

"Never at Rest" - Anvendelse av kraftbegrepet i lærebøker i fysikk for videregående skole

Lars Rikard Stavrum

Fysikk

Innlevert: januar 2014

Hovedveileder: Rolf Jonas Persson, IFY

Medveileder: Berit Bungum, IFY

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for fysikk

Forord

Denne masteroppgaven er utført ved Institutt for fysikk ved NTNU, og er avslutningen på det toårige masterstudiet i fysikk.

Tittelen på denne oppgaven er inspirert av Richard Westfalls biografi av Sir Isaac Newton, «Never at Rest» [36].

Først og fremst vil jeg takke mine to veiledere, førsteamanuensis Jonas Persson og førsteamanuensis Berit Bungum, for konstruktiv og inspirerende veiledning disse to årene, samt for mange interessante diskusjoner.

En stor takk til alle vennene jeg har fått i studietiden ved NTNU, og spesielt takk til fysikkgjengen fra B3-131. Dere har fått meg til å føle meg som hjemme.

Jeg vil gjerne få takke familien min, mamma, pappa og min bror, for å ha støttet meg gjennom hele studietiden, og for alltid å ha stilt opp for meg.

Sist, men ikke minst, vil jeg takke Guri, for hennes omsorg, tålmodighet og støtte i mitt arbeid med denne oppgaven.

Sammendrag

Denne oppgaven har undersøkt hvordan kraft behandles i lærebøker i fysikk beregnet på elever i den videregående skolen i Norge. Læreverkene «Rom Stoff Tid» og «Ergo» for Fysikk 1 og Fysikk 2, i alt fire bøker, har dannet grunnlaget for denne undersøkelsen. I oppgaven har en delt inn analysen i to steg. Først er det gjennomført en innholdsanalyse av bøkene, for å skaffe seg en oversikt over hvordan kraft behandles i de forskjellige kapitlene i lærebøkene. I neste steg har en først konstruert et rammeverk for å kategorisere innholdet. Rammeverket består av åtte forskjellige kategorier av definisjoner av kraft. Til slutt benytter en disse kategoriene til å kategorisere definisjonene av kraft som opptrer i lærebøkene. I forbindelse med denne kategoriseringen er det rettet spesiell oppmerksomhet til lærebøkens kapitler i mekanikk. Det viser seg at de samme kategoriene opptrer på tvers av bøkene, men i varierende omfang.

Preface

This master thesis is carried out at the Department of Physics at NTNU, and is the conclusion of the two year master's degree programme in physics.

The title of this thesis is inspired by Richard Westfall's biography of Sir Isaac Newton, «Never at Rest» [36].

First and foremost I would like to thank my supervisors, Associate Professor Jonas Persson and Associate Professor Berit Bungum, for their inspiring supervision during the work with the Master's thesis, and for many fruitful discussions.

I would also like to thank my friends, especially the great people at study room B3-131, for always making me feel like home.

I am very grateful to my family, my mother and father, and my brother, for their unconditional support throughout my studies.

Last, but not least, I want to thank Guri, for her patience, care and support.

Abstract

In this thesis, the concept of force in Norwegian high school physics textbooks is investigated. Four textbooks, two from each of the textbooks series «Rom Stoff Tid» and «Ergo», which reflect the two levels of physics courses in Norwegian high school, are considered. Two steps of analysis constitute this thesis. An analysis of the subject matter in each of the textbooks, considering in particular the concept of force in each chapter, make up the first step. In the next step, a set of categories of definitions of force is devised. In all, eight such categories are presented, each category representing a different definition of force. The second step of analysis is then finalized, by using the categories devised in categorising the different definitions of force that appear in the textbooks. Special consideration is directed to chapters considering mechanics in the textbooks. It is found that the same categories of definitions of force is represented in the different textbooks, although to a varying extent.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	iii
Preface	v
Abstract	vii
Tabeller	xiii
Forkortelser	xv
1 Introduksjon	1
1.1 Utgangspunkt for studien	2
1.2 Problemstilling	3
2 Teori og metode	7
2.1 Personlig bakgrunn og motivasjon	7
2.2 Metode	11
2.2.1 Valg av lærebøker	12
2.2.2 Innholdsanalyse	12
2.2.3 Rammeverk og analyse	15
2.3 Teori og begrepsmodell	17
2.3.1 Rammeverk	17
2.3.2 Tre hovedtyper av definisjoner av kraft	17
2.3.3 «Agent-receiver»	18
2.3.4 Friksjonskrefter	21
3 Innholdsanalyse: Kraftbegrepet i lærebøkene	23
3.1 «Rom Stoff Tid: Fysikk 1»	25
3.1.1 Kapittel 4: «Kjernefysikk»	26
3.1.2 Kapittel 5: «Bevegelse»	28
3.1.3 Kapittel 6: «Kraft og bevegelse»	29
3.1.4 Kapittel 7: «Arbeid og energi»	39
3.1.5 Kapittel 8: «Naturvitenskapen fysikk»	40
3.1.6 Kapittel 9: «Termofysikk»	41
3.1.7 Kapittel 11: «Elektrisiet»	42

3.1.8	Kapittel 13: «Kosmologi»	43
3.2	«Ergo [Fysikk 1]»	45
3.2.1	Kapittel 1: «Fysikk på rett vei»	46
3.2.2	Kapittel 2: «Newtons lover»	48
3.2.3	Kapittel 3: «Mekanisk energi»	53
3.2.4	Kapittel 4: «Termofysikk»	54
3.2.5	Kapittel 7: «Kjernefysikk»	55
3.2.6	Kapittel 8: «Astrofysikk»	56
3.2.7	Kapittel 9: «Elektrisitet»	56
3.3	«Rom Stoff Tid: Fysikk 2»	58
3.3.1	Kapittel 2: «To bevaringslover»	59
3.3.2	Kapittel 3: «Relativitetsteori»	61
3.3.3	Kapittel 4: «Kvantefysikk»	62
3.3.4	Kapittel 5: «Partikkelfysikk»	63
3.3.5	Kapittel 6: «Bevegelse»	66
3.3.6	Kapittel 7: «Kraft og bevegelse»	67
3.3.7	Kapittel 8: «Gravitasjonsfelt»	69
3.3.8	Kapittel 9: «Elektrisk felt»	72
3.3.9	Kapittel 10: «Magnetisk felt»	74
3.4	«Ergo [Fysikk 2]»	77
3.4.1	Kapittel 1: «Rettlinjet bevegelse»	78
3.4.2	Kapittel 2: «Krumlinjet bevegelse»	82
3.4.3	Kapittel 3: «Bevegelsesmengde»	84
3.4.4	Kapittel 4: «Gravitasjon»	87
3.4.5	Kapittel 5: «Elektrisk felt»	90
3.4.6	Kapittel 6: «Magnetisk felt»	92
3.4.7	Kapittel 8: «Relativitetsteori»	93
3.4.8	Kapittel 9: «Kvantefysikk»	95
4	Rammeverk: Kategorisering av definisjoner av kraft	99
4.1	Kategorier: Definisjoner av kraft	100
4.1.1	«Virkning som egenskap»	102
4.1.2	«Kraft i relasjon til bevegelse»	102
4.1.3	«Kraft er årsaken til (forårsaker) akselerasjon»	104
4.1.4	«Kraft og Newtons 2. lov»	104
4.1.5	«Kraft og bevegelsesmengde»	105
4.1.6	«Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov»	106
4.1.7	«Kraft er ‘noe’ som kan gjøre arbeid»	106
4.1.8	«Push-pull»	107
4.2	Kategoriene – bakgrunn, motivasjon og overlapp	107
	En «Newtons 1. lov»-kategori?	108
4.2.1	«Virkning som egenskap»	110
4.2.2	«Kraft i relasjon til bevegelse»	111
4.2.3	«Kraft er årsaken til (forårsaker) akselerasjon»	112
4.2.4	«Kraft og Newtons 2. lov»	114
4.2.5	«Kraft og bevegelsesmengde»	116

4.2.6	«Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov»	117
4.2.7	«Kraft er ‘noe’ som kan gjøre arbeid»	119
4.2.8	«Push-pull»	120
5	Kategoriene i lærebøkene	123
5.1	«Rom Stoff Tid Fysikk 1»	124
5.1.1	Kapittel 5: «Bevegelse»	124
5.1.2	Kapittel 6: «Kraft og bevegelse»	124
5.2	«Rom Stoff Tid Fysikk 2»	136
5.2.1	Kapittel 6: «Bevegelse»	136
5.2.2	Kapittel 7: «Kraft og bevegelse»	136
5.3	«Ergo [Fysikk 1]»	140
5.3.1	Kapittel 1: «Fysikk – på rett vei»	140
5.3.2	Kapittel 2: «Newtons lover»	140
5.4	«Ergo [Fysikk 2]»	149
5.4.1	Kapittel 1: «Rettlinjet bevegelse»	149
5.4.2	Kapittel 2: «Krumlinjet bevegelse»	151
6	Avsluttende diskusjon og konklusjon	155
6.1	Forslag til videre arbeid	157
	Bibliografi	161

Tabeller

3.1	Oversikt over kapitlene i RST-1	26
3.2	Oversikt over kapitlene i ERGO-1	46
3.3	Oversikt over kapitlene i RST-2	59
3.4	Oversikt over kapitlene i ERGO-2	78
4.1	Oversikt over kategorier	101
5.1	Oversikt over kategorier i RST-1 kapittel 6	133
5.2	Oversikt over kategorier i RST-1	135
5.3	Oversikt over kategorier i RST-2	139
5.4	Oversikt over kategorier i ERGO-1 kapittel 2	146
5.5	Oversikt over kategorier i ERGO-1	148
5.6	Oversikt over kategorier i ERGO-2	153

Forkortelser

VGS	=	Videregående skole (i Norge)
RST	=	Rom Stoff Tid
RST-1	=	Rom Stoff Tid Fysikk 1
RST-2	=	Rom Stoff Tid Fysikk 2
ERGO-1	=	ERGO Fysikk 1
ERGO-2	=	ERGO Fysikk 2
Y&F	=	Young & Freedman: University Physics
N1	=	Newtons 1. lov
N2	=	Newtons 2. lov
N3	=	Newtons 3. lov
AR	=	«Agent-receiver»(-prinsippet)

Kapittel 1

Introduksjon

Fysikk er en altomspennende vitenskap, som søker å beskrive alle naturens prosesser, fra det som foregår på nærmest uendelig liten skala, til det som foregår på en skala med hele universet. I dag kan en kople utrolig mange naturvitenskapelige fenomener og oppdagelser til fysikk, og en fysiker kan jobbe innen- eller forske på veldig varierte områder. Begrepsapparatet i fysikk, og naturvitenskap generelt, er nærmest like variert som selve fagfeltet, men det er noen konsepter, eller begreper som fremstår som grunnleggende, og utgjør kjernen hvordan en beskriver universet, helt fra det minste til det aller største. Mer bestemt snakker en om konsepter som f.eks. energi, masse, og kraft. Dette er konsepter som inngår i noen av de mest sentrale og grunnleggende lovene naturvitenskapen har avdekket, og som beskriver universet til en utrolig grad av samsvar med det vi kan observere.

I denne oppgaven er det konseptet «kraft» som er gjenstand for undersøkelse. Kraft er et svært sentralt innen fysikk, og er et konsept som opptrer, mer eller mindre eksplisitt i alle grener av fysikk. Liksom fysikken spenner over alt fra det aller minste, til det aller største, så snakker en om kraft i forbindelse med de minste byggestenene i naturen, og helt opp på kosmisk skala. I boken «Hva er fysikk» [19] søker **Gaute T. Einevoll** å belyse hva som kjennetegner vitenskapen fysikk og hva fysikere gjør; rett og slett hva fysikk er. I den forbindelse snakker Einevoll om begrepet kraft, hvilken betydning begrepet kraft har i fysikk, og hvordan fysikere forholder seg til kraft i studiet av naturen:

De fleste fysikere forsker derfor på hvordan naturlige fenomener kan forstås eller forutsies ut fra disse kjente kreftene. Fysikere som studerer kometers baner på himmelen, bruker loven for gravitasjonskraften, mens de som forsker på lynnedslag eller nye mikrobølgeovner, bruker loven som gjelder for elektriske fenomener. Og her kommer hovedpoenget: Vi, det vil si fysikersamfunnet, ser i dag ut til å ha funnet og beskrevet *alle* krefter som styrer naturlige prosesser på jorda og i alle fall i vårt solsystem. Dette gjelder også prosessene som styrer hvordan kjemiske forbindelser dannes fra kjemikalier, og livsprosessene i dyr og planter. [19, s. 12]

Som en ser, så er altså kraft, av forskjellige «typer» et fysisk fenomen som er av stor betydning for å kunne beskrive alle mulige slags fenomener en kan observere rundt seg. Alle de forskjellige kreftene som opptrer synes å være avdekket, og en har teorier som beskriver hvordan de forskjellige kreftene virker. At en har velfungerende og omfattende teorier som beskriver krefter, gjør ikke nødvendigvis kraft til et enklere konsept.

«Hva er fysikk» [19] er ingen lærebok i fysikk, men gir likevel et godt innblikk i hvorfor kraft er et så sentralt begrep i fysikk. I denne oppgaven er det lærebøkens presentasjon og bruk av begrepet kraft som står i fokus. Ettersom konseptet kraft fremstår så sentralt, så er det avgjørende for elever (og studenter) i fysikk, som, i større eller mindre grad forholder seg til lærebøker, hvordan kraft fremstilles og behandles i læreboken. Dette er det en i denne oppgaven vil undersøke.

1.1 Utgangspunkt for studien

Kraft er ikke noe man kan ta eller føle på. En kan ikke «se» en kraft direkte, på samme måte som en f.eks. kan «se» at et legeme er i bevegelse.

Force is an idea: it is not a concrete object such as an egg or a cell. [18, s. 79]

Kraft – sammen med mange andre størrelser i fysikken, som f.eks. energi – er et abstrakt konsept, men likefullt helt essensielt i hvordan en beskriver en rekke forskjellige fenomener. Som bla. Warren [42] argumenterer for, så er kraft et vanskelig konsept, til tross for at en i flere sammenhenger presenterer det som enkelt. I dagligtalen benytter en «kraft» i flere sammenhenger, uten at det, i veldig mange tilfeller, ikke har noen sammenheng med hvordan en benytter begrepet kraft i fysikk. En kan f.eks. snakke om at noe skjer med «stor kraft», eller at man «brakte masse krefter». Det at begrepet kraft benyttes i dagligtalen i en helt annen betydning enn i fysikken, er i seg selv ikke et argument for at kraftbegrepet kan bli sett litt «lett» på. Dog illustrerer det et poeng som gjelder også i det en snakker om en kraft i fysikken, nemlig at det ikke alltid er like lett å definere presist hva det er en mener med «kraft».

Utgangspunktet til, og motivasjonen bak denne oppgaven, er hvordan en innen fysikken fremstiller kraft. Å ta utgangspunkt i vitenskapen fysikk, som helhet, er en nærmest uoverkommelig oppgave. Om en derimot ser til undervisning i fysikk, som er grunnlaget for utvikling og videreføring av vitenskapen fysikk, så finnes det flere mulige innfallsvinkler. Lærebøker er i så måte en høyst aktuell arena for å undersøke hvordan kraft fremstilles, i dette tilfellet lærebøker i fysikk.

Lærebøker har lange tradisjoner, og bærer med seg en autoritet, i den forstand at de inneholder «sannheten» eller «fasiten». Selv om verken lærebøker, eller vitenskapen generelt, påberoper seg å formidle den absolutte «sannheten», så er det likevel noe riktig ved denne dristige påstanden. Lærebøker spiller en betydelig rolle i undervisning innen mange fagfelt, også i fysikk. Selv om fysikk, som

flere andre fagfelt, er i kontinuerlig utvikling, så har en tiltro til at læreboken presenterer «korrekt viten», i den forstand at læreboken er en kilde til aktuell kunnskap. Flere undersøkelser indikerer at læreboken, også i fysikk, er et viktig redskap, både for lærere som skal undervise og lære bort, men også for elever som skal lære (se f.eks. [30]). I en samtid der en har tilgang på nærmest ubegrensede kilder til kunnskap, så spiller altså læreboken fortsatt en markant rolle som en slik kunnskapskilde.

Blant elever er fysikk generelt ansett som et vanskelig fag (se f.eks. [10; 11; 31]). Det er også et faktum at det i fysikk eksisterer flere utbredte misoppfatninger blant elever, og misoppfatninger relatert til kraft er blant de mest utbredte og vanskeligste, i den forstand at kraft oppfattes som vanskelig (se f.eks. [11, s. 153]). Ettersom lærebøkene fortsatt viser seg å være viktige, både for elever og lærere, så er dette motivasjon for å undersøke hvordan kraftbegrepet opptrer i lærebøker.

I denne oppgaven tar ikke for seg hvordan elever (i den videregående skolen) oppfatter konseptet og begrepet kraft. Ei heller søker oppgaven å belyse forskjellige vanlige oppfatninger av kraft blant elever, eller å ta opp vanlige misoppfatninger. Alle mulige forskjellige forståelser av kraft blant elever som har fysikk i skolen, er et område som har fostret mange studier (kanskje et av de mest studerte [11, s. 153]), og som er gjenstand for diskusjon i forbindelse med undervisning i fysikk (se f.eks. [6; 7; 11; 17; 18; 25; 34; 40; 42] for forskjellige perspektiver på kraftbegrepet i fysikkundervisning, undervisning i fysikk generelt, samt vanlige misoppfatninger relatert til kraftbegrepet blant elever). Selv om denne problematikken ikke inngår i problemstillingen i denne oppgaven, så er det klart at en del av motivasjonen i en oppgave som denne er problemstillingene i tilknytning elevs oppfatning av kraft. I det å undersøke hvordan kraft behandles i lærebøker i fysikk, så ligger det «latent» et spørsmål som knytter seg til hvordan lærebøkene «møter» disse misoppfatningene. Så, selv om dette ikke er et hensyn i direkte tilknytning til oppgaven, så er det likevel motivasjon i oppgavens bakgrunn.

1.2 Problemstilling

Problemstillingen i denne oppgaven er sentrert rundt de forskjellige definisjonene av kraft som opptrer i lærebøker. Nærmere bestemt, så er problemstillingen begrenset til å undersøke de forskjellige definisjonene av kraft (på hvilken måte konseptet kraft presenteres/forklares) som forekommer i lærebøker i den videregående skolen i Norge.

Den originale problemstillingen slik den var formulert før, og i begynnelsen av arbeidet med oppgaven lyder som følger:

Vad är det för definition av kraft som presenteras i läromedel och vilken bild har elever och lärare. Förekommer samma bild på högskolor. En artikel i Sci & Educ. 19:91 (2010) [se [32]] handlar om historien bakom konseptet. Oppgaven går ut på att undersöka bilden av kraft och sätta den i ett historiskt perspektiv.

Denne formuleringen av oppgavens problemstilling var altså utgangspunktet for arbeidet med oppgaven. Etterhvert har problemstillingen blitt omformulert og spesifisert.

I artikkelen av Coelho [32], som den første problemstillingen refererer til, er utgangspunktet den kritikken som eksisterer av definisjonene av kraft som opptrer i lærebøker i fysikk, samt spørsmålet om man egentlig vet hva en kraft er. For å besvare dette, ser Coelho på fremstillingen av kraft i verkene til fysikere som Newton, Lagrange, Mach, Hertz, mfl., og hvordan en kan forbedre hvordan en underviser om krefter med bakgrunn i de forskjellige definisjoner av kraft opp gjennom historien.

I arbeidet med oppgaven viste det seg etterhvert at analyse av lærebøkene i seg selv gav interessante resultater, og det historiske aspektet i oppgaven er derfor tonet ned.

Det som, etter flere vurderinger, utgjør problemstillingen i oppgaven, er det i den originale formuleringen som refererer til definisjoner av kraft som presenteres i lærebøker i fysikk. Dermed kan en formulere den endelige problemstillingen for denne oppgaven:

Hvilke forskjellige definisjoner av kraft er det som presenteres i lærebøker i fysikk beregnet på elever i den videregående skolen i Norge?

I forbindelse med analysen av kraft i lærebøkene, har en hatt fokus på mekanikk-kapitler, ettersom det er her kraftbegrepet er mest vesentlig.

Oppgavens oppbygging

I denne oppgaven er det utført to forskjellige analyser, som er utført i to «steg». Det første steget er en innholdsanalyse av hvordan lærebøkene behandler begrepet kraft. Neste steg er å konstruere et teoretisk rammeverk for å kategorisere innholdet. Som nevnt i forbindelse med oppgavens problemstilling (1.2), så har en i oppgaven valgt å legge hovedvekten på kapitler/deler i lærebøkene som kan klassifiseres som mekanikk/mekanisk fysikk. I innholdsanalysen (steg 1) presenterer en likevel alle (med noen unntak) kapitlene i lærebøkene. I steg 2 av analysen er hovedvekten av analysen lagt til mekanikk-kapitlene.

Kapittel 2 presenterer metodene som er benyttet i denne oppgaven, og forklarer hvordan begge stegene i analysen er utført – både innholdsanalysen (steg 1) av lærebøkene, og den videre kategoriseringen gjennom rammeverket konstruert i oppgaven (steg 2). I kapittel 2 presenteres også det teoretiske grunnlaget for oppgaven.

I kapittel 3 presenteres innholdsanalysen som en gjennomgang av innholdet i bøkene. Selve rammeverket som benyttes i steg 2 av analysen, presenteres i sin helhet i kapittel 4, sammen med teorien som rammeverket bygger på. Kapittel 5 er dedikert til steg 2 av analysen, der en kategoriserer innholdet i lærebøkene, som fremkommer gjennom innholdsanalysen, gjennom rammeverket. I kapittel 6 drøftes det som fremkommer gjennom denne kategoriseringen i steg 2, sammen med

konklusjon og forslag til videre arbeid basert på denne oppgaven.

Kapittel 2

Teori og metode

2.1 Personlig bakgrunn og motivasjon

Da denne oppgaven søker å belyse hvordan man i lærebøker i fysikk oppfatter konseptet (eller begrepet) «kraft», er det viktig å kjenne til forfatterens personlige bakgrunn i fysikk. Det kan i flere tilfeller, f.eks. i forbindelse med tolkning av faglig innhold i lærebøkene, være visse elementer som vurderes ulikt, alt etter hvilken faglig bakgrunn – faglig, både sett i lys av den utdanningen en har, men også faglig interesse utover ens utdanning – en har. Dette delkapittelet er følgelig dedikert til å gi en, så grundig som hensiktsmessig, oversikt over forfatterens bakgrunn i fysikk.

Grunnutdanning

I dette tilfellet inngår videregående skole i grunnutdanning. Forfatteren (jeg) hadde i løpet av ungdomsskolen sett seg ut et utdanningsløp som innebar universitet eller høyskole, og fulgte derfor den allmennfaglige studieretningen (tilsvarer studiespesialisering i dagens reform (K06)) med full fordypning i matematikk og fysikk. At det ble full fordypning i fysikk (2FY + 3FY, tilsvarende dagens programfag i fysikk etter Kunnskapsløftet, Fysikk 1 og Fysikk 2 [41]) men bare et år med kjemi (2KJ), kan i stor grad begrunnes med et ønske om mindre omfattende forskning/eksperimentelt arbeid til fordel for mer teori. Gjennom fordypningen i fysikk (og matematikk) ble det etterhvert så interessant med fysikk at det ble aktuelt å vurdere det i forbindelse med videre utdanning. Selv om det var interessante elementer ved samtlige emner i fordypningen i fysikk, så var emner som partikkelfysikk, kvantefysikk, astrofysikk og kosmologi spesielt interessant – emner som gjerne omtales som teoretisk fysikk. I den grad man fikk innsikt i disse grenene av fysikk i videregående skole, så bidro fascinasjonen for disse emnene i stor grad til at søknaden til høyere utdanning var farget av studier innen fysikk og matematikk. En kan gjerne si at idealet av vitenskapsmannen som avdekker universets mysterier med hjernen, penn og papir, var tilstede hos undertegnede. Ikke i så stor grad at lærdommen fra 2FY/3FY og eksperimentets sentrale plass i fysikk, og naturvitenskap generelt, var glemt, men på en slik måte at den teoretiske retningen

innen fysikk virket som den mest forlokkende.

Et annet, særs viktig element ved min grunnleggende fysikkutdanning er læreboken. Som elev i den videregående skolen hadde jeg «Rom Stoff Tid» (RST) som lærebok, både i 2FY (tilsvarende Fysikk 1) og 3FY (Fysikk 2). Selv om lærebøker i skolen er gjenstand for kritikk, både når det kommer til innhold og bruksmønster, er likevel læreboken gjerne av stor betydning for undervisningen [30]. Personlig var læreboken den sentrale kilden til informasjon, noe som igjen medførte at boken ble brukt aktivt i flere elementer av læringen (oppgaveregning, utforming og gjennomføring av forsøk/eksperiment, i tillegg til å lese stoffet). En må derfor ta høyde for at personlig bruk av et læreverk gjennom opplæringen, kan ha medført at en bærer med seg en draging eller «partiskhet» til disse bøkene – RST i dette tilfellet. Oppfatningen er den at dette ikke svekker objektiviteten i analysen/gjennomgangen av lærebøkene i denne oppgaven nevneverdig. Likevel er det viktig å påpeke muligheten for at det, på et underbevisst nivå, kan foreligge forutinntatthet (i større eller mindre grad) til lærebøkene i favør RST. Det kan faktisk tenkes at det også kan oppleves som ufordelaktig for RST. Dog, tidsperspektivet er i overkant av fem år mellom ferdigstilling av denne oppgaven og fullført VGS; et tidsspenn som er alt for stort til å kartlegge min oppfatning av boken den gang. Dermed er det liten bakgrunn for å karakterisere hvordan en ev. forutinntatthet utspiller seg i analysen. Alt en kan gjøre er å påpeke at slik forutinntatthet kan være tilstede. Om ikke annet, så var ERGO et ukjent læreverk for meg som elev i VGS, og ikke før arbeidet med denne oppgaven har jeg benyttet ERGO nevneverdig.

Universitetsutdanning

Som nevnt, så medførte fordypningen i fysikk på VGS at søknaden til høyere utdanning bar sterkt preg av fysikk og matematikk. Alle de høyest prioriterte studiene var fysikkstudier, enten bachelorstudier eller studier med integrert master. Hvorfor valget falt på Trondheim og NTNU, og ikke Oslo, Bergen eller Tromsø, er vel mer eller mindre tilfeldig. Mer interessant er hvorfor realfagstudiet i fysikk ved NTNU (bachelor i fysikk, BFY) ble prioritert over det femårige sivilingeniørprogrammet i fysikk og matematikk, også ved NTNU. BFY fremstod som en mer «teoretisk» utdanning og gav inntrykk av en større valgfrihet med tanke på emnekombinasjoner, mens sivilingeniørutdanningen virket mye mer fastsatt og rettet mot industri og næringsliv. Som nevnt tidligere, så var det den teoretiske retningen innen fysikk som, ved fullført VGS, virket mest fascinerende. Ut i fra studiebeskrivelsen til BFY var det i stor grad rom til å velge emner i fysikk (og ekstra emner i matematikk, ev. andre emner) slik man selv ønsket det, noe som virket tiltalende på meg.

I løpet av fysikkstudiet (bachelorstudie + masterstudie) har jeg tatt en rekke emner, men i forbindelse med denne oppgaven er det aller mest relevant å få frem hvilke fysikkemner det dreier seg om. I løpet av bachelorstudiet er det naturligvis flere obligatoriske innføringsemner/grunnleggende emner. Uten å liste opp alle i detalj, så dreier det seg om grunnleggende emner i mekanikk/mekanisk fysikk, bølgefysikk, elektromagnetisme og termisk fysikk/termodynamikk, alle vektet som 7,5 stp (alle fysikkemner ved NTNU er 7,5 stp). Deretter går man videre med mer

avanserte emner, der man etterhvert får større rom til å velge emner fritt. Avhengig av hvor mange matematikkemner (eller andre emner; jeg valgte ekstra emner i matematikk, eksempelvis «Tallteori» og «Geometri») man velger, så er det begrenset hvor mange fysikkemner man har mulighet til å ta. For min egen del inkluderer dette emnene «Kvantemekanikk I» og «Kvantemekanikk II», «Statistisk fysikk», «Astrofysikk». Dette anses som typisk teoritunge emner, som gjerne appellerer ekstra til studenter med draging til en teoretisk retning. To andre fysikkemner i løpet av bachelorstudiet skiller seg slik sett litt ut. «Atmosfærefysikk og klimaendringer», ettersom emnet hadde litt større grad av anvendt profil. Der nest, «Fysikk fagdidaktikk», som et fysikkemne som kan sies å være på motsatt side av kartet over teoretiske fysikkemner, i forhold til f.eks. emnene i kvantemekanikk. På mange måter var emnet «Fysikk fagdidaktikk» avgjørende for valg av retning i masterstudiet, ettersom det var mitt første virkelige møte med fagfeltet didaktikk innen fysikk.

I løpet av mastergraden er det stort sett rom til å velge emner helt fritt, men gjerne emner som er relevante for oppgaven en skriver. «Partikkelfysikk», «Subatomær fysikk», «Kvanteteori for mangepartikkelsystemer», «Gravitasjon og kosmologi», «Klassisk mekanikk», «Ikkelineær dynamikk» og «Episoder fra naturvitenskapens historie» (heretter «Episoder ...») er emnene som inngår i mitt masterstudium. Alle er fysikkemner, foruten «Episoder ...» som ble undervist ved institutt for kjemi, og som fint kan omtales som et emne i vitenskapshistorie. Med dette emnet steg interessen for vitenskapshistorie betraktelig.

I et arbeid som dette, der man studerer lærebøker, er det interessant å vurdere ens egen erfaring med lærebøker. Som nevnt, når det kommer til fysikk VGS (grunnutdannelsen), så begrenset bruken av lærebøker seg til RST. Når det gjelder lærebøker i fysikkstudiet ved NTNU, så er det en blandet affære. I en stor andel av fysikkemnene har det ikke vært angitt en spesiell lærebok som følger emnet, og det har ofte vært et kompendium, tilgjengelige forelesningsnotater og andre notater som har fungert som læremateriell. I flere emner har kompendium og forelesningsnotater vært så og si enerådende, selv ved en «anbefalt» lærebok i kursinformasjonen. Dette gjelder for eksempel innføringsemnene «Mekanisk fysikk» og «Bølgefysikk». Disse to emnene er i stor grad dekket av f.eks. Y&F [43], og i «Mekanisk fysikk» var sogar Y&F oppført som lærebok i emnet. Men, forelesningsnotater og andre notater fra foreleser var materialet jeg baserte meg på. Det samme gjelder i stor grad de videregående emnene «Astrofysikk», «Statistisk fysikk» og «Gravitasjon og kosmologi», der fyldige «lokalt produserte» kompendier ble gjort tilgjengelige for studentene. I innføringsemnene var kompendier/forelesningsnotatene stort sett på norsk, mens i de videregående emnene var tilsvarende materiale tilgjengelig på engelsk.

Det er dog lærebøker tilknyttet noen emner jeg har gjort mye bruk av. I «Elektrisitet og magnetisme» var både forelesningsnotater og andre notater (på norsk) fra foreleser tilgjengelig for studentene. Etter anbefaling fra eldre studenter, og generelt god omtale, valgte jeg i tillegg å benytte meg av Griffiths «Introduction to Electrodynamics» [13] i dette emnet. Personlig oppfattet jeg boken som tunglest. Ikke fordi språket var veldig tungt (boken er, som tittelen antyder, engelsk, men,

språklig ikke spesielt utfordrende av den grunn), men mer ettersom forkunnskapene i matematikk var begrensede ved oppstarten av emnet (emnet i flervariabel kalkulus tas parallelt med innføringskurset i elektromagnetisme). Boken ble dermed mer forståelig i løpet av semesteret. I «Termisk fysikk» ble Hemmers «Termisk fysikk» [22] benyttet i stor grad. I kursene i kvantemekanikk er Hemmers «Kvantemekanikk» [23] anbefalt litteratur, og personlig er det en bok som har blitt brukt mye, sammen med notater fra foreleser (som i stor grad bygger på Hemmer, og som er på norsk, noe Hemmer også er). Hemmer dekker dog veldig lite av innholdet i «Kvanteteori for mangepartikkelsystemer», og derfor ble kompendium og notater fra foreleser (på engelsk) benyttet. Felles for begge bøkene av Hemmer er at de er kortfattede i stilen, og kan på mange måter fungere som et slags «oppslagsverk» innenfor emnene bøkene omtaler. Det er likevel ingen ting spesielt som skiller Hemmer fra andre lærebøker på samme faglige nivå.

Emnet «Klassisk mekanikk» baserte seg i stor grad på et kompendium på norsk, skrevet for emnet. Personlig ble Goldstein «Classical Mechanics» [24] benyttet som støttende, mer omfattende litteratur. I begge emnene «Subatomær fysikk» og «Partikkelfysikk» ble Griffiths «Introduction to elementary particles» [12] brukt, i spesielt stor grad i «Partikkelfysikk», ettersom «Subatomær fysikk» i større grad baserte seg på forelesers egne notater, og i tillegg en annen lærebok (benyttet i svært liten grad, personlig). I «Ikkelineær dynamikk» var Strogatz «Nonlinear Dynamics and Chaos» [38] anbefalt litteratur; en bok jeg benyttet meg av i stor grad.

Emnene «Fysikk fagdidaktikk» og «Episoder ... » skiller seg litt ut hva gjelder lærebok. Dette fordi undervisningen i disse to emnene skilte seg fra den mer tradisjonelle undervisningen i alle de andre fysikkemnene. I «Fysikk fagdidaktikk» var det innslag av både tradisjonell undervisning i auditorium, og gruppesamlinger med faglærer. Emnet baserte seg på Carl Angell et al. «Fysikkdidaktikk» [11] og Sjøbergs «Naturfag som Allmenndannelse» [40]. I «Episoder ... » var det ingen lærebok som ble benyttet direkte, og således er det ingen konkret erfaring med en lærebok å referere til. Litteraturen i emnet var bygd opp rundt vitenskapelige artikler (på engelsk), som også inkluderer originale tekster (oversatte, om språket originalt var noe annet enn engelsk), eller utdrag fra originale tekster, av flere vitenskapsmenn.

Oppsummering

Som oppsummering, så er det noen viktige hovedpunkter i utdanningsløpet som kan bemerkes. Det første er at læreboken jeg benyttet i fysikkfaget i VGS var RST. Dette er et viktig poeng å bemerke, ettersom det åpner for muligheten til at mitt syn av de to læreverkenes i norsk VGS kan ha skjevheter. Dernest, så førte fysikkfaget i VGS med seg en sterkere draging til den teoretiske grenen av fysikk, enn den eksperimentelle.

For det andre, så var denne teoretiske «favoriseringen» med på å vippe i favør av en mer teoretisk profil i fysikkstudiene, både i bachelorstudiet og i løpet av masterstudiet. Emnesammensetningen i studiet bærer preg av emner som typisk

faller inn under «teori-paraplyen» av fysikkemner, samt noen ekstra emner i matematikk. Emnebeskrivelser for alle emnene i fysikk kan finnes på hjemmesidene til Institutt for fysikk ved NTNU [2]. Vær obs på at emnebeskrivelsene oppdateres dersom det oppstår endringer i emnene, slik at emnebeskrivelsene kan variere fra år til år (vanligvis ikke mye). Emnebeskrivelser til alle emner ved NTNU kan finnes via hjemmesiden til NTNU [3].

For det tredje, så er erfaringen med lærebøker i løpet av studiet todelt. På den ene siden er det i mange emner, nesten utelukkende, benyttet kompendier og notater skrevet av forelesere eller tidligere forelesere. I noen emner er det en (av flere mulige) lærebøker som er benyttet (f.eks. Griffiths [12; 13]). Det har altså vært en passende lærebok tilgjengelig i alle fysikkemnene i løpet av studiet, men i hvor stor grad jeg har valgt å bruke disse har variert fra så og si ingen ting, til i stor grad. I de emnene det har vært kompendier, skrevet av foreleser eller andre, merker jeg det har vært en klar tendens til at bruk av dette har overskygget bruk av lærebøker. Der det ikke har vært et kompendium tilgjengelig, men fortsatt forelesningsnotater eller andre notater, har bruken av en lærebok vært mer omfattende.

Sist, så er det slik at i de emnene der undervisningen har foregått på norsk – i alle innføringsemnene –, så har kompendier og notater også vært tilgjengelig på norsk. I så og si alle av de videregående emnene har undervisningen vært på engelsk, og dermed har også kompendier og notater vært på engelsk (et unntak er «Klassisk mekanikk», der undervisningen foregikk på engelsk, mens kompendiet var norskspråklig. Dette er sannsynligvis av historiske grunner). Det er altså en relativt jevn fordeling av kompendier og notater på norsk og engelsk. Når det gjelder lærebøkene, så er det en relativt klar overvekt av engelskspråklige bøker. I de emnene der jeg har brukt en lærebok aktivt (se over), så er unntakene bøkene til Hemmer [22; 23], der begge er på norsk og jeg har brukt begge aktivt. I «Fysikk fagdidaktikk» var også det meste av litteraturen på norsk, men her var det flere bøker involvert (og utdrag fra bøker). Ellers har lærebøkene jeg har benyttet (aktivt) i forbindelse med emner vært engelskspråklige.

2.2 Metode

I denne oppgaven er det gjort bruk av to forskjellige metoder. Disse metodene har forskjellig grunnlag, men bygger på hverandre og har en tilsiktet overlapp. Oppgaven baserer på en analyse av læreverkene, som er kjernen i begge metodene.

Først er det gjennomført en innholdsanalyse. I denne første delen, eller steg 1 av analysen, er læreverkene som danner grunnlag for denne oppgaven gjennomgått. I denne oppgaven er det først og fremst *innholdet* i de forskjellige lærebøkene som er tillagt vekt, slik at fokuset ikke nødvendigvis er på retorikk, semantikk eller pedagogiske virkemidler. Når det er sagt så er det selvfølgelig slik at det er mange hensyn som må tas i utformingen av innholdet i en lærebok, så det er forsøkt å ha dette i bakhodet gjennom hele analysen av lærebøkene. Tidvis er det nødvendig å redegjøre for visse semantiske aspekter, men fokus i denne innholdsanalysen er,

som nevnt, først og fremst fysikkinnholdet.

Dernest, så er det i oppgaven konstruert et rammeverk for analyse av innholdet i lærebøkene. Det er i første rekke lærebøkene som er datagrunnlaget i denne oppgaven, og innholdet i bøkene er det som fremkommer av innholdsanalysen. Rammeverket er konstruert for å analysere og kategorisere innholdet i bøkene, og er således det man kan kalle andre del, eller steg 2 av analysen i oppgaven. Da steg 2 av analysen bygger på innholdet i bøkene, som fremkommer i innholdsanalysen (steg 1), så er en hvordan metodene i denne oppgaven overlapper hverandre.

En del av innholdet i bøkene faller utenfor vidden til rammeverket, og vil således ikke bli prosessert. Det er likevel mulig å utvide rammeverket til å favne bredere, og samtidig beholde kjernen i problemstillingen i denne oppgaven. Dette er gjenstand for diskusjon senere i oppgaven. I kapittel 4 presenteres dette rammeverket i sin helhet, og detaljene i forbindelse med dette vil således ikke være gjenstand for videre diskusjon i dette kapitlet.

2.2.1 Valg av lærebøker

Situasjonen i Norge i dag er slik at det er to forlag som gir ut lærebøker i fysikk for VGS. Cappelen gir ut læreverket «Rom, stoff, tid» for programfagene fysikk 1 og fysikk 2 (hhv. RST-1 og RST-2 [28; 29]), og Aschehoug gir ut «ERGO» (ERGO-1 og ERGO-2 [8; 9]). Totalt er det altså fire lærebøker i fysikk; en bok fra hvert forlag for hvert av de to siste årstrinnene i VGS. Av den grunn at disse læreverkene er de eneste som benyttes i norsk VGS for tiden, så er disse læreverkene selvsikre i denne oppgaven. Det er det disse to læreverkene (fire lærebøker) utgjør datagrunnlaget for innholdsanalysen (som presenteres i kapittel 3), og dermed også den videre analysen i kapittel 5.

2.2.2 Innholdsanalyse

I innholdsanalysen – første steg av analysen – er lærebøkene gjennomgått. Som det ble presentert i 2.2.1, så dreier det seg om lærebøkene i fysikk som benyttes i den videregående skolen i Norge, altså ERGO og RST. Disse lærebøkene er lest perm til perm og analysert. Motivasjonen bak denne analysen er å få oversikt over innholdet i lærebøkene, og da spesielt hvordan lærebøkene presenterer og behandler kraft (kraftbegrepet).

Som antydnet i presentasjonen av problemstillingen (se 1.2), så er det et punkt i problemstillingen som omhandler lærebøker beregnet på universitet/høgskole. Samtidig, så spesifiseres det at dette punktet utgår i hovedproblemstillingen. I den forbindelse kan en nevne at i arbeidet med denne oppgaven, så har noen utvalgte kapitler innen mekanikk (klassisk fysikk) i læreboken Y&F [43] vært gjenstand for innholdsanalyse, på samme måte som med RST og ERGO. Dette er gjort for å danne seg et inntrykk av hvordan kraftbegrepet fremstår i en lærebok som presenterer fysikk på et nivå over VGS-bøkene. Ved å gjøre dette, danner en seg

et inntrykk av hvordan av hvordan lærebøker i fysikk, med denne nivåforskjellen mellom seg, skiller seg fra hverandre i hvordan en behandler kraft. Denne innholdsanalysen av utvalgte kapitler i Y&F vil ikke være gjenstand for videre diskusjon i denne oppgaven, og opptrer således ikke i verken steg 1 (se kapittel 3) eller steg 2 (se kapittel 5) av analysen i denne oppgaven.

Lærebøkene har blitt lest i rekkefølge, noe som betyr at bøkene i Fysikk 1 – RST-1 og ERGO-1 – ble lest før bøkene i Fysikk 2. Mer spesifikt, så ble RST-1 gjennomgått først. I utgangspunktet er det ingen spesiell grunn til at rekkefølgen, de forskjellige læreverkene i mellom ble slik, altså RST før ERGO. Dog, som nevnt tidligere (se 2.1), så er det viktig å understreke at som elev i videregående skole hadde jeg RST som lærebok i fysikk (både i 2FY og 3FY, det som i dag, etter Kunnskapsløftet [41] heter Fysikk 1 og Fysikk 2). Selv om det faktum at RST ble benyttet i min egen fysikkopplæring kan ha medført at jeg bærer med meg en forutinntatt «partiskhet» til RST (pro RST), så er oppfatningen den at dette ikke svekker objektiviteten i analysen av lærebøkene nevneverdig. Valget å begynne med RST-1 kan tildels forklares med en nysgjerrighet til å finne ut om det var mulig å gjenkjenne likheter, eller peke ut endringer, mellom utgaven av RST-1 som er benyttet i oppgaven, og utgaven benyttet i ens egen fysikkopplæring (slik den huskes). Annet enn dette er det ikke mulig å peke ut noe spesifikt som kan ha vært avgjørende for rekkefølgen bøkene ble lest i. Jeg har etterstrebet å være så objektiv som mulig i innholdsanalysen av bøkene, og derfor ble rekkefølgen på bøkene i Fysikk 2 endret, slik at ERGO-2 ble lest før RST-2. I kapittel 3 er gjennomgangen presentert i rekkefølgen RST-1, ERGO-1, RST-2 og ERGO-2. Dette er nærmest et «estetisk» valg for å holde læreverkene samlet, og gjenspeiler således ikke rekkefølgen på gjennomlesningen av de to bøkene i Fysikk 2.

Det som rekkefølgen i gjennomlesningen av lærebøkene imidlertid medfører, er at RST-1, siden den ble lest først, fungerer som en slags «kvasi-referanse». Mer bestemt, så betyr det at RST-1, i kraft av å være lest først, fungerer som et naturlig utgangspunkt for å sammenlikne forskjellige aspekter ved innholdet i lærebøkene. Dermed kan det være flere detaljer som utdypes i RST-1, med tanke på å kunne ha en referanse for sammenlikning med ERGO-1 og -2, samt RST-2. RST-1 kan sies å ha denne funksjonen i både kapittel 3, som er innholdsanalysen av bøkene, og i kapittel 5, som er den videre analysen av innholdet i bøkene (steg 2 av analysen). I kapittel 5 analyseres bøkene med sammenlikning som et mål i seg selv, men oppbyggingen av kapittelet, der analysen av RST-1 kommer først, indikerer RST-1 som nevnte «kvasi-referanse». Dog, dette anses ikke å være problematisk, ettersom det er naturlig å sammenlikne seg med «førstemann ut», i alle fall til en viss grad.

I gjennomlesningen av lærebøkene følte jeg ikke på noe tidspunkt en draging mot et av verkene, til fordel for det andre. Det eksisterer enkelte formuleringer eller eksempler i ERGO som jeg, mens jeg leste gjennom bøkene, umiddelbart syntes var bedre enn tilsvarende formulering/eksempel i RST, men dette går i like stor grad motsatt vei også. Samtidig som bøkene har forskjellige måter å tilnærme seg emner og tema i fysikk på, så må en også ta i betraktning personlige vaner og preferanser en har tillagt seg gjennom fem års fysikkstudier. Dette er selvfølgelig veldig vanskelig å kartlegge på en slik måte at en kan ta hensyn til det

i en analyse som i denne oppgaven, men det er tilsvarende vanskelig å utelukke at forskjellige aspekter ved bøkene kan favoriseres på bakgrunn av en rekke forskjellige faktorer. Gjennomgangen av bøkene gjorde meg oppmerksom på forskjeller og likheter mellom bøkene, og hvilke tendenser man kan finne i bøkene og hvordan disse eventuelt skiller seg fra hverandre. Ved fullført gjennomlesning av RST og ERGO var jeg altså klar over hvilke forskjeller det var mellom bøkene, men dette resulterte ikke at jeg opparbeidet meg en formening om at et læreverk på noen måte var bedre enn det andre.

Det har ikke vært brukt noen fastsatt mal (f.eks. en mal for tekstanalyse, etc.) eller fulgt noen veiledning i forbindelse med innholdsanalysen. Bøkene er, som nevnt, lest kapittel for kapittel, der det samtidig er gjort notater ved siden av. Disse notatene har hovedsaklig vært av to typer. Den første typen har vært notater og kommentarer som relaterer seg direkte til innholdet, og som oppsummerer hva som står i bøkene, og hvor det står, ettersom bøkene har blitt lest. Den andre typen er personlige tanker og refleksjoner i forbindelse med det som står i bøkene, og er notater som hovedsaklig er gjort for å «diskutere med seg selv» for å få en helhetlig oversikt over innholdet i bøkene. Mye av funksjonen til denne andre typen notater kan oppsummeres som «personlige huskelapper».

Det er den første typen notater som er med å definere «resultatet» av analysen (innholdet som fremkommer av analysen, altså gjennomgangen av bøkene i kapittel 3), ettersom det er disse notatene som reflekterer det som står i bøkene. Denne første typen notater, som ble til under gjennomlesningen av bøkene, har selvfølgelig vært grunnlag sammen med selve lærebøkene i gjennomgangen slik den fremstår i kapittel 3.

Innholdsanalysen i denne oppgaven setter, som nevnt, fokus på innholdet i bøkene. Det er derfor på sin plass å indikere hva en mener med «innhold», når det kommer til disse lærebøkene. I utgangspunktet er innholdet i bøkene all teksten, alle bilder, figurer, eksempler, regneoppgaver, etc., altså hele boken. Det er et meget omfattende arbeid å skulle analysere alt dette, med tanke på hvordan kraft opptrer i bøkene. Derfor har en i første rekke tatt for seg det en kan kalle «hovedteksten» i bøkene. Det er ikke alltid like enkelt å definere hva en mener med «hovedteksten», men en kan si at det dreier seg om «det faglige stoffet» som lærebøkene presenterer i de forskjellige kapitlene.

Alle lærebøkene som er gjennomgått inneholder mange eksempler, og det er i eksemplene lærebøkene gjør nytte av den teorien som presenteres i de forskjellige kapitlene. I analysen av bøkene er alle eksemplene lest, men det er derimot vanskelig å ta hensyn til alle eksemplene i det en skal presentere analysen, ettersom det krever at en gjengir eksemplet og forutsetningene nøyaktig nok. Det er derfor bare valgt å presentere innhold fra eksemplene i bøkene der dette er hensiktsmessig. Mer bestemt omfatter dette eksempler der det er forhold som skiller seg ut fra læreboken forøvrig, eller der eksempler benyttes til å utdype deler av innholdet i de forskjellige kapitlene i bøkene. I ERGO og RST finner en mange likheter i oppbygging og «tema» i eksemplene, men det kan være varierende grad av matematiske argumenter, virkelighetsnære eksempler og ellers andre detaljer.

Å analysere selve eksemplene er dog ikke noe som har vært fokus i oppgaven. Eksemplene som sådan, og innholdet i eksemplene, har ikke blitt vektet annerledes enn det resterende innholdet i bøkene i prosessen med innholdsanalysen. Men, på grunn av at eksemplene ofte er, nettopp, eksempler på scenarioer der en benytter det en i læreboken har gjennomgått i forkant, så trenger en ikke gjengi eksempler i detalj annet en der det er hensiktsmessig.

På samme måte er det tatt hensyn til figurene i eksemplene, ettersom figurene i mange tilfeller er delaktige i å formidle innholdet i bøkene. Når det er sagt, så er ikke figurene i seg selv, og deres oppbygning, gjenstand for særskilt studie eller analyse i denne oppgaven, slik at det kun er tatt i betraktning det innholdet figurene måtte formidle, og i utgangspunktet ikke til andre aspekter ved figurene. Forøvrig finner en også bilder eller illustrasjoner i lærebøkene (f.eks. bilder som en del av forsiden/innledningen til et kapittel), som en nok kan argumentere for er en del av innholdet i bøkene. Disse har stort sett utelukkende en «utseendemessig» effekt, og det er ikke tatt hensyn til denne typen bilder i innholdsanalysen.

I formuleringen «perm til perm» ligger det at bøkene har blitt lest f.o.m. første side t.o.m. siste side. På grunn av denne grundige gjennomlesningen, så er innholdsanalysen omfattende, noe som gjenspeiles i kapittel 3. Når det er sagt, så er det visse unntak. Alle lærebøkene som er analysert inneholder regneoppgaver, noen flere enn andre. Regneoppgavene i bøkene (typisk i slutten av hvert kapittel) inngår ikke i analysen. Siden oppgavene i bøkene i stor grad fungerer som et verktøy for å teste leseren (eleven) i stoffet som presenteres i de forskjellige kapitlene i bøkene, så er det vurdert til å være hensiktsmessig å utelate regneoppgavene fra innholdsanalysen forøvrig. En regneoppgave kan selvfølgelig bidra til å utdype innholdet som allerede er presentert i et kapittel i læreboken, men det er altså ikke tatt hensyn til regneoppgavene i innholdsanalysen.

2.2.3 Rammeverk og analyse

Rammeverket (se kapittel 4 for rammeverket i sin helhet) er et verktøy som er konstruert for oppgaven for å kunne analysere innholdet i lærebøkene. Innholdet i lærebøkene fremkommer gjennom innholdsanalysen av lærebøkene (se 2.2.2), og rammeverket benyttes i steg 2 av analysen for å analysere hvordan kraft (kraftbegrepet) fremstilles og behandles i lærebøkene. Mer bestemt, fremstår rammeverket som et sett av «grupper», der hver slik «gruppe» representerer en definisjon (eller en representasjon) av kraft. I rammeverket refererer en til disse «gruppene» som kategorier, ettersom ideen bak dette rammeverket er å kunne identifisere og kategorisere flere «typer» av definisjoner av kraft, altså flere «måter» å definere kraft på.

Det å benytte dette rammeverket – de forskjellige kategoriene – til å analysere innholdet i bøkene i etterkant av innholdsanalysen, skapte til en viss grad et behov for en ny, raskere gjennomgang av bøkene. Selv om innholdet i bøkene lå klart etter den første, omfattende gjennomgangen, så ble det etterhvert nødvendig å gå gjennom bøkene på nytt – dog verken like nøye eller systematisk som den første

gjennomgangen – for å friske opp minnet og for å unngå å overse ev. viktige detaljer.

Rammeverket, dvs. kategoriene, er uavhengige av innholdsanalysen. Med det menes at kategoriene er konstruert og definert uavhengig av det som kommer frem gjennom innholdsanalysen av lærebøkene, slik at lærebøkene som sådan ikke har hatt noen innvirkning på utformingen av kategoriene som utgjør rammeverket. Mulige kategorier som kan inngå i en kategorisering av kraftbegrepet har altså ikke vært en del av innholdsanalysen, eller omvendt. Når det er sagt, så er det slik at en kategori kan inneholde en definisjon/formulering som en finner igjen i lærebøkene, og således basere seg på en formulering som også kommer frem i innholdsanalysen.

For å utdype dette nærmere, så er det slik at siden denne oppgaven først og fremst har fokus på kraftkonseptet i lærebøkene myntet på elever i den videregående skolen i Norge (og til en viss grad lærebøker i fysikk ved universitet/høgskole) er dette et hensyn som nødvendigvis manifesterer seg i kategoriene (om en skulle tatt i betraktning kraft i lærebøker uavhengig av nivå, og uavhengig av tema, så hadde en for eksempel vært nødt til inkludere kategorier som dekker konseptet kraft i moderne feltteori, noe som er utenfor rammene i denne oppgaven). Dette medfører at den videre analysen av lærebøkene til en viss grad er gjort induktivt. Med dette menes at deler av rammeverket som presenteres i oppgaven er dannet med bakgrunn i det materialet som skal analyseres, dvs lærebøkene. Mer bestemt så betyr det at en av kategoriene – «Virkning som egenskap», se 4.1.1 – tar utgangspunkt i en type formulering av kraftbegrepet slik det forekommer i en, eller flere av de aktuelle lærebøkene. En kunne formulert denne kategorien helt uavhengig av disse definisjonene (formuleringene) en finner i lærebøkene, og fortsatt stått igjen med det samme innholdet, noe som også belyses i selve kategorien. Det er likevel valgt å inkludere formuleringene fra bøkene for å belyse forskjellige vinklinger av kategorien (en kunne også tenke seg en eller flere underkategorier av kategorien).

Det samme er i mindre grad tilfelle også i kategorien «Kraft i relasjon til bevegelse», der kategorien er delt opp i flere underkategorier der hver underkategori representerer en mulig relasjon mellom kraft og bevegelse. Disse underkategoriene kan en finne igjen i lærebøkene, og til en viss grad er også kategorien basert på erfaringer som stammer fra lærebøkene. Likevel baserer disse underkategoriene seg stort sett på «allmenngyldige» relasjoner basert på eksisterende oppfatninger av kraft i fysikken. Dette beskrives forøvrig i nærmere detalj i forbindelse med presentasjonen av rammeverket.

Som nevnt i forbindelse med oppgavens problemstilling (se kapittel 1), så har det underveis i arbeidet med oppgaven blitt lagt mer vekt på innholdet i bøkene som kan klassifiseres som klassisk mekanikk (mekanisk fysikk). Dette gjør seg også gjeldende i analysen av innholdet i bøkene gjennom rammeverket, der en på bakgrunn av dette i stor grad vil fokusere på innholdet (innholdsanalysen) av disse mekanikk-kapitlene. Dette medfører at analysen gjennom rammeverket, i tilknytning til kapitler innen andre grener i fysikk (eksempelvis termodynamikk og elektrisitet/magnetisme) ikke fremstår like grundig. Det vil likevel, til en viss grad,

indikeres hvordan en kategorisering av kraft opptrer i slike kapitler i de respektive lærebøkene.

2.3 Teori og begrepsmodell

2.3.1 Rammeverk

Med rammeverket, som presenteres i kapittel 4, følger det med et grunnlag av teori, som rammeverket bygger på. På mange måter er kategoriene i dette rammeverket basert på det en som fysiker «føler», eller har en viss tanke om er måter å definere kraft på. Slik sett er dette definisjoner en har blitt eksponert for og til-egnet seg gjennom fysikkutdannelsen. På den andre siden, så er kategoriene godt fundamentert gjennom den gjeldene fysikkens teorier og lover.

Dette teoretiske grunnlaget vil bli presentert i forbindelse med hver enkelt kategori, og rammeverket som helhet, sammen med rammeverket i kapittel 4. Således presenteres ikke teorien i forbindelse med rammeverket i dette teori-kapittelet i oppgaven. Motivasjonen bak dette valget er, i all enkelhet, at det er mest hensiktsmessig å presentere det teoretiske grunnlaget for kategoriene, samtidig med at en selve kategoriene blir presentert. På denne måten blir kategoriene, og teorien bak, ikke oppdelt, men sammenhengende i et kapittel. Dette bidrar til at hele rammeverket fremstår som mer oversiktlig, og således er dette et valg som er tatt på bakgrunn av et ønske om større grad av kontinuitet i oppbyggingen av kategoriene (rammeverket).

2.3.2 Tre hovedtyper av definisjoner av kraft

I følge Coelho [32; 33] så finner en tre typer definisjoner av kraft i dagens lærebøker i mekanikk/mekanisk fysikk (mekanisk fysikk-delen av fysikkbøker):

In contemporary textbooks on mechanics, three kinds of definitions of force were found. «Force is the cause of acceleration» is the most common definition of force. In some textbooks, a connection between force and the effort felt by the pulling or pushing of an object has been established. In other textbooks, force is defined by the fundamental equation of dynamics, as well as mass. [33, s. 1339]

Coelho hevder altså at det opptrer tre hovedtyper av definisjoner av kraft innen mekanikk/mekanisk fysikk i dagens lærebøker. Disse tre hovedtypene danner et naturlig referansepunkt for de forskjellige kategoriene som inngår i det rammeverket som presenteres i kapittel 4. Mer bestemt, så betyr dette at de tre hovedtypene er som en «paraply» å regne, som kategoriene kan, men ikke nødvendigvis må, inkluderes under. I rammeverket opererer en således med disse tre hovedtypene som en slags overordnet kategorisering, som er uavhengig av kategoriene i forøvrig.

