

Jørgen Røysland Aarnes

Fysikkens estetikk

Om skjønnhet og estetisk velbehag i matematisk fysikk

Bacheloroppgave i Filosofi

Veileder: Ståle Finke

Mai 2020

Jørgen Røysland Aarnes

Fysikkens estetikk

Om skjønnhet og estetisk velbehag i matematisk fysikk

Bacheloroppgave i Filosofi
Veileder: Ståle Finke
Mai 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Det humanistiske fakultet
Institutt for filosofi og religionsvitenskap



Kunnskap for en bedre verden

Fysikkens estetikk – om skjønnhet og estetisk velbehag i matematisk fysikk

A physical law must possess mathematical beauty. (Dirac, 1956)

Som den britiske kvantefysikeren Paul Dirac ga uttrykk for da han var på besøk ved Universitetet i Moskva i 1956, finnes idealer for skjønnhet i fysikk – spesielt innenfor den teoretiske, matematiske fysikken. Dirac er ikke alene om et slikt syn. Allerede i pytagoreernes og andre antikke grekeres lære om symmetrier og den sfæriske harmonien finner vi tegn til noe som kan falle inn under et moderne begrep om skjønnhet. Lignende estetiske tilbøyeligheter finner vi i den skolastiske troen på vitenskapens slektskap med det gudommelige, i den kopernikanske vendingen og fødselen til en vitenskapelig metode, og i den moderne naturvitenskapen. Det er imidlertid ikke slik at skjønnhet og estetikk finnes som et emne for den unge fysikkstudent. Idealet om matematisk skjønnhet og skjønnhetens plass i den matematiske fysikken er langt fra eksplisitt formulert innenfor fagfeltet. Likevel er skjønnhet gjentatte ganger omtalt av ledende fysikere, hvor flere går så langt som å trekke en linje mellom skjønnhet i matematisk formulerte naturlover og disse naturlovens sannhetsgehalt.

I denne teksten vil jeg forsøke å forstå hvordan det estetiske inngår i fysikken – en vitenskap som legger svært strenge føringer for nøyaktighet i metode og reproduserbare av resultater. I den forbindelse melder en rekke spørsmål seg. Spørsmålene jeg skal ta for meg har jeg valgt å dele i tre deler:

- I. Er det riktig å tillegge skjønnhet og estetisk velbehag til matematiske sammenhenger eller er dette bare et såkalt kategorimistak av rent epistemologiske størrelser? Og hvis denne skjønnheten finnes, hvem vil den være tilgjengelig for?
- II. Dersom estetisk velbehag kan følge fra naturvitenskapelig forskning, er dette et rent privat anliggende hos den enkelte forsker eller finnes det allmenngyldige prinsipper for skjønnhet i fysikkens begrepsfelleskap? Vil slike eventuelle allmenngyldige prinsipper være dynamiske eller statiske?
- III. Må idealet om skjønnhet og sannhet i fysikken forstås metafysisk? Og vil det estetiske utfordre grunnleggende antagelser om rasjonalitet og metode i fysikken?

Diskusjon om det estetiske i fysikk og matematikk kan spores tilbake til Platons syn på skjønnhet. I en platonisk skjønnhetsforståelse beror det estetiske aspektet i fysikken på

intellektuell innsikt i grunnleggende strukturer av universet.¹ En platonisk skjønnhetsforståelse anses som utbredt blant fysikere og matematikere i dag², men neppe med de fulle implikasjonene som følger fra Platons ontologi, hvor skjønnhet, sannhet og godhet er tett sammenvevd.

I denne teksten vil jeg fremsette Kants estetikk anvendt på matematisk fysikk som et alternativ til den platonske forståelsen av skjønnhet. Det Kant beskriver som skjønnhet i *Kritikk av dømmekraften*³ (1995) er først og fremst å forstå som skjønnhet i kunst og i naturen – og Kant selv hevder at matematiske uttrykk kun kan inneha fullkommenhet, ikke skjønnhet (KU, §62, s. 223-228). Ved å bygge på nyere forskning på kantiansk skjønnhet i matematisk bevisføring (Breitenbach 2015 & 2020) vil jeg argumentere for at Kants beskrivelse av estetisk velbehag i matematisk demonstrasjon likevel åpner for estetisk velbehag ved betraktning av matematiske uttrykk i fysikken.

I første del argumenterer jeg for at skjønnhet ikke kan tillegges de matematiske sammenhengene selv, men at det er riktig å beskrive velbehaget ved betraktningen av disse sammenhengene som estetisk. Dette estetiske velbehaget er imidlertid tett koblet til erkjennelse (kognitiv forståelse) og er kun tilgjengelig for medlemmer av fysikkens begrepsfellesskap. I andre del tar jeg for meg det estetiske velbehagets eksemplariske gyldighet, og argumenterer for at det heller finnes estetiske paradigmer enn faste prinsipper for skjønnhet i fysikken. I siste del argumenterer jeg for at fysikkens estetiske komponent kan ha en fruktbar epistemologisk funksjon uten å ha en metafysisk kobling. Her kommer jeg også inn på den estetiske komponentens bidrag til vitenskapelig erkjennelse og hvordan dette utfordrer synet på vitenskapelig metode som objektivt sann.

¹ For Platons beskrivelse av skjønnhet og sannhet, se Platons *Symposium* (2001a). For mer spesifikk beskrivelse av hvordan matematikk og fysikk (aritmetikk, geometri, stereoisometri og astronomi) bidrar til innsikt i grunnleggende strukturer i universet, se de tre lignelsene i Bok 6 og 7 av *Staten*, samt påfølgende diskusjon (Platon, 2001b, 507c-509b, 509c-511e, 514a-517a, 522c -530c).

