT-INF1100

Kort om emnet – Naturlige tall, induksjon og løkker, reelle tall, representasjon av tall i datamaskiner, numerisk og analytisk løsning av differensligninger, Newtons metode, digitalisering av lyd, representasjon av funksjoner, numerisk integrasjon, analytisk og numerisk løsning av differensialligninger.

Hva lærer du? – Målet med emnet er å gi et perspektiv på kalkulus som er fokusert mot beregninger ved hjelp av datamaskin, og dessuten vise litt av hvordan matematikken som gjennomgås i emnet har anvendelser i ulike fagfelt.

INF1100

Kort om emnet – Grunnleggende programmering i programmeringsspråket Python. Programmeringstemaene utporsjoneres i en serie av matematiske eksempler. Matematikktemaene er synkronisert med MAT-INF1100 - Modellering og beregninger og MAT1100 - Kalkulus og satt inn i en naturvitenskapelig sammenheng slik at studentene ser hvordan problemer i fysikk, statistikk, biologi, medisin og økonomi kan løses ved hjelp av matematikk og programmering.

Hva lærer du? – Studentene skal etter endt kurs være i stand til å utvikle egne programmer i Python ut fra en enkel problembeskrivelse. De skal særlig være trent i å bruke datamaskinen til å løse matematikkproblemer og visualisere løsningene. Dette skal gi studentene et godt grunnlag for å bruke datamaskinen aktivt til å løse oppgaver i andre fag.
Studentene skal ha tilstrekkelig forståelse og oversikt over Python til å kunne finne videre informasjon på egenhånd. Studentene vil få en innføring i objektorientert programmering i Python. De vil også se hvordan programmeringsoppgavene kan utføres i Java. Studentene vil være i stand til å sette seg inn i andre tilsvarende programmeringsspråk som C++ samt være godt forberedt til INF1010 og senere kurs som benytter beregningsverktøy som Matlab, IDL og R (S-Plus).

Andre semester

MAT1110

Kort om emnet – Rekker og potensrekker, parametriserte kurver, kjeglesnitt, kontinuitet og deriverbarhet av funksjoner av flere variable, optimering, multippel integrasjon, variabelskifte i multiple integraler, vektorfelter, linjeintegraler, flateintegraler, Green's teorem, likningssystemer, lineær uavhengighet, basiser, invertible matriser, determinanter. Innføring i bruk av matematisk programvare.

Hva lærer du? – Emnet vil gi en innføring i mer videregående analyse samt gi en innføring i noe elementær lineær algebra.

FYS-MEK1110

Kort om emnet – Rom og tid, Newtons lover, spinn, legemers dynamikk, bevarelseslover, gravitasjon, relativitetsteori, fluidmekanikk, ikke-lineære systemer og kaos.

Hva lærer du? – Å gjøre studentene i stand til å modellere fysiske problemer innen mekanikk, og løse problemene ved analytiske og/eller numeriske metoder. Studentene skal videre lære samarbeid gjennom gruppearbeid, og å kunne oppsøke eksperthjelp ved behov. Studentene skal også få skrivetrening gjennom prosjektoppgaver.

MEK1100

Kort om emnet – Skalarfelt og vektorfelt. Skalering og dimensjonsløse parametere. Ekviskalarflater, strømlinjer, feltlinjer, vektorfluks og sirkulasjon. Gradientvektor, virvlingsvektor og divergens i kartesiske og polare koordinater med fysikalsk tolkning. Kurveintegraler, flateintegraler, beregning av trykk-kraft. Divergensteoremet (Gauss sats), Stokes og Greens satser. Massebevarings- og bevegelsesligningene for fluider. Potensialstrømning (kilde sluk, punktvirvel, dipol). Bernoullis likning for stasjonær friksjonsfri væskestrøm. Varmestrømsberegninger, varmefluks, Fouriers lov. Bruk av Matlab til visualisering av felter.

Hva lærer du? – Å gi en innføring i feltteori med anvendelser knyttet hovedsakelig til fluidmekanikk (væskestrømning) og fysikk. Gjennom regneøvelser med bruk av datamaskiner skal studentene bli fortrolig med grunnleggende feltteoretiske metoder og anvendelser. Emnet gir studentene et godt grunnlag for videre studier i mekanikk, matematikk, fysikk, geo-fag og astrofysikk.

Tillegg C

Intervjuguider til fokusgruppene

På de to neste sidene ligger intervjuguidene vedlagt slik de så ut ved gjennomføring av fokusgruppene.

Intervjuguide

Introduksjon – meg selv, generell info om anonymitet og prosjektets hensikt og videreutvikling, rett til å avbryte

Spørrerunde: Navn, hjemsted, faglig bakgrunn, studert tidligere/rett fra vgs, etc (mest for å få alle til å si noe)

Holdninger og oppfatninger av studieprogram	**Førsteinntrykk**	**Kursene generelt**	**Programmering**	**INF1100**
Før studiestart: Hvorfor valgte *du* som du gjorde?	Av studiestedet (uio)	Vanskegrad? Rangering? Hvorfor?	Vært borte i før?	Oppgavene hittil, vanskelig?
Etter studiestart: Noen overraskelser? Som forventet?	Av kursene?	Arbeidsmengde?	Brå start? Grei start?	Greit med innleveringer hver uke?
Forventet dere å måtte bruke data til den grad dere nå gjør?		Forelesningene? Plenumsregningene? Gruppetimene? Hva er best?	Hvilket operativsystem? Hvorfor?	
		Studievenner – hva synes de?	Kommandobasert databruk, vanskelig?	

Avslutningsvis: Gi info/reminder om hva som skjer videre og eventuelt mailutveksling.

Introduksjon – plukke opp tråden fra sist gang

Litt mer om overgangen fra vgs til UiO	***Endringer* i holdninger til og oppfattelsen av studieprogrammet**	**Numerisk matematikk /MAT-INF1100**	**Programmering / INF1100**	**Motivasjon til videre studier**
Føler du at du hadde nok kunnskap fra vgs til å sette i gang med universitetsutdannelsen?	Studiet som helhet	I arbeidet med numeriske oppgaver på datamaskinen: Hvor stopper det opp? I mattebiten eller programmeringsbiten?	Er programmeringsoppgavene kun et "hinder" eller hjelper de til å forstå matematikken bedre?	Motivasjon for å starte på studiet og om denne motivasjonen har endret seg?
	De enkelte emner?	Siste MAT-INF1100-oblig vanskelig? Hva? Hvorfor?	Prosjektet I INF1100 – rettet mot hvem? Noen som gjorde prosjektet? Vanskelig/lett? Osv.	Motivasjon for å fortsette på studiet? I hvilken grad? Hvorfor?
	Oppfattes studiet som en helhetlig pakke?	Hva har vært vanskeligst i MAT-INF1100 (tema)? Hvorfor?		Hvis kun indre motivasjon / interesse for faget: Hvor kommer denne fra?
	Forventinger til FYS-MEK1110?	I hvilken grad setter studentene seg inn i metoden ut over å "kopiere" fra boka og anvende?		Fremtidig yrke, hva? Hvorfor?
	Forventninger til studiet framover?	Forventninger til bruk av numerisk matematikk og programmering i kommende emner? Hvor mest aktuelt? Hvorfor tror dere det?		