Det er ikke nødvendigvis slik at en behøver flere enn tre kategorier for å dekke spennvidden i de forskjellige begrepene som benyttes i sammenheng med definisjoner av kraft. Det er likevel valgt å inkludere flere enn tre kategorier i rammeverket i kapittel 4, slik at en i større grad kan «spisse» formuleringene av kategoriene, og således presentere definisjoner av kraft gjennom flere relasjoner.

For å gjøre Coelhos tre typer definisjoner mer tilgjengelige for sammenlikning, er det hensiktsmessig å gi en norsk oversettelse (nummereringen angir ikke noen form for prioritering):

1. Kraft er årsaken til/forårsaker akselerasjon.
2. Det er en forbindelse/kopling mellom kraft og den «innsatsen» som kreves for å dytte eller dra et objekt.
3. Kraft er definert ved Newtons 2. lov. Kraft er også definert ved/via masse.

Med «the fundamental equation of dynamics», så mener Coelho om Newtons 2. lov:

The equation $F = ma$ is usually called ‘Newton’s second law’. It was, however, discovered by Euler [...]. Hence, the expression ‘fundamental equation of dynamics’ [...] [33, fotnote 9, s. 1340]

Kategoriene i rammeverket kan således sammenliknes og analyseres opp mot de tre hovedtypene som Coelho identifiserer, hvilket gir rom for å vurdere om en kategori dekker en eller flere, eller ingen, av disse hovedtypene. Eller, om kategoriene til sammen spenner over disse tre hovedtypene, eventuelt om de ikke gjør det. Med utgangspunkt i disse tre hovedtypene kan en også vurdere om en kategori kan sees på som en mer spesialisert gren, eventuelt en utvidelse, av en av hovedtypene.

2.3.3 «Agent-receiver»

«Agent-receiver»-prinsippet (AR-prinsippet, eller bare AR) er i utgangspunktet et enkelt prinsipp, eller en forklaringsmodell, som, mer eller mindre hyppig dukker opp i lærebøker i fysikk. Det er kanskje spesielt i engelske bøker en i størst grad legger merke til bruken av AR i forbindelse med å forklare eller beskrive forskjellige fysiske fenomener, men tanken er ikke ukjent i, f.eks. norske fysikkbøker. Selv om en kan tenke seg å benytte et AR-liknende prinsipp (modell) i forbindelse med flere forskjellige problemer i fysikk, så er det utbredt, og velkjent i problemer i mekanikk – problemer der krefter inngår. Som navnet antyder, så dreier det seg om en part som «utfører»/«utøver» eller er «virksom» («agent»), og en part som «mottar» eller er «resipient», «opplever» eller «føler» («receiver»). I det følgende vil de engelske termene «agent» og «receiver» bli benyttet, til fordel for norske oversettelser.

Når en snakker om AR-prinsippet i forbindelse med kraft i fysikken, så snakker en om en kraft som virker *fra* et legeme *på* et annet. Hart gir en formulering av AR-prinsippet i to artikler [15; 20] om undervisning av Newtons lover i fysikk, :

A forces [sic] always involves two different ‘objects’ (or people etc.) interacting.

One object (or person) exerts the force. The object exerting the force is called the agent.

The other object (or person) experiences the force. The object experiencing the force is called the receiver. [15, «Table 1.» s. 15]

Eksempelvis så virker jordas tyngdekraft (gravitasjonskraft) *fra* jorda *på* ethvert (massivt) legeme som ikke befinner seg uendelig langt unna jorda, f.eks. månen, et menneske eller en bowlingkule. Man snakker altså om en «agent» – en som «utfører» eller «virker» – der kraften virker *fra*, og en «receiver» – en «mottaker» – som kraften *fra* «agent»-en virker *på*. I det nevnte eksempelet er jorda «agent», mens hhv. månen, mennesket og bowlingkula er «receiver».

Som man ser, så er AR et prinsipp eller en modell som identifiserer to «ledd» kraftvirkningen: Det man kan kalle «opprinnelsen» (eller «utgangspunktet») til en kraft («agent», hva kraften virker *fra*), og «målet» til kraften («receiver», hva kraften virker *på*). En kan forstå AR slik at det er legemene i seg selv som er «agent» eller «receiver», men det er ikke selve legemet, eller egenskaper ved legemet som gjør at man tillegger det «rollen» som «agent»/«receiver». Legemene er derimot «agent» eller «receiver» for kraften som virker mellom dem. Hart presiserer også dette nærmere i sin artikkel, ved å se på tyngdekraften på en sjokoladeplate:

The force of gravity is introduced by discussing the forces on a block of chocolate. The agent of this force is the Earth and the receiver is the block of chocolate: the Earth pulls on the chocolate. Gravity is not the agent of this force; rather it is the name we give to the interaction, the mutual attraction or pulling together, that occurs between the whole of the earth and the block of chocolate. [15, s. 15]

Dette er i tråd med det som er nevnt over, nemlig at jorda og sjokoladen identifiseres hhv. «agent» og «receiver» i vekselvirkningen av kraft mellom disse.

Det er selvfølgelig dualitet i «rollefordelingen» mellom «agent» og «receiver», i henhold til N3. Dersom et legeme, A, virker med en kraft på et annet legeme, B, så virker B med en kraft på A som er like stor og motsatt rettet. Følgelig, så er enhver «agent» også «receiver», og enhver «receiver» også «agent» (her benevner A og B legemer. A indikerer ikke at legeme A er «agent»). Om man tar for seg eksempelet over, med hvordan jorda virker med en gravitasjonskraft på månen, et menneske og ei bowlingkule, så er det også slik at månen, mennesket og bowlingkula virker på jorda med en like stor, og motsatt rettet kraft som det vi identifiserer som tyngdekraften på disse legemene. Det er det at N3 adresserer to forskjellige legemer som gjør at en «agent» også er «receiver», og vice versa.

Med bakgrunn i det foregående, så kan en argumentere for at det er en viss «prioritet», eller valg av «referanse», involvert i AR-prinsippet. Mer bestemt, så er det, som antydnet, fullt mulig å operere med et AR-prinsipp uten å ta i betraktning følgene av N3 (N3 gjelder selvfølgelig generelt, men en kan velge å ikke inkorporere «agent»-«receiver»-dualiteten i et AR). I praksis vil det si at man tar for seg

kreftene som virker på et enkelt legeme, der andre legemer som virker med en kraft på legemet du studerer identifiseres som «agents», og legemet en studerer som «receiver». Dersom en kun er interessert i kreftene på dette legemet, så er rollefordelingen, i et AR-synspunkt, klar. Det vil selvfølgelig være krefter fra dette legemet på andre legemer, i henhold til N3, men så lenge en konsentrerer seg om kun dette legemet, trenger en (i utgangspunktet) ikke ta hensyn til «agent»-rollen det nødvendigvis har.

Igen kan en vende tilbake til eksempelet med gravitasjonskraften fra jorda på alle legemer. Det er enklere å utelukkende tenke seg jorda som «agent», og andre, mindre legemer (mindre massive enn jorda) som «receiver». Dette fordi det er enkelt å observere gravitasjonskraften fra jorda i aksjon. Det er så enkelt som å kaste en stein – eller et annet dertil egnet legeme – oppi luften, og observere den falle til bakken. Det virker en gravitasjonskraft på steinen fra jorda – steinen «mottar» gravitasjonskraften fra jorda –, og siden gravitasjon er en tiltrekkende kraft, så «trekkes» steinen mot jorda. Tilsvarende er det veldig vanskelig å, på samme måte observere at steinen «trekker» på jorda med en like stor kraft. Basert på dette eksempelet kan en se at det ikke alltid er like opplagt at en «agent» også er «receiver», og omvendt (selv om det er tilfelle). Dette gjør ikke nødvendigvis AR-prinsippet noe dårligere, ettersom AR i dette, og andre liknende tilfeller vil vise «kursen» (altså, fra hvilket legeme, på hvilket legeme) til kraften, noe som er et hovedpoeng med AR uansett om man inkorporerer «N3-fortolkningen» eller ikke.

En kan diskutere verdien av AR, ettersom en selvfølgelig ikke er avhengig av et slikt prinsipp for å synliggjøre hvordan krefter virker mellom legemer, da dette er inneholdt i N3. Likevel har det sine sterke sider. Om en studerer et legeme som er påvirket av krefter fra andre legemer, så virker det også krefter fra dette legemet på andre legemer (N3). For å forenkle notasjonen noe, kan en kalle legemet en studerer L . De individuelle kreftene som virker fra L på andre legemer, er uavhengig av summen av kreftene på L . Slik sett er kraft ikke en «inn-ut»-størrelse (i mangel av et bedre, beskrivende begrep). Det kan være vanskelig å dra analogier til andre, familiære fysiske størrelser, men betydningen av en såkalt «inn-ut»-størrelse er at summen av kreftene (kreftene) *på* L ikke er avhengig av kreftene som virker *fra* L på andre legemer (selv om de enkelte kreftene er motsatt rettet og like store). Altså, blir ikke summen av kreftene som virker på L (kreftene som kommer «inn») verken større eller mindre som følger av at L virker med like store krefter på de andre legemene (krefter som «går ut»). Sagt på en annen måte, så kan ikke krefter balansere hverandre (i betydningen «nulle ut» eller kansellere hverandre) dersom de ikke virker på samme legeme. Kreftene på L kan således ikke balansere kreftene fra L på de andre legemene, ettersom det er snakk om krefter som virker på forskjellige legemer – krefter på forskjellige «receiver». Dette er noe som AR, og «rollefordelingen» som følger med, synliggjør, ettersom man i alle tilfeller identifiserer fra hvilket legeme kraften virker, på hvilket legeme. I tillegg kan en bytte «rollefordelingen», som beskrevet tidligere, slik at en kan studere legemene «andre veien».

Det ovennevnte kan virke som en noe hårete forklaring på et bruksområde for

AR, men i en situasjon der målet er å lære bort – det være seg undervisning i forskjellige former, også via en lærebok – så kan det være høyst reellt.

2.3.4 Friksjonskrefter

Friksjonskrefter er ikke som andre krefter, for å parafrasere Norsk Tipping og «Lotto». Det er mange grunnleggende feil ved et slikt utsagn, men på noen punkter er det også riktig. Friksjonskrefter, eller bare friksjon, opptrer de de aller fleste lærebøker i fysikk, i en eller annen form. Også i lærebøkene som er gjenstand for analyse i denne oppgaven, behandles friksjon. Det er likevel slik at friksjon tradisjonelt kan virke å være satt litt «på siden», sammenliknet med resten av innholdet i bøkene.

Friksjonskrefter representeres i mange tilfeller som «materielle» egenskaper. Med det menes at friksjon (mellom to legemer) er avhengig av hvordan disse legemene er bygd opp (f.eks. hvilket stoff de består av og hvilken struktur de har) og hvordan de «reagerer» med andre legemer av ulik oppbygning. Om en f.eks. tar for seg gravitasjonskraften fra jorda på massive legemer (tyngdekraften), så den kun avhengig av legemenes masse, og ikke hvordan de er bygd opp. Gravitasjonskraften fra jorda er like stor på en klump av rent gull på 1 kg, og en boks med suppe på 1 kg. Det spiller altså ingen rolle hvordan legemene er bygd opp (noe forenklet, selvfølgelig, men i tråd med fysikk på nivå i lærebøker i fysikk tilsvarende lærebøkene som benyttes i denne oppgaven). Om en ser på friksjonskrefter, så introduseres f.eks. friksjonskoeffisienten, i forbindelse med glidefriksjon, som en «stoffavhengig» størrelse, altså varierer friksjonskraften med hvilke stoffer det er som er i kontakt med hverandre (hvilke stoffer legemene som er i kontakt med hverandre består av). I forbindelse med friksjonskrefter spiller det altså en rolle om en er en gullklump eller en boks med suppe.

Det samme kan sies å gjelde for en annen velkjent friksjonskraft, som er luftmotstand. Luftmotstanden er nettopp det navnet antyder, «motstanden i luft». Dersom et legeme beveger seg i et annet medium enn luft (vann, f.eks.), så vil den tilsvarende «luftmotstanden» (eksempelvis «vannmotstanden») variere.

Dette er kun to (men velkjente) eksempler på hvordan friksjonskrefter er krefter som i utgangspunktet synes å være avhengig av flere variabler enn «normale» krefter, i den grad en kan skille mellom krefter på denne måten. Det er klart at en kan redusere friksjonskrefter ved å gå ned på mikronivå (molekyler, atomer), der en i større grad kan betrakte friksjonskrefter som «stoffuavhengige». Det er likevel slik at en kraft, slik krefter opptrer i f.eks. mekanikk, ofte beskrives «alene», altså uten å i utgangspunktet «redusere» kraften slik at den er bygd opp av krefter på et «lavere» nivå.

Med utgangspunkt i dette kan en se hvordan friksjonskrefter kan sies å stå litt «på siden» av presentasjonen av krefter forøvrig i lærebøkene. Dette er ikke nødvendigvis et problem, noe denne seksjonen heller ikke er ment å indikere. Likevel, så er det på sin plass å indikere hvordan friksjonskrefter kan opptre, og da spesielt i sam-

menheng med kraftbegrepet i de delene av lærebøkene som er mekanikk/mekanisk fysikk. Dette er av betydning for steg 2 av analysen, altså analysen av lærebøkene gjennom rammeverket, ettersom en med friksjonskrefter kan oppleve at kraftbegrepet ikke «passer» i noen kategorier, samtidig som en, mer eller mindre tydelig har identifisert kraft innen en, eller flere kategorier i samme kapittel. Som sagt, så skaper ikke dette noen problemer for analysen som sådan, men det er noe en som en kan være oppmerksom på.

En notis om «fart» og «hastighet» i lærebøkene

I RST og ERGO, som er beregnet på elever i den videregående skolen, refererer en til «fart» både i tilfeller der farten behandles som en skalar, og der farten er en vektorstørrelse. Eventuelt spesifiserer en hva en mener med å referere til «fartsvektoren». I fysikk på universitets- eller høgskolenivå er det utbredt (om ikke de facto) å omtale vektorstørrelsen som «hastighet», og der fart refererer til verdien (absoluttverdien) av hastigheten. Sagt på en annen måte, så er det slik at \vec{v} = «hastighet», mens $v = \|\vec{v}\| = \sqrt{\vec{v} \cdot \vec{v}}$ = «fart». Når det er sagt, spiller forsåvidt begrepsbruken en sekundær rolle, så lenge det er tydelig hva en refererer til.

I VGS-bøkene er det altså slik at en benytter «fart» i begge tilfeller, men det det er i stor grad forståelig ut i fra konteksten hva bøkene mener. I tilfellet med RST og ERGO er det i innholdsanalysen (gjennomgangen av bøkene, se kapittel 3) tatt hensyn til bruken av «fart» og «fartsvektor», og derfor benytter en disse også i innholdsanalysen, til fordel for å «oversette» til «hastighet».

Kapittel 3

Innholdsanalyse: Kraftbegrepet i lærebøkene

I dette kapitlet presenteres resultatet av innholdsanalysen av lærebøkene i fysikk – ERGO og RST –, som en gjennomgang av innholdet i de lærebøkene. En slik gjennomgang er viktig av flere årsaker. Først og fremst er det viktig for å bli kjent med hva som faktisk står i bøkene, dvs, innholdet. Dernext, så bidrar det å studere bøkene kapittel for kapittel til å skaffe en oversikt over hvordan stoffet i bøkene presenteres, både i bøkene for seg selv, men også på tvers av bøkene, noe som gir rom for sammenlikning. Man blir også kjent med det man kan kalle «stilen» til bøkene. Med dette menes bøkens struktur eller oppbygging, spesielle formuleringer eller definisjoner som benyttes, mer eller mindre konsekvent.

I gjennomgangen av bøkene har det selvfølgelig vært fokus på kapitler eller deler i bøkene der kraftbegrepet står sentralt, men for å få et mest mulig helhetlig bilde av lærebøkene er alle kapitlene analysert. Likevel har analysen hatt fokus på mekanikk-kapitler, ettersom det er i forbindelse med disse kapitlene kraftbegrepet er mest vesentlig. Dersom en f.eks. ser til kapitlene i elektrisitet og magnetisme i lærebøkene, så kan en argumentere for at begrepet (og konseptet) «felt» i større grad enn «kraft» fremstår som sentralt. Feltbegrepet i seg selv er derimot ikke gjenstand for noen videre analyse, ettersom det er kraftbegrepet som først og fremst er sentralt i denne oppgaven.

På bakgrunn av dette presenteres ikke innholdsanalysen av alle kapitlene i de forskjellige lærebøkene her, ettersom det er kapitler i de forskjellige bøkene der det er vanskelig å relatere innholdet direkte til oppgaven. Det er ikke nødvendigvis slik at disse kapitlene (eller deler av disse kapitlene) ikke kan relateres til konseptet kraft i det hele tatt, for det er, til en viss grad mulig. Men, ettersom en finner at bøkene i liten, eller ingen grad snakker om kraft i forbindelse med det som er tema i disse kapitlene, er det valgt å ikke presentere innholdsanalysen av disse. Der det er kapitler med innhold som er relevant, men begrenset i omfang, vil gjennomgangen av disse naturlig nok være kortere, i forhold til kapitler som i større grad behandler kraft.

Det er valgt å presentere læreverkene hver for seg, kapittel for kapittel, i samsvar med kapittelrekkefølgen i bøkene. Dette har sammenheng med at lærebøkene ble lest/gjennomgått med kapitlene i nummerert rekkefølge (se forøvrig kapittel 2). På denne måten blir innholdet i verkene presentert med en klar struktur, noe som bidrar til større grad av oversikt i det innholdet i lærebøkene senere skal analyseres. Oversikt over alle kapitlene i lærebøkene gis i tabellform i innledningen til gjennomgangen av hver lærebok.

RST har en mindre tydelig oppdeling av kapitlene i underkapitler/delkapitler enn ERGO, i den forstand at delkapitlene ikke er nummerert eller har en egen «nøkkel» (nummer, bokstav, etc.). I stedet er kapitlene inndelt i forskjellige, tydelige overskrifter som markerer tema for den neste «delen» (tilsvarende et delkapittel). Et eksempel på en slik overskrift kan være «Newtons 3. lov», mens et tilsvarende delkapittel i ERGO ville vært på formen «3A: Newtons 3. lov». En slik oppdeling av kapitlene i RST gjør at gjennomgangen av RST i utgangspunktet kan virke en tanke mindre strukturert enn tilsvarende gjennomgang av ERGO (selv om sidetall er oppgitt der det er på sin plass). I gjennomgangen er det forsøkt å markere tydelig hvilken del av boken det til et hvert tidspunkt er som gjennomgås, ved å referere til delene i kapitlene i RST som «delkapittel», «overskrift», eller bare «del».

3.1 «Rom Stoff Tid: Fysikk 1»

I de tre første kapitlene i RST-1, «Velkommen til fysikk», «Lys og bølger» og «Kvanter og atomer», er ikke krefter nevnt noen plass. En kan heller ikke finne at det er beskrivelser eller eksempler som inneholder informasjon som kan relateres til fenomenet kraft. Dette må sees i sammenheng med rekkefølgen i kapitlene i RST-1, der kapitler innen moderne fysikk kommer før en behandler klassisk fysikk/klassisk mekanikk. Hvis intensjonen er den at boken skal leses kronologisk så kan det være forståelig at man ikke tar for seg noen aspekter ved krefter i disse kapitlene ettersom påfølgende kapitler behandler krefter i større grad.

Kapittel 1 «Velkommen til fysikk» er et innledningskapittel som beskriver fysikkfaget og hva fysikk er, samt kort presenterer noen sentrale begreper i naturvitenskapelig metode.

Kapittel 2 «Lys og bølger» tar for seg svingninger og forskjellige bølgefenomener (f.eks. interferens), og relaterer dette til elektromagnetisk stråling i det en presenterer også bølgemodellen for lys. I kapittel 3 «Kvanter og atomer» følger en opp bølgemodellen for lys fra kapittel 2, og ser nå på partikkelmodellen for lys. En behandler også Bohrs atommodell, samt ser på emisjon og absorpsjon, som følge av kvantiseringen av elektromagnetisk stråling.

Som det fremgår i dette kapittelet, så er det valgt å ikke presentere kapitlene 10 og 12, hhv. «Astrofysikk» og «Halvlederteknologi». Dette er gjort fordi en ikke kan finne at kraftbegrepet behandles i noen særlig grad i disse kapitlene. Kapitlene er altså bygd opp på en slik måte at kraft ikke fremstår som en sentral del i de «tema» som tas opp i kapitlene. I kapittel 10 «Astrofysikk» er kapitlet i stor grad dedikert til å se på utviklingen og livssyklusen til stjerner, samt klassifisering av stjerner. I kapittel 12 «Halvlederteknologi» ser en på halvledere, og går i dybden på teknologier som i stor grad er avgjørende for den teknologien en benytter i dagens samfunn, og der halvlederteknologien er høyst sentral.

Oversikt over kapitlene i RST-1 [28]

Kapittel	Beskrivelse	Antall sider
Kapittel 1: «Velkommen til fysikk»	Hva studerer vi i fysikken? Modeller og hypoteser.	4 (s. 8–11)
Kapittel 2: «Lys og bølger»	Klassisk bølgefysikk og bølgefenomener. Lys som bølger.	24 (s. 12–35)
Kapittel 3: «Kvanter og atomer»	Lys som partikler, fotoner. Kvantisering, Bohrs atommodell, emisjons-/absorpsjonsspekter.	20 (s. 36–55)

Kapittel 4: «Kjernefysikk»	Fire grunnleggende krefter. Oppbygning av atomkjernen. Fisjon og fusjon.	20 (s. 56–75)
Kapittel 5: «Bevegelse»	Posisjon, fart, akselerasjon. Bevegelseslikninger ved konstant akselerasjon.	28 (s. 76–100)
Kapittel 6: «Kraft og bevegelse»	Krefter. Tyngdekraft. Newtons lover. Krefter og bevegelse.	26 (s. 104–129)
Kapittel 7: «Arbeid og energi»	Arbeid. Kinetisk og potensiell energi. Energibevaring.	28 (s. 130–157)
Kapittel 8: «Naturvitenskapen fysikk»	Vitenskapshistorie. Vitenskap, arbeidsmetode og objektiv kunnskap. Alternative forklaringer.	18 (s. 158–175)
Kapittel 9: «Termofysikk»	Temperatur og indre energi. Termofysikkens 1. og 2. lov. Stråling.	28 (s. 176–203)
Kapittel 10: «Astrofysikk»	Melkeveien, vår plass i universet. Klassifisering og dannelse/død av/for stjerner.	28 (s. 204–231)
Kapittel 11: «Elektrisitet»	Elektriske krefter. Ladning, spenning, strøm, kretslære, energi og spenning.	36 (s. 232–267)
Kapittel 12: «Halvlederteknologi»	Halvledere, dioder, transistorer, sensorer.	16 (s. 268–283)
Kapittel 13: «Kosmologi»	Universets ekspansjon, Hubbles lov, «Big Bang»-teorien, bakgrunnsstråling, mørk materie/energi.	18 (s. 284–301)

Tabell 3.1: Oversikt over hvilke kapitler som utgjør RST-1. Antall sider inkluderer sider med oppgaver og ev. «introduksjonssider» til enkeltkapitler.

3.1.1 Kapittel 4: «Kjernefysikk»

I begynnelsen av dette kapitlet finner vi bolken «De grunnleggende kreftene i naturen» [28, s. 59]. En tabell oppsummerer de fire kjente naturkreftene, deres relative styrke i forhold til hverandre, og i hvilket domene disse kreftene virker. RTS-1 behandler svak kjernekraft og sterk kjernekraft i tekstlig form. Som forventet omtales disse to naturkreftene som, nettopp, krefter. Begrepet kraft er sannsynligvis kjent for de fleste fra naturfag, samtidig som den naturvitenskapelige betydningen har en viss forankring i dagligtalen gjennom f.eks. terminologi som «tyngdekraft».

Ved å omtale svake og sterke kjernekrefter som «krefter», og ikke «vekselvirkning», unngår man de komplikasjoner det medfører å måtte nevne og gå inn på teori i partikkelfysikk og subatomær fysikk. Selv om fotonet er presentert i kapittel 3, så nevnes det ikke noe om rollen til fotonet i den elektromagnetiske vekselvirkningen.

På samme måte presenteres ikke gluoner eller W- og Z-bosonet, som er bærere (force carriers) i henholdsvis sterk og svak vekselvirkning. Likevel, om man går ut av det subatomære domenet så er jo konseptet bak disse vekselvirkningene relativt likt med det man til daglig kan observere av krefter og kraft-fenomener. Mellom legemer med masse virker det gravitasjonskrefter, og legemer med elektrisk ladning tiltrekker eller frastøter hverandre. Spesielt den sterke vekselvirkningen, som resulterer i det som kalles sterk kjernekraft, lar seg beskrive ved en slik analogi. Det gjør da også RST-1 i det man beskriver sterk kjernekraft som en kraft som virker på svært korte avstander ($\sim 10^{-15}$ m). På disse avstandene er den så sterk at den «overvinner» den frastøtende kraften mellom protonene, som skyldes elektrisk ladning.

[...] inne i atomkjernene er det den sterke kjernekraften som virker mellom nabonukleonene og sørger for at protoner og nøytroner holdes sammen. [28, s. 59]

Det er altså den sterke kjernekraften som holder nukleonene i en atomkjerne sammen. Således fremstår den sterke kjernekraften veldig lik den elektromagnetiske kraften, ettersom det i begge tilfeller er snakk om en type tiltrekningskraft. RST-1 spesifiserer i tabellen [28, s. 59] at den sterke kjernekraften virker mellom kvarker.

Når det kommer til den den svake kjernekraften, så kan man i langt fra like stor grad sammenlikne denne vekselvirkningen med observerbare fenomener (effekter) relatert til andre krefter. Altså, er det vanskeligere å få den svake vekselvirkningen til å passe med en tilsvarende analogi som for den sterke vekselvirkningen. I RST-1 fremstilles svak kjernekraft bla. i tabell [28, s. 59] som følger:

En kraft som virker når enkelte elementærpartikler blir omdannet til andre partikler (f.eks. ved β -stråling). [28, s. 59]

Altså er en av hovedtrekkene ved den svake kjernekraften at det er en kraft som virker i forbindelse med at elementærpartikler omdannes til andre partikler. RST-1 eksemplifiserer dette kort historisk ved å referere til Rutherfords teorier, der en til slutt konkluderte med at det måtte eksistere en grunnleggende naturkraft som var ansvarlig for at et nøytron kunne omdannes til et proton og et elektron, sammen med et nøytrino. En presiserer også at denne naturkraften fikk navnet «svak kjernekraft» fordi den er mye svakere enn den sterke kjernekraften og har enda kortere rekkevidde. I tabellen [28, s. 59] representeres den sterke kjernekraften som størrelsesorden 10^6 ganger sterkere enn den svake kjernekraften.

Beskrivelsen av den svake kjernekraften som en kraft er altså noe vag og diffus, noe som er forståelig. Det kan være vanskelig å se hvordan denne korte beskrivelsen av svak kjernekraft kan settes i sammenheng med de egenskapene som tillegges krefter i andre kapitler. Men, så er kanskje ikke det heller intensjonen.

3.1.2 Kapittel 5: «Bevegelse»

Kapittel 5 dreier seg i all hovedsak om å introdusere størrelsene posisjon, fart og akselerasjon. Dette er grunnleggende størrelser i mekanikk. Enn så lenge så venter RST-1 med å blande inn kraftbegrepet, og RST-1 nevner heller ikke kraft i kapitlet. Det som derimot er av interesse er *hvordan* man velger å presentere disse størrelsene. Spesielt interessant er akselerasjon, siden akselerasjon er direkte relatert til kraft gjennom bl.a. Newtons 2. lov, som blir behandlet i kapittel 6 i RST-1 (se avsnitt 3.1.3 om kap. 6 i RST-1).

RST-1 har i kapittel 5 definert posisjonen til et legeme som legemets avstand fra origo, i et valgt referansesystem, ved et tidspunkt t . Forflytningen til et legeme er definert som endringen i posisjonen til et legeme innenfor et tidsintervall. RST-1 bruker et hundremeterløp som eksempel for definisjonen sin:

Vi skal se nærmere på et bestemt hundremeterløp. Vi følger en løper, og måler avstanden s fra startstedet O . Denne avstanden kaller vi *posisjonen* til løperen. Vi velger *positiv retning* som vi angir med en pil på s -aksen. Her har vi valgt bevegelsesretningen som positiv retning. [...] Med *forflytningen* Δs i et tidsintervall $[t_1, t_2]$ mener vi endringen av posisjonen i dette tidsintervallet:

$$\Delta s = s_2 - s_1$$

der s_1 og s_2 er posisjonene ved tidspunktene t_1 og t_2 . [28, s. 78]

I forbindelse med posisjon tar RST-1 også kort opp vektorstørrelser som størrelser som har en retning, til forskjell fra skalarer. RST-1 identifiserer posisjon og forflytning som vektorer:

Posisjon og forflytning er eksempler på vektorstørrelser. Foruten verdi og enhet må vi også kjenne retningen før en vektorstørrelse er fullstendig gitt. [28, s. 79]

Om fart sier RST-1 følgende:

I dagligtalen bruker vi ordet fart om hvor rask en bevegelse er. Hvis et legeme flytter seg 2 m på ett sekund, er farten 2 m/s, og hvis den samme forflytningen tar et halvt sekund, er farten dobbelt så stor, 4 m/s. Når vi snakker om fart, tenker vi altså på *forflytning per tid*. SI-enheten for fart er m/s. [28, s. 82]

Dernest definerer RST-1 gjennomsnittsfart som forflytningen i et tidsintervall, før en definerer momentan fart:

Momantanfarten v er lik den deriverte av posisjonen s med hensyn på tida t . Momantanfarten er derfor lik stigningstallet til tangenten til posisjonsgrafene.

$$v = s'(t)$$

[28, s. 83]

RST-1 introduserer akselerasjon som en størrelse som sier noe om hvor raskt farten endrer seg:

Vi trenger et mål for hvor *raskt* farten endrer seg. Den størrelsen vi da bruker er fartsendring per tid, det vi kaller *akselerasjon* [...] [28, s. 88]

Mens fart altså er (i dagligtalen) et mål på hvor rask en bevegelse er, så sier akselerasjonen hvor raskt farten endrer seg.

Rent matematisk introduseres akselerasjon ganske enkelt som endring i fart per tid. Man definerer gjennomsnittsakselasjon som fartsendringen Δv i et gitt tidsintervall Δt , slik at $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$. Videre definerer man momentanakselerasjonen som gjennomsnittsakselasjonen i et tidsintervall $\Delta t \rightarrow 0$, og ved å studere denne grenseverdien finner man at momentanakselerasjonen er lik den deriverte av farten:

$$a = v'(t) \qquad \text{ev.} \qquad a = \frac{dv}{dt}$$

Mer bestemt, så gir RST-1 følgende definisjon av akselerasjon (momentanakselerasjon):

Momentanakselerasjonen a er lik den deriverte av farten v med hensyn på tida t . Momentanakselerasjonen er derfor lik stigningstallet til tangenten til fartsgrafene.

$$a = v'(t)$$

[28, s. 89]

Til slutt i kapittelet tar RST-1 for seg tilfeller der akselerasjonen er konstant, og utleder bevegelseslikningene for konstant akselerasjon. En ser også på tilfellet fritt fall.

I kapitelsammendraget nevner RST-1 at alle størrelsene posisjon, fart og akselerasjon er vektorstørrelser:

Størrelsene s , v og a er vektorstørrelser, dvs. størrelser som har både størrelse og retning i rommet. Når det er rettlinjet bevegelse, kan vi innføre en positiv retning. Da kan vi vise retningen til vektorstørrelsene ved hjelp av fortegn. [28, s. 99]

3.1.3 Kapittel 6: «Kraft og bevegelse»

Mens kapittel 5 (se avsnitt 3.1.2 om kap. 5 i RST-1) heter «Bevegelse», heter det etterfølgende kapittelet – kapittel 6 – «Kraft og bevegelse», noe som impliserer at «kraft» er noe som legger til en ny dimensjon i studiet av bevegelse. Allerede i innledningen presiseres det at kraft ikke er noe man må ta lett på:

I fysikk er kraft et svært viktig begrep. Begrepet og størrelsen kraft må derfor beskrives helt presist i vårt fag. Det er noe av det vi skal gjøre i dette kapittelet. [28, s. 105]

I denne innledningen forklarer RST-1 kort hvordan dette kapitlet henger sammen med det forrige (kapittel 5):

I forrige kapittel studerte vi hvordan vi kan beskrive og måle bevegelse, uten å tenke på kreftene bak bevegelsen. I dette kapitlet er det nettopp kreftenes sammenheng med bevegelse vi skal ta for oss. [28, s. 105]

Videre sies det i innledningen at Newtons lover kan stride mot den intuitive oppfatningen man bærer med seg fra hverdagen, men at om man bare makter å tenke litt annerledes er belønningen stor.

Den intellektuelle gleden ved å forstå kraftbegrepet og Newtons lover er neppe mindre for deg enn den var for Isaac Newton for 300 år siden. [28, s. 105]

Det er interessant at man allerede i innledningen presiserer, på en ganske direkte måte, at kapitlet blant annet har som formål å forklare både størrelsen og begrepet kraft helt presist. Samtidig gis det nesten en lovnad om at man skal kunne greie å forstå kraftbegrepet, altså hva en kraft er, på bakgrunn av dette kapitlet.

Man skal selvfølgelig ikke legge for stor vekt på det som blir sagt i en slik innledning, da den gjerne brukes som en motiverende faktor i forkant av det som kan regnes som selve fagstoffet (pensum). Likevel er det interessant å se hvordan man har valgt å formulere seg, og ikke minst om man greier å nå opp til de målene som blir satt i innledningen til kapitlet.

Gjør man seg ferdig med innledningen, åpner selve kapitlet følgende påstand:

En kraft er en vekselvirkning mellom *to legemer*. [28, s. 106]

Legg merke til at man her har valgt å benytte seg av ordet «vekselvirkning», mens man i f.eks. omtalen av svak- og sterk kjernekraft i kapittel 4 (se 3.1.1 for kapittel 4 i RST-1) unngikk å bruke ordet for (kanskje) å unngå unngå unødvendige komplikasjoner. Videre følger det en utdyping om hvorfor ordet «vekselvirkning» er valgt for å beskrive en kraft:

Med det mener vi at to legemer kan påvirke hverandre slik at de *endrer* fart eller *endrer* form. Dessuten er det slik at et legeme som blir påvirket av en kraft fra et annet legeme, virker tilbake på dette legemet med en annen kraft. [28, s. 106]

Foruten denne forklaringen går ikke RST-1 mer i dybden på begrepet «vekselvirkning» i forbindelse med krefter. Det er dog tydelig at man tenker seg en slags «gjensidig virkning» mellom (to) legemer, der legemene kan påvirke hverandre slik at de endrer fart og/eller form. Om man slår opp i ordforklaringene bakerst i boken, står det under «vekselvirkning»:

Krefter virker alltid mellom to legemer – de er gjensidige påvirkninger. [28, s. 309]

En kraft blir altså beskrevet som en mellomlegemlig interaksjon, hvis egenskap er at denne interaksjonen (kraften/kreftene) kan endre form eller fart på/til et eller begge legemene. Det som er interessant her er at begrepet «vekselvirkning» benyttes til å definere en kraft, i det man ønsker å beskrive oppførselen til en kraft – hva gjør en kraft og hvilke egenskaper har den?

Like etter at man har presentert hva en kraft er, følger en oppsummering som tar for seg sentrale elementer ved krefter:

1. En kraft virker alltid *fra* et legeme *på* et annet, altså er det alltid *to* legemer involvert.
2. Et legeme som blir påvirket av en kraft fra et annet legeme, virker tilbake på dette legemet med en kraft.
3. En kraft kan endre farten og/eller endre formen til et legeme.

[28, s. 106]

En ting man kan legge merke til er punkt 1 antyder en «Agent-receiver»-fortolkning (AR) av hvordan en kraft virker. Altså, gitt to legemer, A og B, som vekselvirker med hverandre. Fra A virker det en kraft på B. A blir da «agent», mens B blir «reciever». En kan tenke seg at B på en måte «mottar» en kraft fra A (derav «reciever»). Det som potensielt kan skje når B «mottar» denne kraften er at B endrer fart og/eller form. I punkt 2 over gjøres imidlertid denne «agent-reciever»-prosessen symmetrisk, i den forstand at det fra B virker en kraft på A. Altså «mottar» A en kraft fra B på samme måte, slik at det nærmest er snakk om en «dobbeltrolle».

RST-1 beveger seg så over til enheten for kraft, og måling av krefter. RST-1 introduseres sammen med et eksempel for å illustrere hvor mye en newton er:

Enheten for kraft er *newton*. Symbolet for newton er N. Et eksempel: Den kraften som skal til for å løfte en stabel med 10 kg fysikkbøker, kan vi skrive slik:

$$F = 100 \text{ N}$$

[8, s. 106]

Innimellom dette tar RST-1 opp fjernkrefter og kontaktkrefter, som en inndeling av krefter i to forskjellige kategorier:

Fjernkrefter er krefter som virker på avstand, dvs. uten at det er noen synlig forbindelse mellom legemene. Tyngdekraften er en slik kraft. Andre fjernkrefter er elektriske krefter og magnetiske krefter.

Alle andre krefter opptrer der to legemer kommer i berøring med hverandre, og bare der. De blir kalt kontaktkrefter. [8, s. 109]

I den siste delen av delkapittelet (overskriften) «Krefter», presenterer RST-1 hvordan en kan måle krefter:

I fysikk må vi kunne *måle* krefter. Når vi skal måle krefter, må vi utnytte en av de egenskapene som krefter har: evnen til å forandre farten eller til å endre formen til et legeme. [28, s. 109]

Videre sier RST-1 at man «definerer enheten for kraft ut fra den evnen krefter har til å endre bevegelse.» [28, s. 109] Dette betyr med andre ord at hvordan vi måler kraft er bestemt av hvilke egenskaper en kraft har, hvordan den opptrer eller hva den «gjør». Dersom man ser tilbake på introduksjonen RST-1 gir til enheten newton, så ser en at det krever en kraft på 100 N for å løfte 10 kg fysikkbøker, noe som illustrerer hvordan enheten til kraft henger sammen med hva en kraft kan «gjøre».

Så følger en del om Newtons 3. lov (N3), der overskriften til avsnittet lyder: «Vekselvirkning mellom legemer: Newtons 3. lov». [28, s. 110] Verdt å merke seg er at RST-1 velger å presentere N3 først av Newtons lover, for deretter å ta for seg N1 og N2 (ERGO-1, se 3.2, presenterer til sammenlikning Newtons lover i «stigende rekkefølge»). RST-1 begrunner dette valget på følgende måte:

Det kan virke rart å ta Newtons 3. lov først og ikke begynne med Newtons 1. og 2. lov. Men som du skal se, er Newtons 3. lov viktig for å forstå selve kraftbegrepet bedre før vi går løs på de to andre lovene. [28, s. 110]

Innholdet i N3 er altså av en slik art at det er viktig for forståelsen av kraftbegrepet, som igjen henger sammen med hvordan man forstår de to andre av Newtons lover. Altså er det konseptuelt viktig å ta innover seg innholdet i N3 om man ønsker å forstå hva en kraft er – om det er det som menes når RST-1 sier «forstå selve kraftbegrepet».

Siden Newtons 3. lov handler om krefter, og hvordan de virker i forhold til hverandre, så er det interessant at man velger å introdusere dette som «vekselvirkning mellom legemer». En bygger altså videre på den karakteristikken av krefter som ble presentert i introduksjonen til dette kapittelet. En gjentar sogar påstanden fra helt i begynnelsen av kapittelet – der en beskriver hva en kraft er – og utfyller med hvordan N3 relateres til dette:

Krefter har alltid med *to* legemer å gjøre. *Kraft er en vekselvirkning mellom to legemer.* Det er *det* Newtons 3. lov handler om. Det Newton forstod, var at for ethvert kraftpar mellom to legemer måtte kraften og motkraften alltid ha samme verdi, men motsatt retning. [28, s. 110]

Videre i delen om N3 presenterer RST-1 flere eksempler som forsøker å konkretisere innholdet i N3, og da også begrepet vekselvirkning. Det kan virke som om en ikke utdyper videre om hva som ligger i begrepet vekselvirkning, annet enn at det dreier seg om hvordan to legemer påvirker hverandre. Det er nå uansett en gang slik at disse eksemplene godt illustrerer kjernen i N3. Eksemplene bidrar også til å forklare hvordan en kraft er en vekselvirkning, da det fastslås også at krefter «alltid har med to legemer å gjøre». [28, s. 110].

Når det gjelder disse eksemplene som RST-1 presenterer i forbindelse med N3, så er det en ting man kan observere. Det kan virke som om man på en måte nøytraliserer «agent-reciever»-konseptet litt. RST-1 skriver i forbindelse med et typisk «hammer-og-spiker»-eksempel:

[...] Dette er et eksempel på et kraft-motkraft-par. Det er ingen kvalitetsforskjell på kreftene. Den ene kalles kraft (samme hvilken) og den andre kalles motkraft, og de virker på hvert sitt legeme. [28, s. 110]

Man sier med andre ord at det ikke spiller noen rolle hvilket legeme som «får» (er «reciever») og hvilket som «gir» (er «agent»). En kan altså fortsatt kan identifisere både «agent» og «receiver» i en kraft, men N3 forteller at en like gjerne kan «snu på flisa», uten at det endrer noe som helst.

Etter et par andre tilsvarende eksempler, og før delkapittelet om N3 avsluttes med et litt mer detaljert eksempel, formulerer RST-1 N3 slik:

Når et legeme A virker på et legeme B med en kraft F, vil alltid B virke tilbake på A med en like stor og motsatt rettet kraft F'.

$$F' = F$$

[28, s. 111]

En vil altså aldri finne en kraft som virker alene (krefter opptrer i par). Det vil si, en kraft kan virke alene på et legeme, men man vil alltid finne en annen, motsatt rettet og like stor kraft, som virker på det første legemet. Dette er også noe RST-1 poengterer etter å ha formulert N3:

Kraft og motkraft virker alltid på *hvert sitt av de to legemene*. Merk deg også at Newtons 3. lov gjelder enten legemene er i ro eller i bevegelse, enten de har stor eller liten akselerasjon. [28, s. 111]

RST-1 fastslår dermed at N3 sier oss at uansett når og under hvilke forhold en kraft virker, så vil det være en motkraft til denne kraften.

Neste del i kapittel 6 har overskriften «Tyngdekrefter», der tyngdekraften (tyngden) eller gravitasjonskraften presenteres. RST-1 skiller mellom hvordan man bruker begrepene tyngdekraft og gravitasjonskraft:

Tyngdekraften, eller *tyngde*, som vi ofte sier, er en velkjent kraft for oss alle. [...] I dag vet vi at det er jorda som trekker alle legemer som har masse til seg. [...] Denne universelle tiltrekningskraften mellom alle legemer som har masse, kalles *gravitasjonskraft*. Når vi snakker om gravitasjonskraften fra store legemer, f.eks. jorda, månen og andre himmellegemer, kaller vi denne kraften også ofte for *tyngdekraft*. [28, s. 112]

Enkelt sagt kan en tolke det dithen at en velger en å reservere termen «tyngdekraft» til gravitasjonskrefter fra store legemer, som f.eks. jorda, på andre, mindre (mindre massive) legemer (som skyskraper, mennesker og kaffekopper). Dermed er det slik at man snakker om kraften som jorda «trekker» på en kaffekopp med

– gravitasjonskraften fra jorda på kaffekoppen – som tyngden til kaffekoppen, eller tyngdekraften på kaffekoppen. Derimot, om to kaffekopper står på et bord, så snakker man om gravitasjonskraften mellom kaffekoppene (siden alle massive objekter «trekker» på (tiltrekker) hverandre). Kaffekoppene har selvfølgelig hver sin tyngde, siden jorda «trekker» på begge koppene, men man snakker ikke om tyngdekraften på den ene kaffekoppen fra den andre kaffekoppen (og vice versa), men gravitasjonskraften. Selv om RST-1 presiserer at fenomenet er det samme, så forholder en seg til denne «dagligdagse» konvensjonen og skiller mellom å bruke tyngdekraft og gravitasjonskraft, alt etter hvilke legemer som inngår.

I forbindelse med tyngdekrefter introduserer også RST-1 begrepet «felt»:

Det var Newton som satte fram det som den gangen var en dristig påstand: at samme type kraft, gravitasjonskraften, virker mellom *alle* legemer, både mellom jord og måne og mellom for eksempel to steiner. Denne generelle gravitasjonsloven skal vi ikke ta for oss her. Vi sier bare at det i området rundt jorda er et *gravitasjonsfelt*, et *tyngdefelt*. Med det mener vi at legemer som er i dette området, blir påvirket av tyngdekraften fra jorda. [28, s. 112]

Gravitasjonsfeltet tilhørende jorda er altså et «område» som er slik at alle legemer innenfor dette området påvirkes av jordas gravitasjonskraft – det virker en tyngdekraft på legemene fra jorda (derav «tyngdefelt»).

Videre definerer RST-1 feltstyrke ved å se på forholdet mellom tyngdekraften på et legeme, G og legemets masse, m . Man finner at dette forholdet, $\frac{G}{m}$, er konstant uansett om massen øker – tyngdekraften øker om massen øker.

Tyngdekraften på et legeme er altså proporsjonal med massen. Proporsjonalitetskonstanten har symbolet g . Verdien av g forteller hvor sterkt tyngdefeltet er, og vi kaller derfor g for *feltstyrken* på stedet. [28, s. 112–113]

RST-1 spesifiserer samtidig at verdien av g på jorda varierer litt fra sted til sted (hvor man befinner seg på jorda; ved ekvator, ved polene, etc.), samt at g varierer med hvor høyt over jordoverflaten man befinner seg. Verdien $g = 9,81 \text{ N/kg}$ er verdien man opererer med i boken. Det slås også fast at forholdet $\frac{G}{m}$ er konstant i alle gravitasjonsfelt, bare at g tar andre verdier i andre gravitasjonsfelt. RST-1 kommer senere tilbake til feltstyrken, g , og utleder at akselerasjonen til et legeme i fritt fall er $a = g$, altså uavhengig av massen. [28, s. 120–121]

Til slutt i denne delen gir RST-1 en «definisjon» (en uthevet tekstboks markert med «Tyngdekraft») av tyngdekraft:

Tyngdekraften G på et legeme i et tyngdefelt der feltstyrken er g , er gitt ved

$$G = mg$$

der m er massen til legemet. [28, s. 113]

RST-1 går videre med Newtons lover i det man kommer til overskriften «Sammenhengen mellom krefter og bevegelse: Newtons 1. og 2. lov». Overskriften antyder det samme som navnet på selve kapittelet, nemlig at kraft og bevegelse er to fenomener svært nært knyttet til hverandre. I forrige del – delen om N3 – presiserte RST-1 at N3 var viktig for forståelsen av begrepet kraft, noe som igjen var viktig for å kunne gå videre med Newtons lover. Overskriften til denne delen av kapittel 6 antyder på bakgrunn av dette at begrepet kraft er viktig for å kunne forstå bevegelse.

RST-1 starer denne delen (delkapittelet) med Newtons 1. lov (N1), som formuleres slik:

Et legeme fortsetter i sin tilstand av ro eller i sin tilstand av bevegelse med konstant rettlinjet fart så lenge krefter ikke tvinger det til å endre denne tilstanden.

$$\sum F = 0 \quad \text{når} \quad v = \text{konstant}$$

[28, s. 114]

Verdt å merke seg ved denne formuleringen av N1 er formuleringen «eller i sin tilstand av bevegelse med konstant rettlinjet fart». Her er det altså farten som beskrives som rettlinjet og konstant, ikke en rettlinjet bevegelse med konstant fart.

I etterkant av N1 presenterer RST-1 kort begrepet treghet, og hvorfor N1 også kalles «Treghetsloven»:

Newtons 1. lov er et uttrykk for den egenskapen ved alle legemer som vi kaller treghet. Loven blir derfor også kalt *treghetsloven*. Alle legemer er trege og vil i utgangspunktet «beholde» sin bevegelsestilstand. [28, s. 114]

Rett i forkant av dette gir RST-1 et eksempel for å illustrere hva N1 og treghet innebærer [28, s. 114]. Eksempelet omhandler en snøball som kastes mot deg, og dersom du dukker unna (trekker deg ut av snøballens bane) vil snøballen fortsette. Dersom du ikke rekker å dukke unna, så treffer snøballen deg, og således endres snøballens bevegelsestilstand. Snøballen stopper i deg, noe som innebærer at krefter virker. Snøballen virker med en kraft på deg, og du virker med en kraft på snøballen (i samsvar med N3), der det er snøballens kraft på deg (kraften fra deg på snøballen er «bremsekraften») som gjør at du kan føle (mer eller mindre smertefullt) at snøballen stopper. Siden dette eksempelet kommer opp i forbindelse med N1, så kan en tenke seg at det er et eksempel der N1 gjelder. RST-1 nevner dog ikke at tyngdekraften virker på snøballen, så selv om du rekker å dukke, så vil tyngdekraften endre bevegelsestilstanden til snøballen slik at den til slutt «stopper» i bakken (treffer bakken; ingen har vel noensinne greid å kaste en snøball rett frem uten at den treffer bakken). Nå er selvfølgelig dette eksempelet konstruert slik for å illustrere betydningen av N1 med utgangspunkt i en situasjon de fleste har erfaring med, og det kan være tatt hensyn som gjør at en slik diskusjon vedrørende N1 og dette eksempelet ikke er med.

RST-1 går så videre til Newtons 2. lov (N2), der man, etter å ha studert tilfeller der summen av kreftene er null, spør seg hva som skjer dersom summen av kreftene er forskjellig fra null. N2 er «svaret», og loven som beskriver tilfeller der $\sum F \neq 0$. RST-1 formulerer så N2, og legger til at «I skolefysikken er det vanlig å formulere den slik»:

Summen av kreftene på et legeme er lik produktet av legemets masse m og akselerasjonen a :

$$\sum F = ma$$

Kraftsummen og akselerasjonen har samme retning. [28, s. 117]

Det at RST-1 formulerer N2 slik den, etter sigende, er vanlig å formulere i skolefysikken, impliserer at N2 har andre formuleringer i fysikken «utenfor» skolefysikken, som kanskje bidrar til en annen type innsikt enn formuleringen i RST-1. Skolefysikk eller ei, N2 på denne formen er sannsynligvis den mest utbredte i læreverk i fysikk på dette nivået.

Om en ser på hvordan RST-1 har definert akselerasjon (som endringen av farten i et visst tidsintervall; stigningstallet til fartsgrafene), så er det tydelig at N2 sier noe om sammenhengen mellom kreftene som virker på et legeme, og hvordan farten til legemet endrer seg. RST-1 illustrerer dette nærmere i et par eksempler. Det ene eksempelet innebærer et tenkt scenario der man skyver i gang en bil:

[...] Bilen står først stille, men får akselerasjon når du begynner å skyve på den. Årsaken er kraftsummen på bilen: Du skyver med en kraft på bilen som er større enn friksjonskreftene. Når broderen [bilens eier] slipper ut clutchen for å få liv i motoren, avtar farten fordi kraftsummen på bilen er mindre. Friksjonskreftene er nå blitt større enn skyvekraften din. [28, s. 117]

RST-1 forsetter med flere, mer detaljerte eksempler av denne typen, der N2 brukes for å regne ut akselerasjonen til legemer. I mellom disse eksemplene påpeker RST-1 en detalj som har med «Uavhengighetsprinsippet» å gjøre (RST-1 har forklart dette prinsippet i forkant av N2). Dersom det er slik at summen av kreftene på et legeme er null i en retning, så er det ingen akselerasjon i den retningen (N2 gir at akselerasjonen i denne retningen må være null; N1 gir tilsvarende at farten i denne retningen må være konstant, slik at akselerasjonen er null). I RST-1 dreier det seg om en curlingstein som glir på et underlag. Siden kreftene i vertikal retning balanserer hverandre, så er $\sum F_{\text{vertikal}} = 0$.

Siden summen av disse kreftene er null (ingen akselerasjon i vertikal retning), har de ikke noen betydning for bevegelsen, og vi ser bort fra dem. [28, s. 118]

Det er dermed slik at om man studerer et legeme som påvirkes av krefter, og finner at summen av kreftene i en bestemt retning er null (kreftene i denne retningen balanserer hverandre), så innvirker ikke dette på bevegelsen til legemet. Ved N2 er dette det samme som at dersom legemet ikke har noen netto akselerasjon i en retning, så innvirker ikke dette på bevegelsen til legemet. RST-1 presiserer i N2 at

kraftsummen på et legeme samme retning som legemets akselerasjon, og følgelig er det ingen akselerasjon dersom kraftsummen (i en retning) er null. Dette skyldes at krefter er vektorer, og adderes som vektorer. RST-1 utdyper dette kort i forbindelse med Uavhengighetsprinsippet og et eksempel i forbindelse med N1 ([28, s. 116]), der man fastslår at fordi kraft er en vektorstørrelse, så kan man regne på krefter i en retning uavhengig av kreftene i en annen retning.

I neste eksempel ser RST-1 litt nærmere på sammenhengen mellom kraft og akselerasjon, og hvilke konsekvenser dette har. I eksempelet er det ene spørsmålet «Hvorfor er det verre å bråbremse enn å bruke litt lengre tid på å redusere farten?» [28, s. 188], hvorpå svaret er som følger:

Også her er poenget at fartsendring tar tid Jo kortere tid en nedbremsing tar, desto større blir akselerasjonen og dermed kraften: $\sum F = ma$. I front-mot-front-kollisjoner eller i en kollisjon med en bergvegg kan støttida bli så liten at verken bilbeltet eller mennesket kan tåle kraften. [28, s. 188]

Det er altså ikke bare kraften som bestemmer akselerasjonen, men forholdet går begge veier; akselerasjonen bestemmer kraften. Kraft og bevegelse er altså nærmest to sider av samme sak.

Mot slutten av kapittel 6 tar RST-1 opp flere aspekt ved krefter. Et av disse er «Kraftenheten newton», som presenteres i et kort avsnitt:

[...] Som vi nevnte innledningsvis, bruker vi i enhetsdefinisjonen den evnen en kraft har til å endre bevegelse, dvs. Newtons 2. lov, $\sum F = ma$. Av dette får vi at

$$\text{N} = \text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2 = \text{kgm}/\text{s}^2$$

Kraftenheten newton er oppkalt etter Isaac Newton på grunn av hans store bidrag til mekanikken. [28, s. 120]

Hvordan man måler kraft er altså basert på at en kraft har evnen til å endre bevegelse. Mer bestemt, så er enheten for kraft – det vi måler kraft i – basert på sammenhengen mellom kraft og akselerasjon – eller bevegelse – som gitt i N2.

Dernest snakker RST-1 litt mer om masse, og egenskapene ved masse i bolken «Mer om tyngde og treghet»:

Vi har sett at masse har å gjøre med to helt forskjellige egenskaper hos et legeme: Massen bestemmer tyngdekraften på et legeme, men massen bestemmer også hvor vanskelig det er å endre farten til legemet, det vi kaller treghet. [28, s. 122]

Med tyngdekraft refererer RST-1, som nevnt tidligere, til gravitasjonskraften fra jorda på et legeme som befinner seg innenfor jordas gravitasjonsfelt. Massen bestemmer altså både hvor tungt et legeme er, og hvor vanskelig det er å endre farten til legemet (akselerere legemet). Masse har altså både «tyngdeegenskaper» og «treghetsegenskaper». Videre utdyper RST-1 forskjellen mellom masse og tyngde:

Tyngdekraften på et legeme er mindre på månen enn her på jorda. Det er altså lettere å løfte det samme legemet [et legeme] på månen.

Men hvis vi vil dra i gang dette samme legemet på et glatt, horisontalt underlag, må vi bruke like stor kraft på månen som på jorda for å få en bestemt akselerasjon. Det kommer av at kraftsummen på legemet – altså dragkraften – er lik ma . Og *massen* til legemet er den samme på månen som her. Tyngdekraften på et legeme er altså avhengig av stedet, mens massen er den samme overalt. [28, s. 122]

Tregheten til et massivt legeme er altså den samme uansett, mens tyngden varierer. Det er med andre ord like vanskelig (eller lett) å akselerere et legeme på jorda som på månen.

Til slutt i kapittel 6 tar RST-1 for seg friksjon i en litt lengre bolk. Innledningsvis presenteres friksjonskrefter som krefter som motvirker eller stopper bevegelser, såfremt det ikke virker andre krefter (en «bruker» andre krefter) som opprettholder bevegelsen. Friksjonskrefter er altså også nært knyttet til bevegelse, som en «stopper» av bevegelse. Å stoppe (eller motvirke) en bevegelse er likefullt en endring av bevegelse. Med tanke på hvordan krefter henger sammen med bevegelse er det således ikke noe spesielt med friksjonskrefter. RST-1 tar for seg hvilefriksjon og glidefriksjon, og i forbindelse med dette går RST-1 nærmere inn på hva som utgjør friksjonskrefter. RST-1 benytter det, etter hvert, velkjente eksempelet med en kasse på et underlag, og forklarer at på et mikroskopisk nivå er både kassen og underlaget ujevne flater, dvs. flater med det RST-1 betegner som et «berg-og-dal-landskap» [28, s. 122]. Dette medfører at et «berg» på den ene flaten kan synke inn i en «dal» på den andre flaten, slik at molekyler i flatene kommer i direkte kontakt med hverandre. Fordi kreftene mellom molekyler er sterke innen korte avstander, så må det virke en stor kraft på kassen for å sette den i bevegelse. På den ene siden er altså friksjonskrefter «vanlige» krefter som kan endre farten til et legeme. På den andre siden er friksjonskrefter et produkt av legemers (stoffers) struktur og egenskaper på mikroskopisk nivå, der det er krefter mellom molekylene som legemene er bygd opp av som til syvende og sist utgjør friksjonskreftene (mellom to legemer/flater).