² Tilsynelatende metafysiske påstander om sammenhengen mellom skjønnhet og sannhet fra ledende fysikere kan tyde på dette, som Feynmans påstand: «You can recognise truth by its beauty and simplicity.» (siteret i Cole (1985)) og Einsteins: «The only physical theories which we are willing to accept are the beautiful ones.» (siteret i Wigner (1960))

³ Heretter KD for norsk oversettelse. Tysk originaltekst av *Kritik der Urteilskraft* (Kant, 1922), som anvendes for utvalgte begreper og deler av teksten som ikke er oversatt til norsk («Kritikk av den teleologiske dømmekraft») benevnes KU, og engelsk utgave som anvendes for teksten «First Introduction to the Critique of Judgement» («*Erste Einleitung*»), som ikke gjengitt i hverken KD eller KU, benevnes FI (Kant, 1987).

I.

Om skjønnhet, dømmekraft og erkjennelse

I fysikken finner vi en hel del matematiske sammenhenger og uttrykk som utover å betegnes som naturlover, fundamentale forståelser eller betydningsfulle orienteringsbegreper i vår forståelse av universet også beskrives (spesielt av fysikere selv) som skjønne⁴. I fysikkens begrepsfellesskap forbindes en rekke kjente navn fra vitenskapens historie hovedsakelig med slike matematiske sammenhenger. Derfor ledsages navn som Newton, Maxwell, Helmholtz regelmessig med henholdsvis «2.lov», «lover», «ligning», og de matematiske uttrykkene som disse betegnelsene viser til omhylls av en spesiell glans i begrepsfellesskapet. I uttrykkene hevdes det at skjønnheten kan gjenkjennes, uten at det nødvendigvis lar seg gjøre å sette fingeren på nettopp hva denne skjønnheten består i. Forsøk på å beskrive de matematiske uttrykkenes skjønnhet i form av bestemte kriterier legger gjerne til grunn prinsipper som enkelhet (*simplicity*), naturlighet (*naturalness*) og eleganse (*elegance*). Hossenfelder (2018a; se også 2018b) beskriver disse prinsippene i matematiske sammenhenger i fysikken på følgende måte:

With simplicity I don't mean Occam's razor (...). No, I mean absolute simplicity: a theory should be simple, period. When theories are not simple enough for my colleagues' tastes, they try to make them simpler – by unifying several forces or by postulating new symmetries that combine particles in orderly sets. (...) Naturalness is an attempt to get rid of the human element by requiring that a theory should not use assumptions that appear hand-picked. (...) Then there's elegance, the third and most elusive aspect of beauty. It's often described as a combination of simplicity and surprise that, taken together, reveals new connections. *We find elegance in the 'Aha effect', the moment of insight when things fall into place.* (min utheving)

Dersom Hossenfelders beskrivelse forstås som en beskrivelse av skjønnhet i de matematiske sammenhengene selv (at ligningene innehar en spesiell form for skjønnhet) er det lett å henfalle til platonske begreper om matematisk skjønnhet. I en platonsk estetikk⁵ vil det være uproblematisk å anse matematiske sammenhenger som skjønne: I Platons ontologi er den fysiske verden rundt oss (og den eventuelle skjønnheten av fysiske objekter) underlegne – ja, skyggebilder – av de matematiske sammenhengene. Med sin nærhet til idéverdenen står

⁴ For konkrete eksempler, se f.eks. Farmelos *It Must be Beautiful: Great Equations of Modern Science* (2002).

⁵ Jeg bruker begrepet «platonsk estetikk» her for å betegne en platonsk forståelse av skjønnhet (selv om ikke estetikk-begrepet ikke fantes da Platon skrev sine tekster).

matematikken nærmere skjønnheten selv, enn det den fysiske verden gjør. Matematiske sammenhenger danner bilder av verdens grunnleggende strukturer, av idéene. Bildene er riktignok selv bare etterligninger, skyggebilder eller falmede speilinger av den virkelige skjønnhet. Matematikkens etterligninger ligger for Platon likevel nærmere virkelig skjønnhet enn det noe kunstverk eller naturskjønnhet gjør.

Selv om den platonske estetikken gir en enkel inngang til estetikk og skjønnhet i fysikken er den høyst problematisk. Ikke bare er det lite plass til kunst i denne estetikken⁶, den bringer også med seg en metafysisk sammenheng mellom skjønnhet og sannhet – en sammenheng som også moralsk godhet og det Gode i-seg-selv er en del av. Å benytte en platonsk skjønnhetsforståelse av fysikk og matematikk uten en overveielse av hvordan matematisk skjønnhet kan vende forståelsen mot godhet vil derfor være mangelfull og selektiv. Så selv om den platonske estetikken anses som utbredt blant fysikere og matematikere i dag, er det neppe med de fulle implikasjonene om et verdiladet univers (og matematikken som en nøkkel til gode verdier) som denne skjønnhetsforståelsen bringer med seg.

En annen forståelse av Hossenfelders beskrivelse av skjønnhetskriterier er at opplevelsen av skjønnhet i de matematiske uttrykkene ligger i forestillinger hos subjektet som betrakter nevnte uttrykk. Da kan skjønnheten hvile på et estetisk velbehag hos det betraktende subjektet, fremfor å være iboende i det betraktede objektet. Hossenfelders beskrivelse av at elegansen finnes i en følelse av innsikt (se utheving i sitatet) er kompatibelt med et slikt syn. I Kants estetikk henger nettopp følelser av lyst og ulyst tett sammen med skjønnhet og estetiske dommer. For bedre å forstå hvordan danne sammenhengen kan anvendes i utforskningen av fysikkens estetikk er det hensiktsmessig å begynne med Kants grunnleggende beskrivelser av erkjennelse og dømmekraft.