Generelt ut fra spørreskjemaet: MAT-INF oppfattes mye vanskeligere enn INF og MAT. Omvendt ved forrige gruppeintervju. Har holdningen endret seg også blant deltakerne? Hvorfor?

Avslutningsvis:
Informasjon om videre oppfølging i mekanikk – noter ned hvem som er FAM.
Spørreskjema (for de som ikke har fylt ut) og informasjon om t-skjorter.

Tillegg D

Spørreskjemaet og tallkoder til analysen

På de neste sidene ligger spørreskjemaet i sin helhet – totalt 40 spørsmål. I dette eksemplaret har jeg også skrevet inn tallkodene jeg brukte ved databehandling og analyse i avkrysningsboksene. De aller fleste spørsmålene er spørsmål på ordinalnivå og har fått verdier fra 1 til 5 i stigende rekkefølge fra (svært) lite, lett og uenig til (svært) stor, vanskelig og enig, avhengig av spørsmålsstilling. For de kvalitative spørsmålene på slutten er det ingen tallkoder, men svarene ble skrevet av ordrett til tekst. Det samme gjelder kommentarboksen til spørsmål 6. Mange av spørsmålene på forsiden er på nominalnivå og har fått tallkode uten noen bakenforliggende rangering. Spesielt for spørsmål 2 og 4 konstruerte jeg egne tallkoder i etterkant for å få orden i svarene. Tallkodene for spørsmål 2 kan sees i skjemaet – her også uten spesiell rangering.

For spørsmål 4 gjelder følgende:

1. MAT1100, MAT-INF1100, INF1100
2. MAT-INF1100, INF1100
3. MAT1100, INF1100
4. INF1100
5. INF1100 (og studenten presiserer at MAT1100 og MAT-INF1100 er gjennomført ved et tidligere tidspunkt)

Spørreskjema til førsteårsstudenter ved MN-fakultet

Dette spørreskjemaet er en del av en større undersøkelse der vi prøver å kartlegge hvordan det første studieåret (spesielt for FAM-studenter) oppfattes. En del av spørsmålene og problemstillingene tar for seg emnene MAT1100, MAT-INF1100 og INF1100. Hvis du av en eller annen grunn ikke har alle disse, lar du bare være å svare på spørsmål direkte knyttet til det emnet.

Takk for at du deltar!

Først litt generell informasjon:

1. Kjønn?

Jeg er gutt [1] Jeg er jente [2]

2. Hvilket studieprogram følger du?

FAM [ ] MIT [ ] Annet [ ]

Hvis «annet»: Hva? (du kan skrive i denne boksen)

1: FAM (Fysikk, astronomi og meteorologi)	4: ELDAT (Elektronikk og datateknologi)
2: MIT (Matematikk, informatikk og teknologi)	5: Årsenhet i realfag
3: MAEC (Matematikk og økonomi)	6: Annet

3. Din alder?

.... år

4. Hvilke av de tre emnene tar du dette semesteret? Sett et kryss for hvert emne.

MAT1100 [ ] MAT-INF1100 [ ] INF1100 [ ]

(for koder til 4., se kommentar forrige side)

Noen generelle spørsmål om databruk:

5. Har du datamaskin hjemme?

Ja [1] Nei [2]

6. Har du programmert noe før du begynte på dette studiet?

Ja [1] Nei [2]

Hvis «Ja»: Hvilket programmeringsspråk? I hvilken sammenheng?

Tekst

(du kan skrive i denne boksen)

7.Hvordan ser du på dine egne generelle ferdigheter ved bruk av datamaskin og programvare?

Svært god [5] Ganske god [4] Passe [3] Ganske dårlig [2] Svært dårlig [1]

Noen spørsmål om tidligere utdanning:

8. Har du *full* fordypning i matematikk fra videregående skole?

Ja [2] Nei [1]

9. Har du noen fordypning i fysikk fra videregående skole? Hvor mye?

Full (2FY +3FY) [3] Delvis (2FY) [2] Ingenting [1]

10. Hvilke karakterer hadde du hovedsakelig i *matematikk* på videregående skole?

Svært gode (5 og 6-ere) [4] Gode (4 og 5-ere) [3] Passe (3 og 4-ere) [2] Mindre gode (2 og 3-ere) [1]

11. Hvilke karakterer hadde du totalt sett (altså et slags gjennomsnitt) på videregående skole? Sett kryss der du i hovedsak mener du lå.

Svært gode (5 og 6-ere) [4] Gode (4 og 5-ere) [3] Passe (3 og 4-ere) [2] Mindre gode (2 og 3-ere) [1]

Noen spørsmål om arbeidsmengde i kursene du nå tar:

(Hvor mye synes du det er å gjøre?)

12. Hvordan er din oppfatning av arbeidsmengden i MAT1100?

Svært stor [5] Stor [4] Passe [3] Liten [2] Svært liten [1]

13. Hvordan er din oppfatning av arbeidsmengden i MAT-INF1100?

Svært stor [5] Stor [4] Passe [3] Liten [2] Svært liten [1]

14. Hvordan er din oppfatning av arbeidsmengden i INF1100?

Svært stor [5] Stor [4] Passe [3] Liten [2] Svært liten [1]

15. Hvordan er din oppfatning av arbeidsmengden totalt sett?

Svært stor [5] Stor [4] Passe [3] Liten [2] Svært liten [1]

Noen spørsmål om vanskegrad i fagene:

(Hvor vanskelig synes du faget er?)

16. Hvordan er din oppfatning av vanskegraden i MAT1100?

Svært vanskelig [5] Vanskelig [4] Passe [3] Lett [2] Svært lett [1]

17. Hvordan er din oppfatning av vanskegraden i MAT-INF1100?

Svært vanskelig [5] Vanskelig [4] Passe [3] Lett [2] Svært lett [1]

18. Hvordan er din oppfatning av vanskegraden i INF1100?

Svært vanskelig	5	Vanskelig	4	Passe	3	Lett	2	Svært lett	1

19. Hvordan er din oppfatning av vanskegrad totalt sett?

Svært vanskelig	5	Vanskelig	4	Passe	3	Lett	2	Svært lett	1

Nedenfor kommer en del generelle påstander eller spørsmål. Sett kryss i den ruta som du mener er det beste alternativet.

20. Jeg var mer motivert til å studere før jeg startet på studiet enn jeg er nå.

Enig	5	Delvis enig	4	Verken enig eller uenig	3	Delvis uenig	2	Uenig	1

21. Hvordan var overgangen fra videregående til universitetet med hensyn på vanskegrad i forhold til hva du forventet?

Mye vanskeligere	5	Vanskeligere	4	Akkurat hva jeg forventet	3	Lettere	2	Mye lettere	1

22. Hvordan var overgangen fra videregående til universitetet med hensyn på arbeidsmengde i forhold til hva du forventet?