Om hvilefriksjon skriver RST-1:

Friksjonskraften fra golvet på kassen kaller vi *hvilefriksjon* så lenge kassen står i ro. Hvilefriksjonen er hele tida like stor som kraften du skyver med, men den virker altså i *motsatt retning av skyvekraften*, slik at kassen ikke beveger seg. [28, s. 123]

I marginen på samme side illustrerer RST-1 dette ved hjelp av en figur med kraftpiler, og konstaterer at så lenge kassen ikke beveger seg, så er friksjonen like stor som kraften du skyver på kassen med, noe som følger av N1 (kassen er i ro). Dernest skriver RST-1 om glidefriksjon:

Dersom du tar skikkelig i, begynner kassen å røre på seg. Du merker ofte at den kraften du trenger for å holde bevegelsen i gang, er litt mindre enn den kraften du måtte bruke for å starte bevegelsen. Frik-

sjonskraften som virker når kassen er i bevegelse, kaller vi *glidefriksjon*. Merk at glidefriksjonen alltid har motsatt retning av *bevegelsen* (altså ikke nødvendigvis av skyvekraftretningen). [28, s. 123]

Her poengterer RST-1 noe som er viktig med glidefriksjon (friksjon under bevegelse), nemlig at den ikke er motsatt rettet av en bestemt kraft (i tilfellet med kassen vil det være kraften du skyver på kassen med) som virker på legemet, men motsatt av retningen bevegelsen skjer i. RST-1 diskuterer også litt mer om retningen til friksjonskraften, der hovedpunktet er at siden friksjonskraften har retning motsatt av retningen til bevegelsen («glideretningen»), så er det ingen friksjonskraft på tvers av bevegelsesretningen. RST-1 eksemplifiserer dette med at hvis hjulene på en bil spinner på en vei som skråner litt, er det ingen friksjon som hindrer bilen å gli ut av veibanen. [28, s. 124]

Helt til slutt presenterer RST-1 luftmotstand som nok et eksempel på friksjon. Også luftmotstand indikeres å være en kraft som «reduseres» til en kraft på molekylnivå, men på en noe forskjellig måte enn for f.eks. glidefriksjon. En refererer f.eks. til «trykkrefter fra molekyllene [i luften]» [28, s. 124]. Om luftmotstand, og legemer som faller i luft, presiserer RST-1 at luftmotstanden er «en kraft som virker på legemer som beveger seg. Denne kraften har retning motsatt av fartsretningen, og den øker med farten» [28, s. 124]. På samme måte som glidefriksjon, så virker altså luftmotstand under bevegelse, mens en her spesifiserer at retningen er mot farstretningen, mens en for glidefriksjon refererte til bevegelsesretningen.

3.1.4 Kapittel 7: «Arbeid og energi»

I kapittelinnledningen refererer RST-1 til at en, dersom en kjenner kreftene, kan bruke N2 og bevegelseslikningene til å finne ut hvordan bevegelsen til et legeme forandrer seg. I flere tilfeller kan dette dog bli fryktelig komplisert, med veldig mange krefter, og således introduserer RST-1 energi, med tanke på bevegelse.

Det viktigste i dette kapitlet, med tanke på kraft, er at RST-1 definerer arbeid, og gjennom denne definisjonen av arbeid ser hvordan kraft kan knyttes til f.eks. kinetisk energi.

RST-1 introduserer arbeid ved å se på en steinblokk som faller, og hvordan denne steinblokken kan gjøre et arbeid fordi den har energi. Tyngdekraften «drar» steinblokken nedover, og dermed øker farten. Tyngdekraften sies således å gjøre et arbeid på steinblokken. Størrelsen på arbeidet avhenger av størrelsen på gravitasjonskraften, og over hvor lang strekning den virker.

RST-1 definerer så arbeid, som produktet av kraft og forflytning. I definisjonen tar en også hensyn til at kraften og forflytningen ikke nødvendigvis virker langs samme, rette linje. Dernest spesifiserer RST-1 at arbeid er knyttet til en enkelt kraft, slik at dersom flere krefter virker, så gjør hver av disse kreftene et eget arbeid.

Kinetisk energi introduseres som energi relatert til fart, og defineres ved at RST-1

først betrakter N2, som sier at dersom krefter virker på et legeme, så «endres legemets fart» [28, s. 136]. Videre sier RST-1 at krefter endrer den kinetiske energien til et legeme ved å endre farten til et legeme, dersom disse kreftene gjør et arbeid på legemet:

Et legeme i translatorisk bevegelse med farten v har en kinetisk energi E_k som er lik det arbeidet som summen av kreftene utfører på legemet når det går fra ro til farten v :

$$E_k = W_{\sum F}$$

[28, s. 136]

Videre benytter RST-1 N2, sammen med bevegelseslikningene, til å utlede formelen for kinetisk energi.

Videre i kapitlet presenterer RST-1 delkapitlet «Potensiell energi», der en ser på arbeidet tyngdekraften gjør på legemer som faller i tyngdefeltet, og definerer således potensiell energi (for et legeme i tyngdefeltet). En presenterer også potensiell energi mer generelt, via andre former for potensiell energi.

Til slutt i kapitlet ser RST-1 på mekanisk energi, som summen av kinetisk og potensiell energi, og hvordan mekanisk energi er bevart. I den forbindelse presenterer RST-1 «Arbeid-energi-setningen»:

For et legeme i translatorisk bevegelse er det arbeidet som summen av kreftene gjør på legemet, lik endringen i kinetisk energi.

$$\Delta W_{\sum F} = \Delta E_k$$

[28, s. 145]

Dette er i stor grad det samme innholdet som i definisjonen av kinetisk energi, noe RST-1 også påpeker.

Dernest presenterer en bevaringsloven for energi, før en presiserer hvilken rolle krefter, gjennom arbeid, spiller i forbindelse med overføring av energi:

Når krefter utfører arbeid, skjer det en overføring av energi fra en form til en annen. [28, s. 150]

I det siste delkapitlet – «Effekt» – presenterer RST-1 effekt som arbeid per tid. En ser også på virkningsgrad.

3.1.5 Kapittel 8: «Naturvitenskapen fysikk»

«Naturvitenskapen fysikk» er et kapittel som er delt inn i to hoveddeler. Den første delen er vitenskapshistorisk, og tar for seg sentrale hendelser, personer og teorier som har gjort seg gjeldende gjennom historien til fagfeltet fysikk. Den andre delen handler om metoder og modeller i fysikk, og hvordan man utvikler ny viten i fysikk.

I den vitenskapshistoriske delen tar RST-1 blant annet for seg Aristoteles' teorier om bevegelse, og kort om rollen til kraft i forbindelse med en slik teori:

Bevegelser på jorda som ikke er rett opp eller rett ned [naturlige bevegelser], kalte Aristoteles for tvungne bevegelser. Hvis vi kaster en stein skrått oppover, vil den følge en annen bane enn den naturlige, fordi vi har tvunget den til det ved å tilføre kraft. Slik lærte Aristoteles. [28, s. 160]

Dernest presenterer RST-1 fysikkhistorien gjennom Copernicus, Galilei, Kepler, og til slutt, Newton.

3.1.6 Kapittel 9: «Termofysikk»

Den første delen av dette kapitlet har overskriften «Temperatur», der RST-1 bla. introduserer trykk. En gassbeholder brukes som eksempel, og om trykket sier RST-1 følgende:

Trykket i en gassbeholder skyldes at gassmolekylene bombarderer veggene i beholderen: Når et molekyl treffer veggen i beholderen, spretter det tilbake akkurat som en tennisball som blir slått mot en vegg. Hver molekyl virker altså med en liten kraft på veggen hver gang det kolliderer med den. Trykket på veggen skyldes summen av kreftene på veggen fra alle molekylene som støter mot den. Dette gjelder også for trykk fra væsker. [28, s. 178]

Videre sier RST-1, med bakgrunn i denne modellen for trykk, at trykket blir større jo større fart molekylene har, altså jo større kinetisk energi de har. RST-1 legger til at trykket også øker med antall molekyler, ettersom det da blir flere kollisjoner.

Videre snakker RST-1 om temperatur, før neste delkapittel er «Indre energi». Om «indre potensiell energi» sier RST-1:

På grunn av kreftene som virker *mellom molekylene* i faste stoffer og væsker, har molekylene også *potensiell energi* i forhold til hverandre. Det kaller vi stoffets *indre* potensielle energi. Hvis bindingene mellom molekylene brytes, øker den potensielle energien til molekylene fordi det blir gjort et arbeid mot disse kreftene. [28, s. 181]

RST-1 eksemplifiserer dette ved å se på bla. faseoverganger, f.eks. fra is til vann. En må tilføre en bestemt energi til is ved 0°C for å få isen til å gå over til vann (ved 0°C). Dette er fordi denne energien «må til får å bryte molekylbindingene i isen» [28, s. 181]. Fra før har RST-1 knyttet den indre kinetiske energien til hvordan molekylene i et stoff kan bevege seg gjennom translasjon, rotasjon og vibrasjon.

Om indre energi identifiserer RST-1 to måter å tilføre indre energi til et system. Den ene er ved arbeid, mens den andre er ved varme. Om arbeid i den forbindelse sier RST-1:

[...] den indre energien til et system kan øke eller minke etter som arbeid blir utført på systemet eller utført av systemet på omgivelsene. [28, s. 182]

RST-1 legger til at en benytter ordene «arbeid» og «varme» om energi som blir overført, og ikke om energi som er inneholdt i et system. Sammenhengen mellom indre energi, varme og arbeid for et system er gitt av termofysikkens 1. lov, som også er tittelen på den neste delen i dette kapitlet. Her presenterer RST-1 bla. energiloven, som sier at energi ikke kan oppstå eller forsvinne, bare endre form, og at omforming av energi skjer ved arbeid eller varme.

3.1.7 Kapittel 11: «Elektrisiet»

I kapittelintroduksjonen referer en til elektriske krefter på molekyl- og atomnivå:

Har du tenkt på at det er elektriske krefter mellom atomer og molekyler som holder kroppen din sammen? [28, s. 233]

Det første delkapitlet heter «Elektriske krefter og ladninger», og her presiserer RST-1 hva en mener med elektriske krefter:

Ladninger av ulik type – positive ladninger og negative ladninger – virker på hverandre med tiltrekkende elektriske krefter. Ladninger av lik type frastøter hverandre. [28, s. 234]

En ser altså at elektriske krefter virker enten som frastøtende, eller tiltrekkende, alt ettersom hvilke ladninger en har med å gjøre. Videre utdyper RST-1 hva elektrisk ladning er. I den forbindelse presiserer RST-1 at man ikke vet eksakt hva ladning er, og således er ladning, på samme måte som masse, en grunnleggende størrelse:

Dermed kan vi ikke si hva ladning *er*, bare hva ladning *gjør*: Ladning skaper elektriske krefter. [28, s. 235]

En kan altså ikke si hva ladning konkret er, men at ladning er «opphavet» til elektriske krefter.

En snakker også kort om elektrisk felt i dette kapitlet. RST-1 illustrerer det elektriske feltet ved å se på utsnittet av en ledning, som er koblet til et batteri:

Når ledningen er en del av en krets som er koblet til et batteri, sier vi at det er et *elektrisk felt* i ledningen. Det er dette feltet som gjør at ledningselektronene [i metallet i ledningen] blir satt i bevegelse. Elektrisk ladde legemer som er i et elektrisk felt, blir nemlig påvirket av en elektrisk kraft, akkurat som legemer med masse blir påvirket av en tyngdekraft i et tyngdefelt. [28, s. 237]

En relaterer således et elektrisk felt til et «område» (på samme måte som med gravitasjonsfelt), der ladde legemer blir påvirket av elektriske krefter. Samtidig ser en at det er det elektriske feltet som «beveger» elektronene i ledningen, altså virker det elektriske krefter på elektronene (siden de er elektrisk ladde partikler), som får

elektronene til å bevege seg. Videre nevner RST-1 den elektriske feltstyrken, med analogi til feltstyrken for et gravitasjonsfelt, uten å definere dette nærmere.

Neste delkapittel, «Elektrisk spenning og arbeid», åpner med å relatere elektrisk strøm til elektrisk kraft:

Elektrisk strøm oppstår når *elektriske krefter* flytter ladninger – og dermed gjør arbeid. [28, s. 237]

Videre presiserer RST-1 elektriske krefter, i forbindelse med elektrisk strøm i elektriske apparater i kretser, er «svært mange og uoversiktlige» [28, s. 237], og motiverer på bakgrunn av dette introduksjonen av spenning. RST-1 definerer spenning som følger:

Spenningen U_{AB} mellom punktene A og B er lik det arbeidet W_{AB} per ladning som blir utført når elektriske krefter flytter en ladning q fra A til B .

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$$

[28, s. 238]

På samme måte som med kraft og arbeid i mekanikken, så er også arbeid i elektrisitet relatert til at elektriske krefter «flytter» ladninger (elektrisk ladde legemer).

I delkapittelet «Elektrisk strøm» presiserer RST-1 at «*elektrisk strøm* går når elektriske krefter flytter ladninger fra ett sted til et annet» [28, s. 242]. Videre refererer RST-1 til kretsen som var eksempel i forbindelse med elektrisk felt, og innleder definisjonen av elektrisk strøm ved å beskrive det som skjer når en kobler denne kretsen:

Det fører til at det oppstår et elektrisk felt og dermed elektriske krefter på elektronene *overalt i kretsen samtidig*. Disse kreftene flytter ledningselektronene i retning fra den negative polen på batteriet til den positive polen. Det foregår altså en netto transport av ladning gjennom et tverrsnitt av ledningen [...] [28, s. 242]

Her ser en at RST-1 viderefører beskrivelsen av elektriske krefter som, gjennom at det oppstår et elektrisk felt, flytter på elektroner (ladninger).

Resten av kapittelet er i stor grad dedikert til å se på det en kan kalle kretslære, altså strøm, spenning og motstand i kretser, og forskjellige måter å koble kretser, samt Ohms lov. RST-1 inkluderer også et delkapittel kalt «Elektrisk energi», der en ser på sammenhengene mellom elektrisk arbeid, spenning og effekt.

3.1.8 Kapittel 13: «Kosmologi»

Kapittelet omhandler bla. delkapittelet «Avstander i universet», der en ser på forskjellige metoder en benytter for å måle avstander mellom objekter (stjerner, galakser) i universet. En presenterer også Hubbles lov i dette delkapittelet. Der nest presenterer en den såkalte «Big Bang»-teorien, der en gir en presentasjon av

hvordan en gjennom denne modellen kan beskrive utviklingen av universet. En ser bla. på de kosmiske bakgrunnsstrålingen, for å se hvordan «Big Bang» passer med observasjoner og eksperimentelle data.

RST-1 ser videre i dette kapittelet på hva det er universet består av, og i den forbindelse presenterer en såkalt «mørk materie» og «mørk energi», der en i noen grad snakker om kraft. RST-1 presiserer at «mørk materie» er «mørk» fordi en ikke kan se dette «stoffet», og en referer til dette som «materie» fordi «den utøver *vanlig* tiltrekkende tyngdekraft» [28, s. 296] I forbindelse med «mørk energi», kommer RST-1 inn på det en tenker seg som «frastøtende tyngdekrefter». En presiserer at den generelle relativitetsteorien forklarer at både masse og energi virker med gravitasjonskrefter. «Også energi har gravitasjonsvirkning, og noen typer energi gir *frastøtende tyngdekrefter*. Dette gjelder for eksempel den merkelige energien som vi kaller *vakuumentergien*» [28, s. 297] Videre presiserer RST-1 at vakuum ikke er, slik en gjerne tenker seg det, fullstendig tomt, men at elementærpartikler kan «skapes» og «forsvinne» igjen i et vakuum.

Disse såkalte *virtuelle* partiklene kan bare eksistere i så kort tid at vi ikke kan observere dem. Men summen av disse virtuelle partiklene representerer en energi, vakuumentergien, og virkninger av den er påvist i laboratoriene. Det er observert at vakuumentergien har samme virkning som *frastøtende tyngdekrefter*. [28, s. 297]

Videre refererer RST-1 til svært nøyaktige observasjoner av supernovaer, som etter hvert har dannet grunnlaget for å konkludere med at universet ekspanderer fortere og fortere, og således at universet akselererer. RST-1 henviser til at vakuumentergien, og den «frastøtende tyngdekraften» denne energien representerer, fremstår som en nærliggende forklaring av disse observasjonene. Dernest konstaterer RST-1 at denne forklaringen «krever», for å kunne forklare den observerte akselerasjonen, at denne «mørke energien» utgjør «tre fjerdedeler av den samlede tettheten i universet» [28, s. 297]. Således ser en at «omvendte tyngdekrefter», i form av «mørk energi» har like stor – om ikke enda større – betydning for «bevegelse» i universet, som «vanlige» tyngdekrefter.

3.2 «Ergo [Fysikk 1]»

I denne innholdsanalysen av ERGO-1 er det valgt å ikke presentere kapitlene 5, 6 og 10, hhv. «Bølger, lyd og lys», «Atomfysikk» og «Fysikk og teknologi». Dette er et valg som er tatt på bakgrunn av innholdsanalysen viser at kraft behandles i liten, eller tilnærmet ingen grad i disse kapitlene.

Kapittel 5 «Bølger, lyd og lys» er et kapittel i klassisk bølgefysikk. Her tar en for seg svingninger og bølger, før en presenterer velkjente bølgefenomener. Dette inkluderer bla. brytning og refleksjon av bølger, samt interferens. Til sist presenterer en lydbølger, og deretter lys som elektromagnetiske bølger.

I kapittel 6 «Atomfysikk» presenterer ERGO-1 først hvordan atomteorien har utviklet seg gjennom historien, og en presenterer flere atommodeller som var aktuelle i sin tid. En dedikerer også et eget kapittel til Bohrs atommodell. I forkant av Bohr, behandler en kvantehypotesen i et eget delkapittel, der en bla. ser på spektrallinjer, kvantisering av energi, og kort om bølge-partikkel-dualiteten til lys. Videre ser en på emisjon og absorpsjon, og i den forbindelse bla. Dopplereffekten.

Kapittel 10 «Fysikk og teknologi» er, som antydes av tittelen, et teknologi-kapittel. Her presenterer ERGO-1 forskjellige teknologier som er meget utbredt, og essensielle, i samfunnet i dag, og hvordan disse teknologiene bygger på fysikk. I dette kapittelet presenterer en halvlederteknologi, samt teknologien bak dioder og transistorer. En ser på digital fotografering, som baserer seg på diode-teknologien. Til slutt ser en på elektriske sensorer, og flere eksempler på slike. I den forbindelse er det verdt å merke seg at ERGO-1 inkluderer en bolk om måling av kraft, og hvordan en kan bruke et såkalt pizelektrisk krystall for å måle krefter.

Oversikt over kapitlene i ERGO-1 [8]

Kapittel	Beskrivelse	Antall sider
Kapittel 1: «Fysikk – på rett vei»	Metode, modeller, forskning. Bevegelseslikningene.	52 (s. 6–57)
Kapittel 2: «Newtons lover»	Masse og krefter. Newtons lover.	34 (s. 58–91)
Kapittel 3: «Mekanisk energi»	Energi (potensiell, kinetisk) og arbeid. Friksjon.	34 (s. 92–125)
Kapittel 4: «Termofysikk»	Mikro-/makro-modeller. Termofysikkens 1. og 2. lov. Trykk, temperatur.	30 (s. 126–155)
Kapittel 5: «Bølger, lyd og lys»	Svingninger, bølger. Lyd og lys som bølger. Brytning, interferens.	32 (s. 156–187)
Kapittel 6: «Atomfysikk»	Kvantehypotese, Bohrs atommodell. Emisjon/absorpsjon.	28 (s. 188–215)

Kapittel 7: «Kjernefysikk»	Oppbygning av-, og krefter/energi i atomkjerne. Bevaringslover. Fisjon og fusjon.	28 (s. 216–243)
Kapittel 8: «Astrofysikk»	Stråling. Stjerner og livssyklus. Kosmologi.	42 (s. 244–285)
Kapittel 9: «Elektrisitet»	Ladning, strøm, spenning, motstand, kretser. Energi og effekt.	34 (s. 286–319)
Kapittel 10: «Fysikk og teknologi»	Halvledere. Dioder og transistorer. Digital fotografering og elektriske sensorer.	42 (s. 320–361)
«Læreplanen»	Læreplan Fysikk 1 programfag.	4 (s. 362–365)

Tabell 3.2: Oversikt over hvilke kapitler som utgjør ERGO-1. Antall sider inkluderer sider med oppgaver og ev. «introduksjonssider» til enkeltkapitler.

3.2.1 Kapittel 1: «Fysikk på rett vei»

Kapittelet er et slags introduksjonskapittel til naturvitenskap generelt, med vekt på arbeidsmetoder og problemer i fysikk. Om man tar seg tid til å lese innledningen til dette kapittelet skjønner man at det er ment å være en slags «appetittvekker», som blant annet tar for seg noen historiske aspekter og noen filosofiske spørsmål. Man tar for seg tema som den naturvitenskapelige metode, grunnleggende enheter som lengde og tid og hvordan disse er definert; usikkerhet, historiske fakta og anekdoter, forskning og modeller. Med andre ord en slags «verktøykasse» før man setter i gang å grave dypere. I RST-1 er kapittel 8 «Naturvitenskapen fysikk» (se 3.1.5) et tilsvarende kapittel.

Er det ikke merkelig at jorda kan trekke til seg et eple på avstand og at sola kan trekke til seg jorda på avstand? Fortsatt vet vi ikke nøyaktig hva tyngdekraften er, men det trenger vi kanskje heller ikke å vite? Med fysikk kan vi beskrive hvordan det skjer, men foreløpig ikke hvorfor. [8, s. 6]

Det er interessant at ERGO-1 inkluderer en slik vinkling. Essensielt så gjelder det som blir sagt generelt for en kraft også; man vet ikke nøyaktig hva det er. ERGO-1 antyder likevel med dette at kraft er noe en kan beskrive, men ikke nødvendigvis forklare.

Midt i denne «verktøykassen» finner man delkapittel «1D: Fart og akselerasjon». Her blir størrelsene fart og akselerasjon definert, og man presenterer de tilhørende matematiske uttrykkene. Presentasjonen er tilsvarende den man finner i RST-1 (se 3.1.2 for gjennomgangen av kap. 5 i RST-1). Grovt sett så utgjør til sammen delkapitlene 1D og 1E og 1F («1E: Bevegelsesformlene», «1F: Fritt fall») i ERGO-1 kapittel 5 i RST-1, så denne «verktøykassen» er nok litt mer omfattende enn

den kan virke.

Det er som sagt ingen «overraskelser» i hvordan ERGO-1 presenterer fart og akselerasjon. ERGO-1 har ingen dedikerte avsnitt til posisjon eller forflytning, men behandler strekning via flere eksempler. I forbindelse med delkapittel «1C: Tid og lengde», betrakter ERGO-1 avstand og rom i et filosofisk perspektiv.

I det man introduserer fart og akselerasjon i delkapittel 1D blir det sagt at:

Når du beveger deg, er du på forskjellige steder til forskjellige tider. Bevegelse har altså med tid og rom å gjøre. Hvor *fort* du beveger deg handler om hvor langt du beveger deg i en gitt tid. *Akselerasjon* derimot handler om hvordan *farten* endrer seg i en gitt tid. [8, s. 19]

Gjennomsnittsfarten presenteres som strekning dividert med tiden, og en tar for seg konstant fart, før en presenterer momentanfarten som den deriverte av strekningen gjennom å se på en grenseverdi. I selve definisjonen av momentanfart (tekstboksen som er uthevet fra teksten forøvrig) gir ERGO-1 kun det matematiske uttrykket. I forkant, utdyper en likevel om hva dette betyr:

Farten ved bestemte tidspunkter kaller vi *momentanfarten*. Momentanfarten er grenseverdien for gjennomsnittsfarten når tiden går mot null. Da tenker vi oss at vi finner farten til en gjenstand som beveger seg en kort strekning Δs på en kort tid Δt . Og så lar vi tiden bli så liten som mulig. [8, s. 22]

Om akselerasjon er rekkefølgen den samme, der en først ser på gjennomsnittsakselasjonen, deretter konstant akselerasjon, for så å definere momentanakselerasjon. ERGO-1 definerer gjennomsnittsakselasjon som følger:

Gjennomsnittsakselasjon er lik fartsendring dividert med tid,

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0}$$

Enheten for akselerasjon er m/s per sekund, m/s². [8, s. 24]

Videre definerer ERGO-1 momentanakselerasjon, der en i forkant sier at momentanakselerasjonen er «grenseverdien for gjennomsnittsakselasjonen når tiden går mot null» [8, s. 26]. I selve definisjonen av momentanakselerasjon gir ERGO-1 det matematiske uttrykket, gjennom grenseverdien, og legger til følgende:

Momentanakselerasjon er den deriverte av farten og den andrederiverte av strekningen med tiden som variabel. [8, s. 26]

I delkapitlene 1E og 1F ser ERGO-1 hhv. på tilfellet konstant akselerasjon, og utleder bevegelseslikningene som gjelder når akselerasjonen er konstant, og på fritt fall. ERGO-1 referer ikke til fart og akselerasjon som vektorstørrelser i dette kapitlet, men kommer i stedet inn på denne egenskapen ved størrelsene i senere kapitler.

3.2.2 Kapittel 2: «Newtons lover»

ERGO-1 har valgt å presentere «Mål for opplæringen» for eleven i begynnelsen av hver kapittel, sammen med et knippe utvalgte spørsmål som det antas at eleven skal kunne greie å svare på etter at kapittelet er ferdig gjennomgått. Som en naturlig forlengelse av sitatet som ble presentert i forbindelse med ERGO-1 kapittel 1 (se 3.2.1), så er et av spørsmålene i begynnelsen av kapittel 2: «Hva er bevegelse, og hvordan holder vi bevegelse i gang?». Videre er læringsmålene for kapittelet («Mål for opplæringen»):

Identifisere kontaktkrefter og gravitasjonskrefter som virker på legemer, tegne kraftvektorer og bruke Newtons tre lover. [8, s. 59]

Altså nevnes det ikke eksplisitt i læringsmålene at en skal kunne forklare hva en kraft er. Dette er nok helt naturlig å utelukke fra et læringsmål på grunn av den eventuelle abstraksjonen det medfører, men det utelukker ikke at man i kapittelet kan prøve å synse litt omkring problemstillingen.

Det første delkapittelet, «2A: Masse», tar for seg, ikke overraskende, begrepet masse. Her presenteres egenskaper knyttet til masse, og som alle massive objekter (gjenstander) har, nemlig tyngde og treghet. Kapittelet presiserer og at man ikke egentlig vet hva masse *er*, og at man må nøye seg med å se på måter å måle masse. ERGO-1 gir en kort definisjon av masse:

Masse har tyngde, og masse har treghet. Enheten for masse er *kilogram*, kg. [8, s. 60]

Neste delkapittel er «2B: Krefter», som åpner med følgende påstand:

Når du drar eller skyver en gjenstand påvirker du den med en *kraft*. [8, s. 62]

En kan legge merke til at man med en gang knytter begrepet kraft til mer eller mindre dagligdagse ting man foretar seg, som å skyve eller dra forskjellige gjenstander. Videre henviser en også til den erfaringen en har med krefter:

Av erfaring vet du at krefter kan ha to virkninger: de kan forandre *farten* eller *formen* til en gjenstand. Ofte skjer begge deler samtidig. [8, s. 62]

I margin presiserer ERGO-1 at alle gjenstander, i større eller mindre grad, er elastiske, slik at de alltid deformeres dersom en drar eller skyver på dem:

Alle ting er mer eller mindre elastiske. Det betyr at formen alltid forandrer seg når du drar eller skyver en gjenstand, selv om forandringen kan være så liten at den ikke er synlig. En kraft kan også få en gjenstand til å *rottere*. Men vi tar ikke med rotasjon i vår enkle modell. [8, marg, s. 62]

Her er det altså slik at å skyve eller dra i et legeme alltid resulterer i en deformasjon av legemet, selv om den kan være så liten at den praktisk talt ikke er målbar. Med bakgrunn i at man rett i forkant har presisert at krefter kan endre formen eller

farten til en gjenstand, så vet man allerede at det å skyve eller dra en gjenstand resulterer i at gjenstanden blir deformert, enten det er mye eller (veldig) lite. ERGO-1 tar opp kontaktkrefter senere i delkapittelet, men det er naturlig å anta at det å skyve eller dra gjenstander medfører kontakt, og således kan en slutte at kontaktkrefter alltid vil resultere i en grad av deformering.

På tilsvarende vis som i RST-1, så presenterer (definerer) man egenskapene til en kraft ved å se på hva krefter kan «gjøre», under overskriften/markøren «Kraftvirkning»:

En kraft kan forandre farten til en gjenstand, og en kraft kan forandre formen på en gjenstand. Enheten for kraft er newton, N. [8, s. 62]

En kan sammenlikne med tilsvarende definisjon i RST-1, og finner at det er forskjeller i formulering og ordlyd (se 3.1.3, der tilsvarende definisjon i RST-1 er gjengitt). Innholdet i denne definisjonen er det samme på tvers av disse bøkene.

Videre snakker ERGO-1 om hvordan man måler en kraft med en *kraftmåler*. Mens RST-1 hadde en egen bolk om kraftmåling, og da spesielt med fjærer, så nevner ERGO-1 dette bare i et par-tre setninger, samt at de henviser til kapittel 10 for en nærmere beskrivelse av elektroniske kraftmålere. Det en likevel har inkludert er et eksempel som fremstår mer matematisk enn et tilsvarende eksempel i RST-1, og som – uten å nevne det eksplisitt – viser Hookes lov.

ERGO-1 fortsetter med nå nevne litt om vektorer, og forklarer at det er viktig å kunne identifisere krefter på en gjenstand og kunne tegne korrekte kraftpiler tilhørende disse kreftene. Litt senere konstateres det også at siden krefter er vektorer, er det summen av kreftene – kraftsummen – på en gjenstand (legeme) som avgjør bevegelsen til gjenstanden.

På s. 64 gir ERGO-1 to eksempler med hhv. krefter som virker på en koffert og på en bok, der man er ute etter å identifisere kreftene som virker. I eksempelet med kofferten stiller eksemplet spørsmålet: «Er det noe som skyver eller drar i kofferten?». Eksemplet svarer med at hånda drar i kofferten, og kaller denne kraften «hånddrag». Tilsvarende drar jorda i kofferten, og kaller denne kraften «jorddrag». Det andre eksempelet består av en bok som ligger på et bord, og gir de samme svarene på spørsmål om å identifisere krefter på boken; «bordskyv» og «jorddrag». Dette må kunne sies å være ganske annerledes enn det en «normalt» kan forvente. Selve eksemplet skiller seg ikke nevneverdig ut, men det faktum at man bevisst velger å kalle tyngdekraften (gravitasjonskraften) på gjenstandene for «jorddrag» er noe som skiller seg ut. I tillegg kan man reagere på dette i sammenheng med det læringsmålet som blir presentert i begynnelsen av kapittelet, som sier at eleven skal kunne «identifisere gravitasjonskrefter som virker på legemer» [8, s. 59]. Med andre ord er «jorddraget» identifisert som en gravitasjonskraft, men man har valgt i gi det et annet navn. I tillegg snakker man om at massive gjenstander (eller mer generelt; masse) har tyngde som en egenskap, og kofferten faller jo inn i mengden av gjenstander med masse.

En kan fint observere den illustrative effekten et slikt ordvalg gir i disse eksemplene, og det er trolig visse pedagogiske hensyn innbakt i begrepet. I avsnittet etter

forklares det at gravitasjonskraften er en avstandskraft (fjernkraft), men det gjøres ikke noe direkte forsøk på å identifisere «jorddraget» (på kofferten) som tyngdekraften. I alle fall ikke med ord, så dette må muligens tolkes som opplagt. Om avstandskrefter og kontaktkrefter forøvrig, sier ERGO-1 at avstandskrefter virker over avstand, mens kontaktkrefter er krefter «mellom gjenstander som er i kontakt med hverandre» [8, s. 65]. I margin presiserer ERGO-1 samtidig at det i prinsippet ikke eksisterer kontaktkrefter, ettersom disse kan reduseres til avstandskrefter:

Kontaktkrefter er i virkeligheten elektriske avstandskrefter, mikroskopisk sett. Når du legger hånden på bordet, virker det elektriske avstandskrefter mellom atomene i bordet og atomene i hånden. Det er også slike krefter som gir friksjon. [8, s. 65]

Neste delkapittel er «2C: Newtons 1. lov», og tar naturlig nok for seg spesialtilfellet Newtons 1. lov (N1). ERGO-1 gir en historisk presentasjon av arbeidene til Aristoteles, Gallilei og Newton, som til slutt leder frem til N1. Dette fungerer som en slags gjennomgang av hvordan observasjoner, logikk og resonnering gjennom historien har utviklet teorier for å beskrive bevegelsen til legemer. I forkant av at ERGO-1 formulerer N1, sier en følgende:

Galilei og Newton gjorde det svimlende tankespranget å forestille seg at uten krefter som virker, vil en bevegelse *fortsette i det uendelige*. Denne hypotesen er bekreftet så grundig at vi regner den som en naturlov. Spesielt gjelder det at for en gjenstand som er *i ro*, er summen av kreftene lik null, $\sum F = 0$. Neppe noen overraskelse? [8, s. 70]

I margin gir ERGO-1 samtidig en «forsmak» på innholdet i N1 (en har forsåvidt gitt mange «forsmaker» gjennom hele den historiske presentasjonen i forkant):

En gjenstand kan ikke forandre farten sin av seg selv. Det er det vi mener når vi sier at gjenstanden har treghet. Hvis gjenstanden er *i ro*, vil den fortsette å være *i ro*. Hvis gjenstanden er *i bevegelse*, vil den fortsette å være *i bevegelse* med konstant vart langs en rett linje. [8, s. 69]

Videre presenterer ERGO-1 N1:

Når summen av alle kreftene som virker på en gjenstand er null, er gjenstanden *i ro* eller *i bevegelse* med konstant fart langs en rett linje. Hvis $\sum F = 0$, så er v konstant og fartsretningen er uendret. Hvis v er konstant og fartsretningen uendret, så er $\sum F = 0$. [8, s. 70]

I etterkant av denne formuleringen utdyper en også de forhold som N1 beskriver, og refererer samtidig også til rollen treghet har i forbindelse med N1:

Loven [N1] sidestiller *ro* og rettlinjet bevegelse med konstant fart. [...] Galilei og Newton skjønnte at det *ikke* trengs noen kraft når bevegelsen er rettlinjet og farten konstant. Gjenstanden fortsetter på grunn av en «indre» egenskap, som vi kaller *treghet*. Newtons 1. lov blir gjerne kalt *treghetsloven*. Vær klar over at treghet *ikke* er en kraft! [8, s. 70]

På s. 71 presenterer ERGO-1 et eksempel der en igjen benytter en «drag-skyv»-fremstilling, i forbindelse med en kasse på et underlag, og personer som sitter på kassen. Helt i slutten av dette eksempelet (som fortsetter på s. 72) sies følgende:

I fysikk kaller vi jorddraget for *tyngdekraft* eller bare *tyngde*. [...]
Kraften fra underlaget står vinkelrett (normalt) på kassen. Vi bruker bokstaven N om denne *normalkraften*. [8, s. 72]

Man velger altså å fortsatt benytte termen «jorddrag», samtidig som man presiserer at «jorddraget» egentlig er tyngdekraften i fysikk. Det som i alle fall er belyst er at disse er to sider av samme sak, siden det tidligere har fremstått som noe uklart. Samtidig indikerer ERGO-1 også at en benytter «normalkraft», i stedet for f.eks. «bordskyv» eller «gulvskyv».

Videre, så er det faktisk slik at ERGO-1 i eksemplene som følger velger å bruke nettopp tyngdekraft, og ikke «jorddrag». Felles for eksemplene er at gjenstanden (legemet) som studeres i begge tilfellene ikke er i kontakt med en annen gjenstand. I utgangspunktet kan det derfor virke som om man velger å skille mellom når ting er i kontakt med hverandre og når de ikke er det, men en slik sammenheng fremgår ikke konsekvent.

I delkapittel 2D tar man for seg Newtons 2. lov (N2). Det kan virke som om en tar en litt annen tilnærming til akselerasjon-kraft-samspillet i N2 enn det som f.eks. ble gjort i RST-1 [28], men dette kan også være kun hvordan man har valgt å ordlegge seg.

Tenk deg at du skal dytte i gang en venn som står i ro [på skøytebanen]. Når du dytter, får vennen din en *akselerasjon*. Akselerasjonen er avhengig av hvor hardt du dytter, altså hvor stor kraft du bruker. [8, s. 73]

Altså, krefter kan gi gjenstander akselerasjon. Man snakker også om å «bruke krefter», forståelig nok siden det relaterer seg til den dagligdagse terminologien der man «brukte mye krefter da jeg måtte dytte i gang bilen». Når det er sagt så er det ikke nødvendigvis slik at man snakker om å «bruke krefter» i fysikken, men heller om å «virke med krefter (på)».

Videre presenterer ERGO-1 N2 formelt (man benytter ikke vektorpiler siden man tidligere har spesifisert at man jobber med rettlinjert bevegelse):

Summen av kreftene er lik massen ganger akselerasjonen

$$\Sigma F = ma$$

Akselerasjonen skjer i samme retning som summen av kreftene. [8, s. 73]

Man benytter også N2 – som også kalles kraftloven – til å definere enheten for kraft, newton. Et spørsmål som ERGO-1 stiller i den forbindelse er hva definisjonen av kraftenheten newton betyr fysisk, hvorpå svaret er at «en kraft er lik 1 N når den gir en gjenstand med masse 1 kg en akselerasjon på 1 m/s²».

I forbindelse med N2 ser en i delkapittelet til slutt på tyngde igjen. Interessant nok finner en (på s. 76) et velkjent eksempel med en gutt i en heis. Her er gutten åpenbart i kontakt med gulvet i heisen, men i eksempelet har man valgt å referere til guttens tyngde, i stedet for «jorddraget» på gutten. Altså har man her gått bort fra termen «jordrag» i det gjenstander er i kontakt med hverandre. Dermed er det trolig at tendensen som viste seg tidligere i kapittelet forsvinner, eller så er det fordi heisen enten akselererer eller beveger seg med konstant fart, altså er ikke begge gjenstandene i ro.

Over til delkapittel 2E, som heter «2E: Newtons 3. lov». Her konstateres det at mens N1 og N2 handler om kreftene som virker på én gjenstand, handler Newtons 3. lov (N3) om kreftene som virker på to forskjellige gjenstander. Mer bestemt opptrer krefter alltid parvis, slik at krefter er *motkrefter* til hverandre. Det første eksemplet i kapittelet (s. 77) illustrerer dette ved å betrakte en gutt på en badevekt, og se på hhv. gutten og vekta som system for å identifisere kraft og motkraft.

Det neste ERGO-1 gjør er å gi en formell definisjon av N3:

Når to *gjenstander* virker på hverandre med krefter, er kreftene like store og motsatt rettet. Kreftene virker langs samme rette linje. De virker på hver sin gjenstand. De to kreftene er *motkrefter* til hverandre. [8, s. 78]

I forbindelse med at N3 nå er presentert, presiserer ERGO-1 at kraft og motkraft alltid er samme type. Dvs at en avstandskraft (fjernkraft) har en motkraft som også er en avstandskraft, og tilsvarende med kontaktkrefter. Så, krefter opptrer alltid parvis, og kreftene er alltid av samme type. Det antyder at det er en ganske klar symmetri i krefter. En analogi kan trekkes til fenomenet partikler/anti-partikler, og man kan jo undres på om det til anti-materie tilsvarende en anti-kraft..?

Det siste delkapittelet i kapittel 2 er «2F: Sammensatte systemer», der man (åpenbart) studerer sammensatte systemer nærmere. Essensen i kapittelet dreier seg stort sett om definisjonen av indre og ytre krefter:

Ytre krefter på et system er krefter som virker på systemet fra omgivelsene.

Indre krefter i et system er krefter som virker på én del av systemet fra en annen del av systemet. [8, s. 80]

Videre forklarer ERGO-1, ved hjelp av N3, at «Summen av alle indre krefter i et system er lik null.» [8, s. 82]

En ting en kan skyte inn, når det gjelder kapittelet som helhet, er at ERGO-1 later til å ikke nevne tyngdefeltet/gravitasjonsfeltet. Om enn veldig kort, så nevner nevnes tyngdefeltet i RST-1 (se 3.1.3 om kapittel 6 i RST-1). En kan ikke finne at ERGO-1 nevner dette eksplisitt i dette kapittelet (et kjapt blikk i stikkordregisteret viser også at «felt» ikke står oppført). Mens ERGO-1 i delkapittel 1F (se 3.2.1) snakker om fritt fall og tyngdeakselerasjon, så snakker man ikke om tyngdefelt når man i kapittel 2 behandler krefter.

3.2.3 Kapittel 3: «Mekanisk energi»

Kapittel 3 begynner med delkapittelet «3A: Energibegrepet», der ERGO-1 tar for seg en del historikk rundt begrepet energi, hvordan det brukes i dag og hvordan man i fysikken omtaler energi. Energiloven presenteres også.

Andre delkapittel, «3B: Arbeid» åpner med å klargjøre hvordan begrepet «arbeid» brukes i fysikken:

I fysikken bruker vi ordet arbeid bare når det virker krefter på gjenstander som beveger seg. Men selv da er det ikke alltid at kreftene utfører arbeid på gjenstanden. [8, s. 95]

Deretter gir man en definisjon på arbeid, som først kun gjelder om kraft og vei (strekning) har samme retning. ERGO-1 gir et eksempel, før man presiserer at kraften og veien ikke alltid har samme retning, og man gir definisjonen av arbeid for et generelt tilfelle:

En konstant kraft F virker på en gjenstand som forflytter seg en veilengde s . Arbeidet er da lik kraften multiplisert med veien multiplisert med cosinus til vinkelen mellom kraften og veien,

$$W = Fs \cos \phi$$

[8, s. 96]

Videre er kinetisk energi det neste en tar for seg, i delkapittelet «3C: Kinetisk energi». Først defineres kinetisk energi:

En gjenstand som beveger seg, har en kinetisk energi som er lik det arbeidet som må til for å sette gjenstanden i bevegelse. [8, s. 101]

Fra før (se 3.2.2 om kapittel 2 i ERGO-1) har en slått fast at en av egenskapene til en kraft er at en kraft kan forandre farten til en gjenstand. Tatt i betraktning definisjonen av arbeid og definisjonen av kinetisk energi over, så kunne en tenke seg å reformulere denne egenskapen til en kraft. En kraft kan utføre et arbeid på en gjenstand når gjenstanden forflytter seg. Dette arbeidet (som kraften gjør) resulterer at gjenstanden får kinetisk energi; arbeidet har tilført gjenstanden kinetisk energi. På bakgrunn av dette kunne en for eksempel ha beskrevet den nevnte egenskapen ved en kraft som: «En kraft som virker på et legeme kan overføre (kinetisk) energi til legemet» (eller noe liknende). Selv om ERGO-1 ikke går så langt som dette, så antydes en tilsvarende sammenheng i det ERGO-1 utleder uttrykket for den kinetiske energien, $E_k = \frac{1}{2}mv^2$, fra bevegelseslikningene, N2 og formelen for arbeid, W . I tillegg gjenspeiles selvfølgelig alt dette når ERGO-1 presenterer setningen om kinetisk energi:

Når en gjenstand blir påvirket av krefter, er summen av alle kreftenes arbeid lik forandringen av den kinetiske energien til gjenstanden,

$$W_{\Sigma F} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = \Delta E_k$$

[8, s. 103]

Bokens delkapittel om potensiell energi – «3D: Potensiell energi» – er ganske kort, men interessant. Boka definerer blant annet et eksplisitt forhold mellom potensiell energi og kraft:

Til enhver form av potensiell energi hører det en kraft. Når vi utfører arbeid mot denne kraften, øker den potensielle energien. [8, s. 105]

Annet enn det opplagte eksemplet med tyngdekraften, så nevner ERGO-1 f.eks. den potensielle energien i en bue (som i «pil og bue»), som er knyttet til den elastiske kraften i buen.

Det virker som om en slik betraktning er unik for ERGO. Med det menes at en ikke kan finne at en slik, eksplisitt sammenheng fremstilles med ord i RST ([28] og [29]). Man behandler det likevel implisitt når man f.eks. studerer bevegelse i tyngdefeltet, eller i det elektriske feltet. Likevel, så er det i ERGO-1 valgt å konstatere denne generelle sammenhengen eksplisitt med ord, som kanskje bidrar til å belyse forholdet mellom kraft og energi.

De to påfølgende delkapitlene i ERGO-1 tar for seg hhv. tilfeller der den mekaniske energien (summen av potensiell og kinetisk energi) er bevart, og tilfeller der den ikke er bevart (tilfeller der friksjon virker).

I delkapittel «3G: Friksjon» behandler man, som navnet antyder, friksjon. Man introduserer blant annet friksjonstill, og man ser på flere typer friksjon som hvile- og glidefriksjon, samt luftmotstand. Siden friksjonen er en kraft, så ser en også på friksjonsarbeidet. Imidlertid beskriver ERGO-1 friksjon som en «komplisert kraft som skyldes elektriske krefter mellom atomene i de to kontaktflatene og ujevnheter i kontaktflatene». [8, s. 115] Annet enn dette bruker ikke ERGO-1 mer tid på å prøve å forklare hvordan forskjellige typer friksjon virker. En ser på eksempler der friksjon faktisk virker, og hvilke konsekvenser dette medfører, samtidig som man dveler ved konsekvensene en verden uten friksjon ville medført.

3.2.4 Kapittel 4: «Termofysikk»

Mens det første delkapittelet i kapittel 4 snakker om mikro- og makro-modeller i termofysikk, så heter neste delkapittel «4B: Trykk».

Dette delkapittelet åpner med at ERGO-1 gir en definisjon av trykk:

Når en kraft F virker vinkelrett og jevnt fordelt på en flate med areal A , er trykket p lik kraft dividert med areal,

$$p = \frac{F}{A}$$

Enheten for trykk er pascal, Pa. [8, s. 128]

Deretter følger et eksempel der man ser på en tegnestift som blir trykket inn i en vegg. Man analyserer systemet for å finne de kreftene som virker, og finner at det virker to krefter fra tegnestiften (ved N3 virker det også to krefter på tegnestiften);

en på fingeren (som presser på tegnestiften) og en kraft på veggen. Disse kreftene er like store (og motsatt rettet), men siden arealet av hodet til tegnestiften er mye større enn arealet til selve stiften, er trykket på veggen (fra stiften) større enn det på fingeren. Dette fører til at stiften blir presset inn i veggen.

Det eksemplet illustrerer er det som må kalles en interessant «effekt» ved trykk. To like store krefter kan virke hver for seg, men avhengig av arealet til det de virker på, så kan disse kreftene utløse forskjellige «hendelser» – forskjellige ting kan skje.

Trykk er en ny størrelse som er avhengig både av kraften som virker, og arealet til flaten som kraften virker på. Slik sett er trykk en «helt egen» størrelse med sine særegne egenskaper, men likevel er jo disse egenskapene avhengig av hvilke egenskaper en kraft har. En flate med et gitt areal har egenskaper som begrenser seg til utstrekning i romlige dimensjoner (og en orientering). Fra før har man konstatert at en kraft kan deformere et legeme. I eksempelet med tegnestiften deformerer tegnestiften veggen fordi man virker med en kraft på tegnestiften, som fører til at trykket på veggen fra tegnestiften blir stort nok til at tegnestiften kan penetrere veggen. En kan si at trykk «arver» egenskapene til krefter.

3.2.5 Kapittel 7: «Kjernefysikk»

I forkant av kapittel 7 har ERGO-1 tatt for seg fenomener relatert til bølger i kapittel 5, «Bølger, lyd og lys», og en innføring i atomfysikk i kapittel 6, «Atomfysikk».

Delkapittel nr. to i kapittel 7 heter «7B: Krefter og energi i en atomkjerne». Her spør man hva det er som holder atomkjernen sammen? Fra før kjenner man til to fundamentale krefter; gravitasjon og elektriske krefter. Siden protonene har lik ladning, så virker det frastøtende elektriske krefter mellom disse, og dermed skulle det vel være gravitasjonen som holder nukleonene sammen i kjernen? ERGO-1 slår fast at dette ikke er tilfelle, og viser til at den elektriske frastøtningen mellom protonene er 10^{36} ganger større enn gravitasjonstiltrekningen. «Gravitasjonen spiller *ingen* rolle i atomet eller atomkjernen. Det er på tide å presentere en tredje naturkraft.»[8, s. 220]

ERGO-1 introduserer denne tredje naturkraften som «den sterke kjernekraften», og beskriver den som et slags «superlim» mellom nukleonene i kjernen. Det slås fast at det er en *meget* sterk kraft, men at den også har en meget kort rekkevidde. Det nye med denne kraften er at den er like sterk mellom begge nukleonene, altså like sterk mellom to protoner som mellom to nøytroner eller et proton og et nøytron.

ERGO-1 omtaler ikke den sterke kjernekraften (sterk kraft) som en «vekselvirkning». En har også valgt å ikke snakke om svak vekselvirkning som den fjerde naturkraften, i alle fall ikke i dette kapittelet.

3.2.6 Kapittel 8: «Astrofysikk»

Kapittel 8 inneholder et delkapittel som heter «8E: Kosmologi». Her presenteres det (s. 274–275) en oversikt over universets utvikling, som er inndelt i bokser eller ruter. I ruten som heter «Før det har gått et sekund» forteller ERGO-1 at:

Universet [før det har gått et sekund] består av kvarker, gluoner, leptoner, fotoner, elektrosvake kraftpartikler og muligens andre partikler som vi hittil ikke har observert. I denne fasen kjemper partikler og anti-partikler om overtaket. De blir dannet og utslettet om hverandre. [8, s. 274]

Nå skal man kanskje ikke legge for mye i det som blir presentert i denne oversikten, men er nevnes altså f.eks. den elektrosvake vekselvirkningen i form av «elektrosvake kraftpartikler», samt at ordet «kraftpartikler» i seg selv bærer med seg et budskap om at partikler kan formidle krefter. Her nevnes også gluoner, mens man i kapittel 7 (se 3.2.5 om kap. 7 i ERGO-1) ikke identifiserte den sterke kjernekräften som en vekselvirkning.

3.2.7 Kapittel 9: «Elektrisitet»

Det første man behandler i dette kapittelet er ladning, i delkapittel «9A: Ladning». Her åpner man med å gi en beskrivelse av elektriske krefter:

Elektriske ladninger påvirker hverandre med krefter. Gjenstander med samme slags ladning frastøter hverandre, og gjenstander med forskjellig slags ladning tiltrekker hverandre. [8, s. 287]

På samme måte som med masse, så forteller ERGO-1 at man ikke vet hva ladning *egentlig* er, men at man – som med masse – kan beskrive og identifisere noen av egenskapene til (elektrisk) ladning.

En fellesfaktor – som er uavhengig av det ERGO-1 skriver eller ikke skriver – er at både masse og ladning er «ting» som vi ikke vet hva egentlig er. Det vi derimot vet er at kreftene som virker på legemer med masse og/eller ladning er avhengig av nettopp massen eller ladningen. På samme måte vet man ikke *egentlig* hva krefter er, men man kan beskrive *egenskapene* til krefter. Det er altså ikke lang vei til tanken om at så snart man tilegner seg større innsikt (hvis det er mulig) om masse og ladning, så tilegner man seg mer eller mindre automatisk større innsikt i hva en kraft egentlig er.

Neste delkapittel heter «9B: Strøm», og her ser en blant annet på strøm i metaller. Her forklarer ERGO-1 strømmen av *ledningselektronene* i metallet som en følge av at det «virker elektriske krefter på elektronene og atomkjernene i metalltråden». Man definerer positiv strømretning som «den retningen som en positiv ladning ville ha beveget seg i.» [8, s. 291], noe som jo medfører at elektronene i en metalltråd beveger seg i negativ strømretning, eller *mot* strømmen.

I påfølgende delkapittel ser man på spenning, og delkapittelet heter da også «9C: Spenning». ERGO-1 åpner med å gi en forklaring på hva elektrisk spenning er, og for å best mulig forståeliggjøre dette trekker de en analogi til tyngdefeltet der tyngdekraften gjør arbeid på en vannmengde med total masse m som faller i en foss.

For å forstå hva elektrisk spenning er, ser vi først på et eksempel med tyngdefeltet. [...] Noe tilsvarende gjelder for elektriske ladninger som beveger seg i en ledning. Vi tenker oss en positiv ladning Q som beveger seg i strømretningen, fra A til B på figur 9-9 [et utsnitt av en ledning der strømretningen er indikert]. Det er elektrisk kraft som driver ladningen fra A til B. Denne kraften utfører et arbeid W på ladningen. Dette arbeidet avhenger av hvor stor ladningen er. Men *arbeid per ladning* viser seg å være like stort for alle ladninger som går fra A til B. Arbeidet per ladning kaller vi *spenningen* mellom A og B. [8, s. 293]

Altså har den elektriske kraften som driver ladningene noe å si hvor stor spenningen blir. Ut i fra definisjonen man tidligere har gitt av arbeid, vil arbeidet bli større ettersom kraften øker. Jo større kraft, jo større vil arbeidet per ladning bli (sett at antallet ladninger ikke øker tilsvarende), altså vil spenningen bli større.

Resten av kapittelet dreier seg i stor grad om resistans (motstand), og kobling av motstander i elektriske kretser. I forbindelse med delkapittel «9F: Elektrisk energi og effekt», presenterer ERGO-1 «Joules lov», og referer i den forbindelse (i margen) til at en elektrisk kraft gjør et arbeid på en ladning i det ladningen beveger seg gjennom en leder [8, s. 307].

Generelt for kapittel 9 er det verdt å merke seg at ERGO-1 ikke nevner eller tar for seg det elektriske felt. I forbindelse med spenning presenterer ERGO-1, som nevnt over, en analogi til et massivt legemes bevegelse i tyngdefeltet, men en snakker ikke noe, verken kvalitativt eller kvantitativt, om elektriske felt eller hvordan ladninger beveger seg i elektriske felt. I RST-1 (se 3.1.7 om kap. 11 i RST-1) tar en ganske kort opp det elektriske feltet i en egen bolk. Det er ikke mye som sies, men man forsøker å illustrere det elektriske feltet med de hjelpemidler som rammene for kapittelet tillater.

3.3 «Rom Stoff Tid: Fysikk 2»

I det første kapittelet i RST-2, «Fire ideer som forandret verden og vårt syn på den», gir RST-2 det en kan kalle en historisk introduksjon til fire sentrale ideer i fysikk, som i dag danner grunnlaget for hvordan vi beskriver og forklarer verden rundt oss. Først ser en på Newtons gravitasjonslov, og hvordan denne loven ble et solid fundament for det heliosentriske verdensbildet. Dernest ser RST-2 på induksjon, og hvilken enorm betydning oppdagelser innen elektromagnetisme har hatt for utviklingen av samfunnet, helt frem til slik vi kjenner det i dag. Videre ser en på oppdagelser knyttet til observasjoner av universet, f.eks. oppdagelsene til Hubble, og hvordan en etterhvert har «kartlagt» universet. Til sist ser RST-2 på kvantefysikk, og hvordan utviklingen av kvantemekanikken revolusjonerte vårt syn på hvordan verden er bygd opp, helt ned til elementærpartiklene.

Som det fremgår av denne gjennomgangen, så er ikke kapittel 11 «Induksjon» presentert i denne innholdsanalysen. Det er valgt å fokusere på kapitlene 9 og 10, hhv. «Elektrisk felt» og «Magnetisk felt», ettersom disse kapitlene danner grunnlaget for kapittel 11 «Induksjon», og således også, i stor grad, grunnlaget for kraftbegrepet.

Det er heller ikke valgt å presentere innholdsanalysen av kapittel 12 «Teknologi». Argumentasjonen er i stor grad den samme som med kapittel 12 «Halvlederteknologi» i RST-1 (se 3.1). I dette kapittelet presenterer en flere sentrale teknologier i dagens samfunn (røntgen, CT, MR og ultralyd, samt teknologien bak digital lyd).