Alt i fortalen til *Kritikk av dømmekraften* (KD, s.33-37) slår Kant fast at dømmekraften er forbundet til følelsen av lyst og ulyst. I sine to foregående kritikker⁷ har han beskrevet hvordan henholdsvis forstanden relaterer til erkjennelsesevnen og (den praktiske) fornuften til begjærsevnen. Tema for denne, tredje kritikken er dømmekraften, hvis følelse av lyst og ulyst kan fungere som et mellomledd mellom erkjennelsesevnen og begjærsevnen (KD, s. 34; se

⁶ Grunnet sin fjernhet fra sannheten – som etterligninger av etterligninger (fysisk realitet) av etterligninger (matematisk realitet) av idéene – kommer kunstverk spesielt dårlig ut i Platons filosofi (se Platon, 2001b, 595a-602d).

⁷ *Kritikk av den rene fornuft* (2009), heretter KRF, og *Kritikk av den praktiske fornuft* (2015), heretter KPF.

også FI, s. 395-396). Dømmekraften selv beskrives i første innledning⁸ på følgende måte (FI, s. 399-400):

Judgement can be regarded either as mere[ly] an ability to *reflect*, in terms of a certain principle, on a given presentation so as to [make] a concept possible, or as an ability to *determine* an underlying concept by means of a given empirical presentation. In the first case it is the *reflective*, in the second the *determinative*, *power of judgement*. (oversetters uthevinger og tillegg)

I andre innledning beskrives dømmekraften på lignende vis: Den bestemmende dømmekraften subsumerer det særskilte under allmenne transcendentale lover gitt av forstanden, mens den reflekterende dømmekraften søker det allmenne når det særskilte er gitt (i den hensikt å danne begreper). (KD, s. 47) Ifølge Kant-kjenner Béatrice Longuenesse vil det imidlertid være misvisende å betrakte det Kant kaller dømmekraften utelukkende som enten bestemmende eller reflekterende (Longuenesse, 1998, s. 163-166). Hun skriver at i empirisk kunnskap må alle bestemmende dommer ha en reflekterende komponent: Selv om et relevant begrep for subsumering av det særskilte er tilgjengelig, vil det være et første steg hvor vi med den reflekterende dømmekraften søker etter et relevant begrep for det som sanses (Longuenesse, 2003, s. 145). Dette kommer tydelig frem i Kants beskrivelse av et enhetlig prinsipp som ligger til grunn for måten vi reflekterer over gitte objekter i naturen. Prinsippet er at «for all natural things *concepts* can be found that are determined empirically. This means that we can always presuppose nature's products to have a form that is possible in terms of universal laws which we can cognize» (FI, s. 400). Slik kognisjon eller erkjennelse forutsetter at vi reflekterer over naturen som *teknisk*⁹ fremfor rent mekanisk (FI, s. 402), i den forstand at naturen betraktes som formålstjenlig (og ikke tilfeldig) sammensatt. Naturlovene må dermed betraktes «ut fra den enhet som de ville hatt dersom en forstand (om enn ikke vår) hadde gitt dem for å passe vår erkjennelsesevne, i den hensikt å muliggjøre et system av erfaringer ut fra særskilte naturlover» (KD, s. 48; se også FI, s. 404). Merk at dette ikke betyr at vi må anta at en slik forstand faktisk eksisterer (KD, s. 48). Dette prinsippet om naturens *formålstjenlighet* fungerer for Kant som et

⁸ Denne innledningen ble erstattet med en annen før publisering av verket, trolig grunnet den originale innledningens lengde (Cassirer, 1938, s. 97).

⁹ Kant beskriver at den reflekterende dømmekraften går frem teknisk (*technically*) fremfor mekanisk (*mechanically*). Førstnevnte beskrives også som å gå frem kunstnerisk (*artistically*).

apriori¹⁰ prinsipp som utelukkende har sin opprinnelse i den reflekterende dømmekraften. Henry Allison beskriver en slik *logisk formålstjenlighet* som nødvendigvis forutsatt «in the search for empirical concepts under which particulars given in experience can be classified, in the quest for empirical laws in terms of which these same particulars can be explained, as well as in the unification of these laws into theories.» (Allison, 2001, s.5) Både denne klassifiseringen, søken etter lover og forenelsen av lovene faller inn under fysikkens domene.

Prinsippet om naturens formålstjenlighet er for Kant imidlertid kun et prinsipp for logisk bruk av dømmekraften (FI, s. 402). Hvordan kan så dette bringe oss videre mot estetiske dommer og estetisk velbehag i fysikken? En betraktning av hvordan naturen går frem teknisk fremfor mekanisk kan peke oss i riktig retning. Distinksjonen mellom de to måtene å betrakte naturen på (teknisk eller mekanisk) gjøres, ifølge Kant, bare av den reflekterende dømmekraften (FI, s. 406) – en slik distinksjon tillates ikke av den bestemmende dømmekraften. Prinsippet om naturens formålstjenlighet kan ikke være et objektivt naturbegrep, men er noe som tas utelukkende fra den subjektive relasjonen av naturen til sinnets kraft (*power of the mind*) (FI, s. 406). Prinsippet er likevel nødvendig, ifølge Kant. Uten dette kan det ikke være noen systematisk enhet i klassifikasjon av partikulære former gjennom empiriske lover (FI, s. 407), som dem vi finner i fysikken¹¹. Det er imidlertid viktig å være klar over at det ikke er naturens objekter, men dømmekraften selv, som er teknisk: Naturen presenteres som teknisk kun i den grad den harmoniserer med den tekniske delen av dømmekraften (FI, s. 408). Det er vi som tillegger naturen dens formålstjenlighet gjennom vår reflekterende dømmekraft, altså er formålstjenligheten i naturen et dømmekraftprinsipp.