Mye mer å gjøre	5	Mer å gjøre	4	Akkurat hva jeg forventet	3	Mindre å gjøre	2	Mye mindre å gjøre	1

23. Det er mer avansert databruk (inkl. programmering) i studiet enn jeg trodde det skulle være før jeg begynte.

Enig	5	Delvis enig	4	Verken enig eller uenig	3	Delvis uenig	2	Uenig	1

24. Jeg synes programmering virker relevant i forhold til mine videre studier.

Enig	5	Delvis enig	4	Verken enig eller uenig	3	Delvis uenig	2	Uenig	1

25. I INF1100 gjorde jeg kun de obligatoriske oppgavene.

Enig	5	Delvis enig	4	Verken enig eller uenig	3	Delvis uenig	2	Uenig	1

26. Uten hjelp fra gruppelærer i INF1100 ville jeg ikke klart de obligatoriske oppgavene.

Enig	5	Delvis enig	4	Verken enig eller uenig	3	Delvis uenig	2	Uenig	1

27. I hvilken grad synes du det er en (faglig og undervisningsmessig) sammenheng mellom kursene MAT1100 og MAT-INF1100?

Svært stor	5	Stor	4	Middels	3	Lite	2	Svært lite	1

28. I hvilken grad synes du det er en (faglig og undervisningsmessig) sammenheng mellom kursene MAT1100 og INF1100?

Svært stor	5	Stor	4	Middels	3	Lite	2	Svært lite	1

29. I hvilken grad synes du det er en (faglig og undervisningsmessig) sammenheng mellom kursene MAT-INF1100 og INF1100?

Svært stor	5	Stor	4	Middels	3	Lite	2	Svært lite	1

30. Hvor ofte gikk du på gruppetimene i INF1100?

Svært ofte/alltid	5	Ofte	4	En gang i blant	3	Sjelden	2	Svært sjelden/aldri	1

31. Hvor ofte samarbeidet du med andre for å få til de obligatoriske oppgavene i INF1100?

Svært ofte/alltid	5	Ofte	4	En gang i blant	3	Sjelden	2	Svært sjelden/aldri	1

32. Ca. hvor mange prosent av oppgavene (alle fag) får du gjort hver uke?

0-25%	1	25-49%	2	50-74%	3	75-94%	4	95-100%	5

33. Hvor vanskelig eller lett synes du det var å sette seg inn i de tekniske aspektene rundt programmeringen (bruk av terminal og kommandoer etc.)?

Svært vanskelig	5	Ganske vanskelig	4	Passe vanskelig	3	Ganske lett	2	Svært lett	1

34. Hvor vanskelig eller lett synes du det har vært å anvende teori fra MAT-INF1100 i INF1100?

Svært vanskelig	5	Ganske vanskelig	4	Passe vanskelig	3	Ganske lett	2	Svært lett	1

35. Hvor stor nytte tror du at du får for den numeriske matematikken og programmeringen du har lært dette semesteret i videre studier?

Svært stor	5	Stor	4	Passe	3	Lite	2	Svært lite	1

36. Ca. hvor mange timer bruker du i uka på arbeid med studiet totalt sett?

0-20	1	21-30	2	31-40	3	41-50	4	50+	5

37. I hvilken grad er du motivert til å fortsette på studiet etter dette semesteret?

Svært motivert	5	Ganske motivert	4	Verken eller	3	Ganske demotivert	2	Svært demotivert	1

Kan du utdype begrunnelsen for svaret ovenfor?

(du kan skrive i denne boksen)

38. Kan du i boksen under skrive hva du synes har vært henholdsvis det letteste og det vanskeligste i dette semesteret?

(du kan skrive i denne boksen)

39. I dette semesteret har du lært en del numerisk matematikk, som algoritmer for å finne tilnærmede løsninger til differensiallikninger og integraler. Kan du skrive et par setninger om hvilke fordeler (og ulemper?) du tror dette fører med seg? Hvordan og hvorfor tror du dette er relevant for ditt studium?

(du kan skrive i denne boksen)

40. Hvis det er noe du har lyst til å gi uttrykk for som ikke har kommet med i spørreskjemaet (hva som helst, men gjerne relevant), kan du skrive det i boksen nedenfor.

(du kan skrive i denne boksen)

Takk for at du tok deg tid til å besvare dette spørreskjemaet!

Tillegg E

De obligatoriske oppgavene til observasjonen

På den neste sidene ligger oppgavene vedlagt. Noen av oppgavene har fått opprettet enkelte skrivefeil i forhold til slik de så ut når de ble gitt. Oppgavenes tematiske innhold er derimot uforandret, og der eventuelle endringer har en betydning, har dette blitt presisert.

- Oppgave 1, obligatorisk oppgave 2: "Modeling a 100m race"
- Oppgave 2, obligatorisk oppgave 4: "Ball in a spring"
- Oppgave 3, obligatorisk oppgave 11:
  - Gruppe 1, guttene: "Kirkwood gaps"
  - Gruppe 2, jentene: "Dynamics of a periodically driven pendulum"

Fys-Mek1110 – 2009 – Oblig 2

Project 3: Modeling a 100m race

In this project we will develop an advanced model for the motion of a sprinter during a 100m race. We will build the model gradually, adding complications one at a time to build a realistic model for the race.

(a) A sprinter is accelerating along the track. Draw a free-body diagram of the sprinter, including only horizontal forces.

Let us assume that the sprinter is accelerated by a constant horizontal driving force, $F_D = 400\text{N}$, from the ground. (Averaged over a few steps.) The mass of the sprinter is $m = 80\text{kg}$.

(b) Show that the sprinter uses $t = 6.3\text{s}$ to reach the 100m mark.

This is a bit fast compared with real races. However, real sprinters are limited by air resistance. Let us introduce a model for air resistance by assuming that air resistance is described by a square law:

$$D = (1/2)\rho C_D A(v - w)^2 \tag{5}$$

where ρ is the density of air, A is the cross-sectional area of the runner, C_D is the drag coefficient, v is the velocity of the runner, and w is the velocity of the air. At sea level $\rho = 1.293\text{kg/m}^3$, and for the runner we can assume $A = 0.45\text{m}^2$, and $C_D = 1.2$. You can initially assume that there is no wind: $w = 0\text{m/s}$.

(c) Find an expression for the velocity when the acceleration of the sprinter is zero. We call this velocity the terminal velocity.

(d) Write a program to determine the motion of the runner from start to the finishing line. Plot the position, velocity, and acceleration as a function of time.

(e) Use the results to find the race time.

So far the model only includes a constant driving force and air resistance. Let us make the model more realisting by adding a few features.

First, during the first few seconds the runner is crouched and accelerating rapidly. In this phase, his cross-sectional area is smaller than later. Also, the force exerted by the runner is larger in this first phase.

Second, the runner gets tired during the race, and therefore the force exerted by the runner is decreasing throughout the race.

Let us introduce simple models for these aspects. Let us assume that the crouched phase lasts for a time, t_c, and that the extra force in this phase is F_C. A simple model for the driving force in this phase is therefore:

$$F_C = f_c \exp(-(t/t_c)^2)\ . \tag{6}$$

This expression can be used for all times, since the exponential term reduces the impact of the term when $t \gg t_c$.

In addition, there are physiological limits as to how fast the runner can run. We model this by a force acting opposite the direction of motion and proportional to the velocity, $F_v = -f_v v$.