Oversikt over kapitlene i RST-2 [29]

Kapittel	Beskrivelse	Antall sider
Kapittel 1: «Fire ideer som forandret verden og vårt syn på den»	Oppdagelser som har forandret vårt syn på verden. Gravitasjonsloven, induksjon, observasjon av universet og kvantefysikk.	14 (s. 8–21)
Kapittel 2: «To bevaringslover»	Bevaring av bevegelsesmengde og energi.	26 (s. 22–47)
Kapittel 3: «Relativitetsteori»	Relativitetsprinsippet. Relativistisk tid, bevegelsesmengde og energi. Energi og masse.	20 (s. 48–67)
Kapittel 4: «Kvantefysikk»	Lys som partikler, fotoner. Uskarpheftsrelasjon, sannsynlighet.	20 (s. 68–87)
Kapittel 5: «Partikkelfysikk»	Elementærpartikler. Fire naturkrefter. Bevaringslover. Standardmodellen.	23 (s. 88–109)
Kapittel 6: «Bevegelse»	Rettlinjet og krum bevegelse. Fart og akselerasjon som vektorer. Kast.	32 (s. 110–141)

Kapittel 7: «Kraft og bevegelse»	Newtons lover. Sirkelbevegelse og krefter.	26 (s. 142–167)
Kapittel 8: «Gravitasjonsfelt»	Newtons gravitasjonslov. Gravitasjonsfelt og energi. Satellittbevegelse. Generell relativitetsteori.	22 (s. 168–189)
Kapittel 9: «Elektrisk felt»	Ladning og kraft. Coulombs lov. Elektrisk felt, arbeid og spenning.	22 (s. 190–211)
Kapittel 10: «Magnetisk felt»	Magnetfelt. Kraft i magnetfelt. Strømløser i magnetfelt.	28 (s. 212–239)
Kapittel 11: «Induksjon»	Induksjon og Faradays induksjonslov. Magnetisk fluks. Vekselstrømproduksjon.	20 (s. 240–259)
Kapittel 12: «Teknologi»	Røntgen, MR og ultralyd. Digital lyd og sampling.	21 (s.260–281)

Tabell 3.3: Oversikt over hvilke kapitler som utgjør RST-2. Antall sider inkluderer sider med oppgaver og ev. «introduksjonssider» til enkeltkapitler.

3.3.1 Kapittel 2: «To bevaringslover»

Kapittel 2 tar for seg – noe tittelen åpenbart antyder – to av de mest sentrale bevaringslovene i fysikk; bevaring av energi og bevegelsesmengde.

RST-2 åpner kapitlet med å definere bevegelsesmengde. En referer først, kort til den historiske utviklingen, og eksperimenteringen til bla. Huygens med støt. RST-2 innleder selve definisjonen med å presisere hva en mener med bevegelsesmengde:

Størrelsen mv kaller vi i dag *bevegelsesmengde*, og den har fått symbolet p . Bevegelsesmengde er en vektorstørrelse med samme retning som farten. [29, s. 24]

Dernest definerer RST-2 bevegelsesmengde:

Bevegelsesmengden \vec{p} til et legeme med massen m og farten \vec{v} er

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

[29, s. 24]

RST-2 fremstiller vilkåret for at den samlede bevegelsesmengden er konstant for et system av legemer, nemlig at summen av ytre krefter er lik null. Det presiseres at bevegelsesmengde er bevart *rett før og rett etter støt*, selv om det virker friksjon (f.eks. fra et underlag). En antyder at selv om friksjon – en ytre kraft – virker, så er bevegelsesmengden bevart om man studerer svært korte tidsrom rett før- og etter et støt eller en kollisjon. Generelt er det gjerne slik at man tillegger tap i (mekanisk) energi til ulike friksjonskrefter. Altså kan en si at (friksjons)krefter har

den egenskapen at de kan «tappe» et system for energi (dette er konsistent med en av definisjonene som RST-2 velger å gi av krefter, nemlig at krefter kan endre fart/retning og/eller form til et legeme – en definisjon som man også finner igjen i RST-1 [28, s. 106], se forøvrig 3.1.3). Når man da tenker seg at friksjonskrefter kan «tappe» et system for energi, kan dette, som RST-2 også indikerer, gi seg utslag i en endring av farten, og gjennom uttrykket for bevegelsesmengden ser en da at en endring i farten også medfører at bevegelsesmengden endres.

Når det gjelder *indre krefter*, så spesifiserer RST-2 at dette er krefter mellom legemene som støter sammen. Selve bevaringsloven for bevegelsesmengde formulerer RST-2 som følger:

Den samlede bevegelsesmengden er konstant for et system av legemer der summen av ytre krefter er null.

$$\vec{p}_2 = \vec{p}_1$$

[29, s. 27]

I en egen tekstboks [29, s. 35], noe senere i kapittelet, utleder RST-2 bevaringsloven for bevegelsesmengde, ved å «bygge direkte på Newtons 2. og 3. lov» [29, s. 35].

RST-2 behandler så forskjellige typer av sentrale støt i større detalj. En tar for seg både elastiske og uelastiske støt.

Videre i dette kapittelet tar RST-2 for seg N2, der man spesielt ser på hvordan denne kraftloven relaterer seg til størrelsen bevegelsesmengde [29, s. 33]. Dette representeres matematisk på følgende vis, der en har at $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, og $p = mv$:

$$\Sigma F = ma = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

Altså er kraftsummen på legemet (systemet) lik endringen i bevegelsesmengde i det tidsrommet man studerer. I ordlyden når man snakker om endringen i bevegelsesmengde ligger det at man snakker om en endring i «mengden bevegelse», noe som kanskje kan oppfattes som et uttrykk for hvordan den totale *bevegelsen* endrer seg. Matematisk fremgår det helt greit, både hos RST-2 og ellers, at endring i fart (hastighet), altså akselerasjon, og endring i bevegelsesmengde er to sider av samme sak, siden man ikke har en endring i massen. Matematisk er også størrelsen bevegelsesmengde ikke komplisert; den er produktet av masse og fart (fartsvektoren), og bevegelsesmengden har samme retning som farten.

Bevegelsesmengde er også, som nevnt, en svært sentral størrelse i studiet av ulike problemer i fysikken, spesielt siden størrelsen kommer med en tilhørende bevaringslov. RST-2 spesifiserer også at loven om bevaring av bevegelsesmengde har samme gyldighetsområde som Newtons lover [29, s. 35]. Med dette forstås at gitt en situasjon der Newtons lover gjelder, så gjelder også loven om bevaring av bevegelsesmengde. Dermed, om man ønsker å studere kreftene på et system i en slik situasjon, så kjenner man relasjonen mellom bevegelsesmengde og kraft, jfr. N2.

Etter å ha presentert bevaringsloven for bevegelsesmengde går man videre til å presentere bevaringsloven for energi i tyngdefeltet [29, s. 36]. Et eksempel som

studies i mer detalj er energibevaring i ei elastisk fjær, der også Hookes lov naturlig nok blir presentert. Hookes lov formuleres ganske greit:

Når ei elastisk fjær blir strukket (presset sammen), er kraften F på fjæra og forlengelsen (forkortelsen), x proporsjonale: $F = kx$, der k er fjærstivheten.

Igjen er det relativt opplagt at dette er konsistent med de egenskapene til kraft som inngår i definisjonen av krefter, i og med at kraften er proporsjonal med utsvinget/utslaget fra likevekt, eller endring i posisjon om man vil. En kraft kan strekke eller presse sammen fjæra, som samsvarer med at en kraft kan deformere et legeme (ei fjær i dette tilfellet).

3.3.2 Kapittel 3: «Relativitetsteori»

Sett under ett er ikke krefter et tema som tas opp eksplisitt i dette kapitlet, noe som heller kanskje ikke er å vente av et introduksjonskapittel i relativitetsteori. Selv om kapitlet heter «Relativitetsteori», så omfatter det kun det som man tradisjonelt omtaler som spesiell relativitetsteori.

Når det gjelder kapitlet så behandler man først referansesystemer der man definerer et treghetssystem (inertialsystem), relativitetsprinsippet og betrakter Einsteins postulater (relativitetsprinsippet). Deretter går man videre til å introdusere tidsdilatasjon ved hjelp av et velkjent eksempel med en lysstråle i togvogner. Formelen for den relativistiske tiden utledes via en geometrisk betraktning (Pytagoras). RST-2 tar ikke for seg lengdekontraksjon, eller Lorentztransformasjoner generelt.

I stedet beveger man seg rett over på relativistisk bevegelsesmengde og energi, der man ikke fokuserer på matematikken bak uttrykkene, men nøyer seg med å presentere uttrykkene for bevegelsesmengde og energi som de er. Man henviser imidlertid til uttrykket man fikk for tidsforlengelsen i det man presenterer uttrykket for den relativistiske bevegelsesmengden:

Den relativistiske bevegelsesmengden er gitt ved

$$p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

for et legeme med massen m og farten v . [29, s. 59]

Deretter henviser man til N2 fra kapittel 2 (se 3.3.1), og presiserer at kraftloven har samme form, men man må benytte seg av det relativistiske uttrykket for bevegelsesmengden i relativistisk mekanikk. Dernest kommer en interessant bolk der man ser på konsekvensene av sammenhengen mellom kraft og (relativistisk) bevegelsesmengde:

Når v nærmer seg c [lysfarten], blir p uendelig stor. Hvis farten til et legeme er nær lyshfarten, f.eks. $0.99c$, og vi ønsker å få legemet opp i lyshfarten, må økningen i bevegelsesmengden være uendelig stor. Det er

bare mulig hvis kraften på legemet er uendelig stor, eller hvis kraften virker i uendelig lang tid. Dette forklarer at *ikke noe legeme med masse kan oppnå lysfarten*. [29, s. 59]

Det at RST-2 tar opp dette er interessant, for det åpner for å tenke på hvordan krefter er begrenset. «En kraft kan ikke være uendelig stor», impliserer at det finnes en øvre grense for hvor «sterk» (stor) en kraft kan være. Det er vanskelig å tenke seg en slik øvre grense for en kraft, for hvordan skulle man kunne finne denne øvre grensen. Man kunne tenke seg at man betrakter to punktladninger og den elektriske kraften mellom disse. Hvis vi antar at ladningene ikke er uendelig store, så må avstanden, r , mellom ladningene gå mot 0, $r \rightarrow 0$, for at kraften mellom dem skal vokse mot uendelig. Man kan i teorien plassere disse punktladningene i en *svært* liten avstand fra hverandre, men de to punktladningene kan ikke befinne seg i samme posisjon til samme tid, og således kan man tenke seg at kraften mellom dem ikke vil vokse til uendelig.

Diskusjonen i RST-2, om hva som skjer når farten nærmer seg lysfarten, som gjengitt over, antyder også at det finnes en grense for hvor lenge en kraft kan virke, en slags «tidslimit» om man vil. Altså, en kraft kan ikke virke uendelig lenge. Dette er et noe større tankeprosjekt. For det første er det vanskelig å «spå» langt nok frem i tid. For det andre så er dagens observasjoner og teorier konsistent med et univers som er rundt 13,5 milliarder år gammelt, som slettes ikke er uendelig gammelt. En kan for eksempel tenke seg at så lenge det finnes massive objekter, så vil det virke gravitasjonskrefter mellom disse. Men, hva skjer hvis objektene havner uendelig langt fra hverandre? Eller mer bestemt, er universet uendelig stort, slik at gravitasjonskraften mellom to legemer etterhvert forsvinner? Alt dette er fysiske betraktninger av matematiske betingelser som kreves for å gjøre en kraft uendelig stor. En kunne jo også tenke seg at en kraft kunne ha en eller annen uforutsigbar tidsavhengighet. Når det er sagt, så kunne man vel opprinnelig forstå problemet slik: Gitt at en kraft virker på et massivt objekt, så må denne kraften virke uendelig lenge for at legemet skal kunne nå lysfarten. Problemet er altså ikke nødvendigvis at kraften faktisk må *virke* så lenge, men at «uendelig lenge» ikke eksisterer. Dog, akkurat dette er ikke noe RST-2 velger å belyse.

3.3.3 Kapittel 4: «Kvantefysikk»

Hvor interessant dette kapitlet enn er, så er svært lite av det som presenteres i kapitlet relatert til det man til nå har lært om krefter. Man introduserer fotoner, og man presiserer at fotonet faktisk har bevegelsesmengde til tross for at det ikke har masse, noe man kan se av uttrykket for den relativistiske energien man fant i kapittel 3 (se 3.3.2). Dernest presenterer en hvordan Einstein kom frem til at bevegelsesmengden til fotonet er relatert til bølgelengden, slik at en kan uttrykke fotonets bevegelsesmengde ved $p = \frac{h}{\lambda}$. RST-2 utdyper videre om hvordan bevegelsesmengde opptrer forskjellig i klassisk fysikk, og kvantefysikk:

I den newtonske mekanikken er bevegelsesmengden en størrelse som vi knytter til legemer, mens bølgelengden er en størrelse som knyttes

til bølger. I følge Einstein kan vi knytte både bevegelsesmengde og bølgelengde til et foton, og sammenhengen mellom *bevegelsesmengden* og *bølgelengden til lyset* er $p_f = \frac{h}{\lambda}$. [29, s. 74]

RST-2 indikerer ikke om en kan relatere denne bevegelsesmengden til, f.eks. N2 (ettersom N2 uttrykkes gjennom bevegelsesmengde i kapittel 2, se 3.3.1). Indirekte presiserer en likevel at dette ikke er «aktuelt», ettersom en snakker om bevegelsesmengde i newtonsk mekanikk, sammenliknet med bevegelsesmengden innen kvantefysikk/kvantemekanikk.

Videre, under overskriften (delkapittelet) «Kvantemekanikk», presenterer RST-2 Heisenbergs uskarphetsrelasjon, der en ser på uskarphetsrelasjonen både for usikkerheten i posisjon og bevegelsesmengde, og for usikkerheten i energi og tid (tidspunkt). En presenterer også sannsynlighetsfordelingen som knytter seg til kvantemekanikkens beskrivelse av partikler. På bakgrunn av dette presenterer RST-2 hvordan klassisk fysikk skiller seg fra kvantemekanikk (og «moderne fysikk»):

I newtonsk mekanikk og Maxwells teori finner vi ikke sannsynligheter og uskarpheter, men en nøyaktig beskrivelse av den framtidige bevegelsen. Disse teoriene kaller vi *klassisk fysikk*. Vi har sett at for legemer som vi omgås i dagliglivet, har uskarphetsrelasjonen ingen betydning, derfor bruker vi klassisk fysikk til å beregne disse bevegelsene. Kvantepartikler, derimot, kan ikke beskrives med disse teoriene. Til det trenger vi kvantemekanikken. [29, s. 80]

Ettersom RST-2 (som en ser i de neste kapitlene) behandler kraft i et mye større omfang i kapitler som ligger innen klassisk fysikk, så indikerer en på mange måter at kraft i større grad relaterer seg til å beskrive «klassiske» bevegelser (bevegelser i klassisk fysikk), enn i kvantefysikk. Dette er riktignok ikke noe som eksplisitt kommer frem i RST-2, men som f.eks. indikeres av det ovennevnte.

3.3.4 Kapittel 5: «Partikkelfysikk»

I introduksjonen til kapittelet sier RST-2 følgende:

Du har også lært at protonene og nøytronene, som danner atomets kjerner, er bundet til hverandre fordi det virker tiltrekningskrefter mellom dem, det vil kalte sterke kjernekrefter. Det virker også tiltrekningskrefter mellom kvarkene i et nukleon. Denne kraften kalles sterk kraft. [29, s. 89]

Det virker som at begrepet (terminologien) kraft er gjenstand for en relativt omfattende inndeling i forskjellige virkeområder. Akkurat her ser man at det er gjort forskjell på ordvalg av krefter mellom protoner/nøytroner og krefter mellom kvarker, hhv «sterke kjernekrefter» og «sterk kraft». Primært virker en slik «inndeling» av krefter i forskjellige «disipliner» som et hjelpemiddel til å forstå hvilke legemer krefter virker mellom, og ikke nødvendigvis ha en konseptuell effekt. RST-2 bruker

imidlertid deler av kapittelet til å utdype hvordan disse kreftene virker, slik at det ikke *bare* fremstår som forskjellige ordvalg.

RST-2 inneholder en del/et delkapittel som heter «De fire grunnleggende naturkreftene» [29, s. 95], der alle de fire, kjente naturkreftene blir studert nærmere. Dette ble også tatt opp i RST-1 [28] (se 3.1.1), men da relativt overflattisk. Her behandles disse fire naturkreftene mer i dybden. Denne delen åpner med å igjen gå tilbake til bruken av ordet «vekselvirkning»:

Hva er det for eksempel som virker når jorda trekker på månen, eller når et proton trekker på et elektron? Vi kaller det *krefter*. Ofte bruker vi også ordet *vekselvirkning*. I kjernefysikken ebruger vi vekselvirkning og kraft om hverandre, selv om vekselvirkning er et noe videre begrep enn kraftbegrepet i klassisk fysikk. [29, s. 95]

For det første så omtales krefter som blant annet dette «hva» som virker når jorda trekker på månen. Man har altså gjennom hele boken, og Fysikk 1-boken (RST-1), snakket om krefter og beskrevet krefters egenskaper, men avslører her at krefter på (veldig) mange måter er udefinert. Dernest så antydes det at «vekselvirkning» er noe mer enn «kraft». På et kvante-/partikkel-/subatomært- nivå gir det åpenbart mening at krefter \leftrightarrow vekselvirkning, på grunn av kvantefeltteori og utveksling av virtuelle partikler (RST-2 snakker noe om kvantefeltteori senere i kapittelet). Når RST-2 så sier at «vekselvirkning» er videre enn kraftbegrepet vi kjenner fra klassisk mekanikk, så antyder man at en kraft ikke nødvendigvis kan beskrives som en vekselvirkning. Dette selv om den definisjonen man har gitt krefter (i klassisk forstand) fra før av har presentert en kraft som nettopp «en vekselvirkning mellom to legemer» (se 3.1.3 for definisjonen fra RST-1, som er lik den man finner igjen i RST-2 kapittel 7, se 3.3.6). Om man for et øyeblikk ser begge RST-bøkene i sammenheng (RST-1 og RST-2) – noe det jo ikke er unaturlig å gjøre – så kan en kraft forstås som en vekselvirkning både på et atomært/subatomært nivå, og på et makroskopisk nivå. Selv om detaljene i selve vekselvirkningen fremstår som forskjellig i begge tilfellene (RST-2 nevner dog en eventuell kvantefeltteori for gravitasjon seinere), så faller begge under beskrivelsen «vekselvirkning».

RST-2 presenterer en oversiktlig tabell [29, s. 95] som oppsummerer de fire grunnleggende naturkreftene og deres egenskaper. I forbindelse med denne tabellen snakker RST-2 om at disse fire kreftene har forskjellige hovedvirkeområder i naturen. For selv om en har et paraplybegrep i «kraft», så opptrer de forskjellige *typene* krefter i forskjellige prosesser og sammenhenger i naturen.

Videre går RST-2 fra tabellen til en bolk som utdyper de fire naturkreftene. Før en går inn på hver enkelt kraft/vekselvirkning, så sier en at:

I klassisk fysikk blir krefter mellom legemer beskrevet ved hjelp av felt. Vi snakker om elektrisk felt, magnetisk felt og gravitasjonsfelt. Når partikkelfysikerne beskriver vekselvirkninger, bruker de en kvanteteori for felt [kvantefeltteori]. [29, s. 96]

Det som essensielt fremgår av dette er at for å kunne gå fra en «klassisk verden» til en «kvantemekanisk verden», så må man kvantisere de tilhørende feltene man

opererer med.

Deretter presenterer RST-2 hver enkelt naturkraft i utdypende avsnitt [29, s. 96–98], som en kan presentere som en punktliste:

- Gravitasjonskrefter:
 - «Alle» kjenner tyngdekraften; alle har observert at den virker
 - Gravitasjonskraften virker mellom alle legemer med masse, også mellom elementærpartikler
 - Man har ingen kvantefeltteori for gravitasjon (enda..)
- Elektromagnetiske krefter:
 - Elektriske og magnetiske krefter (og felt, selv om det ikke nevnes eksplisitt i RST-2) er vevd tett sammen, slik at man snakker om *elektromagnetisk kraft* som én kraft
 - I kvanteteorien for elektromagnetiske krefter er feltpartiklene virtuelle fotoner (fotonene er bærere av den elektromagnetiske kraften, noe boken ikke eksplisitt nevner), som ikke må forveksles med vanlige fotoner. QED er teorien for elektromagnetiske vekselvirkninger, som har vist seg å kanskje være den mest vellykkede teorien i fysikken (så, om man strekker det litt langt så kan dette implisere at «teorien om krefter» (konseptet kraft) er en (meget) vellykket teori)
- Sterke krefter:
 - Man trenger *fargeladning* for å forklare sterke krefter mellom kvarker (RST-2 omtaler fargeladning også som «sterk ladning», som impliserer at det er en type ladning, analogt til elektrisk ladning, som er «sterkere» en elektrisk ladning, altså gir det en sterkere kraft)
 - Mellom legemer med fargeladning (kvarker) virker det sterke tiltrekkende krefter. RST-2 omtaler dette som «fargekrefter»
 - Kvantefeltteorien for sterke vekselvirkninger er QCD, og den sterke kraften blir formidlet (den bæres av) 8 forskjellige feltpartikler – *gluoner*
 - Kreftene mellom kvarker øker kraftig med avstanden, noe som forklarer hvorfor det ikke er observert frie kvarker
- Svake krefter:
 - Det konstateres at det er vanskelig å gå inn på teorien for svake krefter (svake vekselvirkninger) (egentlig er det vel vanskelig å gå inn på noen av kvanteteoriene for vekselvirkningene)
 - Man har tre svake feltpartikler: W^\pm og Z^0
 - Den svake vekselvirkningen er nært beslektet med elektromagnetiske vekselvirkninger (krefter), og egentlig har man en felles kvantefeltteori der man snakker om elektrosvake vekselvirkninger

- Den svake vekselvirkningen har en spesiell egenskap i og med at den kan omdanne kvarker ($u \rightarrow d$, for eksempel)

Midt oppi alt dette presenterer RST-2 en infoboks med tittelen «Fargekrefter og sterke kjernekrefter» [29, s. 97]. Her utdypes skillet man har gjort mellom «sterk kraft» og «sterk kjernekraft». Mens sterk kraft bare opptrer mellom kvarker, er kraften mellom protoner og nøytroner den vi kaller sterk kjernekraft. Den sterke kjernekraften er avledet av den sterke kraften mellom kvarkene i nukleonene, og således kalles den også «avledet kraft» eller «restkraft». Analogt til dette er det avledede elektriske krefter i (nøytrale) atomer og molekyler, som skyldes at det er forskjellige avstander mellom ladningene i ulike deler av atomene/molekylene. Det sies i denne infoboksen at:

Det er disse avledede elektriske kreftene som holder atomene sammen i molekyler og molekylene sammen i væsker, som gir oss friksjon, normalkrefter, snordrag og alle de andre naturkreftene vi kjenner så godt fra dagliglivet. [29, s. 97]

Altså er krefter (eller vekselvirkninger) på et kvantenivå opphav til krefter (også mer spesielt, kontaktkrefter) på makronivå.

3.3.5 Kapittel 6: «Bevegelse»

RST-2 konstaterer at man i dette kapittelet skal ta for seg bevegelser som kan beskrives ved hjelp av klassisk fysikk. Man går et steg videre fra RST-1 [28], og behandler akselerasjon og fart (en refererer fortsatt til «fartsvektoren») som vektorer. Dette vil si at man her studerer bevegelser som ikke nødvendigvis foregår langs en rett linje. Akselerasjon, hastighet og posisjon behandles også i større grad matematisk, ved at man viderefører akselerasjon som den deriverte av hastigheten, og nå benytter integrasjon for å finne hastigheten og posisjonen fra akselerasjonen, for eksempel. I det hele behandles disse størrelsene i større grad matematisk, og man introduserer f.eks. posisjon, fart og akselerasjon som vektorfunksjoner.

Sentralt dette kapittelet er *uavhengighetsprinsippet*. Siden man nå betrakter hastighet og akselerasjon (og posisjon) som vektorer, så viser det seg at Newtons andre lov er en vektorlov:

$$\Sigma \vec{F} = m \vec{a}$$

Dette betyr at at hvis kraftsummen er konstant, så er akselerasjonsvektoren konstant, og dette medfører at akselerasjonskomponentene er konstante, uavhengig av hvordan koordinataksene er valgt. Dette er uavhengighetsprinsippet slik RST-2 presenterer det.

I dette kapittelet studerer man også akselerasjon i sirkelbevegelser. Man innfører størrelser/begreper som vinkelfart, $\omega = \frac{\theta}{t}$, og ved litt (vektor)matematikk kommer man fram til at akselerasjonen i en sirkelbevegelse er motsatt rettet av posisjonen (posisjonsvektoren), $\vec{a}(t) = -\omega^2 \vec{r}(t)$. Siden kraften har samme retning som akselerasjonen, betyr dette at kraften, \vec{F} , vil virke *innover* mot sentrum av sirkelen.

Man finner verdien av akselerasjonen, $a = \frac{v^2}{r}$, som kalles «sentrifugalakselerasjonen». RST-2 spesifiserer at en gjerne kaller denne akselerasjonen for sentrifugalakselerasjon, men selv refererer RST-2 til «akselerasjon i sirkelbevegelse».

Et viktig poeng som kommer fram, og som er en konsekvens av at man nå behandler akselerasjon som en vektor, er at selv om verdien til akselerasjonen er konstant, så skifter akselerasjonen hele tiden retning slik at akselerasjonen ikke er konstant. Dette betyr jo igjen at verdien av kraften hele tiden er konstant, men at kraften skifter retning i det akselerasjonen skifter retning, slik at kraften ikke er konstant. RST-2 har valgt å parametrisere posisjonen via polarkoordinater, og finne akselerasjonen ved hjelp av en slik parametrisering, for så å finne kraften.

Ved å studere akselerasjon i sirkelbevegelse kan en «fremprovosere» en del interessante – og ikke helt intuitive – «effekter» ved akselerasjon. I et eksempel med en bil i en rundkjøring på [29, s. 135], finner man at akselerasjonen til en bil som kjører i 20 km/h i en rundkjøring med radius 6 meter er større enn den til en bil som øker farten jevnt fra 0 til 100 km/h på en rett vei. På papiret er ikke dette spesielt opplagt, men det er jo noe de fleste (som har kjørt bil i en rundkjøring) har følt på, dersom en tenker etter.

3.3.6 Kapittel 7: «Kraft og bevegelse»

Kapittel 7 åpner på følgende vis:

I kapittel 6 *beskrev* vi bevegelser. I dette kapitlet skal vi *forklare* bevegelse – som et resultat av at det virker krefter på legemet. [...] Vi skal lære mer om Newtons tre lover på vektorform, om uavhengighetsprinsippet og om å bruke komponentlikninger i oppgaveløsning. Med disse redskapene kan du beregne akselerasjonen din i utforløypa – eller kraften på nordlyselektroner som danser i jordas magnetfelt. [29, s. 143]

Så, krefter har den egenskapen at de forklarer en bevegelse, mens størrelser som posisjon, hastighet og akselerasjon er størrelser som beskriver bevegelsen. Det er viktig å nevne denne forskjellen da den matematiske beskrivelsen av en bevegelse ikke nødvendigvis er en forklaring av bevegelsen.

Etter introduksjonen repeterer man de etterhvert velkjente egenskapene til/ved krefter som kjent fra RST-1 (en kraft kan endre form og/eller fart til et legeme), samt at man repeterer/oppsummerer Newtons tre lover, men på vektorform denne gangen. Annet enn at man nå jobber med vektorer, tilføyes det ikke mye nytt i forbindelse med Newtons lover, der formuleringen fremstår helt lik som den i RST-1 (se 3.1.3). Når det er sagt, så presiserer RST-2 innholdet i N3, sammenliknet med det i N1 og N2:

Newtons 3. lov handler om to krefter som virker på *hvert sitt legeme*, altså en *vekselvirkning* mellom to legemer. De to første lovene, derimot,

handler om kreftene som virker på *ett* legeme eller *ett* system og som derfor bestemmer hva slags bevegelse legemet forsetter med. [29, s. 144]

Med dette kan en si at RST-2 refererer til N3 som en lov for hvordan krefter «opptrer», gjennom en vekselvirkning, slik det er beskrevet. N1 og N2 beskriver hvordan krefter virker på et enkelt legeme, og således bestemmes bevegelsen til legemet av «reglene» for kraft i N1 og N2.

Videre presenterer RST-2 N2 på komponentform, og i den forbindelse uavhengighetsprinsippet. Siden uavhengighetsprinsippet gjelder, så gjelder N2 i hver retning, hver for seg. Dette betyr at akselerasjonen i en gitt retning, kun er bestemt av massen og kraftsumkomponenten i denne retningen.

Dernest ser RST-2 på krefter på skråplan. I den forbindelse ser man litt nærmere på friksjonskrefter, og introduserer f.eks. friksjonstallet μ i forbindelse med glidefriksjon:

Retningen til friksjonskraften for legemer som glir, er motsatt av bevegelsesretningen – slik vi lærte i Fysikk 1. Forsøk viser at friksjonskraften på et legeme som glir på et underlag, er lite avhengig av farten og kontaktflatearealet. Men det viser seg at friksjonskraften R er tilnærmet proporsjonal med normalkraften N på legemet fra underlaget:

$$R = \mu N$$

[...] Verdien av μ er avhengig av egenskapene til flatene som glir mot hverandre. [29, s. 148]

RST-2 ser også litt på snordrag, dvs krefter på legemer som blir trukket av ei snor. RST-2 gir et eksempel med en kloss som blir trukket av ei snor. «Med *snordraget* mener vi kraften \vec{S} på klossen fra snora, *eller* kraften \vec{S}' på snora fra klossen» [29, s. 150]. RST-2 viser N3, som gir at disse to kreftene er motsatte og like store. Deretter benytter en N2 for å vise at dersom du drar i snora med hånden, så er snordraget på klossen og på hånden like store dersom snora ikke er akselerert, eller hvis man tenker seg snora som masseløs.

RST-2 fortsetter så med å se på krefter på legemer i sirkelbevegelse, en naturlig fortsettelse fra akselerasjon i sirkelbevegelse i kapittel 6 (se 3.3.5). Det som ble sagt i kapittel 6 repeteres stort sett, med litt annen vinkling der man ser på diverse eksempler, f.eks. der legemer er i sirkelbevegelse festet til en snor slik at snordrag virker. Man betrakter også friksjon i sirkelbevegelse ved å studere en bil som kjører i en sving.

I tilfellet konstant banefart, så presenterer RST-2 N2 uttrykt ved uttrykket for akselerasjonen i sirkelbevegelse, som en fant i kapittel 6 (se 3.3.5). Da en fra før har funnet at denne akselerasjonen hele tiden har retning inn mot sentrum i sirkelbanen, må summen av kreftene ha samme retning. RST-2 presenterer dermed N2, med absoluttverdier, $\sum F = ma = mv^2/r$, samtidig som en spesifiserer om denne såkalte «sentripetalkraften»:

En slik kraft – eller sum av krefter – som hele tida har retning mot sentrum av sirkelbevegelsen, blir av og til kalt *sentripetalkraft*. At denne kraftsummen har fått et eget navn, skyldes ikke at det er en ny type kraft som opptrer. Sentripetalkraft er rett og slett et innarbeidet navn på en sum av krefter eller en enkeltkraft som er opphav til en sirkelbevegelse. [29, s. 153]

Deretter ser RST-2 på to eksempler, der det ene dreier seg om en bil i sving, både med og uten dossering. Videre ser en på et eksempel med et lekefly, som essensielt er et eksempel som illustrerer en kjeglependel.

I en egen tekstboks presenterer RST-2 sentrifuger, og hvilke bruksområder sentrifuger kan ha [29, s. 156]. I den forbindelse introduserer en begrepet «kunstig tyngdekraft»:

I artikkelen om sentrifuger brukes uttrykket kunstig tyngdekraft, og g brukes som kraftenhet. *Kunstig tyngdekraft* eller *g-kraft* brukes ofte i mediene og faglitteraturen. [...] En kraft på 1 g er en kraft som svarer til tyngdekraften på det legemet det er tale om. Når du står i ro på bakken, er kraften på deg fra bakken 1 g. En kraft på 5 g på et legeme svarer altså til 5 ganger tyngdekraften. [29, s. 156]

En kan altså måle størrelsen på krefter på et legeme, i enheter av størrelsen på tyngden til (gravitasjonskraften på) legemet.

Til sist inkluderer RST-2 en del, der en ser på situasjoner der banefarten i sirkelbevegelsen ikke er konstant. Dette medfører at akselerasjonen ikke er rettet inn mot sentrum at sirkelbanen hele tiden, utenom visse spesialtilfeller.

3.3.7 Kapittel 8: «Gravitasjonsfelt»

Tittelen på dette kapitlet, sammen med det faktum at det er dedikert et helt kapittel til gravitasjonsfelt, antyder at gravitasjonsfelt nå vil bli gitt en grundig presentasjon. Kapitlet åpner med en kort del om den generelle relativitetsteorien (GR):

I 1915 kom Einstein med en ny gravitasjonsteori; *den generelle relativitetsteorien*. Der forklarer han bevegelsen til et legeme i et gravitasjonsfelt ikke ved at det blir utsatt for en kraft, men ved at det beveger seg i et krumt rom. I dette kapitlet skal vi også se på grunnlaget for denne teorien og noen av de overraskende og fascinerende konsekvensene ved denne teorien. [29, s. 170]

Kapitlet ønsker å se på grunnlaget for GR og de overraskende og fascinerende konsekvensene. For ikke å snakke om at GR antyder at en kraft ikke lenger forklarer en bevegelse i gravitasjonsfeltet. I kapittel 7 i RST-2 (se 3.3.6) ble det konstatert at en kraft *forklarer* bevegelsene til legemer, mens GR forklarer bevegelser (i gravitasjonsfelt) uten hjelp av krefter. Dette medfører ikke nødvendigvis

at det ene tilfellet utelukker det andre, men det er interessant å se om RST-2 tar opp en slik «problemstilling».

Før det, tar RST-2 imidlertid for seg den universelle gravitasjonsloven. Man formulerer Newtons gravitasjonslov. Gravitasjonskraften gjelder overalt i universet, altså er det en universell kraft. Det er en tiltrekningskraft mellom objekter som har masse, slik at alle massive legemer påvirkes av gravitasjon.

To punktformede legemer med massene m_1 og m_2 i innbyrdes avstand r tiltrekker hverandre med krefter som har absoluttverdien

$$G = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

der γ er en universell konstant. [29, s. 170]

Gravitasjonskonstanten, γ , presenteres kort.

Videre snakker RST-2 om gravitasjonens feltstyrke. Man tar utgangspunkt i jorda, og at det i rommet rundt jorda er et gravitasjonsfelt. Et massivt legeme som befinner seg/beveger seg i dette rommet (feltet) vil bli påvirket av en gravitasjonskraft fra jorda. Man definerer også feltstyrken på et sted der et slikt massivt legeme befinner seg som tyngdekraft per masse:

I et gravitasjonsfelt er feltstyrken i et punkt gitt ved

$$\vec{g} = \frac{\vec{G}}{m}$$

der \vec{G} er gravitasjonskraften på et legeme med massen m i punktet. Feltstyrken \vec{g} har samme retning som gravitasjonskraften \vec{G} . [29, s. 172]

Ved å benytte uttrykket for G konstaterer man altså at feltstyrken er bestemt av massen M til legemet som setter opp feltet, og avstanden r til legemets sentrum, uavhengig av massen m som gravitasjonskraften virker på. Man finner $g = \gamma \frac{M}{r^2}$. Retningen til \vec{g} er slik at feltstyrken alltid peker inn mot sentrum av legemet som setter opp feltet.

Neste delkapittel/del i kapitlet er «Energi i gravitasjonsfeltet», der RST-2 åpner med å definere den potensielle energien i tyngdefeltet:

Den potensielle energien, E_p , til et legeme i avstanden r fra jordsenteret, defineres som det arbeidet W_G som gravitasjonskraften gjør når legemet beveger seg fra posisjonen r til det valgte nullnivået for den potensielle energien. [29, s. 178]

Ved å benytte konvensjonen som er nullnivå i $r = \infty$, benytte seg av det kjente uttrykket for G , og deretter benytte seg av litt integralregning for å regne det totale arbeidet som tyngdekraften, \vec{G} gjør når et (massivt) legeme flyttes fra $r = r'$ til $r = \infty$, ender man opp med et uttrykk for den potensielle energien i et gravitasjonsfelt (rundt et kuleformet legeme):

$$E_p = -\gamma \frac{Mm}{r}$$

RST-2 nevner selvfølgelig også at loven om bevaring av den mekaniske energien gjelder også i det inhomogene gravitasjonsfeltet:

Hvis \vec{G} er den eneste kraften som utfører arbeid på et legeme, så er den mekaniske energien bevart. [29, s. 180]

Så beveger RST-2 seg bort litt bort fra gravitasjonsfelt, og fortsetter med delen «Den generelle relativitetsteorien». En åpner blant annet med:

I Newtons teori virker gravitasjonskraften *umiddelbart* mellom to legemer. Hvis sola forsvant, ville det ta 8 minutter før vi så det, men gravitasjonskraften fra Sola ville opphøre umiddelbart. [29, s. 182]

Hvor herlig absurd et slikt tankeeksperiment enn måtte være, så illustrerer det et godt poeng. Man lærer stadig vekk at lysfarten, c , er den øvre fartsgrensen i universet. Men, i den Newtonske teorien for gravitasjon er virkninger *umiddelbare*. Dette betyr at gravitasjonen, i følge klassisk fysikk, ikke adlyder fartsgrensen, og avstander som lyset selv bruker 8 minutter på gjør gravitasjonen unna umiddelbart. Det er ingen forsinkelse i gravitasjonen. Dette ekskluderer oss fra å tenke på gravitasjonen som et fenomen som «propagerer» (f.eks. som en bølgeliknende fenomen) gjennom rommet, ettersom den spesielle relativitetsteorien forbyr dette. RST-2 forteller at det var dette som fikk Einstein til å innse at det trengtes en gravitasjonsteori som var forenelig med spesiell relativitetsteori.

GR ble utformet ved at man gav gravitasjonen en geometrisk beskrivelse. Dette medfører at tida forenes med rommet, slik at man opererer i et firedimensjonalt rom, der tida er den fjerde dimensjonen.

Slik ble Einsteins beskrivelse av tyngdekraften forskjellig fra Newtons, men i overensstemmelse med den spesielle relativitetsteorien. I den generelle relativitetsteorien er gravitasjon ikke en kraft, men en virkning av at tidrommet rundt masser er krumt. Når jorda og de andre planetene går i ellipsebaner rundt sola, skyldes det at sola krummer tid-rommet rundt seg, og at hver planet beveger seg langs den «rette» banen i det krumme tidrommet. [29, s. 182]

RST-2 presiserer også hvordan Newtonsk gravitasjonsteori er mer enn godt nok i svake gravitasjonsfelt:

Det bare er i svært sterke gravitasjonsfelt vi kan registrere forskjellen mellom Newtons gravitasjonsteori og den generelle relativitetsteorien. [29, s. 183]

RST-2 presenterer også Ekvivalensprinsippet gjennom å presentere et par tankeeksperimenter med gjenstander i romskip. Konklusjonen er uansett slik:

Ved forsøk er det ikke mulig å avgjøre om et referansesystem er i ro i et gravitasjonsfelt, eller om det beveger seg med konstant akselerasjon i et rom uten gravitasjonsfelt. [29, s. 184]

Det er altså mulig å «simulere» gravitasjonskraften ved å bevege seg med konstant akselerasjon.

3.3.8 Kapittel 9: «Elektrisk felt»

Som med kapittel 8 i RST-2 (se 3.3.7), så antyder kapittel tittelen at man her skal få dypere innsikt i hva et elektrisk felt er. Etter kapitlet om gravitasjonsfelt er det også mulig at forskjellene i «feltkonseptet» mellom elektriske felt og gravitasjonsfelt blir presentert. Så sier da også innledningen at «Vi skal også utnytte feltbegrepet som vi innførte i forrige kapittel» [29, s. 191].

Om elektriske krefter forteller innledningen at:

Kreftene mellom stoff som har ladning er en forutsetning for at alt fra molekyler og celler til apekatter og fjellkjeder kan dannes. Elektriske krefter er blant de grunnleggende kreftene i naturen. [29, s. 191]

Det første delkapitlet (den første delen) i kapitlet heter «Ladninger, krefter og Coulombs lov», og åpner med å presentere Coulombs lov. Analogt til gravitasjonsloven, så beskrives den elektriske kraften som virker mellom to punktladninger av en såkalt « $\frac{1}{r^2}$ -lov». I uttrykket for den elektriske kraften opptrer ladningen som den analoge størrelsen til masse, om man fortsatt sammenlikner med gravitasjonsloven. I RST-2 nøyer en seg med å konstatere at Coulombs lov og gravitasjonsloven har samme form, men om man skulle dra det litt lenger kunne man si at den elektriske kraften og gravitasjonen er samme «type» kraft. Dette fordi de er gitt av lover som er på samme form – de oppfører seg matematisk likt. Som sagt, RST-2 går ikke i denne retningen, men nøyer seg med å presentere Coulombs lov, og den tilhørende coulombkonstanten (k_e). [29, s. 192]

Analogt til gravitasjonsfeltet har også det elektriske feltet en feltstyrke, og det er neste avsnitt i RST-2. Det elektriske feltet eksisterer i et område rundt et elektrisk ladd legeme. Et elektrisk ladd legeme vil dermed bli påvirket av en elektrisk kraft om det befinner seg i dette området. Man definerer den elektriske feltstyrken på samme måte som man gjorde det for gravitasjonsfeltet:

Den elektriske feltstyrken \vec{E} i et punkt er definert ved

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$$

der \vec{F}_e er den elektriske kraften på et legeme med ladningen q som er plassert i punktet. \vec{E} har samme retning som kraften når ladningen i punktet er positiv. [29, s. 193]

Altså ser vi at formuleringen er helt analog til den for feltstyrken til gravitasjonsfeltet, men her må man i tillegg ta hensyn til fortegnet til ladningen for å bestemme retningen til feltet. Studerer man formelen for feltstyrke gitt i definisjonen over ser man raskt at den elektriske kraften er proporsjonal med feltstyrken.

Videre i kapitlet jobber man med arbeid og energi i elektriske felt på tilsvarende måte som man gjorde med gravitasjonsfelt. Det at det finnes to typer ladninger – positive og negative – gjør at man må ta et par ekstra hensyn i forhold til gravitasjon, siden man bare har en «type» masse. Man innfører begrepet «spenning»

i forbindelse med elektrisk arbeid, og man ser på spesialtilfellet homogene felt, der $E = \frac{U}{d}$ (U er spenningen). Generelt benytter RST-2 i stor grad eksempler som baserer seg på feltet mellom plater i en kondensator, da det er et illustrativt (feltlinjene er enkle å tegne) og greit. Man jobber også med arbeid og energi i elektriske sentralfelt, og finner resultater tilsvarende med de man tilegnet seg for gravitasjonsfelt.

Til slutt i kapittelet presenteres en tabell (s. 206) der man oppsummerer uttrykkene for kraft, feltstyrke og energi i et elektrisk felt, og sammenlikner disse med tilsvarende uttrykk for gravitasjonsfelt. Det man observerer av tabellen er at kraftlovene har samme form, dvs de er begge proporsjonale med $\frac{1}{r^2}$, som nevnt tidligere. Feltstyrken er formelt definert på samme måte for de to tilfellene, der man naturligvis bytter ut masse med ladning osv. Ellers inkluderer også tabellen uttrykkene man finner ved å studere sentralfelt, og disse er naturlig nok sammenliknbare på samme nivå som de generelle uttrykkene. Det som også kan observeres er at mens gravitasjonen kun er tiltrekkende, så kan den elektriske kraften være både tiltrekkende og frastøtende:

Det henger sammen med at vi har to slags elektrisk ladning, mens det bare er et slag «gravitasjonsladning» – nemlig masse. [29, s. 206]

Videre gis en tilsvarende forklaring på hvorfor et elektrisk felt kan skjermes slik at man oppnår feltfrie områder, mens man aldri kan avskjerme gravitasjonsfeltet. At det finnes to slags elektrisk ladning betyr at de kan oppheve virkningen av hverandre, slik at vi i sum kan få områder med $\vec{E} = 0$.

Generelt virker det ikke som det gjøres noe godt forsøk på å gi svar på spørsmålet «Hva er et felt?». I både tilfellet med gravitasjonsfelt og elektrisk felt definerer man feltstyrke ganske rett fram, og forklarer at feltet er et område der et legeme med masse eller ladning blir påvirket av den respektive kraften. Selv om det går frem via eksemplene hva slags område man kan tenkes å snakke om i definisjonen, så kan definisjonene tenkes å være noe kort i formuleringen akkurat her.

Et grep som blir tatt i bruk er å presentere feltlinjer. Feltlinjene har en veldig fin illustrativ effekt, men på samme måte som med kraftvektorer, kan det tidvis være litt vanskelig å se hvordan disse kan hjelpe til med å *forklare* et felt (eller en kraft), annet enn at feltlinjer definitivt hjelper en å visualisere feltet. Bare fordi et konsept kan *visualiseres* betyr ikke dette at det nødvendigvis er *forstått*. Når det er sagt så er det å presentere feltlinjer og å tenke seg feltlinjer utvilsomt en veldig nyttig modell i arbeid med felt-konseptet.

I kapittel 8 i RST-2 (se 3.3.7) gjøres det til en viss grad et forsøk på abstraksjon i forbindelse med GR. Såvidt det er mulig å se, prøver ikke RST-2 seg på noe liknende i forbindelse med elektriske felt (f.eks. omtales spenning alltid som «spenning», og ikke som, eksempelvis, «elektrisk potensial»).

3.3.9 Kapittel 10: «Magnetisk felt»

Som i tilfellet med gravitasjonsfelt og elektrisk felt er det magnetiske feltet definert som et område der det virker magnetiske krefter:

Et magnetisk felt er et område der det virker magnetisk kraft på magneter. [29, s. 214]

Like før denne korte beskrivelsen av et magnetfelt, har man gjort rede for hvorfor man benytter feltbegrepet i sammenheng med magnetiske krefter:

Fra før kjenner vi til to typer fjernkrefter: elektriske krefter og tyngdekrefter. For disse kreftene har vi sett at det er gunstig å tenke seg kraft*felt* og vi kalte dem elektriske felt og tyngdefelt. Magnetiske krefter er også fjernkrefter, for magneter trekker eller skyver på hverandre på avstand. Derfor bruker vi feltbegrepet her også. [29, s. 214]

Videre går man rett til å se på feltlinjene til et magnetisk felt, uten å gi en formell definisjon av den magnetiske feltstyrken slik man har gjort det i de tidligere kapitlene. RST-2 forklarer hvorfor:

I et gravitasjonsfelt (og i elektriske felt) kan vi definere feltstyrke som kraft dividert med masse (eller ladning). Feltet kan dermed beskrives med en vektorstørrelse. I magnetiske felt kan vi ikke uten videre gjøre det på samme måte, fordi det fins ingen magnetiske monopoler og heller ikke magnetisk «ladning». Her må vi gå skrittvis frem. [29, s. 214]

Det første skrittet RST-2 tar er å definere retningen til magnetfeltet, og ved å benytte ei kompassnål finner man at:

Retningen til et magnetisk felt på et sted er den retningen som nordpolen på ei kompassnål peker i. [29, s. 215]

En synliggjør feltlinjene ved å bruke eksempler med magneter og jernflispon, som definitivt har en veldig fin illustrativ effekt. Det fremgår av dette at ei kompassnål plassert i et magnetisk felt vil plassere seg (stille seg inn) slik at den er tangent til feltlinja på stedet. Jordas magnetfelt blir også diskutert i et eget avsnitt, og der argumenteres det for at jordas magnetfelt likner på magnetfeltet til en stavmagnet fordi jordas indre fungerer som nettopp en magnet.

Neste skritt er å ta for seg den nære relasjonen mellom elektrisitet og magnetisme. Man ser på (historiske) eksempler der det virker en kraft fra strømførende ledere på magneter. En elektrisk strøm skaper et magnetfelt, noe som betyr at ladninger i bevegelse alltid omgir seg med et magnetisk felt. Tilsvarende blir også den elektriske strømmen påvirket av en kraft fra magneten (magnetfeltet). I forbindelse med dette presenterer RST-2 selvfølgelig alle de aktuelle høyrehåndsreglene som gir deg retningen på det magnetiske feltet (og etterhvert også kraften).

Ettersom ladde partikler påvirkes av en magnetisk kraft i et magnetfelt, så påvirkes også hele den fysiske strømleneren av en magnetisk kraft når det går strøm gjennom lederen når den befinner seg i et magnetfelt. Dette fenomenet behandles seinere i

kapittelet, og RST-2 nøyer seg med å gi en formel for et slik tilfelle i stede for å utlede den. Dog, man blir henvist til Internet for en utledning.

Så kommer man dithen at RST-2 presenterer delen «Magnetisk feltstryke» [29, s. 220]. Her fremgår at i tyngdefelt og elektriske felt har vi sett at kraft og felt er parallelle. For magnetfelt gjelder derimot at kraften står vinkelrett på feltet, og en slik argumentasjon følger fra forsøk. Ikke nok med det; kraften er også vinkelrett på hastigheten. Det presiseres at denne sammenhengen er konsistent med alle forsøk og observasjoner.

Faktisk viser det seg at kraften bare er avhengig av ladningen, q og farten v . Hvis $v = 0$ eller at hastigheten er parallell med det magnetiske feltet ($\vec{v} \parallel \vec{B}$), så virker det ingen kraft (på legemet). Igjen henviser man til forsøk, der man har vist at den magnetiske kraften viser seg å være proporsjonal med produktet qv , og proporsjonalitetskonstanten avhenger av det magnetiske feltet som er tilstede. Det viser seg at denne proporsjonalitetskonstanten er et mål på den evnen som det magnetiske feltet har til å utøve magnetisk kraft, og derfor kalles denne proporsjonalitetskonstanten *magnetisk feltstyrke*, symbol B . Dermed har vi at den magnetiske kraften er gitt ved:

$$F_m = B \cdot qv$$

B bestemmes ved å måle kraften på en ladd partikkel som beveger seg i det aktuelle magnetfeltet, og feltstyrken \vec{B} er en vektor. Dermed er man kommet dithen at man kan gi en (formell) definisjon av magnetisk feltstyrke:

Den magnetiske feltstyrken \vec{B} på et sted i et magnetisk felt har verdien

$$B = \frac{F_m}{qv}$$

der F_m er kraften på en partikkel med elektrisk ladning q som beveger seg med farten v vinkelrett på det magnetiske feltet. [29, s. 221]

Generelt, hvis hastigheten ikke er vinkelrett på feltet, at

$$F_m = qvB \sin \alpha$$

der α er vinkelen mellom feltretningen og retningen til hastigheten (fartsretningen). Denne formelen (sammenhengen) gir verdier som er konsistente med alle forsøk. Man benytter seg så av definisjonen av vektorproduktet (kryssproduktet), som antas kjent fra matematikken, til å gi den generelle sammenhengen

$$\vec{F}_m = q\vec{v} \times \vec{B}$$

I et eksempel [29, s. 232] studerer man en likestrømsmotor, noe som illustrerer hvor viktig den magnetiske kraften er i elektromotorer. Man kan nesten si at «kraft produserer kraft» (magnetisk kraft dreier en sylinder som skaper «dreiekrefter»). Sånn sett er det jo ikke så hakkende galt med bruk av det folkelige ordet «kraftproduksjon» om omdanning av potensiell energi til elektrisk, nyttbar energi. Tar

man vannkraft som eksempel, så er det jo gjerne slik at tyngdekraften gjør arbeid på vannet til tilsvarer en endring i potensiell energi, og vannet driver en turbin. Dermed har en kraft (tyngdekraften) produsert «kraft» (omdannet energi). Dette er selvfølgelig om en velger å strekke seg litt ekstra langt.

Kapittelet avsluttes med en faktaboks om definisjonen av enheten Ampere [29, s. 234]. Enkelt sagt er en ampere – 1 A – definert ved at strøm gjennom ledere vil «frembringe» (generere) en kraft. Dermed har man at kraft inngår i definisjonen av en grunnenhet i SI-systemet. Enheten til kraft, $N = \text{kg m/s}^2$ er definert via andre grunnenheter i SI-systemet. Likevel har en ingen «standard» oppfatning av hva en kraft er. Enheten for kraft er, som en ser, ingen SI-enhet (men en avledet SI-enhet), men en ser altså at kraft opptrer i det en definerer en SI-enhet.

3.4 «Ergo [Fysikk 2]»

På samme måte som med RST-2 (se 3.3), så presenteres ikke kapittelet om induksjon – Kapittel 7: «Induksjon» – i denne gjennomgangen, på bakgrunn av at kapitlene 5 og 6, hhv. «Elektrisk felt» og «Magnetisk felt», i stor grad danner grunnlaget for kraftbegrepet i kapittel 7 «Induksjon».

Det er også valgt å ikke presentere innholdsanalysen av kapittel 10 «Digital lyd». I dette kapittelet gir ERGO-2 en grunnleggende innføring i teknologien ba digital lyd, samt at en i den forbindelse også ser på ultralyd.

Oversikt over kapitlene i ERGO-2 [9]

Kapittel	Beskrivelse	Antall sider
Kapittel 1: «Rettlinjet bevegelse»	Repetisjon fra Fysikk 1. Kraftvektorer. Newtons lover. Arbeid og energi.	40 (s. 6–45)
Kapittel 2: «Krumlinjet bevegelse»	Fart og akselerasjon som vektorer, krum bevegelse. Kast, sirkelbevegelse.	34 (s. 46–79)
Kapittel 3: «Bevegelsesmengde»	Bevegelsesmengde og impuls. Bevaringslov. Sentrale støt.	20 (s. 80–99)
Kapittel 4: «Gravitasjon»	Historikk, verdensbilder. Newtons gravitasjonslov. Gravitasjonsfelt. Satellitter.	24 (s. 100–123)
Kapittel 5: «Elektrisk felt»	Coulombs lov. Elektrisk felt (homogent/inhomogent).	24 (s. 124–147)
Kapittel 6: «Magnetisk felt»	Magnetfelt. Strømleder i magnetfelt. Kraft på ladde partikler. MR.	32 (s. 148–179)
Kapittel 7: «Induksjon»	Fenomenet induksjon. Indusert spenning. Faradays induksjonslov. Teknologi.	32 (s. 180–211)
Kapittel 8: «Relativitetsteori»	Relativitetsprinsippet. Tid/lengde. Relativistisk bevegelsesmengde og energi. Generell relativitetsteori.	40 (s. 212–251)
Kapittel 9: «Kvantefysikk»	Lys som partikkel, og partikkel-bølge-dualitet. Røntgenstråling. Uskarphetsprinsippet. Elementærpartikler.	36 (s. 252–287)
Kapittel 10: «Digital lyd»	Lydbølger. Sampling av lyd, og MP3-filformatet. Ultralyd.	23 (s. 288–310)

Tabell 3.4: Oversikt over hvilke kapitler som utgjør ERGO-2. Antall sider inkluderer sider med oppgaver og ev. «introduksjonssider» til enkeltkapitler.

3.4.1 Kapittel 1: «Rettilinjet bevegelse»

Dette kapitlet starter med delkapittel «1A: Litt repetisjon», som innebærer repetisjon av viktige størrelser som, blant annet akselerasjon og fart. Man kommer til slutt frem til sammenhengen mellom akselerasjonen, farten og posisjonen, nemlig at akselerasjonen er den deriverte av hastigheten, og hastigheten er den deriverte av posisjonen:

$$a(t) = v'(t) = s''(t)$$

Neste delkapittel er «1B: Kraftvektorer». Underforstått er at man allerede i Fysikk 1 [8] har omtalt krefter som vektorer, men i Fysikk 1 unngikk man mye av vektorregningen med krefter ettersom man begrenset seg til rettilinjet bevegelse, og dermed kun regnet med fortegn på kreftene. Dette påpeker også ERGO-2. Et innledende eksempel tar for seg fising, et mer eller mindre dagligdags eksempel:

En laks som er i ferd med å bli trukket opp av vannet, kjemper i mot en kraft som har både størrelse og retning. [9, s. 12]

Eksempelet med laksen er en innledning til det som er essensen i dette avsnittet, nemlig dekomponering (og komponering) av krefter/kraftvektorer. Videre slår man fast at kraft er en vektorstørrelse, og derfor gjelder regnereglene for vektorer (komponentvis addisjon) dersom en vil finne summen av kreftene på et legeme.

Både Newtons 1. lov og Newtons 2. lov handler om kraftsummen $\sum \vec{F}$. Spesielt når bevegelsen ikke er langs en rett linje, må vi bruke vektorregning for å finne denne kraftsummen. [9, s. 13]

ERGO-2 går så gjennom flere eksempler der krefter dekomponeres, ut i fra et valgt koordinatsystem. Akkurat om dette valget av koordinatsystem presiserer ERGO-2 at det er et rettvisklet koordinatsystem som er foretrukket for å forenkle fysikken så mye som mulig:

Matematisk sett kan koordinatsystemet ha hvilken som helst orientering, men *fysikken* i problemet vil som regel skille ut én orientering som er mest hensiktsmessig, og som gjør problemet enklest å løse. [9, s. 13]

Via denne introduksjonen til dekomponering og komponering av vektorer, og mer bestemt kraftvektorer, kommer man i dette delkapitlet til slutt frem til at en kan finne kraftsummen, $\sum \vec{F}$, ved å se på komponentene langs aksene i koordinatsystemet for seg selv, og til slutt finne verdien og retningen til summen ut i fra dette.

Neste delkapittel har tittelen «1C: Newtons lover». Foruten at en i ERGO-2 behandler krefter som vektorstørrelser, så er Newtons lover formulert på samme måte som i ERGO-1 (se 3.2.

I forbindelse med N1 spesifiserer ERGO-2 at det er *fartsvektoren* som er konstant, altså er både absoluttverdien og retningen til farten konstant. I forkant har en også inkludert en interessant notis om nullvektoren:

Nullvektoren $\vec{0}$. Den har absoluttverdien 0 og ingen bestemt retning. Du kan tenke deg at nullvektoren er en vektor som starter og slutter i samme punkt. [9, s. 16]

Dette betyr, som egentlig oppsummeres i N1, at dersom vektorsummen av kreftene (på et objekt/legeme) er lik nullvektoren, så medfører det at fartsvektoren forholder seg konstant (og vice versa). Det vil si at det kan virke mange krefter i mange forskjellige retninger, men hastigheten vil holde seg konstant om disse kreftene summerer seg til nullvektoren. Deretter presenterer ERGO-2 noen eksempler der N1 benyttes til å finne krefter i forskjellige situasjoner.