Med formålstjenligheten til grunn kan vi nå gå frem mot hvordan vi systematiserer våre inntrykk og danner erkjennelse. Ifølge Kant (FI, s. 408; se også KD, Innledning VIII; KD §9; KRF, B104/A79) krever ethvert empirisk begrep tre spontane erkjenneshandlinger (*acts of*

¹⁰ Merk at selv om prinsippet om naturens formålstjenlighet betegnes som apriori, så er dette ikke apriori i den forstand at det konstituerer naturens sammensetning. Prinsippet er snarere et heuristisk prinsipp, som «gir retning til vårt studium av naturen, uten at vi med objektiv sikkerhet kan si at naturen i seg selv oppviser en slik orden» (Hammer, s 16). Naturen anses som formålstjenlig kun i relasjon til vår kunnskap om den (Cassirer, s. 128).

¹¹ At systematisk enhet i naturen ikke bare er et mål for å skape sammenhengende erfaring (se KD, s. 49-53) og for å orientere oss i verden generelt, men et mål i fysikken spesielt finner vi uttrykt blant annet i Stephen Hawkings beskrivelse av søket etter en enhetlig teori i fysikken (Hawking, 2002). Den såkalte M-teorien beskrives som en teori som skal forene fundamentale teorier i moderne fysikk og dermed resultere i en «teori om alt». Hawking hevder at: «If we discover a complete theory, it would be the ultimate triumph of human reason: for then we should know the mind of God» (Hawking, 2002, s.112). Overenstemmelsen av Hawkings gudsbegrep med Kants «forstand» som gir naturen til å passe vår erkjennelsesevne er slående.

the spontaneous cognitive power): (1) oppfattelse (*apprehensio*) av mangfoldet fra anskuelsen, (2) sammenfatning (*Zusammenfassung*) av dette mangfoldet i begrepet om objektet og (3) presentasjon (*exhibito*) i apperpsjonen av objektet som svarer til begrepet. Disse handlingene av erkjennelse behøver henholdsvis innbildningskraft¹², tenkning og dømmekraft. (FI, s. 408).

I denne erkjennelsesprosessen er dømmekraften bestemmende ettersom begrepet for erkjennelsen er empirisk (men bygger på den reflekterende dømmekrafts prinsipp om naturens formålstjenlighet). I tilfellene hvor vi kun reflekterer over en persepsjon har vi ikke å gjøre med noe bestemt begrep (FI, s. 408), og vi har ikke lenger å gjøre med en dømmekraft som er bestemmende og reflekterende, men bare reflekterende (*bloß reflektierend*). En utelukkende reflekterende dom skiller seg fra dommer som er reflekterende og bestemmende, ved at den mislykkes i prosessen med å danne begreper¹³ (Longuenesse, 1998, s. 164). Den resulterende dommen vil da enten være en *estetisk dom* eller en *teleologisk dom*. I en estetisk dom har vi å gjøre med en formålstjenlighet som betrakter seg selv som *subjektiv* (en formålstjenlighet uten et formål) og som hverken trenger eller produserer et begrep (FI, s. 409). Dette skyldes et harmonisk forhold mellom innbildningskraften og forstanden, grunnet overenstemmelsen mellom det betraktede objektets form og disse erkjennelsesevnene – som igjen høyner disse evnene. I en teleologisk dom derimot, har vi å gjøre med en *objektiv formålstjenlighet* og naturlig formål (FI, s. 409).¹⁴

Hva skiller så estetiske dommer fra erkjennelsesdommer, utover at de er rene refleksjonsdommer som ikke lykkes i prosessen med å danne empiriske begreper? Om estetiske dommer skriver Kant (KD, s. 59-60):

Den [estetiske dommen] baserer seg ikke på noe gitt estetisk begrep om gjenstanden, og den frembringer ikke noe slik begrep. Når en gjenstands form (og ikke forestillingens materiale, som fornemmelse) i den blotte refleksjonen (uten noen hensikt om å erverve et begrep) bedømmes som grunnlaget for en lyst ved forestillingen om et slikt objekt, så bedømmes også denne lyst som nødvendig forbundet med denne forestillingen, ikke bare for subjektet som oppfatter denne form, men for alle som overhodet feller en dom. Gjenstanden kalles da skjønn, og

¹² Jeg følger oversettets konvensjon med å bruke «innbildningskraft» fremfor det mer moderne «innbilningskraft» her, for å beholde billedannelsesaspektet i begrepet *Einbildungskraft*.

¹³ Dømmekraftens retning er, ifølge Dieter Henrich, fra persepsjon og innbildning til erkjennelse og erkjennelsens begreper (Henrich, 1992, s.49).

¹⁴ Kant anser denne objektive formålstjenligheten som nødvendig for empirisk undersøkelse av organismer, hvis oppførsel vi kun kan forstå gjennom ideen av at formål eller mål (Allison, 2001, s. 5; sml. KD s. 63).

evnen til å dømme ved hjelp av en slik lyst (og, følgelig, på en allmenngyldig måte), kalles for smak.»

Videre beskrives den estetiske dømmekraften som «en særskilt evne til å bedømme ting ut fra en regel, men ikke ut fra et begrep» (KD, s. 63) og Kant slår fast at «den estetiske dømmekraften ikke [bidrar] til erkjennelsen av dens gjenstander» (KD, s. 64).