The total *driving* force is then:

$$F = F_D + f_c \exp(-(t/t_c)^2) - f_v v \; . \tag{7}$$

In addition, we need to modify the air resistance force because the runner is crouched in the initial phase:

$$D = \frac{1}{2}\left(1 - 0.25 \exp(-(t/t_c))^2\right) \rho C_D A (v - w)^2 \tag{8}$$

Reasonable values for the parameters are:

$$F_D = 412\text{N} \tag{9}$$
$$f_c = 488\text{N} \tag{10}$$
$$t_c = 0.67\text{s} \tag{11}$$
$$f_v = 25.8\text{Ns/m} \tag{12}$$

(f) Modify your program to include this model of the forces. Find and plot $x(t)$, $v(t)$, and $a(t)$ for the motion. Plot F_D, F_C, and D as a function of time. Comment on the results.

(g) How fast does he run 100m?

(h) Use the model to test how the results would change if the runner had the wind in his back with a wind speed of $w = 1$m/s. What if he was running into the wind?

End of Oblig 2

Fys-Mek1110 – 2009 – Oblig 4

Project 6: Ball in a spring

In this project you will study an advanced model of a pendulum. The pendulum consists of a ball in a rope moving in a vertical plane. The ball has mass m. You can neglect air resistance. We describe the position of the ball by the position vector, $\vec{r}$. You may describe the force from the rope using a spring model with a spring constant k and equilibrium length L.

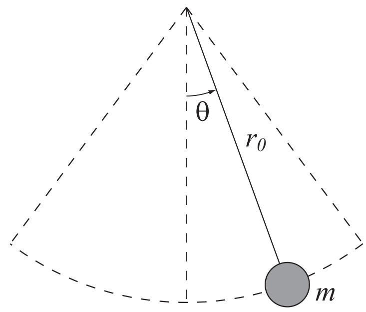


Figure 0.2: Illustration of the pendulum consiting of a ball of mass m attached to rope of length r_0.

(a) Identify the forces and draw a free-body diagram of the ball when $\theta = 0$.

(b) Show that the net external force acting on the ball can be written as:

$$\sum_j \vec{F} = -mg\hat{j} - k\,(r - L)\,\frac{\vec{r}}{r}\ , \tag{13}$$

where $r = |\vec{r}|$ is the length of the (stretched) rope, and the origin of the coordinate system is chosen to be the attachment point of the rope.

(c) Find an expression for the acceleration of the ball.

In this project, we will not prescribe the motion of the ball, but instead use Newton's second law to determine the motion of the ball. In this model, we can measure the tension in the rope, as well as the motion of the ball, and analyze these to learn about the motion.

(d) It is customary to describe the position of the pendulum by the angle θ with the vertical alone. Does this give a sufficient description of the position of the ball in this case?

(e) If the ball is at $\theta = 0$ with no velocity, what is the position of the ball?

We will now study a specific pendulum, consisting of a ball with a mass of 0.1kg, and a rope of length $L = 1$m with a spring constant $k = 200$N/m, which corresponds to a rather elastic rope. We want to study the motion of the ball by integrating the equations of motion numerically.

(f) Write a program that finds the motion of the ball, if it starts at the angle $\theta = 30°$ at a distance L from the origin, starting with zero velocity. The program should plot the position of the ball in the xy-plane for the first 10s of the motion.

(g) Use the program to find the behavior for the given initial conditions. Describe and interpret the motion.

(h) Rerun the program with $k = 2000.0$. Describe the motion in this case. How can you use this method to model a pendulum in a stiff rope? What do you think would be the limitation of this approach?

(i) Find and plot the rope tension, T, – the magnitude of the spring force – and the angle, θ, as functions of time. You can find the angle θ from $\theta = \arctan(-r_x/r_y)$ in this case, since the angle is the angle with the vertical. How do you interpret the results? Plot T as a function of θ? How do you interpret this?

In order to interpret this data, you need to make an average of the various values of the rope tension, T, as a function of θ. We have included a very simple function for this type of binned averaging. The function `binavg` takes as arguments an array such as `t` and an array such as `f`, both of the same length, and generates the average values for `f` for each value of `t` binned into bins with sizes `dt`:

```
def binavg(t,f,dt):
    nnt=t/dt
    nt = nnt.astype('int');
    nmin = min(nt);
    nmax = max(nt);
    N = nmax - nmin + 1;
    tavg = zeros(N,float);
    ntavg = zeros(N,float);
    favg = zeros(N,float);
    nfavg = zeros(N,float);
    for i in range(len(t)):
        n = nt[i] - nmin;
        favg[n] = favg[n] + f[i];
        nfavg[n] = nfavg[n] + 1;
        tavg[n] = tavg[n] + t[i];
        ntavg[n] = ntavg[n] + 1;
    tavg = tavg/ntavg;
    favg = favg/nfavg;
    return tavg,favg
```

(j) (Optional) Use this function to find T as a function of θ, and compare with the component of gravity in the direction θ. Comment on the results.

(k) Modify your program to find the acceleration of the ball as a function of θ, and decompose it into two components: The radial component, a_r, in the direction of the spring, and the tangential component, a_θ, in the direction of motion, normal to the direction of the spring. Plot the radial and tangential acceleration as functions of θ, and discuss the results. Illustrate by a drawing how you made the decomposition of the acceleration vector.

(l) (Optional) Modify your program to measure the period of the pendulum – the time from the pendulum is at a given θ, until it returns to the same angle with the same direction of the tangential velocity.

(m) (Optional) Determine how the period depends on the initial angle, θ, by plotting the period, T, as a function of θ for $theta = 5°, 10°, 15°, 20°, 25°$, and $30°$.

(n) (Optional) Determine how the period depends on the mass of the ball.

(o) (Optional) Determine how the period depends on the length of the rope.

(p) (Optional) Rewrite your program to ensure that the rope tension is zero if the spring is compressed, because the rope cannot sustain compression. Use this program to determine the motion when $\vec{v}_0 = 6.0\hat{i}$m/s when the ball hanging straight down with no elongation. What happens?

End of Oblig 4

Fys-Mek1110 – 2009 – Oblig 11

Project 13: Kirkwood gaps

In this project you will study the application of Newton's law of gravity to a three-body problem consisting of the Sun, Jupiter and a small asteroid. You will develop a program that can be used to model the motion of Jupiter around the Sun, and the motion of small asteroids. We will use real data for all the objects. The aim of this project is for you to develop an understanding of Kirkwood gaps in the distribution of asteroids between Mars and Jupiter.

We will assume that the Sun is so large compared to the other objects that we may assume it to be stationary. We place the origin of our coordinate system at the center of the Sun, and we want to measure all quantities in units of astronomical units. The position of Jupiter is given by $\vec{r}_J$ and the position of an asteroid is given as $\vec{r}_A$, the mass of Jupiter and the asteroid is m_J and m_A respectively, and the mass of the Sun is M. Jupiter is affected by the gravitational force from the Sun and the from the asteroid, and the asteroid is affected by the gravitational force from the Sun and from Jupiter.

(a) Show that Newton's second law for Jupiter is:

$$m_J \vec{a}_J = -G\frac{Mm_J}{r_J^3}\vec{r}_J - G\frac{m_A m_J}{\Delta r^3}\Delta\vec{r} \tag{44}$$

where $\Delta\vec{r} = \vec{r}_J - \vec{r}_A$.