Videre i dette delkapittelet om Newtons lover kommer en til et avsnitt om Newtons andre lov (N2). Avsnittet innledes med et spørsmål om hvorfor man har problemer med balansen på bussen:

Du får enda en gang bare ståplass på bussen. Hver gang bussen akseleterer, har du problemer med balansen. Jevn fart i 60 km/h er ikke noe problem, men en sving eller nedbremsing før en holdeplass er en utfordring når du ikke har noe å holde fast i. Hvorfor? Svaret er selvfølgelig Newtons 2. lov! [9, s. 20]

Om en studerer dette scenarioet, så er en at det ikke er noe problem hvis farten er jevn og man ikke er i en sving, altså hvis fartsvektoren er konstant. Fra N1, som ERGO-2 i forkant har presentert, er det altså ingen problemer med ståplass på bussen dersom summen av kreftene (på deg) er null. Svaret på hvorfor det blir problemer i svinger, eller når bussen akselererer, ligger altså i N2.

I tillegg til at svaret på «bussproblemet» kan finnes via N2, så nevner boka kort hvordan kraft og bevegelse henger sammen i N2:

Newtons 2. lov har vært og er fremdeles enormt viktig i fysikk og teknikk. Den kan brukes til å bestemme ukjente krefter når en bevegelse er kjent, og til å finne ut hvordan en bevegelse blir når vi kjenner kreftene. [9, s. 20]

Det er altså slik at en kan bruke N2 både til å bestemme bevegelse eller krefter, alt ettersom hvilken av disse to parametrene som er kjent.

ERGO-2 formulerer så N2:

Når en gjenstand blir påvirket av krefter, får gjenstanden en akselerasjon som har samme retning som summen av alle kreftene. Kraftsum-

men er lik massen multiplisert med akselerasjonen,

$$\sum \vec{F} = m \vec{a}$$

[9, s. 20]

Videre legger en til at siden massen alltid er positiv, så har akselerasjonen samme retning som summen av kreftene. ERGO-2 presenterer også N2 på komponentform.

Om en ser på N2 slik den er gjengitt i ERGO-2, og tar i betraktning det ovennevnte – nemlig at en kan benytte N2 til å bestemme bevegelse dersom en kjenner kreftene –, så er det naturlig å identifisere akselerasjonen som «bevegelse». Derneft, om en ser på N1 slik ERGO-2 har formulert den, og sammenlikner med N2, så fremstår N1 ganske klart som et spesielt tilfelle av N2, ettersom $\sum \vec{F} = 0$ ved N2 medfører at $\vec{a} = 0$ (ERGO-2 spesifiserer at massen alltid er positiv), som igjen medfører at $\vec{v} = \text{konstant}$.

Til slutt i delen om N2 presiserer ERGO-2 at man til nå har begrenset seg til tilfeller der kraftsummen og farten (fartsvektoren) har samme retning. Om en ser på N2, så ser en at summen av kreftene og akselerasjonen har samme retning, men det medfører ikke nødvendigvis at også farten har samme retning som akselerasjonen. Dette er noe ERGO-2 kommer tilbake til i kapittel 2, «Krumlinjet bevegelse» (se 3.4.2).

Sist ut i delkapittel 1C er Newtons tredje lov (N3). Boka innleder N3 med å presisere hvordan N3 skiller seg fra N1 og N2:

Newtons 1. og 2. lov handler om *summen* av kreftene på *én enkelt* gjenstand. Newtons 3. lov handler om krefter på *to forskjellige* gjenstander. Krefter opptrer alltid parvis. Det er alltid *to gjenstander* som påvirker hverandre med krefter. Vi sier at gjenstandene *vekselvirker*, og kraftvirkningen mellom dem kaller vi en *vekselvirkning*. [9, s. 25]

Altså er vekselvirkningen «det som skjer» – kraftvirkningen – når krefter virker mellom gjenstandene, ikke det at kreftene faktisk virker. Basert på dette så kan det virke som om ERGO-2 skiller mellom kraften og kraftvirkningen, og refererer til kraftvirkningen som vekselvirkningen. Når det er sagt så sier jo boka også at når to gjenstander vekselvirker så påvirker de hverandre med krefter. To gjenstander kan altså helt fint vekselvirke uten at «det skjer noe», altså uten at det er mulig å observere eller måle en kraftvirkning.

Videre så gjengir ERGO-2 formuleringen av N3 som forekommer i ERGO-1. I ERGO-2 behandler en krefter som vektorer, og ERGO-2 innleder presentasjonen til N3 med at en nå kan utnyttet at krefter er vektorer (har vektoregenskaper), og at N3 vil bli formulert som en vektorsetning, før en presenterer N3 i sin helhet:

Når en gjenstand A blir påvirket av en kraft \vec{F} fra en gjenstand B , blir B påvirket av en kraft \vec{F}^* fra A . De to kreftene er like store, men motsatt rettet:

$$\vec{F}^* = -\vec{F}$$

Kreftene viker langs den rette linjen mellom de to gjenstandene. [9, s. 25]

Videre sier ERGO-2 at man ofte kaller \vec{F} og \vec{F}^* for kraft og motkraft, dvs de er motkrefter til hverandre. ERGO-2 presiserer også at krefter og de tilhørende motkreftene ikke ber begrenset til kontaktkrefter:

Krefter og motkrefter kan være kontaktkrefter, men de kan også være avstandskrefter. Sola og jorda trekker på hverandre med nøyaktig like store krefter selv om sola er mye større! Vrient? Tenk for eksempel på et eple. Jorda trekker på eplet – det er greit nok. Men eplet trekker på jorda med en like stor og motsatt rettet kraft – det kan være vanskeligere å forstå. Men det er slik i følge Newtons 3. lov. [9, s. 25]

Det kan forøvrig være verdt å merke seg er at begrepet «vekselvirkning» ikke benyttes før en tar for seg N3. I forbindelse med Newtons lover og mekanikk, så kan det virke som om begrepet er reservert N3.

Neste delkapittel heter «1D: Arbeid og energi». Her gir en den fysiske (i motsetning til den dagligdagse) definisjonen av arbeid som et skalarprodukt:

Når en konstant kraft \vec{F} virker på en gjenstand som får en forflytning \vec{s} , utfører kraften et *arbeid* W på gjenstanden som er lik skalarproduktet av kraften og forflytningen,

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s} = F s \cos(\phi)$$

der ϕ er vinkelen mellom \vec{F} og \vec{s} . [9, s. 26]

Denne definisjonen viser (som også definisjonen i ERGO-1 viste; se 3.2.3 for ERGO-1 om arbeid) at krefter som virker normalt på bevegelsesretningen til en gjenstand ikke utfører noe arbeid på gjenstanden.

Man snakker også om konseptet energi i dette avsnittet, og ERGO-2 sier blant annet følgende:

Vi sier at *et system har energi når det kan utføre et arbeid*. [...] Når et system utfører arbeid på omgivelsene, blir energi overført fra systemet til omgivelsene. Arbeid er altså en for energioverføring. [9, s. 27]

Det er krefter som utfører arbeid, og arbeid er altså en måte å overføre energi på. Dette medfører at en kan se på en kraft som (opphavet til) en måte å overføre energi på. Det er altså en forbindelse mellom kraft og energi. Et system som har energi kan utføre et arbeid, og i et arbeid er det en kraft som virker, i følge definisjonen. På samme måte kan en kraft utføre et arbeid, slik at energi kan overføres.

ERGO-2 fortsetter med å gi en definisjon av potensiell og kinetisk energi, og i den forbindelse presenterer en også den såkalte «Setningen om kinetisk energi»:

Når en gjenstand blir påvirket av krefter, er summen av alle kreftenes arbeid lik forandringen av den kinetiske energien til gjenstanden,

$$W_{\sum F} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = \Delta E_k$$

[9, s. 27]

Setningen om kinetisk energi, slik den fremstår i ERGO-2, er forøvrig helt lik den man finner i ERGO-1 [8, s. 103]. ERGO-2 tilføyer til setningen om kinetisk energi at den «gjelder for både krumlinjet og rettlinjete bevegelse, og både for konstant og variabel kraftsum.» [9, s. 28] Derneft definerer ERGO-2 mekanisk energi som summen av potensiell og kinetisk energi, og påpeker at dersom gjenstander er påvirket av tyngdekraften sammen med andre krefter, så gjelder den såkalte «Setningen om mekanisk energi»:

Når en gjenstand beveger seg i tyngdefeltet, er den mekaniske energien E til slutt lik den mekaniske energien E_0 i starten pluss arbeidet utført av alle andre krefter enn tyngden,

$$E = E_0 + W_A$$

[9, s. 28]

ERGO-2 legger til aktuelle eksempler på hva «andre krefter» kan være:

Andre krefter kan være slike som minsker den mekaniske energien til gjenstanden, for eksempel friksjon og luftmotstand. Eller de kan være slike som øker den mekaniske energien, for eksempel en motorkraft. [9, s. 28]

ERGO-2 presiserer også at tilfellet fritt fall er et spesialtilfelle, der det ikke virker noen andre krefter enn gravitasjon (og ev. krefter som virker normalt på forflytningen; normalkrefter), og dette gir $E = E_0$, altså konstant mekanisk energi i et fritt fall.

I delkapittel «1F: Arbeid som integral» går ERGO-2 nærmere inn på arbeid i forbindelse med en variabel kraftsum (variable krefter), i det definerer arbeid ved å integrere over en kraft som varierer. Altså, i tilfeller der kraften som virker, og som gjør arbeidet, ikke er konstant, men varierer, f.eks. med posisjonen. ERGO-2 påpeker at «i Fysikk 2 nøyer vi oss med å se på tilfeller der kraften varierer når en gjenstand beveger seg langs en rett linje». [9, s. 33] Dette eksemplifiseres med en kloss som er festet til ei fjær; et eksempel som man bygger vidare på i dette delkapittelet.

Kapittel 1 avsluttes med et sammendrag. Her presenteres ikke noe nytt, men det gjentas at krefter er vektorer:

Krefter har vektoregenskaper. Vi finner summen av kreftene ved å addere kreftene som vektorer. [9, s. 38]

3.4.2 Kapittel 2: «Krumlinjete bevegelse»

Delkapitlene «2A: Fart», «2B: Akselerasjon» og «2C: Kast» er essensielt bare en introduksjon til fart og akselerasjon i krumme bevegelser, med matematikken dette innebærer, samt notasjon og slike innledende ting. Konseptuelt er det ikke noe nytt

å finne ved definisjonene av disse størrelsene, annet enn at en nå også studerer endring av retning, ettersom en nå betrakter forflytning, fart og akselerasjon som vektorer (vektorstørrelser). En behandler også kast (skrått kast) vektorielt, ved å studere kastet via vektorfunksjoner.

Neste delkapittel heter «2D: Sirkelbevegelse» og tar for seg sirkelbevegelse, som er en av de viktigste tilfellene av krumlinjet bevegelse. Det første en gjør i kapitlet er å introdusere og definere sentripetalakselerasjon i en sirkelbevegelse. Dette gjør en ved å studere sirkelbevegelsen som en vektorfunksjon, og kommer ved å derivere frem til et uttrykk for akselerasjonen i en sirkelbevegelse som tilsier at akselerasjonen må peke innover mot sentrum i sirkelbanen. For å finne uttrykket for sentripetalakselerasjonen benytter en også uttrykket for banefarten. ERGO-2 definerer sentripetalakselerasjonen:

Når en gjenstand går med konstant banefart i en sirkelbane, peker akselerasjonen alltid inn mot sentrum i sirkelen. Absoluttverdien av sentripetalakselerasjonen er

$$a = \frac{v^2}{r} \quad \text{som kan skrives} \quad a = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

der v er banefarten, r er baneradien og T er rundetiden. [9, s. 63]

Sentripetalakselerasjonen peker altså alltid inn mot sentrum av sirkelbanen, noe som betyr at akselerasjonen til et legeme i sirkelbevegelse hele tiden skifter retning. Selv om akselerasjonen kan ha en konstant absoluttverdi, så betyr dette retnings-skiftet at legemet hele tiden er akselerert. ERGO-2 illustrerer dette ved en figur (se [9, s. 63]), men såvidt en kan finne nevnes dette ikke eksplisitt.

Etter et par eksempler finner en så et avsnitt med overskriften «Retningen av kraftsummen $\sum \vec{F}$ » [9, s. 64]. Da man i forkant har sett på hvordan fart, akselerasjon og kraft er vektorer, så vet man at summen av kreftene kan endre retning, selv om de ikke endrer størrelse (absoluttverdi). ERGO-2 argumenterer for retningen til summen av kreftene i en sirkelbevegelse. Siden N2 forteller at summen av kreftene og akselerasjonen har samme retning, betyr det at summen av kreftene på et legeme i sirkelbevegelse peker inn mot sentrum av sirkelbanen. Nærmere bestemt, så sier ERGO-2 om summen av kreftene:

Nå vet du at krumlinjet bevegelse alltid er akselerert. Det betyr at vi trenger krefter for å få gjenstander til å bevege seg i krumme baner. Newtons 2. lov, $\sum \vec{F} = m\vec{a}$, sier oss at kraftsummen har samme retning som akselerasjonen. [9, s. 64]

For å «tvinge» legemer til å bevege seg i sirkelformede baner er det altså nødvendig at legemene er påvirket av krefter slik at summen av kreftene er forskjellig fra null.

ERGO-2 oppsummerer hva som gjelder for summen av kreftene i en sirkelbevegelse i en egen rute (samme type rute som f.eks. N2 står i, men det er ikke alltid det er passende å referere til en slik rute som en definisjon):

Når en gjenstand går med konstant banefart i en sirkelbane, virker summen av kreftene inn mot sentrum i sirkelen. Absoluttverdien av

kraftsummen er

$$\sum F = m \frac{v^2}{r}$$

[9, s. 64]

ERGO-2 legger så til følgende:

Denne kraftsummen er *vektorsummen* av alle de kreftene som virker på gjenstanden når den går i en sirkelbane med *konstant* banefart. [9, s. 64]

Videre benytter en alt det en har lært i flere omfattende og grundige eksempler med sirkelbevegelse, f.eks. en bil som kjører i sving, både flat («Vannrette sirkelbaner») og dossert, og en loop i en berg-og-dal-bane («Loddrette sirkelbaner»).

Inn under sirkelbevegelse faller også kjeglependelen, som en bruker noen avsnitt og eksempler på. ERGO-2 skriver:

I en kjeglependel følger loddet en sirkelbane med radius r . Loddet er påvirket av to krefter: tyngden \vec{G} og snorkraften \vec{S} . Kraftsummen $\sum \vec{F}$ er vektorsummen av \vec{G} og \vec{S} . $\sum \vec{F}$ peker inn mot sentrum av sirkelbevegelsen, selv om ingen av de to kreftene som virker, peker i denne retningen. [9, s. 68]

Med dette illustrerer ERGO-2 en side av vektoregenskapene til krefter som gjør at netto kraftretning kanskje ikke er spesielt intuitiv. Dette er i så måte felles for alle sirkelbevegelser. Kraftsummen – summen av *alle* kreftene som er involvert/virker – sammenfaller ikke nødvendigvis med retningen til en av de individuelle kreftene som virker.

3.4.3 Kapittel 3: «Bevegelsesmengde»

I likhet med kraft i kapittel 2 «Krumlinjet bevegelse» (se 3.4.2), så er det overgangen til å betrakte bevegelsesmengde som en vektor som, ved første øyekast, er den mest åpenbare forandringen fra Fysikk 1 til Fysikk 2.

Det første delkapittelet heter «3A: Begrepet bevegelsesmengde», og her forklarer ERGO-2 hva en i fysikken mener med bevegelsesmengde og hvordan størrelsen er definert. I forkant av det som er uthevet som ERGO-2 sin definisjon av bevegelsesmengde, utdyper en litt om hva det vil si at bevegelsesmengde er en vektorstørrelse:

Bevegelsesmengden til en gjenstand er definert som *produktet av massen og farten*, $\vec{p} = m\vec{v}$. Fordi fart er en vektor, og masse en skalar, er bevegelsesmengde en *vektorstørrelse*. Ettersom massen alltid er positiv, har bevegelsesmengden alltid *samme retning* som farten. [9, s. 81]

Deretter gir ERGO-2 følgende definisjon av bevegelsesmengden (som i stor grad er helt lik det som ble forklart i forkant):

Bevegelsesmengden til en gjenstand er produktet av massen og farten til gjenstanden,

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

Enheten for bevegelsesmengde er kilogrammeter per sekund, kgm/s. [9, s. 81]

I forbindelse med begrepet bevegelsesmengde presenterer ERGO-2 en kort historisk vinking til begrepet, og da spesielt «impetus»-begrepet, som et begrep fra mekanikken før Newton. ERGO-2 refererer til at «impetus» gikk ut på tanken om «en slags 'indre kraft' som drev gjenstander fremover», og også til filosofien til Aristoteles om at gjenstander ble skjøvet framover av en «drivende kraft». [9, s. 82]. ERGO-2 tar også opp problemstillingen ved at den feilaktige forestillingen om «impetus» fortsatt eksisterer, selv blant de som har hatt fysikk i skolen:

I vår tid lever fortsatt et slags impetusbegrep videre. Selv mange som har lest fysikk på Vg3-nivå, har ikke forstått Newton fullt ut. Når kula i spiralrenna i figur 3-2a [figur av kule som ruller langs en spiralformet renne] går ut av spiralen, tror mange at kula «husker» hva slags bevegelse den hadde, og derfor fortsetter i spiral. [...] Mange store tenkere hadde slike impetusoppfatninger helt frem til Newtons tid. Men galt var det likevel. [9, s. 82]

At ERGO-2 tar for seg impetus-begrepet og -teorien er interessant, selv om det er en relativt kort diskusjon.

I forbindelse med at ERGO-2 tar opp «impetus»-begrepet, opptrer det to små, men viktige notiser i marginen. Den ene dreier seg om hvordan bevegelsesmengde henger sammen med N2:

Du har lært Newtons 2. lov på formen: $\sum \vec{F} = m\vec{a}$. Men Newton selv skrev den slik: $\sum \vec{F} = \vec{p}'$ (bortsett fra at vektorbegrepet egentlig kom enda senere!). Noen tiår etter Newtons tid ble loven utledet på formen $\sum \vec{F} = \vec{p}' = m\vec{v}' = m\vec{a}$. [9, marg, s. 82]

ERGO-2 gir altså en forsmak på hvordan en størrelsen bevegelsesmengde kan inngå i N2. Den andre notisen gjelder hvordan en benytter begrepet «impetus» på engelsk:

I engelsk dagligtale blir ordet *impetus* brukt fremdeles, men nå i betydningen av «kraft som får noe til å bevege seg». Det svarer omtrent til det norske ordet *impuls* som vi skal definere i neste avsnitt. [9, marg, s. 82]

Neste delkapittel i kapittel 3 heter «3B: Impulsloven», og ERGO-2 innleder med å gi definisjonen av impuls:

En kraft som virker på en gjenstand i en viss tid, gir gjenstanden en impuls som er lik produktet av kraften og tiden,

$$\vec{I} = \vec{F}t$$

Enheten for impuls er newtonsekund, Ns. [9, s. 83]

Dernest utleder ERGO-2 impulsloven. Utgangspunktet er et legeme med masse m , som i løpet av tiden t påvirkes av den konstante kraften \vec{F} . På bakgrunn av dette kan en skrive akselerasjonen i intervallet t som $\vec{a} = (\vec{v} - \vec{v}_0)/t$. Ved hjelp av N2, $\vec{F} = m\vec{a}$, og litt manipulering av likninger kommer man frem til målet i avsnittet, som er impulsloven. Konklusjonen er at «kraften gir gjenstanden en impuls som er lik forandringen av bevegelsesmengden». [9, s. 84] ERGO-2 formulerer impulsloven på bakgrunn av det en i forkant har utledet:

Når en gjenstand er påvirket av en kraft, gir kraften gjenstanden en impuls som er lik forandringen av bevegelsesmengden til gjenstanden,

$$\vec{I} = \vec{p} - \vec{p}_0 = \Delta\vec{p}$$

der $v\vec{I} = \vec{F} \cdot t$. Hvis det er flere krefter som virker, kan vi summere impulsene,

$$\sum \vec{I} = \Delta\vec{p}$$

[9, s. 84]

I etterkant presiserer ERGO-2 at impulsloven egentlig ikke er så mye nytt, og at det egentlig fortsatt er N2 det dreier seg om:

Impulsloven inneholder strengt talt ikke noe nytt. Den er bare en matematisk omformulering av Newtons 2. lov. Impulsloven er *generell*. [9, s. 84]

Det er altså slik at impulsloven egentlig er N2 på generell form, og en ser at det er størrelsen bevegelsesmengde, $\vec{p} = m\vec{v}$ som gjør at en kan skrive N2 på denne formen. ERGO-2 utdyper ikke nærmere hva som ligger i at impulsloven er generell.

I forbindelse med impulsloven presiserer ERGO-2, i marginen, at impulsloven også gjelder dersom en har en tidsavhengig kraft:

Impulsloven gjelder også dersom kraften varierer med tiden. Da kan vi skrive impulsloven som et integral

$$\vec{I} = \int_{t_0}^t \vec{F} dt = \vec{p} - \vec{p}_0$$

[9, marg, s. 84]

ERGO-2 fortsetter med et delkapittel som heter «3C: Bevaring av bevegelsesmengde». Her ser ERGO-2 på systemer der summen av de ytre kreftene på systemet er null, altså der man kun studerer de indre kreftene. Ved å se på to vogner som kolliderer under ideelle forhold (vognene glir uten friksjon og uten luftmotstand) og de indre kreftene som virker på vognene i det de støter sammen, kommer en frem til loven om bevaring av bevegelsesmengde. N3 forteller at kreftene fra den ene vognen på den andre vognen, og vice versa, er motsatt rettet og like store, og dermed er også impulsene like store og motsatt rettet. Fra impulsloven kommer ERGO-2 således frem til at den samlede bevegelsesmengden er bevart. Om dette resultatet sier ERGO-2:

Dette resultatet gjelder også for et system som består av flere enn to gjenstander. Forutsetningen er at summen av alle de ytre kreftene på systemet er null. Dermed har vi kommet fram til en av de mest grunnleggende lovene i mekanikken:

Når summen av de ytre kreftene på et sammensatt system er null, er den samlede bevegelsesmengden konstant for systemet. [9, s. 87]

ERGO-2 tilføyer at så lenge de summen av ytre kreftene på systemet er null, så er bevegelsesmengden bevart uansett hvordan de indre kreftene fortøner seg. I marginen legger ERGO-2 også til at en kom fram til denne bevaringsloven ved å benytte N2 og N3 i kombinasjon.

Siste delkapittel i kapittel 3 er «3D: Sentrale støt». Det første ERGO-2 gjør er å eksemplifisere, med rot i dagligdagse aktiviteter, hva en mener med et støt. Dernest, så formaliserer en dette i en definisjon av et støt:

Et støt er en kortvarig kraftvirkning mellom to gjenstander. [9, s. 91]

Et støt mellom to gjenstander er altså en «hendelse» der det virker krefter mellom gjenstanden slik at det oppstår en kortvarig kraftvirkning. ERGO-2 eksemplifiserer med dersom en filmer et støt mellom to stålkuler med tusenvis av bilder pr. sekund, så kan en observere at stålkulene blir litt sammentrykt (litt deformert) i støtet.

Videre forklarer ERGO-2 at i henhold til N3 må kreftene på de to gjenstandene som er involvert i støtet være motsatt rettet og like store. Med bakgrunn i forrige delkapittel, og dersom summen av de ytre kreftene er null, så er bevegelsesmengden bevart i støtet. ERGO-2 utdypes om bevaringsloven ved støt:

Bevaringsloven er *generell*. Den gjelder for *alle* slags støt mellom to gjenstander, uansett hvilke krefter som virker mellom dem – så lenge summen av alle de *ytre* kreftene på systemet er lik null. [9, s. 90]

ERGO-2 definerer så et sentralt støt, som et støt der fartsvektorene til legemene som støter er parallelle («parallelle med samme rette linje»). Til slutt i kapitlet ser ERGO-2 på tre forskjellige typer støt, og eksempler på de forskjellige typene. Det dreier seg om uelastisk-, fullstendig uelastisk- og elastisk støt.

3.4.4 Kapittel 4: «Gravitasjon»

Det første delkapitlet i kapittel 4 heter «4A: Verdensbilder», og er en historisk introduksjon til utviklingen av det geosentriske og det heliosentriske verdensbildet, som til slutt leder frem til presentasjonen av Keplers lover.

ERGO-2 går videre til «4B: Newtons gravitasjonslov», som kort tar for seg arbeidet til Newton som ledet frem til den universelle gravitasjonsloven, og således har også dette delkapitlet et historisk preg. ERGO-2 presenterer Newtons gravitasjonslov:

To gjenstander tiltrekkes hverandre med gravitasjonskrefter som er proporsjonale med massene og omvendt proporsjonale med kvadratet av

avstanden mellom dem:

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Kreftene virker langs den rette linjen mellom gjenstandene. [9, s. 106]

ERGO-2 tilføyer til gravitasjonsloven at avstanden, r , mellom gjenstandene/massene for himmellegemer er avstanden fra sentrum til sentrum av disse himmellegemene. Videre gis verdien av γ , og i den forbindelse en kort diskusjon om styrken til gravitasjonskraften:

Konstanten γ er *gravitasjonskonstanten*, med verdien

$$\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$

Det vil si at to gjenstander, hver på 1 kg i avstanden 1 m, tiltrekker hverandre med gravitasjonskrefter på $6,67 \cdot 10^{-11}$ N. Gravitasjonen er altså en ytterst *svak* kraft. Men gravitasjonskrefter kan hope seg opp til enorme kraftsummer siden de alltid er tiltrekkende. [9, s. 106]

I forbindelse med gravitasjonsloven presenterer også ERGO-2 flere interessante notiser i marginen:

Når to gjenstander påvirker hverandre med krefter, sier vi at gjenstandene *vekselvirker*. Gravitasjon er et eksempel på en *svak* vekselvirkning, mens kjernekraften er *sterk* vekselvirkning. [9, marg, s. 106]

I marginen identifiserer en altså gravitasjonen som en svak vekselvirkning, mens en også identifiserer gravitasjonen som en svak kraft i selve teksten. En annen notis sier det følgende:

Gravitasjonskraften har den spesielle egenskapen at kraften fra en partikkel med masse m er *nøyaktig lik* kraften fra en kule med total masse m , når vi regner avstanden r fra *sentrum* av kula. [9, marg, s. 106]

Gravitasjonskraften «ser» altså ikke forskjell på kuler (uniforme kuler) og partikler, dersom de har samme masse, og en regner avstanden fra sentrum av kula til et legeme som påvirkes av gravitasjonskraften fra hhv. partikkelen eller kula.

Den siste notisen på s. 106 gjelder «hastigheten» til gravitasjonen:

Newton tenkte seg at gravitasjonskraften virker umiddelbart over vilkårlig store avstander, altså at kraftvirkningen brer seg uendelig raskt. Men han var ikke helt tilfreds med dette. I følge Einsteins generelle relativitetsteori brer gravitasjonskraften seg med *lysfarten*. Hvis du hopper her på jorda, kommer altså gravitasjonsvirkningen fram til månen litt over et sekund senere! [9, marg, s. 106]

Det er altså en naturlig forsinkelse i hvor «raskt» gravitasjonen virker, som er begrenset av lysfarten. På samme måte som lyset bruker åtte minutter fra sola til jorda, så tar det like lang tid for «gravitasjonsvirkningen», fra sola på jorda (og omvendt) å nå jorda. ERGO-2 plukker opp problemstillingen mellom gravitasjon i Newtons (klassisk) mekanikk og generell relativitetsteori, mot slutten av dette delkapittelet:

Newtons gravitasjonslov sier oss *hvor store* gravitasjonskreftene er. Men loven sier ikke noe om *hvordan* kreftene virker. Hvordan kan jorda og sola vite om hverandre, og hvordan blir kreftene overført? Newtons visste ikke dette, og vi vet det heller ikke sikkert. Men noe av forklaringen kom med den generelle relativitetsteorien til Einstein, som du kan lese mer om i kapittel 8. [9, s. 108]

Newtons gravitasjonslov kan altså bare gi kvantitativ innsikt i gravitasjonskrefter, og sier ikke noe om hvordan gravitasjonskrefter kvalitativt oppfører seg. Til det trenger en generell relativitetsteori, og således handler en Newtonsk gravitasjonsteori kun om størrelsen på gravitasjonskreftene mellom legemer. Dette er, som ERGO-2 viser, tilstrekkelig til å beregne planetbaner, utlede Keplers lover, og fastslå at verdensbildet er heliosentrisk (til fordel for geosentrisk), men kan en kan altså ikke si noe videre om hva en gravitasjonskraft egentlig er.

Neste delkapittel er «4C: Gravitasjonsfelt», der en åpner med å definere hva en mener med et gravitasjonsfelt:

Et *gravitasjonsfelt* er et område der det virker gravitasjonskrefter på gjenstander som er i området. [9, s. 108]

I forkant eksemplifiserer ERGO-2 hva en mener med gravitasjonsfelt, ved å henvise til «området rundt jorda» som et gravitasjonsfelt (gravitasjonsfeltet til jorda):

Hvis du holder en stein og så slipper den, begynner steinen å akselerere på grunn av gravitasjonskraften fra jorda. Steinen er nemlig i jordas gravitasjonsfelt. [9, s. 108]

Videre definerer ERGO-2 styrken til gravitasjonsfelt:

Gravitasjonsfeltstyrke er gravitasjonskraft per masse,

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m}$$

Enheten for gravitasjonsfeltstyrke er newton per kilogram, N/kg. [9, s. 109]

ERGO-2 presiserer i marginen at når de prater om gravitasjonskraften (\vec{F} , i dette tilfellet), så er det det samme som tyngden/tyngdekraften (\vec{G}), som ERGO-2 har referert til i tidligere kapitler. Videre forklarer ERGO-2, at et legeme er i fritt fall dersom kun gravitasjonskraften virker, og ut i fra N2 blir da tyngdeakselerasjonen $\vec{g} = \vec{F}/m$. ERGO-2 tar også for seg feltlinjer, som et middel for å illustrere et gravitasjonsfelt, og gir eksempler med figurer.

Mot slutten av delkapittel 4C bruker ERGO-2 uttrykket for gravitasjonskraften mellom to legemer, som gitt av Newtons gravitasjonslov, sammen med definisjonen av gravitasjonsfeltstyrke, til å finne et uttrykk for feltstyrken til jordas gravitasjonsfelt. ERGO-2 poengterer av fremgangsmåten gjelder for enhver kuleformet gjenstand. Med gravitasjonskraften på et legeme med masse m som gitt av Newtons gravitasjonslov, kommer en frem til følgende:

Feltstyrken rundt jorda er bestemt av jordmassen M og avstanden r fra jordsenteret:

$$g = \gamma \frac{M}{r^2}$$

[9, s. 109]

ERGO-2 følger opp med å presisere, som man ser av uttrykket man fant, at feltstyrken ikke avhenger av massen til det aktuelle legemet som befinner seg i gravitasjonsfeltet, noe som betyr at gravitasjonsfeltet «er der», uavhengig om et legeme befinner seg i det eller ikke.

I delkapittel «4D: Satellitter» benytter en Newtons gravitasjonslov, sammen med N2, til å utlede et uttrykk for banefarten til satellitter i sirkelbane rundt jorda. En kommer frem til at denne banefarten kun er avhengig av radien til banen (med sentrum i jordas sentrum), altså spiller ikke massen til satellittene noen rolle. Videre ser en på eksempler med satellitter i forskjellige baner rundt jorda. En benytter også uttrykket for banefarten til å finne et uttrykk for den kinetiske energien til en satellitt i sirkelbane rundt jorda, og finner at den kinetiske energien er konstant (energien varierer kun med radien i banen).

Dernest ser ERGO-2 på den potensielle energien til legemer i jordas gravitasjonsfelt. Måten en gjør det på, er å tenke seg en «løftkraft», og beregne arbeidet (ved å integrere) denne løftkraften gjør, som må tilsvare endringen i den potensielle energien til legemet:

Vi tenker oss en gjenstand med masse m i jordas gravitasjonsfelt. En ytre kraft \vec{K} løfter gjenstanden med konstant fart loddrett oppover i feltet (figur 4-16) [figuren illustrerer kreftene ved kraftpiler]. I følge Newtons 1. lov må løftkraften \vec{K} være like stor som gravitasjonskraften \vec{F} og motsatt rettet, $\vec{K} = -\vec{F}$. Løftkraften må altså bli mindre jo høyere opp i feltet gjenstanden kommer. [9, s. 114]

Videre beregner altså ERGO-2 arbeidet til kraften \vec{K} på gjenstanden, og ut i fra dette ender en opp med et uttrykk for den potensielle energien, som ERGO-2 poengterer er en generell formel, altså gjelder den uansett hvilken bane gjenstanden følger i gravitasjonsfeltet.

3.4.5 Kapittel 5: «Elektrisk felt»

Det første delkapittelet har tittelen «5A: Coulombs lov», og her presenterer ERGO-2 denne loven. I forkant av selve formuleringen av loven, refererer ERGO-2 til at Coulomb utformet denne loven – som handler om krefter mellom to elektriske ladninger – med Newtons gravitasjonslov i tankene, og således tenkte seg at elektriske krefter mellom ladninger virker på samme måte som gravitasjonskraften mellom masser. I den forbindelse presiserer en at gravitasjonskrefter alltid er tiltrekkende, mens krefter mellom elektriske ladninger kan være både tiltrekkende og frastøtende. Dernest presenterer ERGO-2 Coulombs lov, med tilhørende matematiske uttrykk, samt at en kort presenterer den såkalte Coulombkonstanten. ERGO-2

legger til at en i det daglige merker lite til elektriske krefter direkte, ettersom de fleste legemer er elektrisk nøytrale. Gravitasjonskraften legger en dog hele tiden merke til, spesifiserer ERGO-2.

Videre presenterer ERGO-2 delkapittelet «5B: Elektrisk feltstyrke». En innleder med å gi en definisjon av et elektrisk felt (som har flere fellestrekk med den definisjonen ERGO gir av gravitasjonsfelt):

Et elektrisk felt er et område der det virker elektriske krefter på elektriske ladninger. [9, s. 131]

Videre definerer en den elektriske feltstyrken:

Elektrisk feltstyrke er elektrisk kraft per ladning,

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Enheten for elektrisk feltstyrke er newton per coulomb, N/C. [9, s. 131]

Også denne definisjonen har mye til felles med definisjonen av styrken til gravitasjonsfeltet, noe ERGO-2 også påpeker i margin [9, s. 131]. ERGO-2 legger til, med bakgrunn i definisjonen av elektrisk feltstyrke, at en ladning i et elektrisk felt blir «påvirket av en elektrisk kraft $\vec{F} = q\vec{E}$. Det vil si at \vec{E} har samme retning som kraften på en *positiv* ladning i feltet» [9, s. 131].

Helt analogt til gravitasjon, i kapittel 4 (se 3.4.4), så presenterer ERGO-2 arbeid og energi i elektriske felt videre i dette kapittelet. I forbindelse med homogene felt introduserer en spenning i sammenheng med elektrisk arbeid, og en definerer også feltstyrken i homogene elektriske felt via spenningen, $E = U/d$.

I forbindelse med bla. «Radielt felt» og «Dipolfelt», presenterer ERGO-2 feltlinjer, og hvordan en benytter disse til å illustrere elektriske felt:

Elektriske feltlinjer viser retningen til den elektriske feltstyrken. Jo sterkere feltet er, desto tettere ligger feltlinjene. [9, s. 134]

ERGO-2 nevner også akselerasjon i elektriske felt, i et eget avsnitt. Med utgangspunkt i definisjonen av elektrisk feltstyrke, så viser ERGO-2 at en kan omskrive N2 til formen $qE = ma$, og således identifisere akselerasjonen til et elektrisk ladd legeme i et elektrisk felt som $a = qE/m$. «Forholdet mellom partikkelens ladning og masse bestemmer akselerasjonen når feltstyrken er gitt» [9, s. 137].

Videre presenterer ERGO-2, i nest siste delkapittel («5C: Ladde partikler i homogent elektrisk felt»), en bolk kalt «Elementærladningen». I den forbindelse presenterer en Millikans forsøk med oljedråper, som til slutt førte til at han kunne bestemme elementærladningen.

3.4.6 Kapittel 6: «Magnetisk felt»

I første delkapittel, «6A: Magneter», ser ERGO-2 på magneter, og hvordan magneter omgir seg med magnetfelt. I den forbindelse illustrerer en magnetfeltet med feltlinjer. ERGO-2 presiserer samtidig at to like magnetpoler frastøter hverandre, mens to ulike tiltrekker hverandre (helt analogt til ladning). Videre identifiserer en magnetiske krefter som avstandskrefter, og en presiserer om et magnetfelt at:

Et magnetfelt er et område der det virker magnetiske krefter på kompassnåler og andre magneter som er i området. [9, s. 150]

Dette er helt analogt til hvordan ERGO-2 har beskrevet gravitasjonsfelt, såvel som elektrisk felt.

Videre ser ERGO-2, i delkapittel «6B: Strømleder i magnetfelt», på den magnetiske kraften som virker på en strømførende leder som befinner seg i et magnetfelt. ERGO-2 kommer frem til uttrykket for denne kraften ved å se på en strømførende leder og en hestekomagnet, der en bruker en såkalt «strømvekt» til å «veie» kraften som virker på strømlederen, ettersom strømlederen må virke på hestekomagneten med en like stor, og motsatt rettet kraft, som beskrevet ved N3. Videre illustrerer ERGO-2 hvordan denne kraften viser seg å være proporsjonal med lengden på strømlederen, strømmen gjennom lederen, samt feltstyrken til magnetfeltet, og kommer således frem til uttrykket for kraften, $F = IlB$.

Om den magnetiske feltstyrken spesifiserer ikke ERGO-2 noe mer enn at det er en vektor, \vec{B} som har samme retning som feltlinjene, og hvis absoluttverdi angir styrken på feltet. Videre presenterer ERGO-2 «Høyrehåndsregelen for magnetisk kraft», som angir retningen til den magnetiske kraften på en strømleder i magnetfelt.

I delkapittel «6C: Magnetisk kraft på ladde partikler», argumenterer ERGO-2 for at – siden strøm er ladninger i bevegelse, og kraften på en strømleder ikke avhenger av stoffet strømlederen er laget av – det virker en magnetisk kraft på de enkelte elektriske ladningene. «En ladd partikkel som beveger seg i et magnetfelt, blir påvirket av en magnetisk kraft» [9, s. 157]

Ved å se på et antall ladninger som strømmer gjennom en rettlinjert leder, der fartsretningen til ladningene er slik at den er vinkelrett på de magnetiske feltlinjene, så kommer ERGO-2 frem til uttrykket for den magnetiske kraften på en ladd partikkel som beveger seg (har fartsretning) vinkelrett på et magnetfelt, $F = qvB$. I den forbindelse presenterer ERGO-2 også den andre høyrehåndsregelen, som angir retningen på den magnetiske kraften på en ladd partikkel. I margin presiserer ERGO-2 at uttrykket for den magnetiske kraften generelt kan skrives som et vektorprodukt, $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ [9, s. 159]. I den forbindelse presiserer en også at dersom fartsretningen til den ladde partikkelen er parallell med feltstyrken, så er den magnetiske kraften på partikkelen null.

Med bakgrunn i dette uttrykket for den magnetiske kraften, ser ERGO-2 på hvordan en kan «styre» en elektrisk ladd partikkel som beveger seg i et kombinert elektrisk og magnetisk felt («fartsfilter»), ved å velge feltene slik at den elektriske

kraften og den magnetiske kraften på den ladde partikkelen blir like store. I den forbindelse illustrerer ERGO-2 også hvordan en ved dette kan bestemme elektronmassen.

I delkapittel «6D: Ladde partikler i homogent magnetfelt» ser en bla. på hvordan ladde partikler kan bevege seg i sirkelbaner i homogene magnetfelt:

Den magnetiske kraften \vec{F} på en ladning i bevegelse står alltid vinkelrett på farten \vec{v} . Krefter som står vinkelrett på farten, utfører ikke noe arbeid. Det betyr at den magnetiske kraften ikke gjør noe arbeid på ladningen. Hvis det ikke virker andre krefter, har ladningen konstant kinetisk energi, og derfor konstant banefart. Men farten skifter retning, og derfor skifter også den magnetiske kraften retning. [9, s. 161]

Ved å se på tilfeller der farten er vinkelrett på den magnetiske feltstyrken, finner en at en får en sirkelbane. ERGO-2 finner et uttrykk for radien i banen til den ladde partikkelen ved å benytte N2 og sentripetalakselerasjonen, sammen uttrykket for magnetisk kraft, ettersom den magnetiske kraften «gir» ladningen en sentripetalakselerasjon. ERGO-2 benytter dette videre til å illustrere hvordan en massespektrograf fungerer.

3.4.7 Kapittel 8: «Relativitetsteori»

På samme måte som i tilsvarende kapittel i RST-2 (se 3.3.2), så behandler ikke ERGO-2 kraft, direkte, i noen særlig grad i den delen av dette kapitlet som har med spesiell relativitetsteori å gjøre. Dog inkluderer kapitlet også generell relativitetsteori (GR), der kraft er et konsept som behandles i større grad (slik RST-2 gjør det i kapittel 8, se 3.3.7).

I første delkapittel, «8A: Relativ bevegelse», innfører ERGO-2 referansesystemer, og ser på hvordan bevegelse er relativt ut i fra hvilket referansesystem en forholder seg til, og således kan en ikke snakke om noen absolutt bevegelse. I denne forbindelsen indikerer ERGO-2 bevegelse via posisjon og hastighet.

I delkapittel «8B: Relativitetsprinsippet» definerer ERGO-2 et treghetssystem:

Et treghetssystem er et referansesystem der treghetsloven (Newtons 1. lov) gjelder. [9, s. 217]

I den forbindelse indikerer ERGO-2 hva som ikke er referansesystemer, ved å se på et eksempel med en ball som ligger i ro på gulvet i et tog. Dersom toget har konstant fart, forteller N1 at ballen blir liggende i ro. Dersom toget akselererer, derimot, så vil ballen begynne å trille i toget, motsatt av akselerasjonsretningen til toget, og således akselererer ballen også. Dermed gjelder ikke N1, og toget som akselererer er følgelig ikke et referansesystem.

Videre presiserer en at alle treghetssystemer beveger seg med konstant fart i forhold til hverandre. ERGO-2 presenterer også relativitetsprinsippet, som sier at alle mekanikkens lover har samme form i alle treghetssystemer. ERGO-2 benytter disse

to prinsippene til å vise hvordan N2 har samme form i to vilkårlige treghetssystemer. Dernest presenterer en Einsteins postulater.

I delkapittel «8C: Tid og lengde» ser ERGO-2 på samtidighet, samt at en ser på tidsforlengelse, og også kort om lengdeforkortelse.

I delkapittel «8D: Bevegelsesmengde og energi» ser ERGO-2 på relativistisk bevegelsesmengde og energi. I forbindelse med bevegelsesmengde, så ser ERGO-2 tilbake på impulsloven, eller N2 formulert via bevegelsesmengde. I den forbindelse påpeker ERGO-2, ved å sette inn det klassiske uttrykket for bevegelsesmengde, $\vec{p} = m\vec{v}$, at:

Vi ser at den *samme* kraftsummen gir *samme* akselerasjon, uansett hvor fort partikkelen beveger seg. Hvis dette var riktig, kunne partikkelen få så stor fart vi ville dersom kraften virket lenge nok. [9, s. 228]

Med dette introduserer ERGO-2 uttrykket for den relativistiske bevegelsesmengden, $\vec{p} = \gamma m\vec{v}$. Ettersom γ går mot uendelig når farten nærmer seg lysfarten, så påpeker ERGO-2 at det er «*umulig* å akselerer en partikkel helt opp til lysfarten. Vi kan få farten så nær lysfarten vi vil hvis vi bruker stor nok kraft, men helt opp til c kan farten aldri komme» [9, s. 229].

Det finnes altså ikke en stor nok kraft (uendelig stor) slik at en kan akselerere en partikkel opp til lysfarten. ERGO-2 refererer til at partiklene møter «lysmuren». Denne «lysmuren» indikerer at en kraft kan virke så lenge man bare vil (en ikke uendelig stor kraft), men en får fortsatt ikke akselerert partikler helt opp til lysfarten.

Kapittel «8E: Generell relativitetsteori» åpner med å presentere ekvivalensprinsippet. I den forbindelse ser en først på N2, og introduserer «treg masse», som «motstanden mot akselerasjon» [9, s. 235]. Dernest ser en på den «tunge massen» i et gravitasjonsfelt, som et legemes «*evne til å bli påvirket av gravitasjonskraften fra andre gjenstander*» [9, s. 235]. Altså sier begge «massene» noe om «evnen» til et legeme under påvirkning av en kraft. Videre kommer ERGO-2 frem til at «tung masse» og «treg masse» er nøyaktig like store:

Massen av en gjenstand inngår i to ulike fysiske fenomener:
Den *treg* massen m_t er gjenstandens motstand mot akselerasjon.
Den *tunge* massen m_g er en konstant i Newtons gravitasjonslov.
Den *treg* og den *tunge* massen er like store,

$$m_t = m_g$$

, Vi snakker derfor bare om *massen* m av en gjenstand. [9, s. 235]

Videre så drøfter ERGO-2 hvorfor det er logisk at disse «massene» er like, ettersom det er snakk om forskjellige fysiske fenomener:

Newtons 2. lov handler om akselerasjonen til én enkelt gjenstand, mens gravitasjonsloven handler om en kraftvirkning mellom to gjenstander. Hvorfor er det den samme egenskapen ved en gjenstand som inngår i de to lovene? [9, s. 236]

ERGO-2 henviser til Einstein, som besvarte dette spørsmålet ved å referere til disse to fenomenene som ekvivalente. På bakgrunn av dette – at disse to «massene» er like –, så ser en at en relaterer to, i prinsippet ulike, kraftfenomener som ekvivalente.

Gjennom å se på et romskip som hhv. står i ro, og som har konstant akselerasjon i verdensrommet og er «langt unna alle himmellegemer» [9, s. 236], kommer ERGO-2 til slutt frem til resultatet som er ekvivalensprinsippet, og som således forener disse to fysiske fenomenene:

Et akselerert referansesystem er ekvivalent med et gravitasjonsfelt. [9, s. 236]

Dette fører igjen til, som ERGO-2 indikerer, det generelle relativitetsprinsippet, som sier at fysikkens lover har samme form i alle referansesystemer.

Til sist i kapitlet presenterer ERGO-2 to avsnitt med overskriften «Einsteins gravitasjonslov» [9, s. 244]. Her illustrerer ERGO-2 hvordan en i GR ikke tenker seg at det virker gravitasjonskrefter, i tradisjonell forstand, mellom massive legemer, men at en i stedet ser på gravitasjonskrefter som en krumning av rommet. I nærheten av massive legemer er det altså, i følge Einsteins gravitasjonsteori, at selve rummet krummer seg, slik at massive legemer «faller» inn mot andre massive legemer:

I den generelle relativitetsteorien blir det vi oppfatter som gravitasjonskrefter, beskrevet som et geometrisk fenomen. Vi kan si det slik: *Massen forteller rommet hvordan det skal krumme seg, og rommet forteller massen hvordan den skal bevege seg.* [9, s. 244]

Således spiller massen fortsatt en rolle som «bestemmende» i denne gravitasjonsteorien. Samtidig, så er det altså krumningen av rommet som «angir» hvordan denne massen beveger seg.

3.4.8 Kapittel 9: «Kvantefysikk»

I det frøste delkapitlet, «9A: Lysets partikkelegenskaper», presenterer ERGO-2 bla. at fotonet har bevegelsesmengde, $p = \frac{h}{\lambda}$, der en tar utgangspunkt i uttrykkene for relativistisk bevegelsesmengde.

I delkapittel «9C: Videre inn i kvanteverdenen», benytter ERGO-2 uttrykket for bevegelsesmengden til fotonet til å vise at partikler har bølgelengd, noe som leder frem til det ERGO-2 referer til som «Kvanteparadokset»:

Elektroner og fotoner opptrer som partikler, men vi må bruke bølger for å beskrive hvordan partiklene kan bevege seg. [9, s. 264]

Videre presenterer ERGO-2 Heisenbergs uskarphetsrelasjon, både uttrykt ved uskarpheten i bevegelsesmengde og posisjon, og i energi og tid. I den forbindelse presenterer ERGO-2 også hvordan sannsynlighet står sentralt i kvantefysikk.

Det siste delkapittelet i kapittel 9 heter «9E: Elementærpartikler». Her introduserer en de «grunnleggende kreftene», ved å først oppsummere de tre en frem til nå har behandlet, nemlig gravitasjonskraften, den elektromagnetiske kraften, og den sterke kjernekraften. Om gravitasjonskraften presiserer ERGO-2 at den «virker mellom alle gjenstander som har masse eller energi» [9, s. 274]. Den elektromagnetiske kraften omtales som bla. den kraften som «ligger bak de kjemiske bindingene som holder alle molekyler sammen» [9, s. 274], mens den sterke kjernekraften bla. «binder nukleonene til atomkjernen» [9, s. 274]. Videre presenterer ERGO-2 den svake kjernekraften som den fjerde, og siste «grunnleggende kraften». ERGO-2 oppsummerer disse «grunnleggende kreftene» ved å presisere at disse også kalles «grunnleggende vekselvirkninger», og at det er disse fire som inngår i standardmodellen.

Videre presenterer ERGO-2 en bolk kalt «Kraftpartikler», der en presiserer hvordan krefter beskrives i standardmodellen:

I standardmodellen blir alle krefter formidlet av partikler. Når to partikler vekselvirker, skjer det ved en utveksling av kraftpartikler [...] Hver vekselvirkning har én eller flere kraftpartikler som formidler kraften. [9, s. 278]

Dernest gir ERGO-2 en punktvis presentasjon av de forskjellige «kraftpartiklene» som assosieres med hver av de grunnleggende vekselvirkningene, samt at en i en egen figur/tekstboks [9, s. 279] kort presenterer virkeområdet til disse vekselvirkningene. I den forbindelse snakker ERGO-2 om rekkevidden til disse vekselvirkningene:

Elektromagnetisme og gravitasjon har uendelig lang rekkevidde. Men siden det finnes to typer elektrisk ladning som nøytraliserer hverandre, betyr ikke den elektriske kraften noe på store avstander. Masse derimot, er det bare én type av, og den virker alltid tiltrekkende på andre masser. Til tross for at gravitasjon er den desidert svakeste vekselvirkningen, er det gravitasjon som dominerer universet på store avstander. Både den sterke og den svake kjernekraften har svært kort rekkevidde. [9, s. 279]

I slutten av denne bolken tar ERGO-2 kort for seg «virtuelle partikler». En presiserer at en kaller partikler «virtuelle» i sammenheng med at de «dukker opp og forsvinner igjen som “energilån” fra vakuum» [9, s. 279], der dette «energilånet» har bakgrunn i uskarphetsrelasjonen, som gir rom for at en partikkel kan eksistere i en viss tid, uten at en kan observere at energiløven er brutt. «Virtuelle partikler av mange slag spiller en viktig rolle i standardmodellen, og virkningen av dem er observert eksperimentelt på mange forskjellige måter» [9, s. 279]. Om selve begrepet virtuell presiserer ERGO-2, i marginen, at «virtuell kommer av det latinske *virtus*, som betyr kraft eller dyktighet. Virtuelle partikler kan derfor oversettes med *kraftpartikler*» [9, s. 279].

Helt til slutt i kapittelet snakker ERGO-2 om begrensningene i standardmodellen, til tross for at en hyppig refererer til standardmodellen som «teorien om nesten alt». ERGO-2 referer til at den generelle relativitetsteorien enn så lenge synes

uforenelig med standardmodellen. Dermed har en altså ikke enda en «teori om alt». I den forbindelse refererer ERGO-2 til at også Newtons teorier en gang måtte «vike» for kvanteteorien og spesiell relativitetsteori:

Det betyr *ikke* at Newtons teori er feil. Det betyr bare at teorien har et begrenset gyldighetsområde. Innenfor sitt gyldighetsområde er det fortsatt Newtons mekanikk som gir oss de enkleste svarene på våre fysiske spørsmål. [9, s. 281]

Kapittel 4

Rammeverk: Kategorisering av definisjoner av kraft

I Norge i dag er det to forskjellige læreverker som benyttes i fysikkundervisningen i den videregående skolen. Selv om disse læreverkene kan være like på mange måter, så vil det alltid være større eller mindre forskjeller i både strukturelle ting, som kapitelsammensetning og -oppbygging, og i innhold, som eksempler, formuleringer, oppgaver og definisjoner. I denne oppgaven er det konseptet kraft som er spesielt interessant, og hvilke definisjoner av kraft som opptrer i de forskjellige lærebøkene. I disse definisjonene kan det være alt fra små forskjeller, som ordbruk og setningsoppbygging (tilsynelatende små forskjeller, men ordbruk i seg selv kan medføre store forskjeller) til større forskjeller som går på grunnleggende forklaring av konseptet kraft. Variasjonene er mange og av forskjellig art. Som indikert i [2.2.3](#) er det derfor hensiktsmessig å konstruere et rammeverk som inneholder flere grupperinger av «typer» definisjoner – kategorier av definisjoner –, og på denne måten identifisere hvilke definisjoner av kraft som opptrer i lærebøkene.

I dette kapitlet presenteres dette rammeverket, som er konstruert for denne oppgaven. Rammeverket fungerer som et analyseverktøy for å kategorisere innholdet som fremkommer av innholdsanalysen av fysikkbøkene som denne oppgaven tar utgangspunkt i (se forøvrig [2.2.3](#)). Det er ikke nødvendigvis slik at hver av kategoriene representerer en definisjon – i den strengeste betydningen av «definisjon» – av kraft, men hver kategori inneholder et eller flere forslag til hvordan en kan presentere, eller definere, kraft. Sagt på en annen måte, så inneholder hver kategori en mulig innfallsvinkel til hvordan en kan besvare spørsmålet «Hva er en kraft?». Konseptet kraft er omfattende og med flere mulige måter å tilnærme seg en definisjon, og kategoriene som presenteres i dette kapitlet er i så måte ingen eksklusiv organisering.

Som beskrevet i [2.2.3](#), så er kategoriene i utgangspunktet helt uavhengige av lærebøkene, slik at lærebøkene ikke er «bevisst» på eksistensen av en kategorisering som presenteres i dette kapitlet. Således kan en ikke si noe om at lærebøkene «har valgt» å plassere en definisjon innen den ene eller den andre kategorien. I stedet er de forskjellige kategoriene ment å være et system for å identifisere de

forskjellige av kraft som opptrer i bøkene, og således kan en snakke om at definisjoner av kraft faller inn under den ene eller den andre kategorien. Således har en heller ingen garanti for at en kan identifisere lærebøkens definisjon(er) av kraft innen noen av kategoriene. Likevel er kategoriene formulert slik at de til sammen spenner over flere aktuelle innfallsvinkler til definisjoner av kraft, og på den måten dekker mange mulige definisjoner som er ansett for å kunne opptre i lærebøker.

Som det er forklart i kapittel 2 (se 2.2.3), så er det riktignok slik at deler av rammeverket er definert induktivt, med bakgrunn i lærebøkene. Mer bestemt gjelder dette, først og fremst kategorien «Virkning som egenskap» 4.1.1, men også til en viss grad «Kraft i relasjon til bevegelse» 4.1.2.

Oppbygningen av dette kapitlet er slik at en først presenterer hver enkelt av kategoriene som utgjør dette rammeverket, før en dernest presenterer motivasjonen bak de enkelte kategoriene, samt det teoretiske grunnlaget for hver enkelt kategori (se forøvrig 2.3.1). Oppbygningen er dermed slik at at hver av kategoriene presenteres i i egne underkapitler, som følger etter hverandre, før bakgrunnen til hver enkelt kategori utdypes i et tilsvarende underkapittel (der rekkefølgen er den samme som rekkefølgen på selve kategoriene). Det er valgt å presentere selve kategorien, og bakgrunnen for kategorien i separate underkapitler, for å klart kunne identifisere hvordan hver enkelt kategori er spesifisert/formulert. Derfor er selve kategoriene presentert relativt kort, der en kun spesifiserer hva som ligger til grunn for hver enkelt kategori av definisjoner av kraft. Dernest, så følger, som nevnt en utdypende del tilknyttet hver enkelt kategori.

4.1 Kategorier: Definisjoner av kraft

Rammeverkets oppbygging er i form av flere kategorier, der hver kategori inneholder en «overordnet» definisjon av kraft. En kategori kan inneholde flere underkategorier. Disse underkategoriene deler det en kan kalle «kjernen» i definisjonen av kraft som inngår i den respektive kategorien, men adresserer forskjellige, distinkte nyanser av definisjonen i kategorien. I dette kapitlet presenteres totalt åtte kategorier (underkategorier ikke inkludert). En oversikt over alle kategoriene presenteres i tabell 4.1.