Overenstemmelsen mellom våre erkjennelsesevner og det betraktede objektets form, som resulterer i et harmonisk spill¹⁵, ligger til grunn for den allmenngyldige følelsen av lyst i møtet med objektet. Denne allmenngyldige følelsen er det estetiske velbehaget, og objektet bedømmes på grunnlag av dette velbehaget som skjønt. Denne estetiske dommen er singulær, men fordrer allikevel med rette alle andres tilslutning, ifølge Kant, ettersom det estetiske velbehaget er grunnlagt på den (både) allmenne og subjektive betingelsen for reflekterende dommer, «nemlig en gjenstands (...) formålstjenlige overenstemmelse med erkjennelsesevners gjensidige forhold» (KD, s. 60). Longueness (2003, s. 153) beskriver det estetiske velbehaget fra bedømmelsen av et objekt som skjønt som tofoldig:

The pleasure we experience in apprehending the object we judge to be beautiful is two-fold. It is a first-order pleasure we take in the free play of our own mental capacities (imagination and understanding). But this pleasure on its own would not yet be sufficient to constitute our experience of what we call aesthetic pleasure, pleasure in the beautiful. What makes the specificity of the aesthetic pleasure is the sense that our first-order pleasure could, and should, be shared by all. This sense of a possible universal shareability of a pleasure is the source of the second order pleasure that is characteristic of aesthetic judgement.

Med dette har vi kommet til et punkt hvor vi kan begynne å nærme oss det estetiske i fysikken ved hjelp av Kants filosofi og estetikk. Redegjørelsen ovenfor har gjort det klart at fysikkens dommer ikke kan betraktes som rene refleksjonsdommer. Arbeid i fysikk og annen vitenskap har erkjennelse som formål, og estetiske dommer har ikke erkjennelsesinnhold. Velbehaget

¹⁵ For en analyse av det harmoniske forholdet som ligger til grunn for en estetisk dom, se Henrich (1992), hvor det legges vekt på Kants beskrivelse av dette som et harmonisk *spill* mellom innbildningskraften i sin *frihet* og forstandens i sin *lovmessighet*.

som ledsager betraktning av fysikkens naturlover, kan allikevel beskrives som et estetisk velbehag. For å se hvordan, må vi ta for oss Kants behandling av matematisk skjønnhet.¹⁶

Estetisk velbehag i matematisk bevisføring

Kant kritiserer den gjengse oppfatningen av skjønnhet i matematikk¹⁷ i andre del av *Kritikk av dømmekraften*, nemlig under §62 som inngår i «Kritikk av den teleologiske dømmekraften». Ifølge Kant kalles matematiske egenskaper skjønne i den gjengse oppfatningen av matematikk, grunnet deres overraskende store (i lys av matematikkens enkelhet) formålstjenlighet for erkjennelse (KU, §62, s. 227). Man skulle heller kalle dette de matematiske egenskapenes relative fullkommenhet (*relative Vollkommenheit*) enn deres skjønnhet (KU, §62, s. 228), da velbehaget tilknyttet dette beror på en objektiv formålstjenlighet, og derfor ikke er et estetisk (men et objektivt) velbehag. Det som kan kalles skjønt i matematikken, legger Kant til, er ikke matematiske uttrykk eller egenskaper, men matematisk demonstrasjon (KU, §62, s. 228, min oversettelse):

Man burde heller kalle en demonstrasjon av slike [matematiske] egenskaper skjønn, da det er gjennom disse at forstanden, som evnen til begrep, og innbildningskraften, som evnen til presentasjon (*Darstellung*) apriori, føler seg forhøyet; ved at i det minste velbehaget (*das Wohlgefallen*) er subjektivt, selv om grunnen til dette ligger i begreper (...)

Etter å ha avvist det gjengse synet på matematikkens estetiske kvalitet (tillagt blant annet Platon av Kant (KU, §62, s.224-225)) fremmer Kant altså argumentet om at matematiske demonstrasjoner kan anses som skjønne. Dette fordi det er i slik demonstrasjon – og ikke i uttrykkene selv – at et subjektivt velbehag finnes.

Hva som ligger i Kants begrep om «matematisk demonstrasjon» blir dermed sentralt for vårt videre dykk inn i det estetiske i fysikken. Breitenbach (2015, s. 962) argumenterer mot en løs forståelse av begrepet «demonstrasjon», hvor man kan tenke demonstrasjon som en representasjon av matematiske objekter og deres kvaliteter – for eksempel i illustrasjoner av geometriske figurer i malerier eller på bygningsfasader. En slik lesning kan være fristende,

¹⁶ Analysen som følger tar utgangspunkt i (men går ut over) Angela Breitenbachs (2015) drøftelse av muligheten for kantiansk skjønnhet i matematiske bevis, ved hjelp av §62 i *Kritikk av dømmekraften*. Hvor Breitenbachs poenger brukes refereres det eksplisitt.

¹⁷ Kant tar for seg et eksempel fra geometri, men skriver at hans analyse også vil gjelde for tall (KU, s. 223-227). Her følger Kant i en tradisjon som kan spores tilbake til Platon, hvor matematikk behandles som sammensatt av geometri og aritmetikk (se Platon, 2001b, Bok 7).

ifølge Breitenbach, da det tillegger skjønnheten til ikke-begrepslig betraktning av geometriske objekter.¹⁸ Kant bruker imidlertid ikke begrepet «demonstrasjon» i ikke-teknisk betydning (som ville omfattet slik representasjon av geometriske figurer): «he unambiguously employs the term [demonstration] in order to denote ‘a proof which is the ground of mathematical certainty’, as he defines it in the Logic Lectures (...). Kant is concerned with proofs that are the very basis of mathematical cognition.»¹⁹ (Breitenbach, 2015, s. 962) Vi kan altså slå fast at det subjektive velbehaget som er særegent for matematikken, ifølge Kant hverken skyldes de matematiske uttrykkes form (dette velbehaget er knyttet til deres objektive formålstjenlighet) eller representasjon av matematiske entiteter ved abstraksjon fra matematiske begreper (som vil innebære demonstrasjon i ikke-teknisk betydning).