(b) Show that Newton's second law for the asteroid is:

$$m_A \vec{a}_A = -G\frac{Mm_A}{r_A^3}\vec{r}_A + G\frac{m_A m_J}{\Delta r^3}\Delta\vec{r} \tag{45}$$

where $\Delta\vec{r} = \vec{r}_J - \vec{r}_A$.

The position and velocity of Jupiter can be found from Pasadena Jet Propulsion Laboratory. On the 15th of May 2006 at 10:00:00.000 Central Time the position and velocity of Jupiter was:

$x = -5.758295190842140 \cdot 10^{11}\text{m}$ $\quad y = -5.704511997951533 \cdot 10^{11}\text{m}$ $\quad z = 1.525358540575477 \cdot 10^{10}\text{m}$

$v_x = 9.038714838773942 \cdot 10^{03}\text{m/s}$ $\quad v_y = -8.674265884570330 \cdot 10^{3}\text{m/s}$ $\quad v_z = -1.662886596994482 \cdot 10^{2}\text{m/s}$

We want to develop a simulation program where we measure positions in units of astronomical units, AU. We introduce the length r_0:

$$r_0 = 1AU = 1.49597870691 \cdot 10^{11}\text{m} . \tag{46}$$

Similarly, we want to measure time in units of years by introducing the time scale t_0:

$$t_0 = 1a = 365.25636 \cdot 86164.09054\text{s} . \tag{47}$$

From the data we have given, the position $\vec{r}$ is measured in meters, but in the program we want to use the variable $\vec{r}'$, where the length is measured in units of r_0 and the time in units of t_0. This means that

$$\vec{r} = \vec{r}' r_0 , \tag{48}$$

similarly, the velocity and the acceleration is also dimensionless:

$$\vec{v} = \vec{v}'\frac{r_0}{t_0} \text{ and } \vec{a} = \vec{a}'\frac{r_0}{t_0^2} . \tag{49}$$

(c) (Difficult) Show that the dimensionless acceleration of Jupiter, $\vec{a}'_J$, can be written as:

$$\vec{a}'_J = -GM\frac{t_0^2}{r_0^3}\frac{\vec{r}'_J}{(r'_J)^3} - GM\frac{m_A}{M}\frac{t_0^2}{r_0^3}\frac{\Delta\vec{r}'}{(\Delta r')^3} \tag{50}$$

and that the dimensionless acceleration of the asteroid, $\vec{a}'_A$, can be written as

$$\vec{a}'_A = -GM\frac{t_0^2}{r_0^3}\frac{\vec{r}'_A}{(r'_A)^3} + GM\frac{m_J}{M}\frac{t_0^2}{r_0^3}\frac{\Delta\vec{r}'}{(\Delta r')^3} \tag{51}$$

We will now develop a program to determine the motion of Jupiter around the Sun, and then modify the program also to calculate the motion of an asteroid. You can use the following program as a basis for your programming:

```
from numpy import *
from scitools.easyviz.gnuplot_ import *
# Physical parameters and constants
G = 6.67259e-11 # Gravitational constant in SI units
yeard = 365.25636 # Number of days in a year
years = yeard*24.0*60.0*60.0 # Number of seconds in a year.
r0 = 1.49597870691e11 # AU
GMsun = 1.32712440018e20 # G*M
MsunDivMjup = 1047.3486 # M/m_J
MsunDivMast = 1.0e23     # M/m_A
# Simulation parameters
time = 50.0     # In years
dt = 0.01       # In years
nstep = int(round(time/dt))
rJ = zeros((nstep,3),float)
vJ = rJ.copy()
t = zeros(nstep,float)
# Initialize positions and velocities in 3d
rJ[0] = array([-5.758295190842140E+11,
      -5.704511997951533E+11,1.525358540575477E+10])
vJ[0] = array([9.038714838773942E+03,
      -8.674265884570330E+03, -1.662886596994482E+02])
# Convert to dimensionless coordinates
rJ = rJ/r0
vJ = vJ*years/r0
#
gmJ = GMsun*years**2.0/r0**3.0
gmA = 0.0
for i in range(nstep-1):
    rJnorm = sqrt(dot(rJ[i],rJ[i]))
    a = -gmJ*rJ[i]/rJnorm**3.0
    vJ[i+1] = vJ[i] + a*dt
    rJ[i+1] = rJ[i] + vJ[i+1]*dt
    t[i+1] = t[i] + dt
# Plot
plot(rJ[:,0],rJ[:,1])
xlabel('X (AU)');
ylabel('Y (AU)');
axis('equal')
```

(d) Modify the program to determine the length of a Jupiter year by studying the time between each time the orbit passes the xz-plane. You do not have to use interpolation to determine the value of the year, but you will get much better precision if you do so.

(e) What happens if you double the initial velocity of Jupiter, or if you divide it by two? What happens if you double the mass of Jupiter? Show plots of the orbits compared with the actual orbit of Jupiter as found by the program.

(f) We assume that Jupiter moves in a circular orbit in a plane. In this case, the initial conditions of the Jupiter orbit is given by the initial radius, $r_{J,0}$ and the initial speed, $v_{J,0}$, of Jupiter. The period of Jupiter is T_J. Show that you can generate a new circular path with the period T_X, by rescaling the radius to:

$$r_X = \left(\frac{T_X}{T_J}\right)^{2/3} r_J \;, \tag{52}$$

and the speed to:

$$v_X = \left(\frac{r_J}{r_X}\right)^{1/2} v_J \;. \tag{53}$$

(Hint: Use Kepler's law to relate the period to the radius).

(g) Modify the program by changing the initial conditions according to the rules above. Show that the rescaled set of initial conditions, $\vec{r}_X$ and $\vec{v}_X$, indeed produce a rescaled Jupiter orbit with the correct period, T_X. Include a plot of an orbit with a period $T_X = T_J/2$.

(h) (Optional) Modify the program to include the motion of a small asteroid with mass $m_A = 1.0 \cdot 10^{17}$ kg moving in the rescaled Jupiter orbit with $T_X = T_J/2$. Make a plot of the motion of the asteroid over a time of 100 years and describe the motion. (You can find the relative masses m_A/M and m_J/M in the program listing above.)

(i) (Optional) Make similar plots for asteroids in rescaled orbits with periods $T_X = 2T_J/3$ and $T_X = 3T_J/4$. Describe the plots and your observations.

(j) (Optional) In astronomy we use the term "Kirkwood gaps" to describe the gaps in the distribution of asteroids between Mars and Jupiter. Can you, based on your results, propose an explanation for the "Kirkwood gaps". You can find figures describing the Kirkwood gaps at `http://ssd.jpl.nasa.gov/?histo_a_ast` and `http://ssd.jpl.nasa.gov/?ss_inner`.

End of Oblig 11

Fys-Mek1110 – 2009 – Oblig 11

Project 13: Dynamics of a periodically driven pendulum

In this project you will learn about chaos and non-linear systems. You will explore the motion of a pendulum subject to a harmonically varying torque in addition to gravity and air resistance. This project will follow the second example presented in the lecture notes (chapter 9 in AMS, called AMS9). You can use the code presented in AMS9 as a basis for your program.