Oversikt over kategoriene		
Kategori	Beskrivelse	Delkapittel
«Virkning som egenskap»	En kraft defineres ut fra <i>virksomheten</i> (endre fart/form) av kraften. <i>Kraft med virkning som forklaringsmodell.</i>	4.1.1
«Kraft i relasjon til bevegelse»	Kraft <i>forklares</i> ved hvordan en kraft <i>relateres til bevegelse</i> .	4.1.2
«Kraft er årsaken til akselerasjon»	Krefter <i>forårsaker akselerasjon. Akselerasjon observeres som konsekvens av at en kraft (krefter) virker.</i>	4.1.3
«Newtons 2. lov – N2»	Kraft defineres <i>gjennom relasjonen til masse og akselerasjon, som gitt av N2.</i>	4.1.4
«Kraft og bevegelsesmengde»	Kraft defineres <i>gjennom bevegelsesmengde $\vec{p} = m\vec{v}$, og hvordan N2 kan uttrykkes med \vec{p}.</i>	4.1.5
«Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov»	En kraft er en <i>vekselvirkning mellom to legemer, som gitt av N3. Legemer kan påvirke hverandre med krefter.</i>	4.1.6
«Kraft er ‘noe’ som kan gjøre arbeid»	<i>En kraft kan/har evnen til å gjøre arbeid på legemer.</i>	4.1.7
«Push-pull»	En kraft er et «drag» (pull) eller «dytt» (push) på et legeme. Alle krefter er dytt eller drag.	4.1.8

Tabell 4.1: Tabellen presenterer de forskjellige kategoriene som inngår i rammeverket, og gir en kort oppsummering av hvordan de forskjellige kategoriene er formulert.

4.1.1 «Virkning som egenskap»

Denne kategorien baserer seg på en presentasjon av en kraft som det «noe» som har visse egenskaper. Disse egenskapene er slik at dersom et legeme påvirkes av en kraft (en kraft virker på et legeme), så manifesteres disse egenskapene i *virksomheten* (ev. kraftvirkningen), slik at en kan knytte en observasjon (og en måling) til en av egenskapene til kraften. Virksomheten er det man observerer (og måler) – det kraften kan «gjøre». En kan tenke seg «utfallet», «resultatet» eller «effekten» av kraften.

Mer bestemt så bygger denne definisjonen av en kraft på to primære egenskaper ved en kraft, nemlig at en kraft kan endre *formen* og/eller *farten* til et legeme. Dette er en formulering man finner igjen i både RST og ERGO, hhv. RST-1 og ERGO-1:

En kraft er en vekselvirkning mellom *to* legemer. Med det mener vi at *to* legemer kan påvirke hverandre slik at de *endrer fart* eller *endrer form*. [...] Vi oppsummerer: [...] 3. En kraft kan endre farten og/eller endre formen til et legeme. [28, s. 106] (i)

En kraft kan forandre farten til en gjenstand, og en kraft kan forandre formen på en gjenstand. Enheten for kraft er newton, N. [8, s. 62] (ii)

En kan konstruere en tilsvarende formulering, som inneholder mye av det samme, men med en annen måte å ordlegge seg på:

Utfallet (resultatet, effekten) av at en kraft virker på et legeme er at legemet endrer hastigheten og/eller deformeres. (iii)

I alle tilfellene (i), (ii) og (iii) adresserer man *virksomheten* av kraften som en forklaring på hva en kraft er. Formuleringene er dog ikke ekvivalente, og forskjellene er i stor grad av semantisk art, noe som fremgår mer eller mindre tydelig.

I denne kategorien er utfallet (resultatet) av at en kraft virker (på et legeme), dvs *selve kraftvirkningen*, definisjonen av en kraft. Sagt med andre ord, så har en kraft en mengde egenskaper som bestemmer hva utfallet, som følge av at kraften virker (på et legeme) kan være, og disse egenskapene definerer kraftvirkningen (utfallet). Man adresserer altså disse egenskapene til en kraft som selve definisjonen på hva en kraft er – kraftvirkningen (virkningen av/til kraften) *er* selve kraften.

4.1.2 «Kraft i relasjon til bevegelse»

Denne kategorien inneholder definisjoner av kraft som tar utgangspunkt i relasjonene mellom kraft og bevegelse. Merk at denne kategorien er spesifisert ved at kraft er relatert direkte til *bevegelse*, som ikke nødvendigvis betyr, f.eks. aksele-

rasjon. Det er altså hvordan kraft relaterer seg til bevegelse som gir opphav til definisjoner av kraft i denne kategorien.

Det finnes flere «måter» en kan tenke seg at en kraft er relatert til bevegelse på. Det at det finnes forskjellige relasjoner mellom kraft og bevegelse, gir opphav til en oppdeling av denne kategorien i flere underkategorier, og i denne kategorien belyses fire slike relasjoner.

«Kraft forklarer bevegelse» En relasjon som denne kan i utgangspunktet virke enkel og grei. Normalt så er «bevegelse» (at et legeme beveger seg), uavhengig av hvordan «bevegelse» er definert, mulig å observere fysisk, og denne bevegelsen er forklart av krefter. Dersom kraft kan sies å være den «forklarende faktoren» til bevegelse, så er det slik at bevegelsen til et vilkårlig legeme vil være forklart av kraften (eller summen av kreftene) på legemet.

Det er likevel ikke trivielt å definere kraft som «det som forklarer bevegelse». Det å gi en forklaring er i utgangspunktet en dypere relasjon enn det å, for eksempel, gi en matematisk sammenheng (slik som f.eks. N_2 fremstår). I sammenheng med bevegelse (og i mange andre sammenhenger forøvrig), er begrepet «forklare» vanskelig, ettersom det kommer med en forventning om en dypere forståelse – som ikke nødvendigvis innebærer en komplett beskrivelse – av hvordan bevegelsen til et legeme er.

«Kraft er årsaken til bevegelse» I denne underkategorien representeres definisjoner av kraft som bygger på en relasjon der kraft er årsaken til bevegelse. På mange måter er denne underkategorien lik «Kraft forklarer bevegelse», i det begge kan sies å være dypere, bakenforliggende relasjoner mellom kraft og bevegelse. Dog, at kraft er «årsaken til bevegelse» behøver ikke medføre at kraft «forklarer bevegelse». Selv om det i mange tilfeller kan være slik at «årsaken til» og «forklaringen» er den samme, så er det i utgangspunktet to distinkte relasjoner. Ved å forenkle tilstrekkelig mye, kan en illustrere forskjellen ved det følgende: Årsaken til at det blir mørkt om natten er at sola går ned. Forklaringen er at jorda går i bane rundt sola, roterer om sin egen akse, og at rotasjonsaksen er «tiltet» i forhold til baneplanet.

«Kraft bestemmer bevegelse» I denne underkategorien av «Kraft i relasjon til bevegelse» defineres en kraft ut i fra at kraft bestemmer bevegelse. En kan på mange måter si at en kraft «angir» bevegelse. Gitt en kraft som virker på et gitt legeme, så vil bevegelsen til legemet være bestemt av kraften (eller kreftene) som virker på det. I motsetning til «Kraft forklarer bevegelse», der «forklare» ikke nødvendigvis innebærer en (komplett) beskrivelse selve bevegelsen, så bærer «Kraft bestemmer bevegelse» med seg en forventning om en bevegelse som er beskrevet – bestemt. Hvis en bevegelse er (fullstendig) bestemt, så vil en alltid kjenne «neste steg» i bevegelsen, uansett på hvilket tidspunkt i bevegelsen man befinner seg.

«**Kraft kan *endre* bevegelse**» Nok en underkategori, med nok en variasjon i hvordan man har valgt å formulere det som som er basis i kategorien. Det som er viktig å merke seg ved denne kategorien er at man adresserer *endring* av bevegelse, og ikke kun bevegelsen i seg selv. Hva en kraft «er», sees fortsatt i sammenheng med bevegelse, men denne formuleringen antyder ikke et forhold til bevegelse der kraft er «skapende» eller «genererende», «forklarende» eller «er årsak». Her er kraft «det som kan endre» bevegelse, og det ligger ikke nødvendigvis til grunn at bevegelsen skal være forklart, eller for den saks skyld, forårsaket av en kraft.

4.1.3 «Kraft er årsaken til (forårsaker) akselerasjon»

Denne kategorien representerer definisjoner av kraft som baserer seg på kraft som årsaken til akselerasjon. Således representerer denne kategorien definisjoner av kraft som baserer seg på denne bestemte relasjonen mellom kraft og akselerasjon. En slik definisjon av kraft kan opptre i flere sammenhenger, også forbindelse med matematiske sammenhenger (formler). Uansett sammenheng, så er denne kategorien representert ved at en kraft opptrer som selve årsaken til, eller det som «står bak» akselerasjon.

Coelho skriver i to av sine artikler [32; 33] at «Kraft er årsaken til akselerasjon» er den vanligste definisjonen av kraft (i lærebøker):

In a sample of about a hundred textbooks, it was found that «force is the cause of acceleration» is the most common definition of force. [32, s. 103]

På bakgrunn av dette er det valgt å ikke inkludere flere tilsvarende relasjoner mellom kraft og akselerasjon, slik det er gjort det i kategorien «Kraft i relasjon til bevegelse». I tillegg opptrer andre definisjoner av kraft, basert andre relasjoner til akselerasjon, i f.eks. kategorien «Kraft og Newtons 2. lov».

4.1.4 «Kraft og Newtons 2. lov»

Denne kategorien tar utgangspunkt i N2, og inneholder således definisjoner av kraft som baserer seg på N2. Det eksisterer flere variasjoner i hvordan N2 opptrer i forskjellige sammenhenger, men denne kategorien dekker N2 på en form der størrelsen akselerasjon inngår, representert på matematisk form. I «Principia» [26] presenterer Newton sin andre lov der bevegelsesmengde, og ikke akselerasjon, inngår. I denne kategorien begrenser en seg likevel til å se på definisjoner av kraft som kan springe ut fra N2 på «akselerasjons-form».

I N2 på «akselerasjons-form», er summen av kreftene (som virker på et legeme) lik produktet av massen (til legemet) og akselerasjonen (til legemet), som oftest representert sammen med den matematiske relasjonen. Det er også vanlig å gi et uttrykk som ikke er på vektorform, i de tilfeller man begrenser seg til å behandle

krefter som virker i samme retning (essensielt på komponentform):

$$\sum \vec{F} = m \vec{a} \quad (4.1a)$$

$$\sum F = ma \quad (4.1b)$$

Å jobbe med en sum av krefter i en definisjon av kraft trenger ikke nødvendigvis være et problem, men fra N2 ser man at om et legeme er påvirket av kun en kraft, \vec{F} så er størrelsen av denne kraften, $F = |\vec{F}|$, gitt ved akselerasjonen, a og massen m :

$$F = ma \quad (4.2)$$

Ut i fra denne matematiske sammenhengen (N2), så kan en definere kraft. Om en ser på likning (4.2) slik som den er, så kan en allerede definere kraft som produktet av masse og akselerasjon. Dernest, gitt likning (4.2), så kan man enkelt omskrive denne likningen, og således presentere sammenhengene for hhv. akselerasjon, a , og masse, m :

$$a = \frac{F}{m} \quad (4.3a)$$

$$m = \frac{F}{a} \quad (4.3b)$$

Basert på sammenhengen mellom kraft, masse og akselerasjon gitt av N2, og uttrykkene presentert over, så ser en at en kan gi en definisjon av kraft som baserer seg på størrelsen akselerasjon, og ev. masse (dog avhenger disse av hvordan både masse og akselerasjon er definert). Således er dette også en definisjon av kraft der en definerer kraft gjennom enten akselerasjon eller masse.

4.1.5 «Kraft og bevegelsesmengde»

I kategorien «Kraft og Newtons 2. lov» (se 4.1.4) inngår N2 på formen der akselerasjon opptrer (se likning (4.2), (4.1)). I denne kategorien, derimot, så baserer en seg på N2 uttrykt ved bevegelsesmengde, $\vec{p} = m\vec{v}$, som bakgrunn for definisjoner av kraft. Dermed omfatter denne kategorien definisjoner av kraft som baserer seg på sammenhengen mellom kraft og bevegelsesmengde, som gitt av N2 på «bevegelsesmengde-form».

N2 uttrykt på denne formen refereres gjerne til som N2 på «generell form», og presenteres ofte matematisk, på følgende vis:

$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (4.4)$$

N2 på denne formen er nært knyttet til hvordan Newton selv formulerte sin andre lov i «Principia», ettersom Newton benyttet bevegelsesmengden, \vec{p} i beskrivelsen av bevegelse. Formuleringen til Newton og formuleringen over er dog ikke eksakt like.

4.1.6 «Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov»

Denne kategorien omfatter Newtons 3. lov (N3) som utgangspunkt for en definisjon av kraft. Det eksisterer forskjellige måter å formulere N3 på (forskjellige ordvalg, f.eks.), men felles for en definisjon av kraft i denne kategorien, er at N3 danner grunnlaget for å si noe om hva kraften «er».

I forbindelse med definisjoner av kraft i denne kategorien, referer en gjerne til kraft som en «vekselvirkning», men dette er ikke alltid tilfelle. Som antydnet, så kan formuleringer av N3 variere noe, og således kan en finne at en ikke nødvendigvis refererer til kraft som en «vekselvirkning», direkte.

Ettersom N3, i motsetning til N1 og N2, i utgangspunktet ikke relaterer seg til størrelser som kan relateres til bevegelse, så inneholder en definisjon av kraft i denne kategorien ofte ingen direkte relasjon mellom kraft og bevegelse. N3 kan på mange måter sies å være «regelboken» for hvordan krefter virker, og således er kraft i denne kategorien definert ved disse «føringene» i N3.

I artikkelen til Brown [7, s. 356] presenteres fem ideer, punktvis, som spesielt viktige i forbindelse med Newtons 3. lov (N3). For bedre å samsvare med de norske bøkene, så kan man forsøke å oversette disse fem punktene til norsk:

- i) Et isolert legeme kan ikke *erfare* (oppleve) en kraft. Det kan ikke virke en kraft på et legeme, A, uten at et annet legeme, B, virker på A med denne kraften
- ii) Et isolert legeme kan ikke virke med en kraft. Et legeme A kan ikke virke med en kraft med mindre (hvis ikke) det er et annet legeme, B, som virker med en kraft på A.
- iii) Kraften som A virker med på B er til enhver tid eksakt like stor som kraften B virker med på A
- iv) Ingen kraft kommer forut av en annen. Kraften A virker med på B er alltid samtidig med kraften som B virker med på A.
- v) I vekselvirkningen mellom A og B har kraften som A virker med på B motsatt retning av retningen til kraften som B virker med på A.

4.1.7 «Kraft er ‘noe’ som kan gjøre arbeid»

I denne kategorien definerer en kraft gjennom relasjonen til arbeid. Mer bestemt, så omfatter kategorien kraft som er definert ved at kraft er det «noe» som «kan», eller har «evnen til» å utføre arbeid. Således er kraft i denne kategorien basert på hvordan en definerer arbeid.

I mekanikk er det vanlig å definere arbeid, W , som følger:

Om en kraft, \vec{F} virker på et legeme slik at legemet forflytter seg en distanse, \vec{d} , fra utgangspunktet, så sier man at kraften har gjort et

arbeid, $W = \vec{F} \cdot \vec{d}$, på legemet.

4.1.8 «Push-pull»

I kategorien «Push-pull» er kraft «noe» som «dytter» eller «skyver» på, eller «drar» i et legeme. Enhver kraft *er* således et «dytt» («skyv») eller et «drag». «Push-pull»-tilnærmingen til en kraft er også en tilnærming (definisjon) som bygger på egenskapene til en kraft. En kraft kan «dytte» på- eller «dra» («trekke») i et legeme, og en slik egenskap realiseres ved at man kan observere et legeme akselerere (eventuelt endre bevegelse) via et «drag» eller «skyv».

«Push-pull» indikerer at en kraft *er* et «drag» eller et «skyv», noe som ikke nødvendigvis betyr – men heller ikke utelukker – kraften må være assosiert med en handling som innebærer «skyv» eller «drag». I denne kategorien kan en snakke om en kraft som virker på et legeme, på samme måte som i en annen kategori, men selve kraften identifiseres som et «drag» eller et «skyv». Tildels kan en også snakke om at en kraft kan beskrives som et «skyv» eller «drag», som ikke nødvendigvis impliserer at en kraft «er».

4.2 Kategoriene – bakgrunn, motivasjon og overlapp

I forrige delkapittel ble kategoriene som utgjør rammeverket i denne oppgaven presentert. I inneværende delkapittel vil det bli gjort rede for bakgrunnen til de forskjellige kategoriene, og forholdene som ligger til grunn for at kategoriene er definert slik. I tillegg er det noen kategorier som kan synes å være like på flere punkter, og derfor vil overlapp mellom kategorier også bli presentert her.

På mange måter er de forskjellige kategoriene motivert av det en som fysiker «føler», eller har inntrykk av er mulige innfallsvinkler til definisjoner av kraft, og som i flere tilfeller kan være definisjoner en har vært borti eller har tenkt seg gjennom fysikkutdannelsen. På en annen side er det ulike kategoriene motivert ut i fra forskjellig litteratur. Det være seg f.eks. litteratur der det fremgår hvilke definisjoner av kraft som faktisk forekommer i lærebøker – f.eks. de tre hovedtypene til Coelho, se 2.3.2 –, og således er noen kategorier, som nevnt i kapittel 2 (se 2.2.3) til en viss grad allerede basert på definisjoner en finner i lærebøker. Samtidig er kategoriene basert på fysiske lovmessigheter og teorier som er etterprøvd med stor suksess (f.eks. N2).

Kategoriene er formulert med tanke på å kunne spenne over flere områder av fysikk. Likevel er det mekanikk/mekanisk fysikk som utpeker seg som den delen av fysikk der kategoriene kanskje gjør seg mest gjeldende, noe som er i tråd med oppgavens problemstilling (se 1.2), som dreier seg mot mekanikk-delen av lærebøker.

I utformingen av kategoriene er det ikke tatt hensyn til, eller vurdert hvordan de forskjellige kategoriene stiller seg i et undervisningsøyemed, og ev. hvilken funksjon kategoriene kan ha i forbindelse med undervisning. I utgangspunktet er det tenkelig at noen kategorier vil kunne være mer fruktbare enn andre, dersom en ser for seg undervisning i fysikk som baserer seg, i større eller mindre grad, på en kategorisering som i presentert i denne oppgaven. Med kategoriene er det i denne oppgaven innholdet i lærebøkene som er interessant, og i utgangspunktet ikke om, og hvordan, en ev. kan benytte disse kategoriene i formidling og undervisning av fysikk.

En «Newtons 1. lov»-kategori?

I 4.1 presenteres kategoriene i denne oppgaven, og i den forbindelse er det slik at det er to kategorier som baserer seg på N2 og N3, hhv. «Kraft og Newtons 2. lov» (4.1.4) og «Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov» (4.1.6). Det er ikke inkludert en kategori som i samme grad baserer seg på den første av Newtons lover, N1. Sagt med andre ord, så er det ingen kategori som inkluderer definisjoner av kraft der en eksplisitt utnytter N1, slik som en gjør det med N2 i «Kraft og Newtons 2. lov», og med N3 i «Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov».

Et argument – muligens noe overflattisk – for fraværet av en slik N1-kategori er at N1 sier noe om *fraværet* av krefter, og beskriver et legeme i en «kraftløs tilstand». Således kan en argumentere for at det da ikke er noe behov for en N1-kategori, ettersom N1 forteller oss hva som «skjer» dersom ingen krefter virker, altså har en ingen kraft å referere til via N1. Dette er selvfølgelig en sannhet med modifikasjoner, ettersom en kan si mye om et fenomen dersom en kan beskrive et system dersom fenomenet *ikke* inntreffer, og så sammenlikne med det en kan observere/måle dersom fenomenet inntreffer. I dette tilfellet er «fenomenet» kraft (krefter). I «Principia» formulerer Newton N1 («Law 1») som følger:

Every body perseveres in its state of being at rest or of moving uniformly straight forward, except insofar as it is compelled to change its state by forces impressed. [26, s. 416]

I forkant av sin første lov er det faktisk slik at Newton, i «Principia» mer eller mindre oppsummerer innholdet i N1 i to definisjoner («Definitions»), hhv. definisjonene 3 og 4 («Definition 3» og «Definition 4») [26, s. 404–405]. Detaljene tilknyttet disse definisjonene utelates her, men en kan nevne at i disse to definisjonene snakker Newton om to forskjellige «typer» kraft. Den første er det en i dag vil referere til som treghet («inertia»), men som Newton (oversatt) betegner som «inherent force of matter» [26, s. 404]. Den andre er «impressed force» [26, s. 405], som er den kraften en kjenner igjen fra f.eks. N2, som kan akselerere (endre bevegelsen/bevegelsestilstanden til) legemer. Uten å gå i nærmere detalj vedrørende Newtons formulering, så kan en kjenne igjen denne formuleringen i dagens lærebøker i fysikk. N1 sier at et legeme vil opprettholde en rettlinjert bevegelse med konstant hastighet eller fortsette å være i ro, under forutsetning at ingen krefter virker på legemet. På bakgrunn av dette kan en føre et argument som antydnet over,

nemlig at dersom forutsetningen ikke er oppfylt – at det faktisk virker krefter på et legeme –, så vil noe annet «skje», enn rettlinjert bevegelse med konstant hastighet (eller ro).

Coelho [35] tar for seg N1 («law of inertia») i et historisk perspektiv, og hvordan N1 fremstår i et undervisnings- og lærebokperspektiv. Coelho tar i den forbindelse opp et problematisk aspekt ved N1, nemlig at det ikke er mulig å sette opp et eksperiment for å etterprøve loven. Dette fordi N1 i utgangspunktet beskriver en situasjon der *ingen* krefter virker, som er forholdet det er umulig å konstruere i eksperimenter. Akkurat dette leder en inn på et spor som fører til en annen tolkning, nemlig N1 som et spesialtilfelle av N2. Av N2, så kan en åpenbart se at dersom summen av kreftene på et legeme er null ($\sum F = 0$; ingen netto kraft virker), så må akselerasjonen være null (legemet antas å ha masse), noe som igjen impliserer konstant hastighet. Dette er en tolkning en kan finne igjen i flere lærebøker, noe Coelho også påpeker [35, s. 957]. Dersom en f.eks. ser til en lærebok som Y&F [43], som er en lærebok ett nivå over VGS-bøkene, så finner en at en i forbindelse med N1 sier følgende:

It is important to note that the *net* force is what matters in Newton's first law. For example, a physics book at rest on a horizontal tabletop has two forces acting on it [...] The upward push of the surface is just as great as the downward pull of gravity, so the *net* force acting on the book (that is, the vector sum of the two forces) is zero. In agreement with Newton's first law, if the book is at rest on the tabletop, it remains at rest. [...] When a body is either at rest or moving with constant velocity (in a straight line with constant speed), we say that the body is in **equilibrium**. For a body to be in equilibrium, it must be acted on by no forces, or by several forces such that their vector sum – that is, the net force – is zero [...] [43, s. 112]

Dette illustrerer godt hvordan N1 presenteres i flere lærebøker. Selv om en ikke eksplisitt identifiserer N1 som et spesialtilfelle av N2, så gjør en det indirekte ved å referere til at summen av kreftene er null («zero net force»).

Med bakgrunn i denne korte introduksjonen til N1, som kun skraper i overflaten, så får en et lite innsyn i «problembarnet» N1. Når det er sagt så er det selvfølgelig ikke slik at N1 nødvendigvis er noe mindre «problembarn» enn Newtons to andre lover. Ei er det heller nødvendigvis slik at N1 er noe «problembarn» i det hele tatt, dersom en vet å formulere seg presist. Det som er tilfellet med N1, som Coelho [35] også påpeker, er at N1 (i Newtonsk mekanikk) fungerer som det en kan kalle «referanse-tilstanden» eller «referanse-bevegelsen», ettersom N1 angir hva som er tilfellet dersom ingen kraft virker. Dersom en ser på N1 på denne måten, så forsvinner «problembarn»-stempel, ettersom en fritt kan velge en slik referanse.

Det er ikke dermed sagt at denne tankegangen er noe en kan spore i lærebøker i fysikk, men det er en del av bakgrunnen for hvorfor en egen N1-kategori ikke opptrer i denne oppgaven. Med N1 så følger det at det virker kraft/krefter («netto kraft») dersom en har en annen bevegelse enn rettlinjert med konstant hastighet,

eller ro. Det er fremstår dermed mer hensiktsmessig å basere en kategori på andre sammenhenger enn N1, ettersom en kan finne andre sammenhenger der en kan relatere seg direkte til kraft, mens en gjennom N1 i stor grad er «tvunget» til å forholde seg til fravær av kraft. Coelho skriver i konklusjonen i sin artikkel:

The criticism on Newton's theory [Newtonske mekanikk] arises from its "metaphysical component": from the attributing of the motion of reference to the body itself and the force to the neighbourhood of it. [35, s. 966]

4.2.1 «Virkning som egenskap»

I delkapittel 4.1.1 ble kategorien «Virkning som egenskap» presentert. En kategori som denne er i stor grad empirisk og bygger på erfaring. Gjennom en rekke dagligdagse observasjoner har man gjerne utviklet en forståelse av hvordan man kan endre formen eller hastigheten til et legeme. Denne forståelsen bygger ikke nødvendigvis på kjennskap til fysikk eller det fysiske konseptet kraft, men heller gjennom visuelle og taktile observasjoner i det daglige liv.

Som antydnet i selve kategorien, så er denne kategorien delvis induktivt definert, i det en tar utgangspunkt i formuleringer som allerede er kjent fra lærebøker. For å repetere formuleringene fra kategorien, så sier en i RST-1 (def. (i) i 4.1.1):

En kraft er en vekselvirkning mellom *to* legemer. Med det mener vi at *to* legemer kan påvirke hverandre slik at de *endrer fart* eller *endrer form*. Dessuten er det slik at et legeme som blir påvirket av en kraft fra et annet legeme, virker tilbake å dette legemet med en annen kraft. [28, s. 106]

Tilsvarende, så finner en følgende formulering i ERGO-1 (def. (ii) i 4.1.1):

En kraft kan forandre farten til en gjenstand, og en kraft kan forandre formen på en gjenstand. Enheten for kraft er newton, N. [8, s. 62]

Et aspekt, av semantisk art, som må belyses, er formuleringen av definisjonene av kraft som utgjør kategorien «Virkning som egenskap». Nærmere bestemt, så dreier det seg om ordet «kan». I begge definisjonene i «Virkning som egenskap» (4.1.1; (i) og (ii)) henviser en til at en kraft «kan endre farten eller endre formen til et legeme» (dette gjelder forøvrig også, i større eller mindre grad, alle andre definisjoner der en kraft «kan gjøre» et eller annet). Bruken av ordet «kan» er litt spesiell, for det er mulig å tolke dette på forskjellig vis. Om en for et øyeblikk trer bort fra definisjonene det henvises til, og betrakter et annet, urelatert eksempel, så kan en forsøke å belyse dette. Om en betrakter et så enkelt spørsmål som «Kan Berit sykle?», så åpenbarer det seg hvorfor det er mulig å oppfatte «kan» på forskjellig vis. I det ene tilfellet spør en seg om Berit kan kunsten å sykle, altså om Berit har lært seg og er i stand til å sykle. I det andre tilfellet, så spør en om Berit kan få lov til å sykle, altså en forespørsel om Berit har muligheten til å sykle. I tillegg, så er det et element av «sjanse», eller sannsynlighet, som kan tillegges

bruken av «kan». Tilfellet med Berit som sykler er kanskje ikke et godt eksempel i så måte, men en kan likevel tenke seg «sannsynligvis» eller «antakelig» som svar på spørsmålet om Berit kan sykle.

Dersom en så trer tilbake igjen til disse to definisjonene som inngår i kategorien «Virkning som egenskap», så ser en at det er, opp til en viss grad, rom for tolkning hvordan en isolert sett forstår en definisjon som bygger på en påstand som «en kraft kan endre farten og/eller formen til et legeme». I et tilfelle, så er det snakk om at en kraft er i stand til eller har anledning til å forandre fart/form, men i utgangspunktet sier en ikke noe om at en kraft *må* gjøre dette. Dernest, så snakker en om at en kraft har muligheten, eller «har lov til» å endre fart/form. Dette flyter litt over både i førstnevnte tilfelle, og i tilfellet som går på at det er «tenkelig» (eller at det er «sjanset for») at en kraft kan endre fart/form.

4.2.2 «Kraft i relasjon til bevegelse»

Tanken om enhver bevegelse krever en drivkraft eller bevegende kraft («mover») er eldgammel, og har gjennom historien vært en sentral tanke i mange verdensbildet til mange store naturfilosofer. Aristoteles beskrev for eksempel et konsept som innebærer en slags universell «ur-årsak» eller «ur-drivkraft» («prime mover», «*primum movens*») som er opphavet til all bevegelse i universet [27]. Ideen om en slik «mover» var også, i større eller mindre grad, tilstede hos Newton da han med «Principia» [26] la grunnlaget for det vi i dag gjenkjenner som klassisk fysikk (mekanikk, klassisk mekanikk).

På samme måte, så går tanken om at bevegelse må ha en årsak går langt tilbake, men det er kanskje spesielt naturfilosofien til Aristoteles at en slik tanke blir satt i system. Konseptet kraft slik man kjenner det fra fysikken etter Newton var ikke eksisterende, men begrepet – selve ordet – kraft ble likevel brukt og tillagt betydning. Aristoteles identifiserte kraft som årsaken til legemers bevegelse, i motsetning til legemers tilstand av ro eller hvile («rest»). Selv om kraft her blir satt i sammenheng med bevegelse på (nesten) samme måte som en finner at det fortsatt gjøres i dag, så var kraftbegrepet til Aristoteles forskjellig fra det en opererer med i dag. I forbindelse med denne kategorien vil en ikke gå nærmere inn på akkurat dette, ettersom det er *relasjonen* kraft har med bevegelse som er sentralt i denne kategorien, og som danner bakgrunnen for en definisjon av kraft.

Nettopp dette er viktig å merke seg, at denne kategorien omfatter krefters sammenheng med *bevegelse*, som ikke nødvendigvis trenger å bety *akselerasjon*. Man adresserer bevegelse, som er et mer løst definert begrep enn, f.eks., akselerasjon (akselerasjon er klart definert, og kan måles). Nettopp dette er et viktig aspekt ved kraft i denne kategorien. Sammenhengen mellom kraft og bevegelse er direkte, dvs uten «omveier» (eksempelvis akselerasjon). Slik sett «dikterer» ikke definisjoner av kraft innen denne kategorien, at «bevegelse» fremstår som klart definert. «Bevegelse» kan dermed fremstå «as is», altså uten en videre forklaring eller forankring i fysiske størrelser. Det er klart at dersom en klart definerer hva en mener med bevegelse, så vil kraft, i denne kategorien, automatisk bli tilsvarende klart definert,

gjennom relasjonen til bevegelse. Når det er sagt, så er kraft i denne kategorien i større grad forankret til selve relasjonen til bevegelse, ikke nødvendigvis til bevegelsen som sådan. I tillegg kan en se at denne kategorien ikke har noen videre solid forankring i teori, i samme grad som f.eks. kategorien «Kraft og Newtons 2. lov» (se 4.1.4).

På samme måte er det felles for alle underkategoriene, at relasjonen i hver enkelt underkategori ikke nødvendigvis sier noe om kraften, eller kraft-konseptet i seg selv. Kraften er, som nevnt, definert gjennom relasjonen til bevegelse.

Relasjonene mellom kraft og bevegelse i denne kategorien er på «tekstlig form», altså i utgangspunktet ikke representert ved en matematisk sammenheng. Således er det naturlig at definisjoner av kraft som kategoriseres innen denne kategorien, opptrer i «tekstlig form». Dette utelukker selvfølgelig ikke definisjoner av kraft på «matematisk form», ettersom det selvfølgelig er mulig å indikere en relasjon mellom kraft og bevegelse, som inneholdt i denne kategorien, ved et matematisk uttrykk. Samtidig åpner denne «tekstlige formen» for større grad av tolkning i relasjonene, noe som såvidt antydes i eksempelet i forbindelse med «Kraft er årsaken til bevegelse» (se 4.1.2).

Det at denne kategorien er delt opp i flere – nærmere bestemt, fire – underkategorier, er fordi det eksisterer flere tenkelige relasjoner mellom kraft og bevegelse. At det er inkludert akkurat fire underkategorier, som speiler fire forskjellige relasjoner mellom kraft og bevegelse, er mer eller mindre tilfeldig. Disse underkategoriene er valgt på bakgrunn av at de representerer relasjoner mellom kraft og bevegelse som er «generelle», i den forstand at en kan identifisere denne relasjonen for en villkårlig bevegelse (og for en villkårlig kraft). Samtidig er det valgt spesifisere disse underkategoriene, slik at relasjonen i hver underkategori fremstår tilstrekkelig «håndfast», slik at det ikke er noen spesiell grad av usikkerhet i hvordan kraft relaterer seg til bevegelse.

Når det gjelder hver enkelt underkategori, så indikeres i stor grad forskjellen, relasjonene i mellom, i formuleringen av selve kategorien (se 4.1.2).

4.2.3 «Kraft er årsaken til (forårsaker) akselerasjon»

Som kategorien i seg selv antyder, så representerer denne kategorien definisjoner av kraft der kraft relaterer seg til akselerasjon, gjennom at kraft fremstår som «årsaken» til akselerasjon. I forbindelse med nettopp denne relasjonen – «er årsak» eller «forårsake» –, så er det verdt å bemerke at det eksisterer flere, tilsvarende kandidater til relasjonen i denne kategorien. Likevel, så identifiserer Coelho [32; 33], som nevnt, definisjonen «force is the cause of acceleration», som den mest brukte i et utvalg av lærebøker, som er motivasjonen for å presentere denne kategorien uten underkategorier (i motsetning til f.eks. kategorien «Kraft i relasjon til bevegelse», se 4.1.2 og 4.2.2).

Samtidig er akselerasjon, i utgangspunktet en mer presist definert størrelse enn bevegelse, ettersom akselerasjon bygger direkte på posisjon og tid, og kan måles

direkte. Dette kan ikke sies å alltid være tilfelle for bevegelse. Således «kreves» det mer av en relasjon mellom kraft og akselerasjon.

Dersom en likevel ser til «Kraft i relasjon til bevegelse» (se 4.1.2), så kunne en f.eks. tenke seg relasjonen «Kraft bestemmer akselerasjon» som en underkategori. I så tilfelle kan en argumentere for at en slik underkategori i stor grad overlapper med N2-kategorien, «Kraft og Newtons 2. lov» (se 4.1.4), ettersom N2 gir en matematisk sammenheng der akselerasjon på mange måter kan sies å være «bestemt» av kraften (summen av kreftene). Tilsvarende kunne en tenke seg «Kraft forklarer akselerasjon», som en aktuell underkategori. Som det argumenteres for i kategorien «Kraft i relasjon til bevegelse», så innebærer ikke nødvendigvis at noe er «årsaken til», samtidig at det er «forklaringen på/til». Vice versa, så er det gjerne slik at dersom noe er «forklaringen», så er det også «årsaken til». I forbindelse med at akselerasjon er et mer presist konsept enn bevegelse, så er det valgt å ikke inkludere denne relasjonen som en underkategori.

Et aspekt ved denne kategorien som det er verdt å merke seg, er at en kan oversette «cause» med flere forskjellige ord. Dette betyr at det er grunnlag for å identifisere flere relasjoner mellom kraft og akselerasjon som grunnlag for en definisjon av kraft. Således kan en presentere følgende alternativer: «Kraft skaper akselerasjon»; «Kraft medfører akselerasjon» eller «Kraft fører til akselerasjon»; «Kraft fremkaller akselerasjon».

Foruten at alle disse tilfellene kan springe ut fra en oversettelse av «cause», så er det vanskelig å identifisere fellestrekk, ettersom alle representerer en distinkt relasjon. Visst kan en identifisere at disse relasjonene likner hverandre, men det er utfordrende å plassere alle disse relasjonene under et felles begrep. Dette er for såvidt ikke uventet, ettersom kategorien er motivert av å identifisere en spesifikk relasjon mellom kraft og akselerasjon som grunnlag for en definisjon av kraft. En kan likevel si at det som er felles for alle tilfellene (formuleringene), er at de uttrykker en relasjon fra kraft, direkte til akselerasjon, som baserer seg på at kraft «gir» akselerasjon.

Uten å i større detalj gå inn på oversettelsen av «cause» til norsk, så kunne en også tenke seg følgende formuleringer: «Kraft tilfører akselerasjon», eller «Kraft påfører akselerasjon». Disse to formuleringene er, all den tid en ser på mulige oversettelser av «cause», gyldige, men stiller seg forskjellig fra de ovennevnte formuleringene. «Tilfører» og «påfører» indikerer, til en viss grad en relasjon mellom kraft og akselerasjon der en kraft «gir» akselerasjon (til et legeme) ved å «trenge inn» eller

Det å inkludere flere oversettelser av «cause» er i seg selv ikke noe poeng, ettersom kategorien er spesifisert ved relasjonen «Kraft er årsaken til akselerasjon». Når det er sagt, så illustrerer dette utvalget av (gyldige) alternative oversettelser hvordan denne kategorien ikke nødvendigvis fremstår som entydig. Det er riktignok ikke slik at kategorien utelukkende er basert på en direkte oversettelse av definisjonen Coelho [32; 33] identifiserer, men det er et poeng å indikere hvordan kategorien potensielt kan spesifiseres.

Med bakgrunn i kategorien slik den er spesifisert – kraft er «årsaken» til akselera-

sjon –, samt presentasjonen av alternative, men tilsvarende, relasjoner, så ser en i definisjoner av kraft i denne kategorien ikke henvender seg direkte til virkningen av av kraften (kraftvirkningen). En omtaler en kraft i forbindelse med hva en kraft «er», i relasjon til akselerasjon, ikke i forbindelse med hva en kraft «kan». Således er det ingen direkte overlapp med kategorien «Virkning som egenskap», selv om akselerasjon defineres ved endring i fart (hastighet).

4.2.4 «Kraft og Newtons 2. lov»

Som antydnet i presentasjonen av denne kategorien (se 4.1.4), så er N2 grunnlaget for denne kategorien av definisjoner av kraft. N2 er en svært sentral del av klassisk mekanikk – og også i fysikk som helhet –, og utgjør en betydelig del av grunnlaget for den mekanikken en lærer i fysikk i skolen i dag. Med sitt «Principia» definerte Newton, mer eller mindre feltet mekanikk slik vi kjenner det i dag (en snakker gjerne om Newtonsk mekanikk, til forskjell fra andre formuleringer av klassisk mekanikk, som f.eks. Lagrangemekanikk). Det er denne høyst sentrale rollen N2 spiller i klassisk mekanikk, som motiverer en egen kategori som baserer seg på formuleringen av loven.

Denne kategorien omfatter, som nevnt, N2 på en form der akselerasjon inngår, noe som ikke spesifiseres i kategoriens tittel. Dette kan delvis begrunnes med at N2 på «akselerasjons-form» fremstår som den «vanligste» formen N2 introduseres på i fysikk på nivået som er relevant for denne oppgaven. Således kan en referere til N2 uten å spesifisere, i tittelen, at en mener N2 på «akselerasjons-form». I tillegg synliggjøres N2 på formen der bevegelsesmengde inngår i kategorien «Kraft og bevegelsesmengde» (se 4.1.5 og 4.2.5).

Newtons egen formulering av sin andre lov i «Principia» – «Law 2» – er som følger:

A change in motion is proportional to the motive force impressed and takes place along the straight line in which that force is impressed. [26, s. 416]

Med «motion», så mener Newton bevegelsesmengde («momentum», på engelsk), noe som utdypes nærmere i forbindelse med bakgrunnen til neste kategori, «Kraft og bevegelsesmengde» (se 4.2.5). Newtons definisjon av «motion» – altså, bevegelsesmengde – er «velocity and the quantity of matter jointly» [26, s. 404], hvilket en gjenkjenner som $\vec{p} = m\vec{v}$.

Dersom modifiserer Newtons andre lov noe, til å se på endringen i bevegelsesmengde pr. tidsenhet, så har en versjonen av N2 som en gjenkjenner fra de fleste av dagens fysikkbøker som behandler mekanikk/klassisk mekanikk (se Cohen [5, s. 65]). Det matematiske uttrykket for N2 er da

$$\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

Dersom en så studerer uttrykket for bevegelsesmengden, $\vec{p} = m\vec{v}$, og betrakter et legeme som har konstant masse (noe som ikke alltid er tilfelle, men som stort

sett er antakelsen), så er man at man ender opp med N2 på formen der kraften er proporsjonal med akselerasjonen

$$\sum \vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a}$$

Det er N2 på denne formen som danner grunnlaget for definisjonen av kraft som er inneholdt i denne kategorien.

Om en ser på ev. overlapp med andre kategorier, så kan denne kategorien på mange måter vurderes til å ha kategorien «Virkning som egenskap» (se 4.1.1) som en underkategori. Om en ser på hva «Virkning som egenskap» dreier seg om, så defineres en kraft ved de egenskapene den har, der egenskapene manifesterer seg i en «effekt» eller et «utslag» man kan observere og måle. Den ene, av disse to egenskapene er at en kraft som virker på et legeme kan endre farten til legemet. Da akselerasjon er et mål på hvor raskt farten endrer seg, så ser man at fartsendring er sterkt knyttet til begge kategoriene; som en egenskap ved kraften (kraftvirkningen) i «Virkning som egenskap», og som størrelsen akselerasjon, som inngår i N2. Det er altså snakk om en overlapp mellom disse to kategoriene som baserer seg på en felles størrelse som inngår i definisjonen av kraft i de respektive kategoriene. Indirekte i «Virkning som egenskap», der akselerasjon ikke inngår eksplisitt, men at en kraft kan endre farten til et legeme. Direkte, i «Kraft og Newtons 2. lov», ettersom at størrelsen akselerasjon opptrer i det matematiske uttrykket som representerer N2.

På samme måte så er det også mulig å se på «Kraft er årsaken til akselerasjon» som en underkategori av denne kategorien. N2 angir jo forholdet mellom kraft (summen av kreftene), ved at summen av kreftene er proporsjonal med massen og akselerasjonen. Dersom massen til et legeme er gitt, og en kjenner kreftene som virker på legemet, så kan en finne verdien (størrelsen) av akselerasjonen til legemet, og slik slett snakke om en kraft (krefter) som «produserer» en viss akselerasjon. Som indikert i forbindelse med «Kraft er årsaken til akselerasjon» (se 4.2.3), så kan en også snakke om en kraft som «bestemmer» akselerasjon, ettersom en kan argumentere for at akselerasjon er bestemt, via kraft gjennom N2. At en kraft «er årsaken til» akselerasjon, er dog en sammenheng som går dypere enn det N2 i utgangspunktet sier noe om, og således er «Kraft er årsaken til akselerasjon», som antydnet, bare delvis en underkategori av denne N2-kategorien.

I den grad en kan se på «Kraft i relasjon til bevegelse» i forbindelse med denne kategorien, så sier N2 i utgangspunktet ikke noe om bevegelse, men *forandring* i bevegelse. Dog avhenger dette i stor grad av hvordan en kan relatere akselerasjon til bevegelse. Dersom det ligger en tilstrekkelig klar og presis definisjon av akselerasjon til grunn, samtidig som akselerasjon og bevegelse relateres på en presis måte, så kan N2 på mange måter relatere kraft til bevegelse, og således, til en viss grad overlape med «Kraft i relasjon til bevegelse».

På sett og vis, så kan en argumentere for at en, bare ved å formulere (presentere) N2, er innen denne kategorien. Som f.eks. Roche [37] indikerer, så kan gi en definisjon av kraft som baserer seg på at kraft *er* produktet av masse og akselerasjon, som er gitt av N2.

4.2.5 «Kraft og bevegelsesmengde»

Kategorien «Kraft og Newtons 2. lov» (se 4.2.4) tar utgangspunkt i N2 uttrykt ved akselerasjon. I denne kategorien er utgangspunktet og grunnlaget det samme, nemlig N2, men nå uttrykt ved bevegelsesmengde. En kunne tenkt å slå sammen disse to kategoriene («Kraft og Newtons 2. lov» og «Kraft og bevegelsesmengde») til en felles N2-kategori, men det er valgt å ikke gjøre det ettersom disse to «versjonene» av N2 relaterer seg til to forskjellige størrelser. Tilsvarende kunne en i tittelen til kategorien ha spesifisert at kategorien involverer N2 på «bevegelsesmengdeform». Av det hensyn å synliggjøre at kategorien omhandler definisjoner av kraft som tar utgangspunkt i størrelsen bevegelsesmengde, så fremstår tittelen mindre spesifikk. Prinsipielt åpner en da kategorien eventuelle andre sammenhenger mellom kraft og bevegelsesmengde enn den som har utgangspunkt i N2, selv om en i kategorien spesifiserer relasjonen som gitt av N2.

Som f.eks. Roche [37] presiserer, så er ikke $\vec{p} = m\vec{v}$ en generell definisjon av bevegelsesmengde, i den forstand at denne definisjonen ikke er gyldig i alle tilfeller. Når det er sagt, så er denne definisjonen av bevegelsesmengde tilstrekkelig for omfanget av denne oppgaven.

Med utgangspunkt i N2 på denne formen, så ser en at kraft nå relateres til størrelsen bevegelsesmengde, som skiller seg fra størrelsen akselerasjon. Det som imidlertid er felles for bevegelsesmengde og akselerasjon, er at det er størrelser som har en presis definisjon. Bevegelsesmengde, på tilsvarende måte som akselerasjon, bygger på posisjon og tid, som er størrelser en kan observere og måle, i forbindelse med bevegelse. Forskjellen er at massen spiller en litt annen rolle i forbindelse med N2 uttrykt ved bevegelsesmengde enn ved akselerasjon, ettersom massen er «innbakt» i bevegelsesmengden. Når det gjelder bevegelsesmengde så er det slik at jo hurtigere man beveger seg, eller jo tyngre man er (jo mer massiv man er), jo mer bevegelsesmengde har man. Bevegelsesmengde kan således beskrives som en størrelse som er slik at «dess mer man har, jo mer har man». Dette er ikke tilfellet med akselerasjon, ettersom hvor massivt et legeme er, i utgangspunktet ikke er noe mål på akselerasjonen til legemet.

I den andre definisjonen («Definition 2») i «Principia», definerer Newton sitt konsept «motion», som en gjenkjenner som bevegelsesmengde:

Quantity of motion is a measure of motion that arises from the velocity and the quantity of matter jointly. [26, s. 404]

Videre formulerer Newton den andre av de tre lovene for bevegelse – Newtons 2. lov:

A change in motion is proportional to the motive force impressed and takes place along the straight line in which that force is impressed. [26, s. 416]

Cohen presiserer i sin oversettelse av «Principia», i guiden (veiledningen) til «Principia» («A Guide to Newton's *Principia*» [26]), at Newton faktisk mener «motion»

som definert i Definisjon 2 – altså, bevegelsesmengde –, og ikke «motion» som «bevegelse»:

Def. 2 states that the measure of motion adopted by Newton is the one arising from the mass and velocity, our momentum. Although Newton does not say so specifically [...] it is this quantity of motion that he means when, as is often the case, he writes simply of ‘motion’. For example, in law 2, Newton writes that a ‘change in motion’ is ‘proportional to the motive force.’ Here he means ‘change in the quantity of motion’ or, in our terminology, change in momentum. [26, s. 95–96]

Formen av N2 som inngår i selve kategorien (se 4.1.5) er ikke ekvivalent med den som Newton formulerer i «Principia». Uten å gå i dybden i hvordan formuleringen til Newton, og den som er presentert i kategorien, så dreier det seg om hvordan en i de to tilfellene tenker seg en kraft. Newton formulerte seg på et vis som innebærer at han tenkte på kraft som en «impuls» (en «kraft-puls»; «impulsive force»), og ikke som en kontinuerlig kraft. [5, s. 65] Som sagt, så vil en ikke gå mer i dybden på hva akkurat dette innebærer, men dersom en i Newtons formulering legger til «The rate of change in motion ... » (se [5, s. 65] og [26, s. 111–112]), så resulterer det i at en ender opp med N2 på den formen som presenteres i kategorien.

I forkant den andre loven («Law 2») gir Newton faktisk, i sin åttende definisjon («Definition 8» [26, s. 407]) en formulering som står veldig nært den den formen av N2 som denne kategorien bygger på. I denne definisjonen snakker Newton om «the motive quantity of force», og i den forbindelse kan en argumentere for at dette essensielt er N2 på den formen som opptrer i denne kategorien (se f.eks. [5, s. 64]).

Et viktig aspekt ved N2 på «bevegelsesmengde-form», kontra N2 på «akselerasjonsform», er at bevegelsesmengde en bevart størrelse, noe akselerasjonen ikke er. At bevegelsesmengde er bevart, åpner ikke nødvendigvis for å se på «bevaring» av kraft, men kan på mange måter tenke seg en form for «overføring» av kraft i forskjellige prosesser, i forbindelse med at bevegelsesmengden er bevart.

4.2.6 «Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov»

Som antydnet i selve kategorien (se 4.1.6), så refererer ikke N3 til en direkte relasjon mellom kraft og bevegelse. Med tanke på å definere kraft er N3 derfor interessant, ettersom N3 forteller hvordan krefter virker, uten å eksplisitt referere til bevegelse, eller størrelser som relaterer seg til bevegelse (fart, akselerasjon). Implikasjonene som N3 medfører er selvfølgelig gyldige uansett, men selve loven spesifiserer altså ikke noe direkte relatert til bevegelsen til et legeme.

På en måte gjør dette denne kategorien mindre konkret enn for eksempel kategoriene «Kraft er årsaken til akselerasjon» eller «Kraft og Newtons 2. lov», og også «Kraft i relasjon til bevegelse», i den ikke definerer kraft gjennom en spesiell relasjon. På den annen side, som også indikeres i formuleringen av kategorien, så kan N3 sies å legge «føringer» for hvordan en kraft virker, og således fremstår

kategori som presis. Av den grunn er det valgt å inkludere disse fem punktene, som Brown [7, s. 356] fremhever som spesielt viktige, i forbindelse med selve kategorien, slik at det i større grad fremgår hvordan en tenker seg at en definisjon av kraft kan «passe inn» i denne kategorien.

I «Principia» [26] formulerer Newton sin tredje lov («Law 3»):

To any action there is always an opposite and equal reaction; in other words, the actions of two bodies upon each other are always equal and always opposite in direction. [26, s. 417]

N3 fremstår stort sett på samme «form» i litteratur i dag, men en ordlegger seg i større grad med andre ord. Uten å gå i detalj i forbindelse med ordbruken, så kan en, som antydning i kategorien, referere til en kraft som en vekselvirkning i N3. I den forbindelse, så kan en snakke om at legemer kan «påvirke» hverandre. Således kan en snakke om en mulig referanse til kategorien «Virkning som egenskap», der en snakker om selve virkningen til kraften. I N3 beskriver en riktignok ikke en ev. virkning konkret, men en kan på mange måter referere til en virkning gjennom kraft som en vekselvirkning, i N3.

4.2.7 «Kraft er ‘noe’ som kan gjøre arbeid»

Denne kategorien skiller seg, på mange måter, i stor grad fra de andre kategoriene. Først og fremst, fordi en i denne kategorien ser på en fremstilling av kraft der kraft er direkte relatert til energi, gjennom arbeid. Til en viss grad kan en argumentere for at noen av de andre kategoriene, indirekte også relaterer seg til energi. F.eks. kan en snakke om «endring av fart» i kategorien «Virkning som egenskap» i sammenheng med kinetisk energi. Likevel, relasjonen til energi er på ingen måte like fremtredende i andre kategorier. Med relasjonen mellom arbeid og kraft i denne kategorien, ser en hvordan en kan definere kraft på et vis som innebærer en direkte relasjon til energi.

Arbeid er, sannsynligvis i større grad enn kraft, et begrep som har helt forskjellige betydninger i dagligtalen og i vitenskapen. Innen mekanikk/mekanisk fysikk, så snakker en om arbeid i forbindelse med forflytningen til et legeme som følge av at det virker en kraft på legemet. Mer generelt, så kan en snakke om arbeid i fysikken som utveksling av energi fra et system til et annet (som følge av eksterne «føringer»), og således kan en enkelt sagt snakke om overføring av energi.

I selve kategorien (se 4.1.7) gis en «vanlig» definisjon av arbeid, som en f.eks. kan finne igjen i flere lærebøker i fysikk (se f.eks. [43, s. 183]. Til sammenlikning, og for å få en grad av oversikt, så kan en gjengi hva Wikipeda sier om arbeid:

In physics, a force is said to do **work** when it acts on a body so that there is a displacement of the point of application in the direction of the force. Thus a force does work when it results in movement. [1]

Fra denne definisjonen kan vi se at en kraft gjør arbeid når det resulterer i bevegelse («Thus a force does work when it results in movement.»). Således relateres kraft, gjennom arbeid, til bevegelse. Tilsvarende må dette bety at dersom man ikke observerer noen bevegelse, så har ikke en kraft gjort arbeid. En kan dermed tenke seg at bevegelse er «definert» ved at en kraft gjør arbeid (en må likevel være litt forsiktig med oversettelsen av «movement» til «bevegelse», som ikke er entydig).

Et aspekt ved arbeid som en kan merke seg, er at arbeid er en skalar størrelse. I en definisjon av kraft i denne kategorien, så knytter en således vektorstørrelsen kraft, sammen med posisjonsvektoren, til en skalar størrelse, «et tall».

Den kinetiske energien til et legeme, med en gitt masse, som beveger seg med fart (en hastighet med verdi) v , er definert som arbeidet nødvendig for å akselerere legemet fra ro ($v = 0$) til en hastighet v . Siden arbeidet, W , er relatert til kraften, eller summen av kreftene, som virker på legemet, så ser man at kraft kan sies å inngå i definisjonen av kinetisk energi. I tillegg, så forteller den såkalte «setningen om kinetisk energi» noe om hvordan krefter og energi henger sammen. Det er mulig å formulere denne setningen på følgende vis:

Dersom en gjenstand påvirkes av krefter, så er arbeidet som summen av kreftene, $\sum F$, gjør på gjenstanden lik forandringen i den kinetiske

energien til gjenstanden:

$$W_{\Sigma F} = \Delta E_k$$

Det at en kraft kan (har evnen til å) gjøre arbeid betyr også at en kraft kan øke den kinetiske energien til et legeme, eventuelt «tappe» et legeme for kinetisk energi («senke» den kinetiske energien). Dersom en kan relatere kinetisk energi direkte til bevegelse, så kan en i noen grad snakke om at denne kategorien overlapper med «Kraft i relasjon til bevegelse». Tilsvarende, så kan en også identifisere en overlapp med «Virkning som egenskap». Dette beror på at kinetisk energi gjerne er definert ved fart (hastighet), og således kan en referer til en endring i kinetisk energi som en endring i fart. Dermed har en at kraft, gjennom at en kraft er «noe» som gjør arbeid, kan endre farten til et legeme. Merk at en i denne kategorien ikke henviser direkte til en «kraftvirkning», på samme måte som i «Virkning som egenskap». Når det er sagt, så utelukker ikke denne kategorien at en kan se på arbeid som «virkningen» til en kraft.

4.2.8 «Push-pull»

«Push-pull» er en vanskelig kategori å definere, i den forstand at den ikke baserer seg på en konkret sammenheng eller noen form for lovmessighet eller fysisk teori. I «Push-pull» baserer en seg utelukkende på en beskrivelse, eller en modell, for kraft, som både kan opptre alene, eller i sammenheng med andre beskrivelser av kraft. Bruken av «drag» og «skyv» i omtalen, og også oppbyggingen av begrepet og konseptet kraft er på mange måter etablert, og en kan finne det både i lærebøker, men også i mer generelle kontekster innen fysikk, både nå og bakover i tid.

«Push-pull»-kategorien omfatter et sett av måter å beskrive kraft (krefter) på, som i utgangspunktet kan virke innlysende. Man betrakter krefter (til hvilken grad kan variere med «typen» kraft man studerer, det være seg f.eks. avstandskrefter/fjernkrefter kontra kontaktkrefter) som et «skyv» («push»), eller «drag» («pull»). Kategorien kan virke innlysende fordi man i hverdagen er vant til å dytte og dra i ting og observerer at det gir «resultater» (ev. at resultatet ikke er annet enn at noe forblir i ro), eller det faktum at man benytter etablerte termer, som for eksempel «snordrag» til å identifisere en spesiell kraft. Ofte kan en se at en tenker seg en generalisering av dette til å gjelde også avstandskrefter, f.eks. «jorddrag» (tyngdekraft, gravitasjonskraft). På denne måten gjelder «Push-pull» for alle krefter, selv de som vi vet virker over avstand og uten fysisk kontakt mellom legemer, ettersom en kan modellere kraftens virkning som et «dytt» eller «drag».

Som nevnt, så er ikke «Push-pull» sterkt forankret i fysiske lover eller teorier. Når det er sagt, så har «Push-pull»-kategorien helt klart en forankring i pre-Newtonsk mekanikk («mechanical philosophy»). I naturfilosofien til store tenkere som Aristoteles og – frem mot Newtons tid – René Descartes, så virker krefter mellom legemer kun ved kontakt. Mer bestemt, så kan et legeme kun virke med en kraft på et annet legeme («action»), og dermed endre bevegelsen til dette legemet, dersom legemene er i fysisk kontakt med hverandre. [5; 27] Descartes konstruerte for

eksempel alternative teorier for gravitasjon for å forklare himmellegemers bevegelse, ettersom avstandskrefter («action at a distance») ikke eksisterte i hans filosofi. Jammer [27] skriver om dette i forbindelse med et brevveksling mellom Descartes og Mersenne:

For, rejecting any possibility of an action at a distance, Descartes constructs his vortex theory to account for the remote heavenly motions. To assume some action at a distance for their explanation would be tantamount, he claims, to endowing material particles with knowledge and making them truly divine, «as if they could be aware, without intermediation, of what happens in places far away from them.» [27, s. 104]

Om «Newton's concepts of force and mass» [5, s. 57–84] skriver Cohen som forskjellene mellom forskjellige typer krefter i Newtons «Principia»:

Centripetal forces differs from percussion and pressure in one notable aspect. Percussion and pressure are the result of some kind of observable physical action. In both, there is a contact of one body with another, typically providing visual evidence of a force acting, for example, a billiard ball striking another billiard ball. These are the kinds of force on which the so-called “mechanical philosophy” was built, in particular the philosophy of Descartes, These forces display the principle of matter in contact with other matter to produce or alter a motion. [5, s. 62–63]

Det er selvfølgelig mange flere aspekter ved konseptet kraft i pre-Newtonske mekanikk – og også i mekanikk etter Newton, for den saks skyld –, men i forbindelse med «Push-pull»-kategorien er det naturlig å trekke paralleller tilbake til tanken om at det å virke med en kraft på et legeme kun var mulig via fysisk kontakt med dette legemet. Nettopp dette er jo noe av kjernen i «Push-pull»-kategorien; at en kraft (alle krefter) er, eller kan modelleres/beskrives, som et «dytt» eller «drag» via fysisk kontakt mellom to legemer.