Videre argumenterer Breitenbach for en rekke likheter mellom estetisk velbehag og det subjektive velbehaget i matematisk bevisføring: I begge tilfeller finner vi (i) et velbehag i dømmekraften som skyldes en overraskende overenstemmelse mellom objektets formale aspekter og våre erkjennende evner, (ii) et velbehag som grunnes i den subjektive formålstjenligheten og ikke den objektive formålstjenligheten (til objektet selv), (iii) en forhøyning av våre erkjennelsesevner (innbildningskraft og forstand) og (iv) vi ledes til bedre kjennskap (*intimation*) av det over-sanselige som grunnlag for harmonien i våre intellektuelle evner. Fra dette slutter hun at det med Kant er plausibelt å kalle velbehaget vi føler gjennom matematiske bevis et estetisk velbehag (Breitenbach, 2015, s. 968.):

For although mathematical demonstrations lead to determinate judgments about mathematical objects that leave no room for the free play of the imagination, what elicits the experience of beauty in mathematics are not those objects or their properties themselves, or indeed their conduciveness to the solution of mathematical problems, but rather the free activity of our intellectual faculties that is employed in mathematical demonstration.

Merk at dette ikke begrenser matematisk skjønnhet til den første utledningen eller «oppdagelsen» av et matematisk bevis: «For, in going through a proof presented to us, we may follow through and thus appreciate the creative thought processes that could have led to its

¹⁸ Ved abstraksjon bort fra begrepene vi forbinder med geometriske figurer vil slike dommer være estetiske dommer om *ren skjønnhet* (se KD, §16, s. 99-102).

¹⁹ Kant selv hadde langt fra en løs kjennskap til matematikken og fysikkens rigorøse metoder og bevis – han hadde en bakgrunn nettopp fra disse fagfeltene.

discovery» (Breitenbach, 2015, fotnote 22). Innbildningens frie aktivitet vil både inngå som en ledende hjelp i matematikerens originale utledning og i matematikkstudentens gjentakelse av utledningen og oppdagelsesprosessen (Breitenbach, 2015, s. 967).

Vi kan nå ta for oss det første spørsmålet jeg stilte innledningsvis, nemlig hvorvidt det er riktig å tillegge skjønnhet og estetisk velbehag til matematiske sammenhenger eller om dette er et kategorimistak. Vi kan slå fast at det innenfor en kantiansk estetikk ikke er riktig å tillegge skjønnhet til de matematiske sammenhengende selv – dette er skjønnhetsforståelsen som Kant kritiserer som den gjengse oppfatningen av matematisk skjønnhet. Den relative fullkommenheten som beundres (og som omtales som skjønnhet) henger sammen med objektiv formålstjenlighet, hvor matematikkens egenskaper dømmes ut fra prinsippet om naturens enhetlige sammensetning og formålstjenlighet. Dette betyr imidlertid ikke at de matematiske uttrykkene i fysikken utelukkende har en funksjon for vår bestemmende dømmekraft (som subsumerer partikulære under bestemte begreper), men at en ledsagende estetisk komponent til kognitive dommer i matematikken ikke vil være en ren smaksdom om skjønne objekter. Matematiske uttrykk er ikke rene smaksgjenstander, og den eventuelle skjønnheten i fysikken vil en finne utenfor disse uttrykkene.

I den matematiske bevisføringen åpnes det opp for estetisk velbehag i matematikken og i den matematiske fysikken²⁰. På dette punktet vil jeg imidlertid gå lenger enn Breitenbach og hennes analyse av det subjektive velbehaget beskrevet av Kant under §62. I en fysikers omgang med en matematisk sammenheng benyttes det matematiske uttrykket som et språk eller et begrep for videre oppdagelser innenfor fagfeltet. Men idet fysikeren stopper opp og betrakter det matematiske uttrykket i et forsøk på å forstå eller kontekstualisere uttrykket, bringer fysikeren i sitt blikk med seg nettopp utledningen og gjenoppdagelsen av sammenhengene som ligger til grunn for uttrykket. Slik gjenoppdages den matematiske sammenhengen, gang på gang, i fysikerens arbeid. Dersom innbildningskraftens frie aktivitet (og det ledsagende velbehaget) inngår både i matematikerens originale utledning og i matematikkstudentens gjentakelse av utledningen og oppdagelsesprosessen, slik Breitenbach hevder, inngår denne aktiviteten også i fysikerens gjenoppdagelse i betraktningen. Merk at betraktningen ikke er begrenset til denne frie aktiviteten i innbildningskraften, da den har erkjennelse ved hjelp av begreper som formål.

²⁰ Forskjellen på matematikk og matematisk fysikk ligger utenfor omfanget til denne teksten.

Likevel bringer den seg en komponent som er bare reflekterende²¹. I denne reflekterende bruken av dømmekraften kommer en skjønnhet til syne – skjønnheten i forstanden og innbildningskraftens forhøyning og det resulterende subjektive velbehaget. Det resulterende subjektive velbehaget innehar begge komponentene som Longuenesse har identifisert i det estetiske velbehaget. Det innehar et velbehag i det frie spillet i våre erkjennelsesevner og i følelsen av den universelle gyldigheten av dette velbehaget.