A pendulum consists of a thin, stiff rod of length L. A small sphere of mass m is attached to one end of the rod, and the rod is attached to a hinge in the other end. We describe the position of the pendulum by the angle θ the rod forms with the vertical. When the pendulum hangs straight down, θ is zero, and we assume that θ is measured with a positive direction in the counterclockwise direction. We assume that the rod is without mass, but that the sphere is subject to both gravity and air resistance. For simplicity, we will assume that the force due to air resistance is $F_f = -qv$, where v is the speed of the sphere.

The pendulum is also subject to a periodically varying torque around the attachment point:

$$\tau_z = \tau_{z0} \sin(\omega_z t); , \tag{44}$$

where τ_{z0} is the amplitude of the torque, and ω_z is an angular frequenct for the variation of the torque, corresponding to a period $T_z = 2\pi/\omega_z$. It is important to realize that we are not forcing the motion of the pendulum, but only applying a varying torque.

(a) Draw an illustration showing the forces and torques affecting the pendulum. Show that the differential equations of motion for the pendulum can be written as:

$$\tau(\theta, t) = -mgL\sin\theta - qL^2\frac{d\theta}{dt} + \tau_{z0}\sin(\omega_z t) = mL^2\frac{d^2\theta}{dt^2} , \tag{45}$$

(b) Write a program (in Python or Matlab) that calculates the motion of the pendulum from equation 45. You may start from the code sample presented below, or write your own code from scratch. The initial conditions, $\theta(t=0) = \theta_0$ and $d\theta/dt(t=0) = \omega(t=0) = \omega_0$, and other parameters of the model, are given in table 0.1. The program should store the angle θ and the angular velocity ω in two arrays, and you should be able to plot θ and ω as a function of time. Test your program by using "Set A" of parameters.

```
# Time development for a driven pendulum
from numpy import *
from scitools.easyviz.gnuplot_ import *
q = ...
tauy0 = ... #(From the table)
omegay = ...
total_time = ...
omega0 = ...
theta0 = 0.0
# Physical parameters
g = 9.8
m = 1.0
L = 1.0
# Numerical variables
dt = 1.0/200.0;
nstep = int(round(total_time/dt))
theta = zeros(nstep,float)
```

```
omega = zeros(nstep,float)
t = zeros(nstep,float)
# Initialization
theta[0] = theta0
omega[0] = omega0
t[0] = 0.0
# Main calculation loop
for i in range(nstep-1):
    alpha = ...
    omega[i+1] = omega[i] + alpha*dt
    theta[i+1] = theta[i] + omega[i+1]*dt
    t[i+1]     = t[i] + dt
# Plot
figure(1)
plot(t,theta);
xlabel('t [s]');
ylabel('\theta');
figure(2)
# Map theta onto a range from -pi to pi
thetamod = mod(theta+pi,2*pi)-pi;
plot(thetamod,omega)
xlabel('\theta');
ylabel('\omega');
```

(c) (Optional) Use analytical methods to calculate what initial angular velocity is needed for the pendulum to reach the topmost position when the initial angle is zero (the pendulum hangs straight down) in the case when there is no air resistance and no applied torque.

(d) Apply your program to the two sets of parameters where the applied torque and air resistance is present ("Set B" and "Set C" in table 0.1). For each of the sets you should produce a plot of θ as a function of time and a phase-plot showing ω as a function of θ for the motion (as described in AMS9). Describe the results in your own words.

(e) Rewrite your program to estimate the Lyapunov-exponent for the pendulum for the conditions in "Set B" og "Set C" in table 0.1. You need to gather the time series $\theta(t)$ for two simulations starting with slightly different initial conditions to do this. Include a plot showing how you have determined the Lyapunov-exponent for each of the two cases. Explain in your own words what the exponent tells you about the system. Include a program listing.

(f) (Optional) Make a third version of the program to show the Poincaré-sections through the phaseplot as described in AMS9. It is not practical to store all angles θ and all angular velocities ω in the program. Instead, you should only store the points $\theta(t_i)$ and $\omega(t_i)$, where $\omega_z t_i = 2\pi i$. Produce a scatter plot showing ω_i as a function of θ_i. Use "Set D" as a basis for your calculations. Include the program and a plot of a Poincaré-section in your answer.

End of Oblig 11

Set A	**Set B**	**Set C**	**Set D**
$m = 1.0$ kg	$m = 1.0$ kg	$m = 1.0$ kg	$m = 1.0$ kg
$L = 1.0$ m	$L = 1.0$ m	$L = 1.0$ m	$L = 1.0$ m
$g = 9.81$ m/s^2	$g = 9.81$ m/s^2	$g = 9.81$ m/s^2	$g = 9.81$ m/s^2
$q = 0.0$ Ns/m	$q = 1.0$ Ns/m	$q = 1.0$ Ns/m	$q = 0.7$ Ns/m
$\tau_{z0} = 0.0$ Nm	$\tau_{z0} = 1.0$ Nm	$\tau_{z0} = 30.0$ Nm	$\tau_{z0} = 20.0$ Nm
$\omega_z = 2.0$ rad/s	$\omega_z = 2.0$ rad/s	$\omega_z = 3.3$ rad/s	$\omega_z = 2.0$ rad/s
$t = 40$ s	$t = 40$ s	$t = 100$ s	$t = 1000++$ s
$\Delta t = 1/200$ s	$\Delta t = 1/200$ s	$\Delta t = 1/200$ s	$\Delta t = 1/200$ s
$\theta_0 = 0.0$	$\theta_0 = 0.0$	$\theta_0 = 0.0$	$\theta_0 = 0.0$
$\omega_0 = 2.0$ rad/s	$\omega_0 = 2.0$ rad/s	$\omega_0 = 2.0$ rad/s	$\omega_0 = 2.0$ rad/s

Table 0.1: Parameters and initial conditions for the simulations.

Bibliografi

Angell, Carl. Exploring students' intuitive ideas based on physics items in TIMSS – 1995. *Proceedings of the IEA International Research Conference IRC-2004, Cyprus*, 2004.

Angell, Carl; Guttersrud, Øystein; Eriksen, Ellen K. og Isnes, Anders. Physics: Frightful, but fun. *Wiley InterScience*, sidene 683–706, Juni 2004.

Angell, Carl; Henriksen, Ellen K. og Kind, Per Morten. Fys21 – et prosjekt om modellering og vitenskapelig arbeids- og tenkemåte i fysikkundervisningen. *NorDiNa*, 2007.

Angell, Carl; Kind, Per Morten; Eriksen, Ellen K. og Guttersrud, Øystein. An empirical-mathematical modelling approach to upper secondary physics. *Physics Education*, sidene 256–264, Mai 2008.

Ariansen, Per; Bostad, Inga; Rabbås, Øyvind og Mathisen, Steinar (red.). *Exphil 1 – Tekster i filosofi- og vitenskapshistorie.* Unipub, 2005a. Til bruk i vårsemesteret 2005.

Ariansen, Per; Bostad, Inga; Rabbås, Øyvind og Mathisen, Steinar (red.). *Lærebok i filosofi og vitenskapshistorie.* Unipub, 2005b. Til bruk i vårsemesteret 2005.