Samtidig som denne kategorien har, som antydnet, en sterk historisk forankring, så har den også det en kan kalle et «dagligdags» preg. I Y&F indikeres dette vet at en sier følgende [43, s. 108]:

In everyday language, a **force** is a push or a pull. A better definition is that a force is an *interaction* between two bodies or between a body and its environment.

Dette «dagligdags» preget til kategorien refererer altså til at kraft i «Push-pull» kan være en definisjon av kraft på «overflaten», mens en ser på andre definisjoner av kraft (og således andre kategorier), dersom en «graver dypere». Dette medfører at en kan åpne for å tenke seg «Push-pull» som en underkategori av flere – muligens alle – andre kategorier. Sagt på en annen måte, så kan en tenke seg å i hver av de andre kategoriene identifisere en kraft som et «skyv» eller et «drag», samtidig med at kraft defineres som i de respektive kategoriene. Dette fremstår likevel som

en mulighet med vekslende hell, ettersom definisjonene i andre kategorier i noen tilfeller utelukker at en kan snakke om at en kraft *er* et «drag» eller «skyv».

Som nevnt i innledningen til dette kapitlet, så snakker Coelho [32; 33] om at en type definisjon av kraft baserer seg på «the effort felt by the pulling or pushing of an object»:

In contemporary textbooks on mechanics, three kinds of definitions of force were found. [...] In some textbooks, a connection between force and the effort felt by the pulling or pushing of an object has been established. [33, s. 1339]

Flere forfattere indikerer hvordan kraft som et «drag» eller «skyv», og således innen denne kategorien, er en utbredt definisjon av kraft. Gamble skriver i sin artikkel [18] som omhandler elevs misoppfatninger om krefter:

The basic idea of force as a pull or a push is developed into the relationship between force and motion, distortion, acceleration, gravity and weight, pressure, work, power, energy and so on. [18, s. 79]

I sin artikkel [20] om hvordan elever i skolen (15-16 år) oppfatter konseptet og begrepet kraft, samt hvordan kraft er definert, skriver Christina Hart:

It is interesting that most textbook treatments of this topic [Newton's laws of motion] assume that the notion of what a force 'is' is either self-evident or can be easily dealt with by defining force as a push or pull. [20, s. 234]

Hart argumenterer senere for – basert på sine erfaringer med å undervise studenter – at «push-pull»-definisjonen av kraft har liten verdi i forbindelse med å undervise om krefter i klassisk mekanikk: «The simplistic definition of force as a 'push or pull' is of little help beyond, perhaps, excluding the metaphorical use of the term» [20, s. 237].

Som nevnt i selve kategorien, så er det en kategori som inneholder et kraftbegrep der en identifiserer selve kraften som et «drag» eller «skyv». Dette skiller seg fra at kraftvirkningen identifiseres med et «drag»/«skyv», ev. at en kun ser på kraft som et «drag»/«skyv» i tilfeller der det virker krefter på et legeme i en handling som innebærer å skyve eller å dra. Eksempelvis så virker en person med en kraft på en kasse i det en skyver kassen. Dette indikerer ikke nødvendigvis kraften som et «drag»/«skyv», selv om handlingen er et «skyv». Dernest kan en f.eks. snakke om at en kasse blir skjøvet, som følge av at det virker en kraft på kassen slik at kassen endrer bevegelse, eller en kan også si at kassen endrer fart (ev. blir akselerert). En kan dermed tenke seg å identifisere virkningen til kraften (kraftens virkning på kassen) som et «skyv» (ev. et «drag»), uten i nødvendigvis identifisere selve kraften som virker som et «skyv». Eksempler som dette illustrerer at det er mulig å snakke om «drag» eller «skyv» i forbindelse med krefter, uten å nødvendigvis operere med en definisjon av kraft som innebærer at en kraft *er* et «drag»/«skyv». Det er dog i det sistnevnte kjernen i denne kategorien ligger.

Kapittel 5

Kategoriene i lærebøkene

I dette kapitlet presenteres steg 2 av analysen i denne oppgaven, der rammeverket, som presentert i kapittel 4, anvendes på lærebøkene. Innholdsanalysen av lærebøkene i fysikk, som ble presentert kapittel 3, var slik at innholdet i bøkene var i fokus, og via denne analysen finner en at det opptrer flere mulige definisjoner, formuleringer, eller forklaringer av konseptet kraft i lærebøkene. I dette kapitlet tar en utgangspunkt i innholdet i bøkene som fremkommer av innholdsanalysen, og benytter kategoriene som utgjør rammeverket til å kategorisere hvordan kraft behandles i de forskjellige lærebøkene.

I denne kategoriseringen av innholdet i lærebøkene er det, som sagt innholdet som fremkommer gjennom innholdsanalysen av lærebøkene som er utgangspunktet. Det kan i tillegg være detaljer som ikke har kommet frem gjennom innholdsanalysen (gjennomgangen i kapittel 3), men som finnes i lærebøkene, som også inkluderes. Eksempelvis kan dette være deler av, eller et helt eksempel som den respektive læreboken benytter til å belyse en definisjon, som det ikke ble funnet hensiktsmessig å inkludere i sin helhet i presentasjonen av innholdsanalysen.

Rammeverket anvendes på lærebøkene bok for bok, og følger i hovedsak kapitteloppbyggingen i bøkene. Dette betyr at, på samme måte som med innholdsanalysen i kapittel 3, så vil en følge rekkefølgen av kapitler i bøkene, «kronologisk» om en vil. Det en kan være obs. på er at ERGO og RST har ulik rekkefølge på kapitlene, dvs. tilsvarende kapitler. ERGO har samlet kapitlene innen (klassisk) mekanikk som de første i begge bøkene, mens i RST kommer tilsvarende kapitler omtrent midt i rekken av kapitler (kapittelrekkefølgen i RST og ERGO finnes i hhv. tabellene 3.1 og 3.3; 3.2 og 3.4).

I tillegg er det valgt å gruppere læreverkene i lag, noe som mer bestemt betyr dette at innholdet i RST-1 analyseres gjennom kategoriene, før RST-2 følger. Derneft, hhv. ERGO-1 og ERGO-2. I kapittel 3 ble lærebøkene i Fysikk 1 presentert ført Fysikk 2, altså grupperte en bøkene etter i nivå. Det er valgt å rokere litt på denne strukturen i dette kapitlet, for å bedre kunne synliggjøre variasjonene mellom lærebøkene. Dette gjelder både interne forskjeller i verkene, men også på tvers av lærebøkene i de to verkene.

Ikke alle kapitlene i de forskjellige lærebøkene analyseres gjennom rammeverket i dette kapittelet. I henhold til oppgavens problemstilling (se 1.2), så er det kapitler som omhandler mekanikk (klassisk mekanikk) som har størst fokus. Kategoriseringen – steg 2 av analysen – som presenteres i dette kapittelet, vil derfor i stor grad dreie seg om mekanikk-kapitler. I tillegg fremkommer det i innholdsanalysen av bøkene (se 3) at flere kapitler i bøkene behandler kraftbegrepet i liten eller ikke nevneverdig grad. De kapitlene dette gjelder vil naturlig nok ikke være gjenstand for noen omfattende grad av kategorisering, dersom en finner det hensiktsmessig å analysere disse kapitlene i det hele tatt. Det vil altså indikeres hvordan kraftbegrepet kan kategoriseres i disse kapitlene, uten at denne analysen fremstår som like grundig som er tilfelle med kapitlene innen mekanikk.

5.1 «Rom Stoff Tid Fysikk 1»

I RST-1 kan en identifisere kapittel 5 «Bevegelse» og kapittel 6 «Kraft og bevegelse», samt også kapittel 7 «Arbeid og energi» (se hhv. 3.1.2, 3.1.3 og 3.1.4), som kapitler innen mekanikk. RST-1 presenterer forøvrig ikke bevegelsesmengde i noen kapitler (dette kommer først i RST-2).

5.1.1 Kapittel 5: «Bevegelse»

Kapittel 5 «Bevegelse» i RST-1 tar ikke for seg kraft direkte, men introduserer, som nevnt, størrelsene posisjon/forflytning, fart og akselerasjon. Alle disse størrelsene koples til bevegelse. Posisjonen som hvor et legeme befinner seg i forhold til et valgt startsted (origo), og forflytningen som endringen av posisjonen i et gitt tidsintervall. Farten som en størrelse som beskriver hvor «rask en bevegelse er», mer bestemt, hvor fort/raskt posisjonen endrer seg med tiden. Akselerasjon koples til bevegelse gjennom fart, ettersom akselerasjon introduseres som et mål på hvordan farten endrer seg med tiden. En ser altså at alle størrelsene posisjon/forflytning, fart og akselerasjon er størrelser som benyttes til å beskrive en bevegelse, i første rekke for å angi aspekter ved bevegelsen kvantitativt. Mer detaljert hvordan RST-1 presenterer disse størrelsene finnes gjennomgangen (analysen av innholdet) av kapittel 5 i RST-1 (se 3.1.2).

5.1.2 Kapittel 6: «Kraft og bevegelse»

Beveger en seg over til kapittel 6 «Kraft og bevegelse» (se 3.1.3 for innholdsanalysen av kapittel 6), så er dette det første kapittelet der en behandler krefter i større grad. I innledningen til kapittelet, så finner en at RST-1 refererer til at krefter og bevegelse henger sammen. Samtidig refererer en til kapittel 5 «Bevegelse» som et kapittel der en introduserte størrelser (posisjon, fart, akselerasjon) for å beskrive og måle bevegelse, og «uten å tenke på kreftene bak bevegelsen» [28, s. 105].

RST-1 indikerer altså at det er krefter som «står bak» bevegelse, mens, f.eks. akselerasjon, er et verktøy for å beskrive bevegelsen. Med dette introduserer RST-1 kraft på en måte som det er naturlig å plassere innen kategorien «Kraft i relasjon til bevegelse» (se 4.1.2). En må dog ta i betraktning at denne formuleringen gis i kapittelinnledningen, og således kanskje bærer preg av å skulle fungere som motivasjon til det som kommer senere. Basert på dette, og en litt løs formulering i «kreftene bak bevegelsen» er det foreløpig ikke hensiktsmessig å plassere denne formuleringen i en bestemt underkategori av «Kraft i relasjon til bevegelse».

I det første delkapittelet, «Krefter», presenterer RST-1 en definisjon av kraft – selv om en ikke eksplisitt sier at det er en definisjon – som på mange måter kan virke som en slags «overordnet» definisjon, i alle fall for dette kapittelet. Grunnen til det er at en ordlegger seg relativt klart og bestemt om hva en kraft er, og hva det er en kraft «gjør»:

En kraft er en vekselvirkning mellom *to* legemer. Med det mener vi at *to* legemer kan påvirke hverandre slik at de *endrer fart* eller *endrer form*. Dessuten er det slik at et legeme som blir påvirket av en kraft fra et annet legeme, virker tilbake på dette legemet med en annen kraft. [28, s. 106]

Ettersom kategorien «Virkning som egenskap» inneholder, og delvis er basert på denne definisjonen i RST-1 (se 4.1.1, mer bestemt (i)), er det åpenbart at denne definisjonen i alle fall hører inn under denne kategorien. Det som er interessant med definisjonen i RST-1 er at en adresserer både hva en kraft er, og hva en kraft kan «gjøre». I definisjonen til ERGO-1, som også inngår i «Virkning som egenskap» (se 4.1.1, mer bestemt (ii)), og som på mange måter er en sammenliknbar definisjon med den RST-1 presenterer, så er det i første omgang kun snakk om hva en kraft kan «gjøre». I RST-1 sin definisjon er en kraft en «vekselvirkning mellom *to* legemer». Begrepet «vekselvirkning» i denne sammenhengen forstås å være den virkningen disse *to* legemene kan ha på hverandre, i det RST-1 sier at disse *to* legemene «kan påvirke hverandre slik at de *endrer fart* eller *endrer form*». Det er selve vekselvirkningen mellom disse *to* legemene som fremstilles som det som *er* kraften. Denne vekselvirkningen mellom *to* legemer – altså kraften – medfører at legemene kan endre fart og/eller form. For å ta «rekkefølgen» i det som synes å være de *to* hovedpunktene i denne definisjonen til RST-1, så er det slik:

1. En kraft er en vekselvirkning (mellom *to* legemer).
2. *To* legemer kan påvirke hverandre slik at de *endrer fart* og/eller *form*.

Det er altså helt klart at en tilhører kategorien «Virkning som egenskap», ettersom en kraft er det at *to* legemer kan påvirke hverandre, med den virkningen at farten og/eller formen endres.

I tillegg, ettersom det er tydelig at vekselvirkningen mellom *to* legemer kan endre farten til legemene, så beveger en seg inn i kategorien «Kraft er årsaken til akselerasjon» (se 4.1.3). Dette fordi RST-1 i kapittel 5 har definert akselerasjon ved endring i fart, og at fart inngår eksplisitt i denne definisjonen i begynnelsen av kapittel 6. Man refererer altså til endring av fart, og ikke endring av bevegelse. RST-1

nevner riktignok ikke akselerasjon eksplisitt i forbindelse med denne definisjonen av kraft, men det er gjenkjennelig fra den definisjonen av akselerasjon som ble gitt i kapittel 5 i RST-1. Følgelig er det mulig å tolke «endre fart» som «akselerasjon», og med bakgrunn i dette sier altså definisjonen til RST-1 at en kraft kan akselerere, og/eller deformere et legeme. RST-1 legger ikke til noe mer enn dette, altså er det foreløpig ikke noe som indikerer en mer «håndfast» sammenheng mellom kraft og akselerasjon enn at en kraft «kan akselerere et legeme». Således er det nok ikke helt riktig å identifisere denne definisjonen som tilhørende i kategorien «Kraft er årsaken til akselerasjon», men det er absolutt elementer ved denne definisjonen i RST-1 som hører hjemme i den kategorien.

Fordi RST-1 omtaler kraft som en vekselvirkning mellom to legemer, kan en samtidig ta i betraktning kategorien «Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov», selv om RST-1 ikke har presentert N3 på dette tidspunktet. I definisjonen sier RST-1 at «et legeme som blir påvirket av en kraft fra et annet legeme, virker tilbake på dette legemet med en annen kraft» [28, s. 106]. En presiserer altså ikke noe om f.eks. størrelsesforholdet mellom disse kreftene, noe som først kommer med N3. Likevel kan en delvis plassere denne definisjonen i kategorien «Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov», ettersom en spesifiserer at kraft er en vekselvirkning mellom to legemer, der krefter virker «begge veier» mellom legemer.

I det RST-1 presenterer en bolk kalt «Måling av krefter» [28, s. 109], så sier en at en måler krefter ved å utnytte de egenskapene krefter har. Først i denne delen om måling sier en at i måling av krefter utnytter en den evnen krefter har til å endre farten eller formen til et legeme. I slutten av denne bolken kommer en tilbake til egenskapene til krefter i forbindelse med enheten for kraft, der en sier at «... i praksis definerer vi enheten for kraft ut fra den evnen krefter har til å endre bevegelse.» [28, s. 109] En ser altså at RST-1 både henviser til en krafts «evne» til å endre fart (og form), og bevegelse. Fart er en klart definert størrelse i RST-1, mens bevegelse i utgangspunktet er et mer løst konsept, selv om en f.eks. identifiserer fart og akselerasjon som størrelser som beskriver bevegelse. Likevel, så antyder RST-1 en direkte relasjon mellom kraft og bevegelse i forbindelse med hvordan en måler krefter (at en kraft kan endre fart er noe RST-1, som nevnt har presentert i forkant). RST-1 henviser riktignok til hvordan en definerer enheten for kraft (newton), og ikke selve kraften, men presiserer at definisjonen av enheten bygger på «den evnen krefter har til å endre bevegelse». Med dette ser en at RST-1 også presenterer en kraft i lys av hvordan kraft relaterer seg til bevegelse (direkte til bevegelse, og ikke via fart eller akselerasjon), og således er kategorien «Kraft i relasjon til bevegelse» representert, nærmere bestemt underkategorien «Kraft kan endre bevegelse».

Delkapittelet i RST-1 kalt «Vekselvirkning mellom to legemer: Newtons 3. lov» [28, s. 110] indikerer i større grad «vekselvirkning-aspektet» ved en kraft. RST-1 plukker opp tråden fra den innledende definisjonen av kraft i delkapittelet «Krefter» [28, s. 106], der en presiserer at en kraft er «en vekselvirkning mellom to legemer». I dette delkapittelet blir dette nærmere spesifisert ved hjelp av N3. RST-1 sier også at N3 er «viktig for å forstå selve kraftbegrepet bedre før vi går løs på de to andre lovene [Newtons lover]» [28, s. 110]. På mange måter antyder en

herved at kjernen i selve kraftbegrepet ligger i N3, noe som forsterker inntrykket av «vekselvirkning-oppfatningen» av en kraft.

I et eksempel der RST-1 belyser N3, ser en på en hammer som slår en spiker inn i en vegg. RST-1 identifiserer en kraft fra hammeren på spikeren som «skyver spikeren inn i veggen» [28, s. 110]. Videre identifiserer en via N3 en like stor og motsatt rettet kraft – motkraft – fra spikeren på hammeren, som «stopper hammeren» [28, s. 110]. I et slikt eksempel er det nærliggende å benytte ord som «skyve», ettersom det i stor grad sammenfaller med det en observerer. Likevel kan en se antydninger til at RST-1 identifiserer krefter i et «Push-pull»-perspektiv, og således er kategorien «Push-pull» representert. Dog, basert på eksempelets natur kan en ikke trekke noen konklusjoner, i den grad det er mulig.

På samme måte som en i forrige delkapittel så på definisjonen av en kraft ut i fra hva en kraft kan «gjøre», så refereres det også til hva en kraft (og motkraft) kan «gjøre» her; kraften fra hammeren på spikeren skyver spikeren inn i veggen, mens kraften fra spikeren på hammeren stopper hammeren. Samtidig som en ser antydninger til «Push-pull», så dreier det seg fortsatt om å se på hva en kraft kan «gjøre». I forrige delkapittel («Krefter») var en også klar på at en kraft er en vekselvirkning, og at legemer virker med krefter på hverandre, men i dette delkapittelet blir dette mer formalisert gjennom N3. En kan således se at en fortsatt finner kategorien «Virkning som egenskap» representert, men mer formalisert i og med at krefter «adlyder» N3, og dermed kategorien «Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov».

RST-1 referer til Newton og «Principia», og sier at påstanden som Newton kom med i forbindelse med sin tredje lov (N3), var at «en kraft bare kan virke på et legeme fordi et annet legeme virker på det med en kraft» [28, s. 110], som kan relateres til punkt (iv) i «Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov». Der nest sies det at «krefter alltid har med to legemer å gjøre» [28, s. 110]. Således ser en at N3 på en måte legger «føringer» for hvordan krefter kan virke. En kraft kan ikke virke «alene». Riktignok kan et legeme være påvirket av kun en kraft, men det virker alltid en motkraft, på et annet legeme, noe RST-1 selvfølgelig presiserer i det en presenterer N3. Om en ser på kategorien «Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov», så oppsummeres dette mer eller mindre i punktene (i) og (ii). På bakgrunn av dette kan en tildels si at N3 er en «bruksanvisning» for krefter, og at RST-1 i dette delkapittelet ikke utdyper så mye videre om hva en kraft egentlig kan være.

I delkapittelet «Tyngdekrefter» presenterer RST-1 gravitasjonskraften (tyngdekraften, tyngde) som en tiltrekkende kraft. En spesifiserer at det er en universell tiltrekningskraft, som i dette tilfellet betyr at mellom alle massive legemer virker det gravitasjonskrefter. Om den velkjente tyngdekraften sier RST-1 at vi vet at «det er jorda som trekker alle legemer som har masse, til seg» [28, s. 112]. Det å identifisere en kraft som en «tiltrekningskraft» indikerer ikke nødvendigvis et «Push-pull»-syn, ettersom en kraft kan virke tiltrekkende uten å «dra» eller «trekke» (selv om det ligger i ordet «tiltrekning» at det omhandler det å «trekke til seg», så kan en likevel benytte seg av ordet uten å indikere den, mer eller mindre fysiske aktiviteten å «dra» eller «trekke»). Her sier likevel RST-1 at jorda trek-

ker alle massive legemer til seg, underforstått at tyngdekraften fra jorda på andre massive legemer «trekker» disse massive legemene mot jorda (sentrum av jorda). I den forstand, så ser en at en kan plassere tyngdekraften (gravitasjonskraften) innen kategorien «Push-pull».

Videre presenterer RST-1 N1 og N2 i delkapittelet «Sammenhengen mellom krefter og bevegelse: Newtons 1. og 2. lov» [28, s. 114]. Tittelen til delkapittelet antyder at N1 og N2 beskriver relasjonen, eller relasjonene, mellom kraft og bevegelse.

I RST-1 presenteres N1 som følger:

Et legeme fortsetter i sin tilstand av ro eller i sin tilstand av bevegelse med konstant rettlinjert fart så lenge krefter ikke tvinger det til å endre denne tilstanden.

$$\sum F = 0 \quad \text{når} \quad v = \text{konstant}$$

I N1 snakker en altså om bevegelsen, eller «tilstanden av bevegelse», til et legeme som ikke er påvirket av krefter, eller som er påvirket av flere krefter som summerer seg til null. N1 beskriver altså hva som «skjer» dersom ingen krefter/ingen netto kraft virker på et legeme, og således beskrives bevegelsen til legemet i disse tilfellene. N1 gjelder så lenge krefter ikke «tvinger» frem en annen bevegelse/bevegelsestilstand. En kan forstå «bevegelsestilstand» simpelthen som «bevegelse», ettersom enhver «tilstand av bevegelse» synes å representere en bestemt bevegelse. Med dette ser en at en kraft kan «tvinge» et legeme til å endre sin bevegelse. Her snakker en altså om en kraft som angitt i kategorien «Kraft i relasjon til bevegelse». Ut i fra N1, slik den er presentert i RST-1, så er det opplagt at en befinner seg i underkategorien «Kraft kan *endre* bevegelse», men en legger til at en kraft kan «tvinge» et legeme til å endre bevegelse. Bruken av «tvinge» kan i stor grad selvfølgelig dreie seg om å bedre synliggjøre innholdet i N1, og således kan det være en god beskrivelse å angi krefter som det som kan «tvinge» et legeme over i en annen bevegelsestilstand. Når det er sagt, så er det også innslag av underkategorien «Kraft *bestemmer* bevegelse». Med bakgrunn i N1 henviser en til to bestemte bevegelsestilstander, og en kraft som kan «tvinge» et legeme til å endre denne bevegelsestilstanden. I det at en kraft kan «tvinge» et legeme over i en ny bevegelsestilstand, ligger det at en kraft «bestemmer» bevegelsen/bevegelsestilstanden. Tilsvarende så er bevegelsestilstanden når ingen krefter virker (eller summen av alle kreftene er null) bestemt av N1.

En kan legge merke til at RST-1 i N1 omtaler farten som «konstant og rettlinjert», *ikke* bevegelsen. Dersom en ser på hvordan ERGO-1 formulerer N1, så refererer en der til bevegelsen som rettlinjert og farten som konstant, i det en sier « ... bevegelse med konstant fart langs en rett linje» [8, s. 70] (se forøvrig 5.3).

Ettersom RST-1 tidligere har identifisert fart (eller fartsvektoren) som en størrelse som beskriver bevegelsen, så er det naturlig å anta at en bevegelse som har «rettlinjert fart» er en rettlinjert bevegelse. Dersom en ser tilbake på kategorien «Virkning som egenskap», så omfatter den kategorien kraftvirkningen, som innebærer at en kraft kan endre farten til et legeme. Dersom en så ser på hvordan

RST-1 formulerer N1, så kan en tolke det dithen at krefter kan «tvinge» legemer ut av en bevegelsestilstand med en fart som er konstant og rettlinjert. Altså kan krefter «tvinge» frem en endring i farten assosiert med bevegelsestilstanden. På denne måten ser en også innslag av «Virkning som egenskap» i forbindelse med at RST-1 presenterer N1. At «Virkning som egenskap» er representert i dette tilfellet fremgår ikke nødvendigvis tydelig, ettersom relasjonen mellom fart og bevegelse er litt uklart akkurat i dette tilfellet, da en, som nevnt, assosierer farten med «aspekt» som vanligvis tilegnes bevegelsen, nemlig rettlinjethet (farten, eller fartsvektoren, har en retning, mens en beskriver en bevegelse som rettlinjert). I sammendraget av kapittel 6 opptrer N1 på nytt, men her refererer RST-1 til rettlinjert bevegelse: « [...] eller rettlinjert bevegelse med konstant fart, så lenge krefter ikke tvinger det til å endre denne tilstanden» [28, s. 126].

Forøvrig kan en også legge til, med bakgrunn i 4.2 om N1, at RST-1 indikerer N1 som et spesialtilfelle av N2, i det summen av kreftene, $\sum F$, opptrer. Samtidig er dette kun indikert via det matematiske uttrykket, og ikke i tekst.

RST-1 presenterer N2 ved å gi den matematiske sammenhengen, $\sum F = ma$ (i RST-1 forholder en seg til krefter som virker langs samme linje, og dermed ingen vektorpiler, men en legger til at summen av kreftene og akselerasjonen har samme retning), samt at en presiserer med ord. En konstaterer at når summen av kreftene er forskjellig fra null, så vil farten endre seg. Altså, så kan krefter endre farten til et legeme, og en observerer at en fortsatt er innen «Virkning som egenskap» også med N2. Samtidig, så spør RST-1 *hvordan* farten vil endre seg dersom det virker krefter – til forskjell fra å bare konstatere at den endrer seg –, hvorpå N2 er «loven som handler om dette» [28, s. 117]. En snakker altså om N2 som en lov som angir på hvilken måte (hvordan) krefter endrer farten til et legeme, sammen med at en har sammenhengen mellom kraft (summen av kreftene) og akselerasjon fra uttrykket i N2.

I et eksempel rett etter RST-1 har presentert tekstboksen med N2, så gir en et eksempel der en bil skal skyves i gang:

[...] Bilen står først stille, men får akselerasjon når du begynner å skyve på den. Årsaken er kraftsummen på bilen: Du skyver med en kraft på bilen som er større enn friksjonskreftene. [28, s. 117]

Altså er det slik at et legeme (i dette tilfellet en bil) får akselerasjon av den årsak at det virker krefter på legemet. Det fremgår gjennom dette eksempelet at en tenker seg at årsaken til et legemes akselerasjon er at det virker krefter (en sum av krefter), noe som medfører at en identifiserer en kraft innen kategorien «Kraft er årsaken til akselerasjon».

I forbindelse med eksempelet med bilen, så kan en observere at RST-1 snakker om at bilen får akselerasjon «når du begynner skyve på den», og at en «skyver med en kraft på bilen». Man kan således se henvisninger til kraft som beskrevet av «skyv» og «drag», som faller inn under kategorien «Push-pull». Dog, en må se dette i sammenheng med eksempelet, som tar for seg den «dagligdagse» handlingen det er å skyve i gang en bil, og slik sett fremstår dette forholdet som et produkt av

konteksten i eksempelet. Det samme kan sies å gjelde i et eksempel som følger like etter, der RST-1 snakker om «skyvekraften» på en curlingstein.

Videre ser RST-1 en på flere eksempler, som er ment å belyse «sammenhengen mellom kraftsum og fartsendring» [28, s. 117]. Selv om RST-1 i kapittel 5, som nevnt, har presentert akselerasjon som fartsendring, så gjør en det her helt klart at det at et legeme endrer fart har sammenheng med kreftene som virker på det. Dette illustreres i et eksempel i etterkant, med hhv. et fall på en gymnastikkmatte, og to kolliderende biler [28, s. 118]. I begge tilfellene ser en på hvordan tiden det tar for farten til et legeme er utslagsgivende for (størrelsen av) summen av kreftene som virker. Basert på hvordan akselerasjon er definert, som et mål på hvor raskt farten endrer seg, så er dette åpenbart gjennom N2 (kraft proporsjonal med akselerasjon). Samtidig ser en konturene av en beskrivelse av kraft som hører hjemme i «Kraft og Newtons 2. lov», ettersom en i begge tilfellene går ut i fra akselerasjonen for å si noe om kraften (summen av kreftene). Med bakgrunn i dette eksempelet kan en må en måte se på en slags omvendt «Kraft i relasjon til bevegelse»; at akselerasjonen angir kraften. En gymnastikkmatte («tjukkas») reduserer akselerasjonen til en person som faller ned på den, kontra det å treffe gulvet uten en slik matte i mellom. Kraften på personen fra gulvet blir tilsvarende redusert.

Begge disse eksemplene illustrerer også den andre av de to egenskapene til krefter som er inneholdt i kategorien «Virkning som egenskap». I tilfellet med «tjukkasen», så er det (av erfaring) opplagt at «tjukkasen» deformeres i det en lander på den. I tilfellet med de kolliderende bilene, så snakker RST-1 (i margin, riktignok) om «deformasjonszoner» i moderne biler, som bidrar til at en kollisjon («støttiden») tar lengre tid: «Det skal ta noe tid å deformere den første meteren av bilen slik at kraften blir mindre.» [28, marg, s. 118] I begge tilfellene er en evnen en kraft har til å deformere et legeme direkte relatert til hvordan størrelsen på summen av kreftene blir, gjennom at akselerasjonen reduseres. Således er dette et eksempel som illustrerer to situasjoner der en ser begge egenskapene til en kraft (begge kraftvirkningene) samtidig, og hvordan de påvirker hverandre. Enkelt, og litt naivt sagt kan en si at dersom en kraft både skal deformere og endre farten til et legeme, så blir det «mindre kraft» til hver av delene.

I forbindelse med N2 vender RST-1 tilbake til enheten for kraft, der en baserer seg på sammenhengen mellom akselerasjon og kraft som gitt av N2:

Som vi nevnte innledningsvis, bruker vi i enhetsdefinisjonen [til newton] den evnen en kraft har til å endre bevegelse, dvs. Newtons 2. lov, $\Sigma F = ma$. [28, s. 120]

Igen ser en hvordan RST-1 referere til «evnen en kraft har til å endre bevegelse» som en definisjon på enheten en bruker for å måle kraft. Forskjellen fra tidligere er at RST-1 her angir N2 som «evnen en kraft har til å endre bevegelse». Samtidig som det er klart at definisjonen av enheten newton er nært relatert til en definisjon av kraft som en finner i kategorien «Kraft i relasjon til bevegelse», nærmere bestemt «Kraft kan *endre* bevegelse», så knytter en her dette direkte til N2. Nøyaktig hvordan RST-1 tenker seg dette er fremgår ikke helt klart, men det er f.eks. aktuelt

å tolke det som at «bevegelse» antyder «akselerasjon» (selv om dette ikke alltid er sant), og således baserer definisjonen av enheten newton seg på en krafts evne til å akselerere (evne til å endre farten til) et legeme. Dermed kan en argumentere for en definisjon av kraft som både befinner seg innen «Kraft er årsaken til akselerasjon» og «Kraft og Newtons 2. lov». En snakker ikke direkte om at en kraft «skaper» eller «forårsaker» akselerasjon, men den evnen en kraft har til å akselerere faller likevel under denne kategorien. Samtidig så angir den direkte tilknytningen til N2 en kraft som en finner den i «Kraft og Newtons 2. lov».

RST-1 tar for seg bla. masse og treghet mot slutten av kapittelet, og i den forbindelse snakker en om egenskapene ved masse, nærmere bestemt to forskjellige egenskaper ved masse:

Massen bestemmer tyngdekraften på et legeme, men massen bestemmer også hvor vanskelig det er å endre farten til legemet, det vi kaller treghet. [28, s. 122]

Videre eksemplifiserer RST-1 begge egenskapene ved å se på at tyngden til et legeme er forskjellig fra jorda til månen, mens det krever en like stor kraft for å gi legemet en like stor akselerasjon («dra i gang» legemet) begge stedene. «Det kommer av at kraftsummen på legemet – altså dragkraften – er lik *ma*.» [28, s. 122] Basert på dette, så ser en at RST-1 refererer til masse som et mål på hvor «mye kraft» som skal til for å gi et legeme en gitt akselerasjon. Med en slik definisjon av masse, som angir «motstanden» mot akselerasjon, er kan en argumentere for at det i RST-1 samtidig følger en definisjon av kraft som ligger inn under «Kraft og Newtons 2. lov».

Friksjonskrefter er det siste RST-1 tar for seg i kapittel 6, og gjør det ved å først presentere friksjonskrefter som relaterer seg til bevegelse ved at denne typen krefter stopper bevegelse:

På samme måte finner vi at friksjonskrefter får alle dagligdagse bevegelser til å stoppe opp – hvis vi ikke bruker andre krefter til å holde bevegelsen i gang. [28, s. 122]

På sett og vis representerer friksjonskrefter en ny relasjon mellom kraft og bevegelse, som ikke er inneholdt i kategorien «Kraft i relasjon til bevegelse», ettersom en sier at friksjonskrefter stopper bevegelse. På den annen side, så er det jo klart at det å stoppe (bremse, motvirke, etc.) en bevegelse utvilsomt går under det å endre en bevegelse, og således kan en identifisere friksjonskrefter i RST-1 som krefter innen «Kraft i relasjon til bevegelse».

Dernest ser RST-1 nærmere på tilfeller av friksjon, og i forbindelse med hvile- og glidefriksjon introduserer det såkalte «berg-og-dal-landskap» [28, s. 122], som innebærer at forskjellige flater (RST-1 eksemplifiserer med en kasse i kontakt med gulvet) ikke har en helt glatt struktur, men er ujevne, når en går ned på mikroskopisk nivå. Med bakgrunn i dette «berg-og-dal-landskapet» introduserer RST-1 friksjonskrefter med grunnlag i krefter på molekylnivå:

Dermed kommer molekyler fra den ene flaten i direkte kontakt med

molekyler fra den andre flaten. De virker sterke krefter mellom molekyler når de kommer i kontakt med hverandre, og det skal ganske store krefter til før du klarer å bevege kassen. [28, s. 122]

Denne beskrivelsen av friksjonskrefter skiller seg ganske markant fra den beskrivelsen av kraft RST-1 har presentert tidligere i kapitlet. Friksjon mellom to legemer representeres ved krefter mellom molekyler i kontaktflatene mellom de to legemene, og således er en her inne på en beskrivelse av krefter som på mange måter har mer til felles med beskrivelsen av kraft i kapittel 4 «Kjernefysikk», enn det som har vært tilfelle gjennom kapittel 6. En snakker fortsatt om kraft i forbindelse med å endre bevegelse, men det er som følger av (avledet fra) krefter mellom molekyler som kommer nært hverandre, og således blir friksjonskraften som «stopper» en bevegelse en sum av krefter mellom molekyler.

RST-1 nevner kort forskjellen mellom glidefriksjon og hvilefriksjon, ved å fortsette med eksempelet der en skyver på en kasse:

Hvilefriksjonen er hele tida like stor som kraften du skyver med, men den virker altså i *motsatt retning av skyvekraften*, slik at kassen ikke beveger seg. Dersom du tar skikkelig i, begynner kassen å røre på seg. [...] Friksjonskraften som virker når kassen er i bevegelse, kaller vi *glidefriksjon*. Merk at glidefriksjonen alltid har motsatt retning av *bevegelsen* (altså ikke nødvendigvis av skyvekraftretningen). [28, s. 123]

Altså er hvilefriksjonen en kraft som virker i motsatt retning av kraften en virker på kassen med for å skyve den, mens glidefriksjonen virker mot bevegelsen til kassen, som ikke nødvendigvis er i samme retning som kraften en skyver på kassen med.

I tilfellet der hvilefriksjonen virker, kan en ikke observere noen bevegelse (kassen forblir i ro, til tross for at du skyver), og således snakker en ikke om at hvilefriksjonen endrer bevegelsen, ettersom det ikke er noen bevegelse å observere. En kunne referert til at hvilefriksjonen «forhindrer» bevegelse – noe en ikke gjør i RST-1 –, som er annen relasjon til bevegelse enn «endre». På sett og vis er en innen relasjonen «bestemme» bevegelse, i den forstand at hvilefriksjonen «bestemmer», opp til et visst punkt, at kassen forblir i ro. Hvilefriksjonen, derimot, virker mot bevegelsen, og således kan en identifisere glidefriksjonen som en kraft som endrer bevegelsen.

RST-1 presenterer luftmotstand som nok et eksempel på en friksjonskraft, som skyldes «trykkrefter fra molekylerne» som luft består av. RST-1 presiserer at luftmotstand er en kraft som virker på legemer som er i bevegelse, og således er luftmotstand med på å bekrefte at friksjonskrefter også relaterer seg til bevegelse:

Luftmotstand er en kraft som virker på legemer som beveger seg. Denne kraften har retning motsatt av fartsretningen, og den øker med farten. [28, s. 124]

Her har en altså med å gjøre en kraft som blir større jo større fart en har. Dersom et legeme har null fart, altså er i ro, så er det ingen luftmotstand. Luftmotstanden

er slik sett lik glidefriksjonen, ettersom den først virker i det en har bevegelse, og dernest virker mot bevegelsen. På sett og vis kan en karakterisere begge disse friksjonskreftene som «bevegelsesavhengige», og når en først har bevegelse, så er det krefter som «stopper» eller «motvirker» bevegelsen. Kjennetegnet for begge disse friksjonskreftene (og også hvilefriksjon) er at begge relaterer seg til bevegelse (eller mer bestemt, fart, i tilfellet luftmotstand), samtidig som at begge kreftene stammer fra «molekylverdenen», som krefter mellom- eller fra molekyler.

Oppsummering

Ettersom kapittel 6 er et meget omfattende kapittel når det kommer til kraftbegrepet i RST-1, så kan en gjøre en kort oppsummering.

Kategorier i RST-1 kapittel 6: «Kraft og bevegelse»	
Kategori	Rekkefølge
«Virkning som egenskap»	2
«Kraft i relasjon til bevegelse»	1*
«Kraft er årsaken til akselerasjon»	3
«Newtons 2. lov – N2»	6
«Kraft som vekselvirkning – N3»	4
«Push-pull»	5

Tabell 5.1: En oversikt over hvilke kategorier som opptrer i kapittel 6 «Kraft og bevegelse» i RST-1. Kun kategorier som opptrer vises. Nummereringen angir i hvilken rekkefølge kategoriene opptrer i kapitlet, der første kategori er angitt med 1, og videre i stigende rekkefølge. Nummereringen angir kun den første opptreden av kategorien.

Tabell 5.1 viser hvilke kategorier en finner i kapittel 6 i RST-1, og i hvilken rekkefølge en finner de. «Kraft i relasjon til bevegelse» er angitt som den første kategorien, men markert med * fordi den først opptrer i kapittelinnledningen. Ellers så kan en observere at en ikke finner kraft innen kategoriene «Kraft og bevegelsesmengde» eller «Kraft er 'noe' som kan gjøre arbeid» i dette kapitlet. Bevegelsesmengde er ikke en størrelse som behandles i RST-1, og arbeid behandles først i kapittel 7, så dette er ikke overraskende.

Dernest kan en se en antydning til at definisjonen av kraft RST-1 gir i innledningen til kapitlet [28, s. 106] kan plasseres innen flere kategorier. Både «Virkning som egenskap», «Kraft er årsaken til akselerasjon» og «Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov» er alle, i større eller mindre grad representert. Siden denne innledende definisjonen av kraft kan inngå i flere kategorier, så er ikke rekkefølgen blant disse tre første kategoriene, som angitt i tabell 5.1, fastlåst.

I kapittel 6 finner en også at RST-1 omtaler kraft som i «Push-pull». Dog kan det virke som om kraftbegrepet ikke på noe tidspunkt faller entydig inn i denne kategorien, men heller i kombinasjon med forskjellige presentasjoner av kraftbegrepet.

f.eks. i forbindelse med at RST-1 gir eksempler for å spesifisere eller utdype stoffet en presenterer.

I kapittel 6 finner en ikke kraft innen kategorien «Kraft og Newtons 2. lov» før N2 presenteres, noe som er som forventet. I den forbindelse kan en bemerke at i forbindelse med at RST-1 presenterer måleenheten for kraft – newton – så kan en finne tre forskjellige kategorier representert. Ved definisjon av måleenheten newton henviser RST-1 til kraft slik at en finner både «Kraft i relasjon til bevegelse», «Kraft er årsaken til akselerasjon» og «Kraft og Newtons 2. lov» representert.

Når det gjelder friksjon, så presenterer en i dette kapitlet friksjonskrefter gjennom relasjon til bevegelse. Likevel indikerer RST-1, i alle eksemplene på friksjonskrefter, hvordan disse har sitt «opphav» i krefter mellom molekyler, altså på et mikronivå. På denne måten kan en si at friksjonskrefter skiller seg fra krefter generelt, i dette kapitlet, ettersom RST-1 presenterer friksjonskrefter med en eksplisitt forankring i «molekylverdenen», mens dette ikke alltid er tilfellet med andre krefter.

Oversikt over kategorier i RST-1								
Kategori	«Virkning som egenskap»	«Kraft i relasjon til bevegelse»	«Kraft er årsaken til akselerasjon»	«Newtons 2. lov – N2»	«Kraft og bevegelsesmengde»	«Kraft som vekselvirkning – N3»	«Kraft er 'noe' som kan gjøre arbeid»	«Push-pull»
Kapittel 1								
Kapittel 2								
Kapittel 3								
Kapittel 4								
Kapittel 5								
Kapittel 6	X	X	X	X		X		X
Kapittel 7								
Kapittel 8								
Kapittel 9								
Kapittel 10								
Kapittel 11								
Kapittel 12								
Kapittel 13								

Tabell 5.2: En oversikt over hvilke kategorier som opptrer i de forskjellige kapitlene i RST-1. Kategorier som opptrer i kapitlene markeres med «X», og med tom rute dersom kategorien ikke opptrer. Dersom en kategori er delvis representert, eller representert under spesielle forhold, markeres dette med X*, og det henvises til analysen (5.1) for nærmere beskrivelse. Kategoriene er presentert i kapittel 4.

5.2 «Rom Stoff Tid Fysikk 2»

På samme måte som i RST-1 (se 5.1), så identifiserer en mekanikk-kapitlene i RST-2 til å være kapittel 6 «Bevegelse» og kapittel 7 «Kraft og bevegelse» (se hhv. 3.3.5 og 3.3.6). I tillegg presenterer RST-2 bevegelsesmengde og energi i kapittel 2 «To bevaringslover» (se 3.3.1).

5.2.1 Kapittel 6: «Bevegelse»

Dette kapitlet er i stor grad å betrakte som en fortsettelse av tilsvarende kapittel i RST-1 (se 5.1, kapittel 5 «Bevegelse»), og kapitlet har sogar samme navn i begge bøkene. Den første delen av dette kapitlet i RST-2 er i tillegg repetisjon fra RST-1. På lik linje med kapittel 5 «Bevegelse» i RST-1, så behandler ikke RST-2 kraft direkte i dette kapitlet, men behandler størrelser som er sentrale i forbindelse med kraft i senere kapitler.

I tillegg til å repetere størrelser som fart og akselerasjon, så presenterer RST-2 disse størrelsene som vektorer. En presenterer posisjon og forflytning, fart («fartsvektoren»), og akselerasjon som vektorer, og ser på disse størrelsene i forbindelse med krumlinjet bevegelse. RST-2 ser i den forbindelse på disse størrelsene, beskrevet som vektorfunksjoner. Sammen med uavhengighetsprinsippet og bevegelseslikningene, bruker en dette i beskrivelsen av kastebevegelser.

Foruten behandlingen av posisjon, fart og akselerasjon som vektorstørrelser, så er det delkapitlet «Akselerasjon i sirkelbevegelse» [29, s. 131] som skiller seg ut fra RST-1. Detaljene i forbindelse med fart og akselerasjon i dette kapitlet går frem av innholdsanalysen (se 3.3.5). Det som kan sies å være «hovedresultatet» i dette kapitlet er uttrykket for akselerasjonen i en sirkelbevegelse, gitt ved banefarten og radien i banen, $a = v^2/r$. En kan merke seg at RST-2 bemerker at en ofte kaller denne akselerasjonen for «sentrifugalakselerasjon», mens RST-2 presenterer den som «akselerasjon i sirkelbevegelse» [29, s. 134]

5.2.2 Kapittel 7: «Kraft og bevegelse»

På samme måte som i tilsvarende kapittel i RST-1 (kapittel 6 «Kraft og bevegelse», se 5.1), så sier RST-2 i kapittelintroduksjonen at en i kapittel 6 «*beskrev* bevegelser», mens en i dette kapitlet skal «*forklare* bevegelse, som et resultat av at det virker krefter på legemet» [29, s. 143]. RST-2 indikerer på denne måten at kraft forklarer bevegelse, og således kan en identifisere kraft innen kategorien «Kraft i relasjon til bevegelse» (se 4.1.2). Denne kapittelintroduksjonen er helt analog til introduksjonen av tilsvarende kapittel i RST-1, og RST-2 henviser sogar til Fysikk 1 (RST-1).

Rett i forkant av at RST-2 presenterer Newtons tre lover, så refererer RST-2 til at en i Fysikk 1 lærte at krefter har tre egenskaper. Disse tre egenskapene, som

RST-2 presenterer, er i stor grad det samme som inngår i det en identifiserer som en definisjon av kraft i kapittel 6 i RST-1 (se 5.1.2), dog refererte en i RST-1 ikke eksplisitt til dette som «egenskapene» til krefter. RST-2 presenterer disse tre egenskapene:

1. En kraft virker alltid *fra* et legeme *på* et annet, altså er alltid *to* legemer involvert.
2. Et legeme som blir påvirket av en kraft fra et annet legeme, virker tilbake på dette legemet med en kraft.
3. En kraft kan endre farten og/eller endre formen til et legeme. [29, s. 143]

Således ser en at kraft fortsatt er representert inne kategorien «Virkning som egenskap», ettersom den tredje «egenskapen» presiserer hva en kraft «kan gjøre». De to første egenskapene er på mange måter «frampek» til N3. Verdt å merke seg er at i nevnte definisjon i RST-1, så legger en til at en kraft er en vekselvirkning. Dette gjør ikke RST-2, i det en presenterer disse tre egenskapene. De to første «egenskapene» til en kraft indikerer på mange måter en kraft som hører hjemme i «Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov», på bakgrunn av at dette er to av «egenskapene» til en kraft. På den annen side, så fremgår dette ikke like tydelig her, bla. ettersom en ikke refererer direkte til en «vekselvirkning».

RST-2 går videre med å presentere Newtons lover, men denne gangen på vektorform. Annet enn at en nå indikerer kraft som vektorer, så legger ikke RST-2 til noe nytt i forbindelse med formuleringen av Newtons lover. RST-2 spesifiserer likevel forskjellen mellom lovene, der N3 handler om «to krefter som virker på *hvert sitt legeme*, altså en *vekselvirkning* mellom to legemer» [29, s. 144] Om N1 og N2 sier RST-2 at de omhandler «kreftene som virker på *ett legeme* eller *ett system*, og som derfor bestemmer hva slags bevegelse legemet fortsetter med» [29, s. 144].

I forbindelse med N1 og N2 presiserer altså RST-2 at disse lovene legger «føringerne» for krefter som som virker på et legeme, og dermed «bestemmer hva slags bevegelse legemet fortsetter med» [29, s. 144]. Slik som RST-2 skriver det, refererer en til at det er hhv. N1 og N2 som bestemmer bevegelsen til et legeme. Indirekte, siden N1 og N2, begge er formulert ved kraft, så antyder en dermed at kraft bestemmer bevegelsen til et legeme. Dermed har en kraft som i kategorien «Kraft i relasjon til bevegelse», nærmere bestemt «Kraft *bestemmer* bevegelse». Samtidig, i det en refererer til til at det er N2 (eller N1) som bestemmer bevegelsen til et legeme, så er en også innen kategorien «Kraft og Newtons 2. lov», ettersom en refererer til en relasjon mellom kraft og bevegelse som er «diktert» av N2.

Om N3 presiserer RST-2 at N3 beskriver to krefter som virker på to forskjellige legemer, «altså en *vekselvirkning* mellom to legemer» [29, s. 144]. RST-2 indikerer ikke, på samme måte som med N2, en definisjon av kraft gjennom N3. En refererer til en kraft som en vekselvirkning, og henviser til formuleringen av N3. Uten videre, så indikerer ikke dette f.eks. kraft som i kategorien «Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov».

Videre presenterer RST-2 uavhengighetsprinsippet, og ser på N2 på komponentform. I den forbindelse presiserer RST-2 at N2 gjelder separat i hver retning. Derneft at:

Akselerasjonen i x -retningen er bare bestemt av massen og kraftsumkomponenten i x -retningen. Det har ikke noe å si for a_x hva kraftsummen i y -retningen er. [29, s. 144]

Det samme gjelder for y -retningen. Her refererer RST-2 til at akselerasjonen er bestemt av kraften (komponenten av kraftsummen), og massen (massen «bestemmer» akselerasjonen «like mye» i hver retning). Således kan en identifisere at kraft bestemmer akselerasjon, sammen med masse. Bakgrunnen for dette er N2, og således er kategorien «Kraft og Newtons 2. lov» representert. RST-2 indikerer ikke eksplisitt at akselerasjonen er «forklart» at kraften (og ev. massen). En kan derimot se konturene av kategorien «Kraft i relasjon til bevegelse», dersom en kan relatere akselerasjonen til bevegelsen. Som vist, indikerer RST-2 kategorien «Kraft i relasjon til bevegelse» i forkant, men ikke her.

Neste delkapittel i RST-2 er «Krefter på legemer i sirkelbevegelse». I kapittel 6 (se 5.2.1) kom RST-2 fram til uttrykket for akselerasjonen i en sirkelbevegelse (sentrifugalakselerasjonen), og en benytter dette uttrykket i N2 for å finne summen av kreftene som virker på et legeme i sirkelbevegelse. Ettersom en i kapittel 6 fant at denne akselerasjonen hele tiden har retning innover mot sentrum i sirkelbanen, så argumenterer RST-2, via N2 for at også summen av kreftene har retning innover mot sentrum. Om kreftene i sirkelbevegelse sier RST-2:

En slik kraft – eller sum av krefter – som hele tida har retning inn mot sentrum for sirkelbevegelsen, blir av og til kalt *sentrifugalkraft*. At denne kraftsummen har fått sitt eget navn, skyldes ikke at det er en ny type kraft som opptrer. Sentrifugalkraft er rett og slett et innarbeidet navn på en sum av krefter eller en enkeltkraft som er opphav til en sirkelbevegelse. [29, s. 153]

Her spesifiserer altså RST-2 at krefter i sirkelbevegelse ikke skiller seg fra andre krefter i forbindelse med andre bevegelser (ingen ny type kraft). At det eksisterer en «navnekonvensjon» fremstår for å skille mellom bevegelsene, ikke kreftene. Derneft, så kan en merke seg at RST-2 refererer til kraft som «opphav til en sirkelbevegelse». Ettersom en nettopp har konstatert at krefter i sirkelbevegelse ikke skiller seg, kvalitativt fra krefter i andre bevegelser, så presenterer RST-2 kraft som «opphavet» til bevegelse. Denne relasjonen mellom kraft og bevegelse hører inn under kategorien «Kraft i relasjon til bevegelse». Den mest nærliggende underkategorien er nok «Kraft er årsaken til bevegelse», selv «opphav» og «årsak» ikke overlapper helt.

Oversikt over kategorier i RST-2								
Kategori	«Virkning som egenskap»	«Kraft i relasjon til bevegelse»	«Kraft er årsaken til akselerasjon»	«Newtons 2. lov – N2»	«Kraft og bevegelsesmengde»	«Kraft som vekselvirkning – N3»	«Kraft er 'noe' som kan gjøre arbeid»	«Push-pull»
Kapittel 1								
Kapittel 2								
Kapittel 3								
Kapittel 4								
Kapittel 5								
Kapittel 6								
Kapittel 7	X	X		X			X*	
Kapittel 8								
Kapittel 9								
Kapittel 10								
Kapittel 11								
Kapittel 12								
Kapittel 13								

Tabell 5.3: En oversikt over hvilke kategorier som opptrer i de forskjellige kapitlene i RST-2. Kategorier som opptrer i kapitlene markeres med «X», og med tom rute dersom kategorien ikke opptrer. Dersom en kategori er delvis representert, eller representert under spesielle forhold, markeres dette med X*, og det henvises til analysen (5.2) for nærmere beskrivelse. Kategoriene er presentert i kapittel 4.

5.3 «Ergo [Fysikk 1]»

I ERGO-1 identifiserer en kapittel 1 «Fysikk – på rett vei» og kapittel 2 «Newtons lover», samt kapittel 3 «Mekanisk energi» (se hhv. 3.2.1, 3.2.2 og 3.2.3), som kapitler innen mekanikk. På samme måte som i RST-1, presenterer en ikke bevegelsesmengde i ERGO-1.

5.3.1 Kapittel 1: «Fysikk – på rett vei»

Kapittel 1 i ERGO-1 er på mange måter tilsvarende kapittel 5 i RST-1, samtidig som ERGO-1 har delkapitler som «Modeller», «Forskning» og «Naturvitenskapelig metode». Det er i stor grad delkapitlene «1C: Tid og lengde», «1D: Fart og akselerasjon», «1E: Bevegselsformlene» og «1F: Fritt fall» som gjør at kapittelet, i innhold, er tilsvarende kapittel 5 i RST.

ERGO-1 behandler ikke kraft i dette kapittelet, men introduserer størrelsene strekning (posisjon), fart og akselerasjon. Likevel refererer ERGO-1 til krefter i kapitteinledningen (motivasjonen til kapittelet). Her stiller en seg spørsmålet om hva det er som gjør at et eple faller til bakken, hvorpå ERGO-1 utdyper at en kun kan observere «virkningen av tyngdekraften, ikke tyngdekraften selv» [8, s. 6]. I forbindelse med dette eksempelet med tyngdekraften sier ERGO-1 at en ikke fullt ut vet hva tyngdekraft er, og legger til at i fysikk kan vi «beskrive hvordan det skjer, men foreløpig ikke hvorfor» [8, s. 6].

Allerede i innledningen til dette kapittelet ser en konturene av en definisjon av kraft – i alle fall tyngdekraft – innen «Virkning som egenskap», i det ERGO-1 spesifiserer at det kun er «virkningen av tyngdekraften» det er mulig å observere. En kan ikke «se» selve kraften, bare virkningen. I tillegg legger ERGO-1 til at fysikken kan «beskrive hvordan», men ikke «hvorfor». Altså kan en beskrive, men ikke forklare (foreløpig). I tilfellet med tyngdekraften, så betyr det at en kun kan beskrive denne kraften, ikke forklare den. Dette er riktignok en kapitteinledning, og som nevnt tidligere så kan en ikke alltid vekke en slik innledning på samme måte som kapittelet forøvrig. Likevel kan en her se en indikasjon på hvordan ERGO-1 tenker seg en kraft, eller mer bestemt tyngdekraft.

5.3.2 Kapittel 2: «Newtons lover»

I det første delkapittelet «2A: Masse» knytter ERGO-1 tyngde og tregthet til masse, slik at massen til et legeme gir både legemets tyngde og hvor tregt det er. En presiserer også at massen er den samme uansett hvor og når en måler den, fordi massen er en «indre egenskap» ved legemer.

Om tyngde sier ERGO-1 det er et «mål på hvor tung en gjenstand er å løfte» [8, s. 61], og legger til at det «har med krefter og gravitasjon å gjøre». Annet enn dette, utdyper ERGO-1 ikke noe videre i dette delkapittelet.

Kraft behandles først ordentlig i det en kommer til delkapittel «2B: Krefter». ERGO-1 begynner dette delkapittelet ved å konstatere at en påvirker et legeme med en kraft når en drar eller skyver dette legemet. Selv om ERGO-1 ikke direkte refererer til selve kraften som et «drag» eller «skyv» – men selve handlingen «å skyve»/«å dra» –, så kan en med dette indikere at en kraft har med «skyving» og «draing» å gjøre, og er «Push-pull» indirekte representert.

Videre henviser ERGO-1 til krefters to mulige virkninger, nemlig at de kan forandre fart eller form, og formaliserer dette i en definisjon av kraft. Denne definisjonen inngår i grunnlaget for kategorien «Virkning som egenskap» (se 4.1.1, nærmere bestemt (ii)), og lyder som følger:

En kraft kan forandre farten til en gjenstand, og en kraft kan forandre formen på en gjenstand. Enheten for kraft er newton, N. [8, s. 62]

Ettersom denne definisjonen allerede er inneholdt i «Virkning som egenskap», så er det åpenbart at ERGO-1 definerer en kraft som angitt i denne kategorien. På samme måte som med den tilsvarende definisjonen i RST-1 (se 4.1.1 (ii)), så kan denne definisjonen fremstå som «overordnet», i den forstand at det er den første «formelle» definisjonen av kraft som opptrer, og den forteller ganske bestemt hva en kraft kan «gjøre».

Det er flere aspekter ved denne definisjonen som er verdt å merke seg. Først, så markerer ERGO-1 denne definisjonen (den uthevede tekstboksen) med «Kraftvirkning». Dette forsterker inntrykket av definisjonen av kraft er basert på virkningen(e) til kraften, og således er en definisjon innen kategorien «Virkning som egenskap». Når det er sagt, så kan dette også implisere at det på sett og vis ikke er en definisjon av kraft i seg selv, men heller en presentasjon av virkningen til en kraft.