Et estetisk velbehag (eller lyst) uttrykker, ifølge Kant, ikke annet enn at «objektet passer til de erkjennelsesevner som er satt i spill når man dømmer reflekterende». (KD, s. 58) Med at objektet passer til erkjennelsesevnenes menes, som allerede nevnt, at overenstemmelsen mellom erkjennelsesevnenes og det betraktede objektets form (i forestillingen) resulterer i et harmonisk spill. Dette harmoniske spillet finner sted i det dømmende subjektet, og den estetiske dommen («X er skjønn») vil dermed alltid være en *subjektiv* dom. I og med at følelsen av lyst skyldes et harmonisk spill av subjektets erkjennelsesevner – erkjennelsesevner som ifølge Kant er felles for alle dømmende subjekter – bedømmes denne lysten som nødvendigvis forbundet med forestillingen av objektet som betraktes, «ikke bare for subjektet som oppfatter denne form, men for alle som overhode feller en dom» (KD, s. 59). Den estetiske dommen, som uttrykker at gjenstanden er skjønn basert på følelsen av lyst, vil derfor ikke bare være subjektiv, men også *allmenngyldig*. Estetiske dommer er med andre ord *subjektivt allmenngyldige* dommer²², som fordrer andres enighet (KD, §6-7, s. 80-81). Fordringen, som baserer seg på det felles grunnlaget for lystfølelse i erkjennelsesevnenes overenstemmelse med objektets form, er normativ (den har *eksemplarisk* gyldighet). Den uttrykker nemlig ikke at alle andre *vil* føle samme velbehag, men at de *bør* føle det (KD, §22, s. 111). At en gjenstand kalles skjønn skyldes, ifølge Kant, velbehagets allmenne gyldighet (KD, §9, s. 87) (som igjen beror på de fellesmenneskelige erkjennelsesfunksjonene). Videre hevder Kant at vi i en smaksdom tilskriver andre velbehaget vi selv føler, «nærmest som om det å kalle noe skjønt innebar å anse

²¹ At en situasjon hvor dømmekraften er bestemmende og reflekterende også inkluderer en dømmekraft som er bare reflekterende, kan høres paradoksalt ut, men trenger ikke være det. Dette synet støttes av Dieter Henrich, som skriver at «[t]he aesthetic state of the harmonious play is embedded in many other cognitive operations (...) The understanding can entertain any knowledge with regard to the object it might possess. It would not disturb the aesthetic situation or contribute to it in any way.» (Henrich, 1992, s. 52).

²² Rent subjektive dommer finner vi i bedømmelse av det behagelige. Kant forbinder sansesmak med det behagelige, og hevder at påstander som at «X er behagelig *for meg*» er hva som menes når noen uttrykker at noe er behagelig. Denne typen «dom, som hviler på en privat følelse, og gjennom hvilken han sier om en gjenstand at han liker den, innskrenker seg til [den dømmende] person alene» (KD, §7, s. 81).

skjønnheten som en begrepsmessig bestemt beskaffenhet ved gjenstanden: men uten relasjon til subjektets følelse, er skjønnhet i seg selv ingenting» (KD, §9, s. 87).

Hvis vi nå vender tilbake til skjønnhet i matematisk fysikk, ser vi at vi i å omtale skjønnhet i matematikk og fysikk ikke behøver å henfalle til en platonisk forståelse av skjønnhet. Å hevde at et matematisk uttrykk er skjønt betyr ikke at vi må anse skjønnheten som en begrepsmessig bestemt beskaffenhet ved uttrykket selv. Vi kan vel så gjerne (om enn ubevist) vise til skjønnheten i demonstrasjonen ved gjenoppdagelsen i vår forståelse av uttrykket. Dette kan vi kalle det matematiske uttrykkets skjønnhet. Denne skjønnheten skiller seg fra uttrykkets relative fullkommenhet (som angår uttrykkets beskaffenhet) ved at det relaterer seg til et subjektivt velbehag fra våre erkjennelsesevners frie spill og harmoniske overenstemmelse. Denne tilskrivelsen av skjønnhet skyldes ikke en ren smaksdom, men en kognitiv dom som bringer med seg et estetisk velbehag.

Da det subjektive velbehaget ved matematiske demonstrasjoner er et estetisk velbehag kan vi hevde at det bør deles av alle dømmende personer. Vi kan, med andre ord, hevde at det er et subjektivt allmenngyldig velbehag, og at den estetiske dommen (tilleggelsen av skjønnhet til demonstrasjonen) vi baserer på dette likeledes er subjektivt allmenngyldig. Det kan imidlertid innvendes at dette velbehaget ikke er allmenngyldig, på grunnlag av den store ulikheten i velbehag som personer møter i sin omgang med matematiske uttrykk. Mange minnes sin tid som elev i matematikk- og naturfagundervisning med en bestemt følelse av mishag snarere enn velbehag. En slik lærings situasjon skulle i utgangspunktet kunne tjene som eksempel på en situasjon hvor man opplever det subjektive velbehaget ved matematisk demonstrasjon og oppdagelse. En forgjeves jakt etter et slikt velbehag hos mang en elev kan oppfattes som at det estetiske velbehaget i matematikken ikke har allmenn gyldighet, og dermed ikke kan spores tilbake til harmonisk overenstemmelse i våre erkjennelsesfunksjoner.

Denne innvendingen kan tilbakevises ved å nok engang minne om hva som betraktes som opphavet til velbehaget og hva som betraktes som skjønt i den matematiske demonstrasjonen. Det er ikke omgangen med matematiske uttrykk i seg selv som utgjør velbehaget, hverken lettheten eller strevet ved å lære disse uttrykkene. Det er i den matematiske demonstrasjonen – forstått som bevisføringen, utledningen og/eller gjenoppdagelsen av denne – at skjønnheten

ligger.²³ I en slik matematisk utledning kan det tenkes at en møter motstand. Motstanden møtes av innbildningskraften og forstandens i søken etter begreper som kan bringe oss videre i systematisering av erfaringen i et begrep. Men hverken å komme videre eller å ikke gjøre det i den matematiske oppdagelsen – altså hverken å mestre eller ikke mestre den matematiske bevisprosessen – er det samme som å lykkes eller mislykkes i prosessen med å danne begrep. Det subjektive velbehaget knyttet til matematisk demonstrasjon henger sammen med en vellykket erkjennelsesprosess: «velbehaget [i den matematiske demonstrasjonen] er subjektivt, selv om det ligger til grunn begreper (...)» (Kant, KU, §62, s. 228). Mislykketheten med å danne begrep – en mislykkethet vi ønsker velkommen (Longuenesse, 2003, s. 146) – ligger derimot i formålstjenligheten uten formål, som finnes i harmonisering i erkjennelsesevnene når vi betrakter vår erkjennelse gjennom det matematiske beviset som sådan. I denne blir erkjennelsen selv et underlegent mål, og velbehaget det overlegne, nettopp slik Longuenesse (2003, s. 146) beskriver en ren refleksjonsdom.