Bakhtin, Mikhail. *Latter og dialog – Utvalgte skrifter.* Oslo: Cappelen Akademisk Forlag, 2008. Oversatt til norsk av Audun Johannes Mørch.

Bjørstad, Petter E. Computational science, en tredje vei for forskning. *QED*, November 1997. In UiB student paper QED.

Bostad, Inga og Rabbås, Øyvind. *Menneskevitenskapene*, sidene 177–191, i Ariansen et al. (2005b), 2005. Til bruk i vårsemesteret 2005.

Brandth, Berit. *Gruppeintervju: perspektiv, relasjoner og kontekst*, sidene 145–165, i Holter og Kalleberg (2007), 2. utgave, 2007.

Bråten, Ivar. *Om Vygotskys liv og lære*, sidene 13–42, i Bråten (2008b), 2008a.

Bråten, Ivar (red.). *Vygotsky i pedagogikken.* Oslo: Cappelen Akademisk Forlag, 2008b.

Bråten, Ivar. *Vygotsky som forløper for metakognitiv teori*, sidene 74–96, i Bråten (2008b), 2008c.

Bråten, Ivar og Thurmann-Moe, Anne Cathrine. *Den nærmeste utviklingssonen som utgangspunkt for pedagogisk praksis*, sidene 123–143, i Bråten (2008b), 2008.

CMA, . Prosjektbeskrivelse for "computers in science education", Januar 2009. Nettside: `http://www.cma.uio.no/projects/collaborative/cse.html`.

Computer History Museum, CHM. A brief history, Februar 2009. Nettside: `http://www.computerhistory.org/babbage/history/`.

Dolin, Jens. *Fysikfaget i forandring*. PhD thesis, Roskilde University, 2002.

Driver, Rosalind; Asoko, Hilary; Leach, John; Mortimer, Eduardo og Scott, Philip. Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23:5–12, 1994.

Dysthe, Olga (red.). *Ulike perspektiv på læring og læringsforskning*. Oslo: Cappelen Akademisk Forlag, 2005.

Dysthe, Olga (red.). *Dialog, samspel og læring*. Oslo: Abstrakt forlag, 2006a.

Dysthe, Olga. *Sosiokulturelle teoriperspektiv på kunnskap og læring*, sidene 33–72, i Dysthe (2006a), 2006b.

Dysthe, Olga og Ingland, Mari-Ann. *Sosiokulturelle teoriperspektiv på kunnskap og læring*, sidene 73–90, i Dysthe (2006a), 2006.

Easton, Thomas A. Beyond the algorithmization of the sciences. *Communications of the ACM*, 49:31–34, Mai 2006.

Eikemo, Terje Andreas og Clausen, Tommy Høyvarde (red.). *Kvantitativ analyse med SPSS*. Trondheim: Tapir akademisk forlag, 1. utgave, 2007.

Erickson, Tim. Stealing from physics: modeling with mathematical functions in data-rich contexts. *Teaching mathematics and its applications*, sidene 23–32, September 2006.

Field, Andy. *Discovering statistics using SPSS*. London: Sage publications, 2. utgave, 2005.

Fuller, Robert G. Numerical computations in US undergraduate physics courses. *Computing in Science & Engineering*, sidene 16–21, September/Oktober 2006.

Futschek, Gerald. Algorithmic thinking: The key for understanding computer science. *Lecture Notes in Computer Science*, sidene 159–168, 2006.

Gautreau, Ronald og Novemsky, Lisa. Concepts first – a small group approach to physics learning. *Am. J. Phys.*, May 1997.

Gear, C. W. og Skeel, R. D. *The Development of ODE Methods: A Symbiosis between Hardware and Numerical Analysis*, sidene 88–105, i Nash (1990), 1990.

Gilbert, John K. Models and modelling: Routes to a more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, sidene 115–130, 2004.

Grønmo, Sigmund. *Forholdet mellom kvalitative og kvantitative tilnærminger i samfunnsforskningen*, sidene 73–108, i Holter og Kalleberg (2007), 2. utgave, 2007.

Guttersrud, Øystein. Det er ikke lett å diskutere med venner som ikke vet at ting faller like fort. Master's thesis, Oslo: Universitetet i Oslo, Oktober 2001.

Halloun, Ibrahim Abou og Hestenes, David. Common sense concepts about motion. *Am. J. Phys.*, November 1985.

Henriksen, Ellen K. og Angell, Carl. The role of "talking physics" for students working with peer response questions. *Physics Education*, in press.

Hestenes, David; Wells, Malcolm og Swackhamer, Gregg. Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30:141–158, March 1992.

Hjorth-Jensen, Morten. Lecture notes in computational physics, 2008. Oslo: Universitetet i Oslo.

Holter, Harriet. *Fra kvalitative metoder til kvalitativ samfunnsforskning*, sidene 9–25, i Holter og Kalleberg (2007), 2. utgave, 2007.

Holter, Harriet og Kalleberg, Ragnvald (red.). *Kvalitative metoder i samfunnsforskning.* Oslo: Universitetsforlaget, 2. utgave, 2007.

Hu, Chenglie. Integrating modern research into numerical computation education. *Computing in Science & Engineering*, sidene 78–81, September/Oktober 2007.

Imsen, Gunn. *Elevens verden – innføring i pedagogisk psykologi.* Oslo: Universitetsforlaget, 3. utgave, 2003.

Imsen, Gunn. *Lærerens verden - Innføring i generell didaktikk.* Oslo: Universitetsforlaget, 3. utgave, 2007.

Ingerman, Åke; Booth, Shirley og Linder, Cedric. Learning physics as a whole – on supporting students making sense of their studies. *NorDiNa*, sidene 163–174, 2007.

Ingland, Mari-Ann og Dysthe, Olga. *Mikhail Bakhtin og sosiokulturell teori*, sidene 107–127, i Dysthe (2006a), 2006.

Johannesen, Asbjørn; Tufte, Per Arne og Kristoffersen, Line. *Introduksjon til samfunnsvitenskapelig metode.* Oslo: Abstrakt forlag, 3. utgave, 2007.

Johnston, Marty. Implementing curricular change. *Computing in Science & Engineering*, sidene 32–37, September/Oktober 2006.

Kalleberg, Ragnvald. *Forskningsopplegget og samfunnsforskningens dobbeltdialog*, sidene 26–72, i Holter og Kalleberg (2007), 2. utgave, 2007.

Kikas, Eve. University students' conceptions of different physical phenomena. *Journal of Adult Development*, sidene 139–150, 2003.

Kleven, Thor Arnfinn. *Innføring i pedagogisk forskningsmetode. En hjelp til kritisk tolkning og vurdering*, kapittel 4: Statistikk. Unipub, 2002.

Krueger, Richard A. *Focus Groups: A Practical Guide for Applied Research.* London: Sage Publications, 2. utgave, 1994.

Kubli, Fritz. Science teaching as a dialogue – Bakhtin, Vygotsky and some applications in the classroom. *Science & Education*, sidene 501–534, 2005.

Kuhn, Thomas S. *Vitenskapelige revolusjoners struktur.* Spartacus, 2002.

Kunnskapsdepartementet, Regjeringen Stoltenberg II. Stortingsmelding nr. 14: Internasjonalisering av utdanning, 2009. Nettadresse: `http://www.regjeringen.no/pages/2152661/PDFS/STM200820090014000DDDPDFS.pdf`.