Dernest, så kan en observere at ERGO-1 i denne innledende definisjonen ikke referer til kraft som en «vekselvirkning», noe RST-1 gjør i sin tilsvarende definisjon. ERGO-1 sier altså foreløpig ikke noe om hvordan det alltid er to legemer involvert når krefter virker. En finner derfor ingen sterk antydning til kategorien «Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov» i denne definisjonen, ettersom ERGO-1 ikke presiserer dette. Dersom en ser til RST-1, så ser en at en delvis kan finne denne kategorien representert i tilsvarende definisjon.

En kan også legge merke til at ERGO-1, i marginen på samme side som definisjonen, legger til at dersom en skyver/drar et legeme, så vil formen til legemet alltid forandres, siden alle legemer er mer eller mindre elastiske. En kan riktignok ikke alltid observere dette, men likefullt er det da slik at den ene delen av virkningen til en kraft alltid er «realisert». ERGO-1 refererer riktignok kun til tilfeller der en skyver eller drar på legemer, og sier således ikke noe om dette gjelder generelt for krefter. Dersom dette er et uttrykk for kraft som i kategorien «Push-pull», så er det likevel mulig å tenke seg dette.

ERGO-1 presiserer i denne innledende definisjonen at en kraft kan endre farten til et legeme. Akselerasjon inngår ikke i definisjonen, men med bakgrunn i definisjonen av akselerasjon fra kapittel 1, så er det nærliggende å tolke «endre fart»

som «akselerasjon». Således kan en «oversette» definisjonen til å si at en kraft kan akselerere et legeme, selv om dette ikke er noe ERGO-1 gjør eksplisitt. Med bakgrunn i definisjonen av akselerasjon kan en likevel identifisere den ene delen av kraftvirkningen, som inngår i definisjonen, innen kategorien «Kraft er årsaken til akselerasjon». Relasjonen fremstår riktignok ikke som at kraft «er årsaken til» eller «forårsaker» akselerasjon, men «kan akselerere», som likefullt er en relasjon til akselerasjon. Slik ser en at denne definisjonen i ERGO-1 har elementer ved seg som beskrives av «Kraft er årsaken til akselerasjon».

I forbindelse med at ERGO-1 konstaterer at kraft er en vektorstørrelse (krefter behandles ikke som vektorer i ERGO-1 forøvrig), kommer en inn på kraftpiler og hvordan illustrere krefter. To eksempler (s. 64) tar for seg hvv. en mann som holder en koffert, og en bok som ligger på et bord. I eksempelet med kofferten spør ERGO-1 om «det er noe som skyver eller drar i kofferten?» [8, s. 64] Kraften fra hånden på kofferten er kraften som «drar» i kofferten, og identifiseres som «hånddrag». Tilsvarende finner en at «jorda drar i kofferten» (en nevner ikke «tyngdekraft» i eksempelet), altså «jorddrag». I eksempelet med boken som ligger på bordet finner en helt analogt «bordskyvet» og «jorddraget» på boken.

Det fremgår relativt klart at ERGO-1 i disse to eksemplene opererer med et kraftbegrep som faller inn under kategorien «Push-pull». I etterkant av disse to eksemplene presenterer ERGO-1 et avsnitt om kontaktkrefter og avstandskrefter [8, s. 65], og identifiserer tyngdekraften – som en også identifiserer som «gravitasjonskraft» – som en avstandskraft. Som en ser av de to foregående eksemplene, så er ikke differensieringen mellom kontaktkrefter og avstandskrefter avgjørende, i og med at eksemplene refererer til begge typer som «drag» (eller «skyv»).

Om kontaktkrefter, så utdyper ERGO-1 i marginen (s. 65) at alle kontaktkrefter kan reduseres til avstandskrefter, ettersom alle kontaktkrefter i virkeligheten er «elektriske avstandskrefter, mikroskopisk sett» [8, s. 65], samt at en legger til at det er disse elektriske avstandskreftene som er bakgrunnen for friksjon. I prinsippet fjerner ERGO-1 med dette kontaktkrefter i sin helhet. Av dette følger det også at kraft som et «drag» eller «skyv» ikke kan være begrenset til kontaktkrefter, ettersom kontaktkrefter reduseres til avstandskrefter. Kontaktkrefter fremstår likevel som en relevant modell for å beskrive krefter på/mellom legemer som er i (synlig) kontakt med hverandre. Til sammenlikning snakker RST-1 f.eks. om kontaktkrefter som krefter som opptrer i det legemer (synlig) berører hverandre.

Videre presenterer ERGO-1 delkapittel «2C: Newtons 1. lov». Det som på overflaten umiddelbart åpenbarer seg er at ERGO-1 velger å presentere Newtons lover i «stigende rekkefølge», altså N1, N2 og så N3. Til sammenlikning presenterer RST-1 lovene i rekkefølgen N3, N1 og N2, i tilsvarende kapittel (kapittel 6).

ERGO-1 dette delkapittelet om N1 med en relativt grundig historisk introduksjon, via Aristoteles, Galilei og Newton, slik at en etterhvert kommer fram til en formulering av N1. Rett i forkant av N1 sier ERGO-1 at N1, som startet som en hypotese hos Galilei og Newton, etterhvert er «bekreftet så grundig at vi regner det som en naturlov» [8, s. 69]. Videre formulerer ERGO-1 N1:

Når summen av alle kreftene som virker på en gjenstand er null, er gjenstanden i ro eller i bevegelse med konstant fart langs en rett linje. Hvis $\sum F = 0$, så er v konstant og fartsretningen er uendret. Hvis v er konstant og fartsretningen uendret, så er $\sum F = 0$. [8, s. 70]

Som det blir argumentert for i 4.2, om N1, så er det – med forbehold om hvordan en formulerer N1 –, ikke mulig å sette opp et eksperiment for å etterprøve N1. Slik ERGO-1 fremstiller N1, så kan en til en viss grad tolke det som et spesialtilfelle av N2. ERGO-1 presiserer dog ikke dette i tekst, men indirekte gjennom at $\sum F$, summen av alle kreftene, opptrer i formuleringen.

ERGO-1 utdyper N1 ved å i etterkant presisere at N1 «sidestiller ro og rettlinjet bevegelse med konstant fart» [8, s. 70]. ERGO-1 refererer således til to «bevegelsestilstander», uten å ta i bruk akkurat denne termen. En kan videre legge merke til at ERGO-1 i N1 kun viser til hva som «skjer» dersom summen av kreftene på et legeme er null, og ikke indikerer noe om at dette er tilfelle dersom ikke krefter «endrer forholdene». I RST-1 legger en i N1 til at «... såfremt ikke krefter tvinger ...», noe en ikke ser i N1 i ERGO-1. Skjønt, ERGO-1 legger i etterkant til at det «ikke trengs noen kraft når bevegelsen er rettlinjet og farten konstant» [8, s. 70], som til en viss grad indikerer at det «trengs kraft» dersom bevegelsen ikke er en av disse to tilfellene. Således ser en vage konturer av at kraft kan relateres til endring i bevegelse, eller endring i fart. Likevel, ERGO-1 indikerer ikke, på samme måte som RST-1, en like tydelig relasjon mellom kraft og bevegelse gjennom N1. ERGO-1 legger i N1 til grunn forutsetningene ($\sum F = 0$), og følgende (legeme i ro, eller i rettlinjet bevegelse med konstant fart), men belyser ikke eksplisitt i N1 en relasjon mellom kraft og bevegelse dersom forutsetningene *ikke* er oppfylt (det virker krefter).

Samtidig, så har ERGO-1 i forkant av den «formelle» formuleringen av N1, som nevnt presentert en historisk gjennomgang av teorier som ledet frem til arbeidet til Newton. I den forbindelse presenterer ERGO-1 essensielt innholdet i N1 på en slik måte at en ser en mer eksplisitt relasjon mellom kraft og bevegelse. En nevner blant annet to punkter i forbindelse med Galilei, der dette indikeres:

- Hvis det ikke virker noen kraft, så vil en gjenstand i fart fortsette å bevege seg med *konstant* fart og uforandret retning.
- Hvis det virker krefter vil farten *forandre* seg. [8, s. 69]

Med dette ser en at ERGO-1 antyder at en kraft kan endre farten til et legeme, gjennom det som essensielt er N1. Senere, men fortsatt i forkant av «formaliseringen» av N1, antyder ERGO-1 også at en kraft kan endre bevegelsen til et legeme, gjennom en omtale av N1 som formuleres i retning av «dersom krefter ikke virker, så ...». Således kan en argumentere for at kraft representeres innen både kategorien «Kraft er årsaken til akselerasjon» (dersom en, på bakgrunn av definisjonen av akselerasjon, tolker «endre fart» som akselerasjon), og kategorien «Kraft i relasjon til bevegelse». Som antydnet over, så fremkommer dog ikke dette like tydelig i det ERGO-1 fremhever som formuleringen av N1 (uthevet tekstboks).

ERGO-1 tar for seg N2 i et eget delkapittel, «2D: Newtons 2. lov». I forkant av at

ERGO-1 formulerer N2, så refererer en til et eksempel med kunstløp (som ble presentert i innledningen til kapittel 2), og i den forbindelse at det «krever bruk av krefter» for å forandre en bevegelse. ERGO-1 henviser til at dette er innholdet i N2. Således introduserer ERGO-1 N2 ved å presentere en kraft som i «Kraft i relasjon til bevegelse», mer bestemt som at kraft kan endre bevegelse. Samtidig henviser ERGO-1 til N1, hvorpå en spør om hva som er tilfellet dersom en vil «sette farten opp eller ned, eller kanskje svinge?» [8, s. 73], og presiserer at dette innebærer å forandre bevegelsen. Således henviser ERGO-1 også direkte til fart, og gjennom at dette «krever krefter», til at krefter «kreves» for å endre farten, som er innen kategorien «Virkning som egenskap».

Videre presiserer ERGO-1 også at N2 har sammenheng med akselerasjon, og at akselerasjonen til et legeme avhenger av kreftene som virker på det, noe som er sammenfattet i N2. ERGO-1 presenterer N2 ved å presentere den matematiske formen $\sum F = ma$, i tillegg til å uttrykke dette med ord. I forkant har ERGO-1 presisert at en begrenser seg til rettlinjert bevegelse og konstante krefter, samt at en i formuleringen av N2 presiserer at akselerasjonen «skjer i samme retning som summen av kreftene». [8, s. 73]. Denne måten å formulere seg på – at akselerasjonen «skjer» i samme retning som summen av kreftene – kan indikere at akselerasjon er noe som «skjer» som følge av at krefter virker. I så tilfelle kan en plassere kraft i kategorien «Kraft er årsaken til akselerasjon», gjennom formuleringen av N2. Om en ser på N2 slik ERGO-1 presenterer den i sammendraget av kapittel 2, så sier en her at dersom et legeme (gjenstand) er påvirket av krefter, så «får gjenstanden en akselerasjon i samme retning som summen av kreftene» [8, s. 85]. Altså snakker en ikke om at akselerasjonen «skjer» i retningen til kraftsummen, men at kreftene virker på legemet slik at legemet blir gitt (får) en akselerasjon i samme retning.

ERGO-1 går videre med å se på hvordan en kan omforme N2 på matematisk form, og en presenterer det omformede uttrykket $a = (\sum F)/m$. Med bakgrunn i denne omformingen av N2 sier ERGO-1 først at stor kraft gir stor akselerasjon; dernest at en liten masse vil gi stor akselerasjon (med hhv. en gitt masse og en gitt kraft). Med dette identifiserer ERGO-1 kraft gjennom akselerasjon, der stor akselerasjon henger sammen med stor kraft (ev. liten masse). ERGO-1 utdyper ikke dette nærmere, men ved å omforme N2 på denne måten, så ser en at en illustrerer kraft som i kategorien «Kraft og Newtons 2. lov». I RST-1 presenterer en ikke denne «omformede» N2 i direkte tilknytning til formuleringen av N2 (en gjør det dog i eksempler, for å f.eks. finne akselerasjonen), og på denne måten representeres kraft tydeligere innen «Kraft og Newtons 2. lov» i ERGO-1.

I forbindelse med N2, definerer også ERGO-1 enheten for kraft, newton. I marginen spør en seg hva denne definisjonen betyr fysisk, der en utdyper at en kraft er «lik 1 N når den gir en gjenstand med masse 1 kg en akselerasjon på 1 m/s^2 » [8, s. 74]. Definisjonen av newton er altså direkte knyttet til «egenskapen» at krefter kan «gi» legemer akselerasjon. Således kan en si at det er en krafts «evne» til å gi legemer akselerasjon definisjonen av newton baserer seg på, og med det indikerer kraft innen «Virkning som egenskap». Likevel, ERGO-1 henviser ikke eksplisitt til «evnen» til en kraft, eller «kraftvirkningen», på samme måte som RST-1 gjør det. I RST-1 konstaterer en at definisjonen av newton bygger på den evnen en kraft

har til å endre bevegelse, mens en i i ERGO-1 ikke henviser til «evne» på samme måte. På mange måter er relasjonen til ERGO-1 i større grad innen kategorien «Kraft er årsaken til akselerasjon», i det en snakker om at en kraft «gir» et legeme akselerasjon. ERGO-1 sier i tillegg at en benytter N2 til å gi en definisjon av newton, og således er definisjonen av måleenheten for kraft basert på kraft som definert via N2, altså kategorien «Kraft og Newtons 2. lov».

Om N3 innleder ERGO-1 med å identifisere N1 og N2 som lover som beskriver kreftene på én gjenstand, mens N3 «handler om kreftene på *to forskjellige* gjenstander» [8, s. 77], og en legger til at krefter alltid opptrer i par. I den forstand antyder ERGO-1 at kraft er en vekselvirkning, men en benytter ikke «vekselvirkning» i forbindelse med N3. ERGO-1 snakker om kraft og motkraft, men identifiserer altså ikke innholdet i N3 som en vekselvirkning. Likevel, siden en presiserer at enhver kraft har en motkraft, slik at en alltid vil kunne identifisere to krefter, men på forskjellige legemer (systemer).

ERGO-1 indikerer gjennom flere eksempler at N3 sier noe om hvordan krefter virker mellom to legemer, men at en fortsatt kan «isolere» et av legemene og bruke N2 for å si noe om, f.eks. akselerasjonen til dette legemet. ERGO-1 vender tilbake til eksempelet med to kunstløpere, der den ene gir den andre et dytt [8, s. 78]. I dette eksempelet går det frem hvordan N3 kan sies å legge «føringer» på hvordan krefter virker, mens N2 (og N1) kan si noe mer spesifikt om kreftene. I eksempelet baserer dette seg på at den ene kunstløperen gir den andre ett dytt (virker med en kraft), og via N3 må den andre kunstløperen virke tilbake med en like stor, og motsatt rettet kraft. Dernest, så bruker en N2 til å kunne si noe om akselerasjonen til disse to kunstløperne. Dette eksempelet i ERGO-1 illustrerer hvordan en kan oppfatte N3 som en «bruksanvisning» som sier noe om hvordan krefter virker, eller hvordan krefter «adlyder» N3, men som i utgangspunktet ikke gir noe mer spesifikk informasjon om kreftene.

Oppsummering

Kapittel 2 i ERGO-1 er, på tilsvarende måte som kapittel 6 i RST-1, omfattende når det kommer til å behandle kraft/krefter, og således følger en kort oppsummering.

Tabell 5.4 viser hvilke kategorier en finner i kapittel 2 i ERGO-1. En kan observere at en ikke finner kraft innen kategoriene «Kraft og bevegelsesmengde» eller «Kraft er 'noe' som kan gjøre arbeid» i dette kapittelet. Bevegelsesmengde er ikke en størrelse som behandles i ERGO-1, mens arbeid først behandles i kapittel 3 «Mekanisk energi», så dette er ikke overraskende. En kan ikke tillegge rekkefølgen alene for mye vekt, men dersom en sammenlikner med RST-1 (se tabell 5.1), så ser en at rekkefølgen i grove trekk likner.

I deler av kapittelet identifiserer ERGO-1 tyngdekraften på forskjellige legemer som «jorddrag». Samtidig opererer en med en tilsvarende beskrivelse av andre krefter, gjennom f.eks. «gulvskyv» [8, s. 71] eller «bordskyv» [8, s. 64]. I et eksempel [8, s. 74] i forbindelse med N2 ser en på en syklist som akselererer, der en identifiserer

Kategorier i ERGO-1 kapittel 2: «Newtons lover»	
Kategori	Rekkefølge
«Virkning som egenskap»	2
«Kraft i relasjon til bevegelse»	4
«Kraft er årsaken til akselerasjon»	3
«Newtons 2. lov – N2»	5
«Push-pull»	1

Tabell 5.4: En oversikt over hvilke kategorier som opptrer i kapittel 2 «Newtons lover» i ERGO-1. Kun kategorier som opptrer vises. Nummereringen angir i hvilken rekkefølge kategoriene opptrer i kapittelet, der første kategori er angitt med 1, og videre i stigende rekkefølge. Nummereringen angir kun den første opptreden av kategorien.

at tyngdekraften «drar», og sykkelen «skyver». Derneft så sier ERGO-1 en at en «ser på dette som to skyv, et vannrett og et loddrett» [8, s. 74]. På denne måten ERGO-1 at en kan identifisere en kraft som et «drag» eller et «skyv», det være seg både avstandskrefter og kontaktkrefter. Således er kategorien «Push-pull» relativt fremtredende i kapittelet, selv om ERGO-1 går bort fra «jorddrag» mot slutten av kapittelet. Om en sammenlikner med RST-1, så finner en ikke noe tilsvarende, verken i like stor grad eller like eksplisitt. I RST-1 snakker en i noen tilfeller om «dragkraft» eller «skyvekraft», og også «snordrag» forekommer (en kan argumentere for at «snordrag» er en, i stor grad innarbeidet term, og slik sett ikke skiller seg like mye ut), og slik sett indikerer en også i RST-1 en kraft som et «skyv»/«drag». Å si at ERGO-1 benytter, f.eks. «jorddrag» systematisk er å ta hardt i, men tendensen er i alle fall at en i flere, etterfølgende eksempler identifiserer tyngdekraften som «jorddrag», og således virker kraft å være sterkere knyttet til kategorien «Push-pull» i ERGO-1 enn i RST-1.

Når det er sagt, så opptrer «jorddrag» i ERGO-1 kun i eksempler, og ikke i teksten forøvrig. En kan dermed ikke utelukke at en i ERGO-1 benytter «jorddrag» for å illustrere og gjøre leseren kjent med hvordan tyngdekraften (gravitasjonskraften) virker. Derneft, så spesifiserer en i ERGO-1 – også dette i et eksempel – at en med «jorddrag» mener tyngdekraft. Likevel, frem til ERGO-1 «oppklarer» dette, så er en «Push-pull»-definisjon av kraft fremtredende.

Som nevnt så sier ikke ERGO-1 noe om «vekselvirkning» i forbindelse med N3. I utgangspunktet medfører dette at en ikke uten videre kan identifisere kategorien «Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov». Det er ikke noe som skiller seg ut med hvordan ERGO-1 formulerer selve N3, men en unnlater altså å bruke begrepet «vekselvirkning» i sammenheng med N3. I det store og det hele refererer ikke ERGO-1 til «vekselvirkning» noe sted i kapittelet. Slik sett kan en argumentere for at kategorien «Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov», og dermed kraft som en vekselvirkning, ikke er like fremtredende i ERGO-1 som det er i RST-1. I den forbindelse kan en også merke seg at RST-1 identifiserer kraft som en

vekselvirkning allerede i den innledende definisjonen der en definerer kraft gjennom virkningen. I tilsvarende definisjon i ERGO-1 refererer en ikke til en kraft som en vekselvirkning, men definerer på samme måte som i RST-1 en kraft ut i fra virkningen. Selv om alle punktene i kategorien i stor grad presenteres med N3 i ERGO-1, så er likevel begrepet «vekselvirkning» fraværende.

Til sist kan en observere at ERGO-1 i liten grad presenterer friksjonskrefter i løpet av dette kapitlet. Forklaringen på det er fordi en i ERGO-1 har valgt å ta for seg friksjon som et eget delkapittel i kapittel 3 «Mekanisk energi». Til sammenlikning, så inkluderer RST-1 friksjonskrefter i større grad i sitt kapittel 6.

Oversikt over kategorier i ERGO-1								
Kategori	«Virkning som egenskap»	«Kraft i relasjon til bevegelse»	«Kraft er årsaken til akselerasjon»	«Newtons 2. lov – N_2 »	«Kraft og bevegelsesmengde»	«Kraft som vekselvirkning – N_3 »	«Kraft er 'noe' som kan gjøre arbeid»	«Push-pull»
Kapittel 1	X*							
Kapittel 2	X	X				X*		X
Kapittel 3								
Kapittel 4								
Kapittel 5								
Kapittel 6								
Kapittel 7								
Kapittel 8								
Kapittel 9								
Kapittel 10								

Tabell 5.5: En oversikt over hvilke kategorier som opptrer i de forskjellige kapitlene i ERGO-1. Kategorier som opptrer i kapitlene markeres med «X», og med tom rute dersom kategorien ikke opptrer. Dersom en kategori er delvis representert, eller representert under spesielle forhold, markeres dette med X*, og det henvises til analysen (5.3) for nærmere beskrivelse. Kategoriene er presentert i kapittel 4.

5.4 «Ergo [Fysikk 2]»

I ERGO-2 identifiserer en mekanikk-kapitlene til å være kapittel 1 «Rettlinjet bevegelse» og kapittel 2 «Krumlinjet bevegelse» (se hhv. 3.4.1 og 3.4.2). I tillegg presenterer ERGO-2 bevegelsesmengde i et eget kapittel, kapittel 3 «Bevegelsesmengde» (se 3.4.3).

5.4.1 Kapittel 1: «Rettlinjet bevegelse»

Dette kapittelet er på mange måter repetisjon fra ERGO-1 (Fysikk 1). Samtidig, så begynner allerede i delkapittel «1B: Kraftvektorer» med noe nytt, i det en introduserer kraft som en vektorstørrelse. I delkapittel «1C: Newtons lover» introduserer en Newtons lover, denne gangen på vektorform.

I forbindelse med Newtons lover, formuleringen av disse lovene i stor grad lik i ERGO-2 som i ERGO-1 (se 5.3.2). I forbindelse med N1, så spesifiserer ERGO-2, siden en har innført vektorstørrelser, at det nå er «fartsvektoren» som er konstant. Altså, er også retningen til farten til et legeme uendret, dersom summen av kreftene er null. I den forbindelse innfører ERGO-2 også nullvektoren, med absoluttverdi null og ingen retning.

I forbindelse med N2, så er riktignok formuleringen fra ERGO-1 til ERGO-2 noe forskjellig. I forkant av at en presenterer N2, så sier ERGO-2:

Den [N2] kan brukes til å bestemme ukjente krefter når en bevegelse er kjent, og til å finne ut hvordan en bevegelse blir når vi kjenner kreftene. [...] Når summen av kreftene på en gjenstand *ikke* er null, får gjenstanden en akselerasjon i *samme* retning som kraftsummen. Jo større kraftsummen er, desto større blir akselerasjonen. Jo større massen er, desto mindre blir akselerasjonen. Med akselerasjon mener vi at farten skifter absoluttverdi eller retning eller begge deler. [9, s. 20]

Her ser en først at ERGO-2 refererer til at en kan bruke N2 til å «bestemme ukjente krefter», dersom en kjenner bevegelsen. Tilsvarende kan en «finne ut hvordan en bevegelse blir», dersom en kjenner kreftene. Her benytter ERGO-2 N2 «begge veier», samt at N2 knyttes direkte til bevegelse. Altså opptrer kraft i relasjon til bevegelse, gjennom N2. Således opptrer kraft både innen kategorien «Kraft i relasjon til bevegelse», og «Kraft og Newtons 2. lov». En kan merke seg at relasjonen til bevegelse går «begge veier», slik at kraft ikke opptrer i relasjon til bevegelse i en entydig «retning». Bevegelsen kan «angi» kraften, såvel som at kraft er i relasjon til bevegelse. Videre, så kan en «finne ut» bevegelsen, ved å kjenne kreftene. En kan således identifisere relasjonen «kraft kan finne ut bevegelse». Det er ikke entydig innen hvilken underkategori av «Kraft i relasjon til bevegelse» en kan identifisere en slik relasjon mellom kraft og bevegelse, men det kan i utgangspunktet virke som om «Kraft bestemmer bevegelse» kan være den mest nærliggende kategoriseringen.

ERGO-2 relaterer også kraft direkte til akselerasjon, også dette gjennom N2. En sier at dersom summen av kreftene på et legeme ikke er null, så «får» legemet en akselerasjon i samme retning som kraftsummen. Således kan en si at kraft kan «gi» akselerasjon. Det som er interessant er at ERGO-2 spesifiserer at akselerasjon betyr at farten skifter verdig og/eller retning, altså endring i fart. Med bakgrunn i dette, kan en videre si at en kraft kan «gi» et legeme endring i fart, eller bare «en kraft kan endre farten til et legeme». Slik ser en at også kategorien «Virkning som egenskap» er representert, i det en refererer til at en kraft kan «gi» akselerasjon.

En ser også at ERGO-2 refererer til forholdet mellom kraft masse og akselerasjon, som gitt av N2, og spesifiserer at større kraft medfører større akselerasjon, og større masse medfører mindre akselerasjon. Dette indikerer igjen at kraft er innen kategorien «Kraft og Newtons 2. lov».

Selve N2 formulerer ERGO-2 slik:

Når en gjenstand blir påvirket av krefter, får gjenstanden en akselerasjon som har samme retning som summen av alle kreftene. Kraftsummen er lik massen multiplisert med akselerasjonen,

$$\sum \vec{F} = m \vec{a}$$

[9, s. 20]

Altså ser en at en kraft «gjør» at en gjenstand «får» akselerasjon. Med bakgrunn i det ovennevnte, så indikerer dette fortsatt en kraft innen kategorien «Virkning som egenskap».

Om N3 spesifiserer ERGO-2 at N3 handler om «krefter på *to forskjellige* gjenstander» [9, s. 25], mens N1 og N2 handler om «*summen* av kreftene på *én enkelt* gjenstand» [9, s. 25]. ERGO-2 utdyper dette:

Krefter opptrer alltid parvis. Det er alltid *to gjenstander* som påvirker hverandre med krefter. Vi sier at gjenstandene *vekselvirker*, og kraftvirkningen mellom dem kaller vi en *vekselvirkning*. [9, s. 25]

ERGO-2 refererer til «kraftvirkningen» mellom to legemer, der disse to legemene påvirker hverandre med krefter, som en «vekselvirkning». ERGO-2 presenterer altså «kraftvirkningen» – virkningen av en kraft – som selve vekselvirkningen. ERGO-2 refererer ikke til en spesifikk kraftvirkning, men presiserer at kraftvirkningen, som følge av at to legemer påvirker hverandre med krefter, er en vekselvirkning. Sammen med at ERGO-2 formulerer N3, så ser en at en kraft opptrer innen kategorien «Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov».

I delkapittel «1D: Arbeid og energi», definerer ERGO-2 arbeid. Den matematiske fremstillingen er som i kategorien «Kraft er 'noe' som kan gjøre arbeid» (se 4.1.7), mens teksten lyder som følger:

Når en konstant kraft \vec{F} virker på en gjenstand som får en forflytning \vec{s} , utfører kraften et *arbeid* W på gjenstanden [...] [9, s. 26]

En ser altså at en kraft sies å gjøre arbeid, kun dersom gjenstanden som kraften virker på «får» en forflytning. Indirekte, så identifiserer en her en kraft som «noe» som kan gjøre arbeid, gjennom at en kraft kan «gi» et legeme forflytning. Samtidig er dette definisjonen av arbeid, ikke kraft, og ERGO-2 antyder ikke videre en definisjon av kraft som innebærer kategorien «Kraft er ‘noe’ som kan gjøre arbeid».

I det ERGO-2 tar for seg «Energi» [9, s. 27], så relaterer en arbeid til energi:

Vi sier at *et system har energi når det kan utføre et arbeid.* [...]
 Når et system utfører arbeid på omgivelsene, blir energi overført fra systemet til omgivelsene. Arbeid er altså en form for energioverføring. Siden energi er bevart, må energien i en gjenstand minke like mye som energien i omgivelsene øker. [9, s. 27]

ERGO-2 nevner, som antydnet, ikke kraft eksplisitt i denne forbindelsen. Likevel relaterer en kraft indirekte til energi, i det en sier at et system kan utføre arbeid, dersom systemet har energi. Fra definisjonen av arbeid har en at en kraft utfører et arbeid, dersom et legeme «får» forflytning, som følge av at av denne kraften virker på det. Således kunne en tenkt seg at et system har energi, dersom systemet kan virke med en kraft på et system/legeme og «skape» forflytning. At det er en relasjon mellom kraft og energi fremstår som noenlunde klart, men denne relasjonen er ikke spesifisert eksplisitt.

ERGO-2 spesifiserer at et legeme som er i bevegelse har kinetisk energi. Derrest, så presenterer ERGO-2 setningen om kinetisk energi, som sier at endringen i den kinetiske energien til et legeme er lik arbeidet til summen av kreftene som virker på legemet. Med dette, så relaterer en kraft, gjennom arbeid, til kinetisk energi, som igjen relateres til bevegelse. Følgelig ser en her konturene av at kraft, gjennom å kunne gjøre arbeid, kan forandre bevegelsen, representert ved den kinetiske energien, til et legeme. Via setningen om kinetisk energi kan en således relatere kraft til bevegelse, som i kategorien «Kraft i relasjon til bevegelse». Derrest så kan en også relatere kraft direkte til energi, gjennom at krefter kan gjøre arbeid på et legeme og dermed endre den kinetiske (og den mekaniske [29, s. 28]) energien til legemet. Det at disse relasjonene gjelder for kraft, gjennom arbeid, indikerer på mange måter at kraft opptre innen kategorien «Kraft er ‘noe’ som kan gjøre arbeid».

5.4.2 Kapittel 2: «Krumlinjet bevegelse»

Mens RST-2 har valgt å holde rettlinjert og krumlinjet bevegelse i samme kapittel – kapittel 7 «Kraft og bevegelse» (se 5.2.2) –, så presenterer ERGO-2 dette i to separate kapitler.

I de første delkapitlene i dette kapittelet introduserer ERGO-2 fart og akselerasjon som vektorer. I den forbindelse finner en bla. at akselerasjonen peker innover i en krum bane. Om akselerasjon, så legger ERGO-2 til en notis i marginen:

Selv om du sykler med konstant banefart gjennom svingen, er du ak-

selerert fordi fartsretningen forandrer seg. Og når du har akselerasjon, så er det krefter inne i bildet. Det følger av Newtons 2. lov. Men om kreftene ikke er store nok til å holde deg i svingen, kan det gå riktig galt... [9, s. 50]

Her er kraft «inne i bildet» i det en snakker om akselerasjon, som følger av N2. Således kan en si at en her antyder kraft som i kategorien «Kraft og Newtons 2. lov», selv om det, slik det står, fremstår som en noe vag relasjon.

En ser så på kastebevegelse, og i den forbindelse ser en bla. på fart og akselerasjon som vektorfunksjoner. ERGO-2 presiserer i delkapittel «2C: Kast» at en i delkapittelet vil «studere kastebevegelser *kvantitativt*.

I delkapittel «2D: Sirkelbevegelse» kommer en etterhvert frem til uttrykket for sentripetalakselerasjonen, $a = v^2/r$ (se forøvrig 3.4.2 for innholdsanalysen), og en har funnet at denne akselerasjonen hele tiden peker inn mot sentrum i sirkelbanen. ERGO-2 benytter så N2, for å finne retningen på kreftene på et legeme i sirkelbevegelse:

Nå vet du at krumlinjet bevegelse alltid er akselerert. Det betyr at vi trenger krefter for å få gjenstander til å bevege seg i krumme baner. Newtons 2. lov, $\sum F = m\vec{a}$, sier oss at kraftsummen har samme retning som akselerasjonen. Når en gjenstand med masse m går i en sirkelbane med radius r og *konstant banefart* v , peker alltid kraftsummen *inn mot sentrum* av sirkelbanen. [9, s. 64]

ERGO-2 indikerer at en «trenger» krefter for å få legemer til å bevege seg langs krumme baner. Dette fordi akselerasjonen hele tiden peker inn mot sentrum i banen (i sirkelbaner), og således alltid endrer retning. Fra N1 har en jo at en ikke «trenger» krefter for å holde et legeme i bevegelse, dersom bevegelsen er langs en rett linje (og konstant fart). Således representerer krumme bevegelser, i til forskjell fra bevegelser langs en rett linje, tilfeller av bevegelse som alltid «krever» krefter for å holde seg i denne banen. I forbindelse med sirkelbevegelse kan en ikke identifisere at ERGO-2 klart henviser til kraft innen en spesiell kategori.

Oversikt over kategorier i ERGO-2								
Kategori	«Virkning som egenskap»	«Kraft i relasjon til bevegelse»	«Kraft er årsaken til akselerasjon»	«Newtons 2. lov – N2»	«Kraft og bevegelsesmengde»	«Kraft som vekselvirkning – N3»	«Kraft er 'noe' som kan gjøre arbeid»	«Push-pull»
Kapittel 1	X	X		X		X	X*	
Kapittel 2				X*				
Kapittel 3								
Kapittel 4								
Kapittel 5								
Kapittel 6								
Kapittel 7								
Kapittel 8								
Kapittel 9								
Kapittel 10								

Tabell 5.6: En oversikt over hvilke kategorier som opptrer i de forskjellige kapitlene i ERGO-2. Kategorier som opptrer i kapitlene markeres med «X», og med tom rute dersom kategorien ikke opptrer. Dersom en kategori er delvis representert, eller representert under spesielle forhold, markeres dette med X*, og det henvises til analysen (5.4) for nærmere beskrivelse. Kategoriene er presentert i kapittel 4.

Kapittel 6

Avsluttende diskusjon og konklusjon

I kapittel 3 ble lærebøkene (lærebøkene for VGS) gjennomgått, i den forstand at en presenterte en innholdsanalyse (første steg av analysen) av hvordan lærebøkene presenterer og behandler kraft. I kapittel 5 ble steg 2 av analysen utført, der innholdet i lærebøkene ble analysert gjennom rammeverket fra kapittel 4. I disse to kapitlene har en altså først sett på hvordan lærebøkene behandler kraft, for dernest å se om det er mulig å kategorisere kraftbegrepet i bøkene i henhold til de kategoriene som ble presentert i kapittel 4.

Som presentert i introduksjonen, så har problemstillingen i denne oppgaven vært som følger:

Hvilke forskjellige definisjoner av kraft er det som presenteres i lærebøker i fysikk beregnet på elever i den videregående skolen i Norge?

I kategoriseringen av innholdet i lærebøkene i kapittel 3 har en i stor grad fokusert på mekanikk-kapitlene i bøkene, og en har kunnet identifisere flere kategorier i forbindelse med bøkens behandling av kraft.

Dersom en først ser på RST-1 og ERGO-1, og de to kapitlene i hver lærebok som er kategorisert, så finner en at alle kategoriene er representert, foruten «Kraft og bevegelsesmengde» og «Kraft er 'noe' som kan gjøre arbeid». Ettersom bevegelsesmengde ikke presenteres i verken RST-1 eller ERGO-1, så er ikke dette overraskende. Kategorien «Kraft er 'noe' som kan gjøre arbeid» indikeres ikke i kategoriseringen av kapittel 3, ettersom arbeid ikke behandles i disse kapitlene i RST-1 og ERGO-1. Om en derimot tar et tilbakeblikk til innholdsanalysen av kapitlene der hhv. RST-1 (se 3.1.4) og ERGO-1 (se 3.2.3) presenterer størrelsen arbeid, så definerer en i begge lærebøkene kraft ved arbeid. Likevel indikerer en i liten grad en definisjon av kraft gjennom arbeid, men relaterer i større grad kraft til energi, gjennom arbeid. Således er indikasjonen til kategorien «Kraft er 'noe' som kan gjøre arbeid» i disse kapitlene ikke fremtredende.

En finner at kategorien «Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov» er representert

i større grad i RST-1 enn i ERGO-1. Dette baserer seg på at ERGO-1 ikke refererer til en kraft som en vekselvirkning, og således kan ikke «Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov» sies å være fremtredende i ERGO-1. RST-1 refererer til en kraft som en vekselvirkning i den innledende definisjonen av kraft i sitt kapittel 6.

I motsatt fall, så er kategorien «Push-pull» i mye større grad representert i ERGO-1, i forhold til i RST-1. Dette gjør seg gjeldende i det ERGO-1 i større grad omtaler krefter som «drag» eller «skyv», f.eks. via «jorddrag». RST-1 benytter seg i mindre grad av slike formuleringer, og «Push-pull» fremstår i RST-1 mindre direkte.

Kategoriene «Kraft i relasjon til bevegelse», «Kraft er årsaken til akselerasjon» og «Kraft og Newtons 2. lov» finner en representert i både RST-1 og ERGO-1, og en finner at disse kategoriene opptrer i tilnærmet like stor grad i begge bøkene. Kategorien «Virkning som egenskap» er også representert i begge bøkene, noe som er opplagt i forbindelse med hvordan denne kategorien er definert.

Et aspekt som er felles for RST-1 og ERGO-1, er at kraft opptrer innen alle kategoriene «Virkning som egenskap», «Kraft er årsaken til akselerasjon» og «Kraft og Newtons 2. lov» i forbindelse med begge bøkens definisjon av enheten for kraft, newton. I RST-1 opptrer også kraft innen kategorien «Kraft i relasjon til bevegelse», i forbindelse med enheten for kraft.

Om en så ser til ERGO-2 og RST-2, så finner en i stor grad de samme kategoriene representert, dog i varierende omfang. Arbeid er en størrelse ERGO-2 presenterer i sitt kapittel 1, og i den forbindelse kan en se en (vag) antydning til at kategorien «Kraft er 'noe' som kan gjøre arbeid» er representert her.

I forbindelse med kategorien «Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov» er det verdt å merke seg at den fremstår noe sterkere representert i ERGO-2, i forhold til i RST-2. Som en ser, så er dette motsatt av hva er tilfelle i tilsvarende kapitler i ERGO-1/RST-1. Selv om RST-2 refererer til en kraft som en vekselvirkning, så fremstår likevel kategorien «Kraft som vekselvirkning – Newtons 3. lov» noe svakere representert. Dette har sammenheng med at en i RST-2 refererer «egenskapene» ved en kraft, der dette i RST-1 inngikk i definisjonen av en kraft.

«Push-pull» er en kategori som fremgår i merkbart mindre representert i både ERGO-2 og RST-2. Spesielt er dette merkbart i ERGO-2, ettersom «Push-pull» var sterkt representert i tilsvarende kapitler i ERGO-1. I kategoriseringen er ikke «Push-pull» indikert i verken ERGO-2 eller RST-2.

I forbindelse med at RST-2 og ERGO-2 presenterer N2, finner en kraft innen kategoriene «Kraft i relasjon til bevegelse» og «Kraft og Newtons 2. lov» i begge bøkene. I ERGO-2 finner en i tillegg kategorien «Virkning som egenskap», i den forbindelse. Kategorien «Virkning som egenskap» er fortsatt representert i begge bøkene, dog i mindre omfang enn i bøkene i Fysikk 1. «Kraft og Newtons 2. lov» kan virke mindre fremtredende enn i Fysikk 1, men er fortsatt markant.

For RST-2, så synes kategorien «Kraft i relasjon til bevegelse» å være den kategorien som i størst grad forekommer like ofte (i den grad en kan telle opptredener av kategorier) som i RST-1. For tilsvarende sammenlikning mellom ERGO-2 og

ERGO-2, er det vanskeligere å identifisere, ettersom alle kategoriene har hatt en «nedgang» i hyppighet. Dette kan sies å gjelde generelt for både RST-2 og ERGO-2, men samtidig er det ingen automatikk i at «hyppigheten» til en kategori indikerer til hvor stor grad kraft er representert i kategorien.

Innførselen av fart, akselerasjon og kraft som vektorer, i RST-2 og ERGO-2, identifiserer på mange måter et nytt forhold til en kategori som «Kraft er årsaken til akselerasjon». Dette fordi en nå kan referere til akselerasjon også via endring i retningen til farten. Spesielt kommer dette frem i forbindelse med de delene i disse bøkene som omhandler krumlinjet bevegelse, der en kan referere til et legeme som «alltid akselerert». Likevel fremkommer ikke denne kategorien eksplisitt i de to kapitlene i verken RST-2 eller ERGO-2. Slik sett er denne antydningen kun indirekte, og i liten grad fremtredende. Generelt kan en si at både ERGO-2 og RST-2, i forbindelse med krumme bevegelser, ikke snakker om kraft på en slik måte at noen kategorier egentlig er fremtredende.

Dersom en ser til de tre hovedtypene av definisjoner av kraft (se 2.3.2), så finner en ved kategoriseringen at både hovedtype 1 og 3 er tydelig representert i både RST-1/2 og ERGO-1/2. Hovedtype 2 er i større grad representert i ERGO-1, all den tid kraft tydelig fremstår i kategorien «Push-pull» i ERGO-1.

6.1 Forslag til videre arbeid

Med arbeidet som er utført i forbindelse med denne oppgaven, har en lagt et grunnlag som kan fungere som springbrett for flere videre studier. Både rammeverket alene, som presentert i kapittel 4, og resultatet av å benyttet dette rammeverket på lærebøkene i fysikk, kan være utgangspunkt for flere interessante studier.

I denne oppgaven har hovedtyngden av analysen, naturlig dreid mot hvordan krefter fremstilles i kapitlene i klassisk mekanikk i lærebøkene. I forbindelse med videre arbeid, så kan det være aktuelt å se enda nøyere på, f.eks. elektromagnetisme i lærebøkene, og hvordan en fremstiller kraft i disse kapitlene (delene). Er det slik at rammeverket som presenteres i denne oppgaven er tilstrekkelig for å beskrive de definisjoner av kraft som forekommer i kapitler som omhandler elektromagnetisme, eller trengs det modifikasjoner av kategoriene, ev. flere kategorier, for å dekke alt? I den forbindelse kan det også være aktuelt å i enda større grad se på rekkefølgen av kategoriene i bøkene, samt i de enkelte kapitlene.

Denne oppgaven er sentrert rundt lærebøker i fysikk beregnet på elever i videregående skole. Det fremstår likevel som fullt mulig å undersøke hvordan et kategorisering av definisjoner av kraft, som presentert i denne oppgaven, opptrer i lærebøker på et høyere nivå. Kanskje spesielt interessant er lærebøker i fysikk – som f.eks. Y&F –, beregnet på førsteårsstudenter (eller studenter på lavere grads nivå) ved universitet eller høyskole, slik at en kommer så nært innpå overgangen fra videregående skole til universitet. En vil da se på definisjoner av kraft som opptrer i lærebøker beregnet på studenter som har fysikk som en del av sin høyere utdanning, og det vil kunne være interessant å se om en liknende kategorisering av kraft

passer inn i lærebøker på et høyere nivå. I så tilfelle vil det også være mulig å studere om en kan representere kraft i andre grener av fysikk (f.eks. elektromagnetisme) med en kategorisering som presentert i denne oppgaven.

I forbindelse med å studere om kategoriene i denne oppgaven er tilstrekkelig for å kategorisere kraftbegrepet i andre grener av fysikk, så vil det også være naturlig å ta opp feltbegrepet, og hvordan «felt» opptrer i lærebøker i fysikk. Er det slik at kraft, etter en har innført konseptet felt, fortsatt kan kategoriseres på samme måte, med de samme kategoriene? Eller er det behov for å konstruere nye «felt»-kategorier for å kunne beskrive definisjoner av kraft i forbindelse med felt?

Analysen i denne oppgaven tar utgangspunkt i lærebøkene som selvstendige verk, men det finnes selvfølgelig materiale tilhørende disse bøkene, f.eks. forskjellige ressurser via Internett. En annen ressurs, som i første rekke henvender seg til lærereren (den som underviser) er lærerveiledningene tilhørende lærebøkene. Det vil kunne være aktuelt å undersøke hvordan kategoriene opptrer her, og om en kan snakke om kategorier på samme måte i den forbindelse. Dersom definisjoner i en slik veiledning faller inn under samme kategori som i bøkene, kan de likevel sies å skille seg fra definisjonene en finner i bøkene?

Videre er det også mulig å undersøke hvordan kategoriene stiller seg i et undervisningsøyemed. Som antydnet i forbindelse med presentasjon av kategoriene (se 4.2), så er kategoriene i utgangspunktet ikke formulert mtp. å benytte dette rammeverket i undervisning. Likevel er det tenkelig at disse kategoriene har en funksjon i fysikkundervisning. Det være seg både direkte relatert til «tavleundervisningen», altså undervisning med veiledning av lærer, men også indirekte (om en kan kalle det «indirekte») i utforming av lærebøker i fysikk.

Som det ble referert til i introduksjonen til denne oppgaven, så er kraft et konsept som elever i fysikk finner vanskelig og problematisk, samt at det eksisterer mange misoppfatninger relatert til kraft blant elever. Er det mulig å benytte kategoriene i denne oppgaven til å kategorisere elevenes forestillinger om kraft, og ev. også benytte kategoriene til å korrigere eller oppklare slike misoppfatninger? I den forbindelse kan det også være aktuelt å undersøke hvordan elevene oppfatter presentasjonen av kraft i lærebøkene, sammenliknet med hvordan kraft kategoriseres i lærebøkene.

I den forbindelse vil det også kunne være aktuelt å se på barns forestillinger om kraft (i motsetning til elever i skolen/VGS). Finnes det noen mulighet til å kategorisere forestillingene barn har om kraft og krefter, på samme måte som en kategoriserer innholdet i lærebøkene? Spørsmålet stilles på bakgrunn av om en kan kategorisere generelt, og ikke nødvendigvis med de kategoriene som presenteres i denne oppgaven.

Det er også aktuelt å se på historien til kraftbegrepet i forbindelse med en slik kategorisering av definisjoner. Dette gjelder både kraftbegrepet generelt, men også historisk i lærebøkene. Dersom en går tilbake i tid, vil en finne en kategorisering som presentert i denne oppgaven i tidligere utgaver av RST og ERGO? Dersom en studerer en slik lærebokhistorisk fremstilling av kraftbegrepet, og forsøker å identifisere en liknende kategorisering gjennom de forskjellige utgavene av lærebø-

kene, så vil det også kunne være aktuelt å se om det forekommer spesielle «skifter» ved/under (innførsel av) de forskjellige læreplanene i fysikk. Basert på et ev. studium av tidligere utgaver av lærebøker i fysikk, så vil en også kunne forsøke å besvare om kategoriene som presenteres i denne oppgaven, har en plass i fysikk-lærebøkens historie, eller mer generelt fysikkundervisningens historie. Dersom en ser på fysikkhistorien generelt, så vil det være aktuelt å se hvordan, og til hvilken grad kategoriene opptrer i fysikk i et historisk perspektiv. Dvs., fysikk f.o.m. Aristoteles, frem t.o.m. Newton, og også eventuelt i forskjellige verk etter Newton.

Bungum [4] ser på hvordan figurer/illustrasjoner har endret seg i norske lærebøker i fysikk gjennom årene. I denne oppgaven, så har som nevnt fokus i analysen vært på innholdet i bøkene. Inkludert i innholdet i bøkene er selvfølgelig også bidrag fra figurer/illustrasjoner. I denne oppgaven har det ikke vært viet oppmerksomhet særskilt til hvordan kraft fremstilles i figurer i lærebøkene, selv figurene har vært inkludert i analysen. I et ev. videre studie vil det kunne være aktuelt å se særskilt på figurer/illustrasjoner i forbindelse med konseptet kraft, og forsøke å avdekke om en kan finne en liknende kategorisering også i figurene. Dette kan selvfølgelig også gjøres i et historisk perspektiv.

I denne oppgaven er det kraftbegrepet som har vært under lupen, men det er selvfølgelig mulig å studere andre, sentrale begreper i fysikk, og hvordan disse opptrer i de samme lærebøkene. En vil da kunne konstruere et tilsvarende sett av kategorier, for så å forsøke å kategorisere et annet begrep slik kraft er kategorisert i denne oppgaven. Dette kan f.eks. være energi.

I lærebøker, og som lærebokforfatter, så må en ta visse pedagogiske hensyn, all den tid læreboken forsøker å formidle innholdet på en best mulig måte mtp. læring. Det vil kunne være aktuelt å avdekke hvilke pedagogiske hensyn som er tatt, både ved en tekstlig analyse, men også f.eks. ved intervju med lærebokforfattere, for å undersøke hvilken innvirkning dette har for ev. endringer i kategoriene.

Rammeverket som er utviklet i denne oppgaven vil være nyttig som et grunnlag for å undersøke alle de ovennevnte temaene videre.

Bibliografi

- [1] Engelsk Wikipedia-artikkel, «Work (physics)». [http://en.wikipedia.org/wiki/Work_\(physics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Work_(physics)). Besøkt: 09-09-2013.
- [2] Oversikt over emner som undervises ved institutt for fysikk, NTNU. <http://www.ntnu.no/fysikk/studier/emner>. Besøkt 01.12.2013.
- [3] Hovedside, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. <http://www.ntnu.no/>.
- [4] Berit Bungum. Images of physics: an explorative study of the changing character of visual images in Norwegian physics textbooks. *NorDiNa*, 4(2):132–141, 2008.
- [5] I. Bernard Cohen og George E. Smith, editors. *The Cambridge Companion to Newton*. Cambridge Companions. Cambridge University Press, 2002. ISBN 0-521-65177-8.
- [6] Bob Kibble. Understanding forces: what's the problem? *Physics Education*, 41(3):228–231, 2006. doi:[10.1088/0031-9120/41/3/003](https://doi.org/10.1088/0031-9120/41/3/003).
- [7] D. E. Brown. Students' concept of force: the importance of understanding Newton's third law. *Physics Education*, 24(6):353–358, 1989. doi:[10.1088/0031-9120/24/6/007](https://doi.org/10.1088/0031-9120/24/6/007).
- [8] P. Callin, J. Pålsgård, R. Stadsnes, og C. W. Tellefsen. *[Fysikk 1] ERGO Grunnbok*. Aschehoug, 1. utgave, 2007. ISBN 978-82-03-33347-7.
- [9] P. Callin, J. Pålsgård, R. Stadsnes, og C. W. Tellefsen. *[Fysikk 2] ERGO Grunnbok*. Aschehoug, 1. utgave, 2008. ISBN 978-82-03-33715-4.
- [10] Carl Angell, Øystein Guttersrud, Ellen K. Henriksen, og Anders Isnes. Physics: Frightful, But Fun. Pupils' and Teachers' Views of Physics and Physics Teaching. *Science Education*, 88(5):683–706, 2004. doi:[10.1002/sce.10141](https://doi.org/10.1002/sce.10141).
- [11] Carl Angell, Berit Bungum, Ellen Karoline Henriksen, Stein Dankert Kolstø, Rolf Jonas Persson, og Reidun Renstrøm. *Fysikkdidaktikk*. Høyskoleforlaget, 1. utgave, 2011. ISBN 978-82-7634-878-1.
- [12] David Griffiths. *Introduction to Elementary Particles*. WILEY-VHC Verlag GmbH & Co. KGaA, 2. utgave, 2008. ISBN 978-3-527-40601-2.

- [13] David J. Griffiths. *Introduction to Electrodynamics*. Pearson Education Inc., Pearson Benjamin Cummings, 3. utgave, 2008. ISBN 0-13-919960-8.
- [14] Douglas A. Roberts. Developing the Concept of “Curriculum Emphases” in Science Education. *Science Education*, 66(2):243–260, 1982. doi:[10.1002/sce.3730660209](https://doi.org/10.1002/sce.3730660209).
- [15] Dr Christina Hart. Teaching Newton’s laws: As though the concepts are difficult. *Australian Science Teachers’ Journal*, 48(4):14–23, 2002.
- [16] Dr. Ernst Mach. *The Science of Mechanics*. The Open Court Publishing Co., 1919. Translated from German by Thomas J. McCormack. Tilgjengelig online: <http://www.archive.org/details/scienceofmechani005860mbp>.
- [17] I. Galili og M. Tseitlin. Newton’s first law: Text, translations, interpretations and physics education. *Science & Education*, 12(1):45–73, 2003. doi:[10.1023/A:1022632600805](https://doi.org/10.1023/A:1022632600805).
- [18] R. Gamble. Force. *Physics Education*, 24(2):79–82, 1989. doi:[10.1088/0031-9120/24/2/303](https://doi.org/10.1088/0031-9120/24/2/303).
- [19] Gaute T. Einevoll. *Hva er fysikk*. Universitetsforlaget, 2007. ISBN 978-82-15-00948-3.
- [20] C. Hart. If the Sun burns you is that a force? Some definitional prerequisites for understanding Newton’s laws. *Physics Education*, 37(3):234–238, 2002. doi:[10.1088/0031-9120/37/3/307](https://doi.org/10.1088/0031-9120/37/3/307).
- [21] Heinrich Hertz. *The Principles of Mechanics*. London, Macmillan and Co.,Ltd., 1899. Authorised English translation by D. E. Jones, B.Sc. and J. T. Walley, M.A. Tilgjengelig online: <http://www.archive.org/details/principlesofmech00hertuoft>.
- [22] P. C. Hemmer. *Termisk Fysikk*. Tapir Akademisk Forlag, 2. utgave, 2002. ISBN 978-82-519-1739-5.
- [23] P. C. Hemmer. *Kvantemekanikk*. Tapir Akademisk Forlag, 5. utgave, 2005. ISBN 82-519-2028-0.
- [24] Herbert Goldstein, Charles P. Poole Jr., og John L. Safko. *Classical Mechanics*. Pearson Education Inc., Addison Wesley, 3. utgave, 2002. ISBN 0-201-65702-3.
- [25] Ibrahim Abou Halloun og David Hestenes. The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53(11):1043–1048, 1985. doi:[10.1119/1.14030](https://doi.org/10.1119/1.14030).
- [26] Isaac Newton, I. Bernard Cohen, og Anne Whitman. *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy*. University of California Press, Berkeley, 1999. ISBN 0-520-08816-6. A New Translation by I. Bernard Cohen and Anne Whitman, assisted by Julia Budenz.

- [27] M. Jammer. *Concepts of Force: A Study in the Foundations of Dynamics*. Dover Publications Inc., 1999. ISBN 978-0-486-40689-3.
- [28] P. Jerstad, B. Sletbak, A. A. Grimenes, og R. Renstrøm. *Rom Stoff Tid Fysikk 1 Grunnbok*. Cappelen, 1. utgave, 2007.
- [29] P. Jerstad, B. Sletbak, A. A. Grimenes, og R. Renstrøm. *Rom Stoff Tid Fysikk 2 Grunnbok*. Cappelen Damm, 1. utgave, 2008. ISBN 978-82-02-27799-4.
- [30] Johan Nelson. Hur används läroboken av lärare och elever? *NorDiNa*, 2(4): 16–27, 2006. ISSN 1504-4556.
- [31] Jonathan Osborne, Shirley Simon, og Sue Collins. Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9):1049–1079, 2003. doi:[10.1080/0950069032000032199](https://doi.org/10.1080/0950069032000032199).
- [32] R. Lopes Coelho. On the Concept of Force: How Understanding its History can Improve Physics Teaching. *Science & Education*, 19(1):91–113, 2010. doi:[10.1007/s11191-008-9183-1](https://doi.org/10.1007/s11191-008-9183-1).
- [33] R. Lopes Coelho. Conceptual Problems in the Foundations of Mechanics. *Science & Education*, 21(9):1337–1356, 2012. doi:[10.1007/s11191-010-9336-x](https://doi.org/10.1007/s11191-010-9336-x).
- [34] Peter J. J. M. Dekkers og Gerard D.Thijs. Making productive use of students' initial conceptions in developing the concept of force. *Science Education*, 82(1):31–51, 1998. ISSN 1098-237X. doi:[10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199801\)82:1<31::AID-SCE3>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199801)82:1<31::AID-SCE3>3.0.CO;2-1).
- [35] Ricardo Lopes Coelho. The Law of Inertia: How Understanding its History can Improve Physics Teaching. *Science & Education*, 16(9–10):955–974, 2007. doi:[10.1007/s11191-006-9042-x](https://doi.org/10.1007/s11191-006-9042-x).
- [36] Richard S. Westfall. *Never at Rest—A Biography of Isaac Newton*. Cambridge University Press, 1983. ISBN 978-0-521-27435-7.
- [37] J. Roche. What is momentum? *European Journal of Physics*, 27(5):1019–1036, 2006. doi:[10.1088/0143-0807/27/5/002](https://doi.org/10.1088/0143-0807/27/5/002).
- [38] Steven H. Strogatz. *Nonlinear Dynamics and Chaos*. Perseus Books Group, 2012. ISBN 978-07-382-0453-6.
- [39] Stuart Rowlands, Ted Graham, John Berry, og Peter McWilliam. Conceptual Change Through the Lens of Newtonian Mechanics. *Science & Education*, 16(1):21–42, 2007.
- [40] Svein Sjøberg. *Naturfag som Almenndannelse – en kritisk fagdidaktikk*. Gyldendal Norsk Forlag AS, 3. utgave, 2009. ISBN 970-82-05-37644-1.
- [41] Utdaningsdirektoratet. Læreplanverket for Kunnskapsløftet i grunnskolen og videregående opplæring. Nettside: <http://www.udir.no/Lareplaner/Kunnskapsloftet/>.

- [42] J. W. Warren. *Understanding Force*. John Murray, London, 1979. ISBN 0-7195-3564-6.
- [43] H. D. Young og R. A. Freedman. *Sears and Zemansky's University Physics*. Pearson Addison Wesley, 12. utgave, 2008. ISBN 978-0-8053-2187-6.