Landau, Rubin. Computational physics – a better model for physics education? *Computing in Science & Engineering*, sidene 22–30, September/Oktober 2006.

Landau, Rubin. Computational scientific thinking, Oktober 2009. Nettside: `http://www.physics.orst.edu/~rubin/COURSES/CompThink/index.html`.

Landau, Rubin H. What to teach? Computational science as an improved model for science education. Mars (submitted).

Langtangen, Hans Petter. *Python Scripting for Computational Science.* Springer, 3. utgave, 2008.

Langtangen, Hans Petter; Ring, Johannes; Wilbers, Ilmar og Bredesen, Rolv. scitools – python for scientific computing, April 2009. Nettside: `http://code.google.com/p/scitools/`.

Leiulfsrud, Håkon og Hvinden, Bjørn. *Analyse av kvalitative data: Fiksérbilde eller puslespill?*, sidene 220–239, i Holter og Kalleberg (2007), 2. utgave, 2007.

Lie, Svein; Angell, Carl og Rohatgi, Anubha. *Fysikk i fritt fall?* Oslo: Unipub, 2010.

Lincoln, Yvonna S. og Guba, Egon G. *Naturalistic Inquiry.* London: Sage Publications, 1985.

Lund, Thorleif. *Innføring i forskningsmetodologi*, kapittel 3: Metodologiske prinsipper og referanserammer. Unipub, 2002.

Mazur, Eric. *Peer Instruction.* Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.

Millar, Robin; Leach, John og Osborne, Jonathan (red.). *Improving Science Education – the contribution of research.* Buckingham and Philadelphia: Open University Press, 2000.

Morgan, David L. *Focus Groups as Qualitative Research.* London: Sage Publications, 1988.

Mortimer, Eduardo og Scott, Phil. *Analysing discourse in the science classroom*, sidene 126–142, i Millar et al. (2000), 2000.

Mortimer, Eduardo F. og Scott, Philip H. *Meaning Making in Secondary Science Classrooms.* Maidenhead and Philadelphia: Open University Press, 2003.

Muller, D.A.; Bewes, J.; Sharma, M.D. og Reimann, P. Saying the wrong thing: improving learning with multimedia by including misconceptions. *Journal of Computer Assisted Learning*, sidene 144–155, 2008.

Myers, Christopher R. og Sethna, James P. Python for education. *Computing in Science & Engineering*, sidene 75–79, Mai/Juni 2007.

Nash, Stephen G. *A History of Scientific Computing.* ACM PRESS, 1990.

Naturfagsenteret, . Vilje-con-valg, April 2009. Nettside: `http://www.naturfagsenteret.no/vilje-con-valg/`.

Novak, Gregor M.; Patterson, Evelyn T.; Garvin, Andrew D. og Christian, Wolfgang. *Just-In-Time-Teaching.* Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.

Oliphant, Travis E. An incremental approach to computational physics education. *Computing in Science & Engineering*, sidene 44–50, September/Oktober 2006.

Oliphant, Travis E. Python for scientific computing. *Computing in Science & Engineering*, sidene 10–20, Mai/Juni 2007.

Olsen, Rolf V. og Turmo, Are. Fysikkdidaktikk – en mulig beskrivelse. *Fra fysikkens verden*, 62:14–22, 2000.

Postholm, May Britt. *Kvalitativ metode - En innføring med fokus på fenomenologi, etnografi og kasusstudier.* Oslo: Universitetsforlaget, 2005.

Raen, Kristina. Å lære mekanikk ved bruk av et elektronisk "personal response system". Master's thesis, Oslo: Universitetet i Oslo, Juli 2008.

Robson, Colin. *Real world research.* Oxford: Blackwell publishing, 2. utgave, 2002.

Sins, Patrick H. M.; Savelsbergh, Elwin R og Joolingen, Wouter R. van. The difficult process of scientific modelling: An analysis of novices' reasoning during computer-based modelling. *International Journal of Science Education*, 27:1695–1721, November 2005.

Sjøberg, Svein (red.). *Fagdebatikk - Fagdidaktisk innføring i sentrale skolefag.* Oslo: Gyldendal Akademisk, 1. utgave, 2003.

Sjøberg, Svein. *Naturfag som allmenndannelse - En kritisk fagdidaktikk.* Oslo: Gyldendal Akademisk, 2. utgave, 2005.

Skjervheim, Hans. *Deltakar og tilskodar*, sidene 215–225, i Ariansen et al. (2005a), 2005. Til bruk i vårsemesteret 2005.

Solberg, Anne. *Erfaringer fra feltarbeid*, sidene 130–144, i Holter og Kalleberg (2007), 2. utgave, 2007.

StatoilHydro, ASA. Fakta om sleipner-området, April 2009. Nettside: `http://www.statoilhydro.com`.

Steward, David W.; Shamdasani, Prem N. og Rook, Dennis W. *Focus Groups - Theory and Practice*, bind 20 av *Applied Social Research Methods*. London: Sage publications, 2. utgave, 2007.

Taylor, Jamie R. og King III, B. Alex. Using computational methods to reinvigorate an undergraduate physics curriculum. *Computing in Science & Engineering*, sidene 38–43, September/Oktober 2006.

Vedeler, Liv. *Observasjonsforskning i pedagogiske fag*. Oslo: Gyldendal Akademisk, 2000.

Vistnes, Arnt Inge og Hjorth-Jensen, Morten. Numerical methods as an integrated part of physics education. `arXiv:physics/0505116v1 [physics.ed-ph]`, Mai 2005.

Vygotskij, Lev S. *Tenkning og tale*. Oslo: Gyldendal Akademisk, 2008.

Vygotsky, Lev S. *Mind in Society*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978.

Vygotsky, Lev S. *Educational Psychology*. Florida: St. Lucie Press, 1992.

Wangensteen, Boye (red.). *Bokmålsordboka*. Kunnskapsforlaget, 3. utgave, 2005.

Wellington, Jerry og Osborne, Jonathan. *Language and literacy in science education*. Maidenhead and New York: Open University Press, 2001.

Wells, Gordon. Semiotic mediation, dialogue and the construction of knowledge. *Human Development*, sidene 244–274, 2007.

Wing, Jeanette M. Computational thinking and thinking about computing. *Phil. Trans. R. Soc. A*, sidene 3717–3725, Juli 2008.

Wing, Jeannette M. Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49:33–35, Mars 2006.

Yasar, Osman. Computational math, science and technology: A new pedagogical approach to math and science education. *Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag*, sidene 807–816, 2004.

Yasar, Osman og Landau, Rubin H. Elements of computational science and engineering education. *Society for Industrial and Applied Mathematics*, 45:787–805, 2003.

Yasar, Osmand; Rajasethuparhy, Kulathur S.; Tuzun, Robert E.; McCoy, R. Alan og Harkin, Joseph. A new perspective on computational science education. *Computing in Science & Engineering*, sidene 74–79, September/Oktober 2000.

Øzerk, Kamil Z. *Ulike språkoppfatninger, begrepskategorier og et undervisningsteoretisk perspektiv på skolefaglig læring*, sidene 97–122, i Bråten (2008b), 2008.