Vi kan holde fast ved at velbehaget i den matematiske demonstrasjonen er subjektivt allmenngyldig. Det at ikke alle kommer til punktet hvor de opplever dette velbehaget i matematikken, ettersom ikke alle mestrer den matematiske prosessen i den grad at den matematiske demonstrasjonen overhode kan utføres, er ikke det samme som at velbehaget ved demonstrasjonens skjønnhet ikke er allmenngyldig. Vi kan forlange andres enighet til denne skjønnheten i matematikken, men likevel ikke nødvendigvis forvente å finne den hos subjekter som ikke har det begrepslige grunnlaget for å utføre den matematiske utledningen. Slik sett kan vi kvalifisere smaksdommer om fysikkens matematiske skjønnhet som *subjektivt begrenset-allmenngyldige*. De er *subjektive* da de hviler på et subjektivt velbehag, *allmenngyldige* da velbehaget beror på harmonisering av erkjennelsesfunksjoner som er felles for alle mennesker, men *begrenset* da evnen til utføring av et matematisk bevis bygger på inngående kunnskap om og erfaring med teoriene som inngår i det matematiske beviset.

Et eksempel

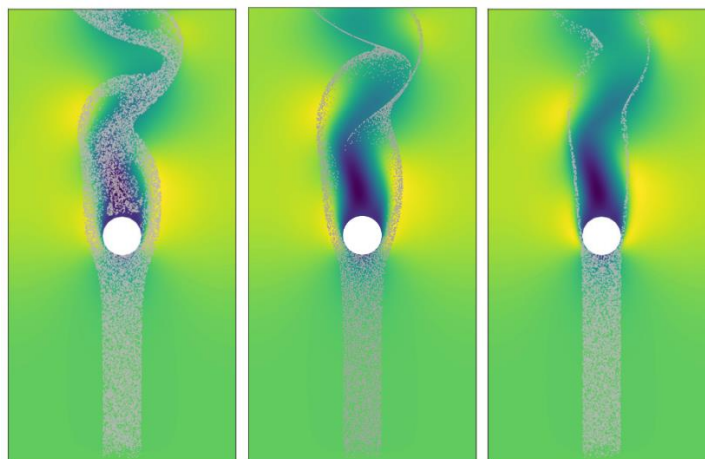
Som et eksempel på det særegne ved det subjektive velbehaget i den matematiske fysikken kan vi ta for skjønnheten knyttet til ligningssettet som beskriver inkompressible Newtonske fluider

²³ Men heller ikke i den matematiske demonstrasjonen finnes skjønnheten som en ren smaksdom om et objekts beskaffenhet. Å lese gjennom et bevis som noen andre har skrevet ned vil ikke nødvendigvis bringe med seg hverken estetisk velbehag eller en opplevelse skjønnhet.

(som vann, luft, etc.). Dette ligningssettet, Navier-Stokes ligninger for inkompressible strømninger²⁴, og en illustrasjon av ligningssettets predikative kraft er gitt under²⁵:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0, \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{u} + \rho \mathbf{g}, \quad (2)$$



En kort betraktning av uttrykkene (1) og (2) er neppe grunnlag for mye estetisk velbehag, hverken for fysikere eller andre. For kjennere av ligningene og komponentene som inngår, kan imidlertid ligningssettets relative fullkommenhet fort komme i øyensyn. I denne fullkommenheten ligger ligningssettets potensiale til å oppklare og predikere utfallet av et enormt antall ulike problemer i fysikken. Slike utfall er eksemplifisert i den grafiske representasjonen av tre instanser av strømningsfeltet til et fluid med partikler i illustrasjonen ovenfor. Illustrasjonen støtter opp om ligningenes fullkommenhet og objektive formålstjenlighet, ved å bidra til erkjennelse av fysiske prosesser og tekniske problemer.

Vi kan også felle rene smaksdommer om illustrasjonen selv. Betraktet som en komposisjon av mønster, farger og geometriske figurer, kan rene estetiske dommer felles om skjønnheten til illustrasjonen basert på det subjektive velbehaget hos det betraktende subjektet. I en slik

²⁴ Her legger kanskje leseren merke til at jeg har valgt et noe kontroversielt eksempel blant de mange kanoniserte uttrykkene i fysikken. I motsetning til Newtons andre lov, Maxwells lover og Einsteins masse-energi-ligning, er Navier-Stokes ligning et langt og – ved første øyekast – «rotete» uttrykk. Desto viktigere blir kjennskapen til uttrykket gjennom det begrepelige hos subjektet som feller sin estetiske dom.

²⁵ Illustrasjonen er hentet fra Aarnes (2018). I denne ser vi en grafisk representasjon av resultater fra en datasimulering, som utover ligningene selv er avhengig av en rekke parametere som inngår i ligningen (fysiske konstanter, simuleringsdomene, diskretiseringsmetode, osv.). Simuleringene er utført med en noe mer komplisert variant av Navier-Stokes ligninger enn den oppgitt i ligningene (1) og (2), nemlig dem for kompressibel strømning, med tillegg av Lagrangian-partikler i strømmingen.

smaksdom (hvor illustrasjonen er objekt for den estetiske dømmekraften) er illustrasjonen betraktet utenfor den begreplige sammenhengen som er dens opphav (fysikken): Den naturvitenskapelige (og dermed også kognitive) konteksten er satt ut av spill til fordel en rent estetisk bedømmelse. Den resulterende rene smaksdommen ledsages ikke av erkjennelse, men kun av en følelse av lyst eller ulyst.

For en betraktning som gir rom for den særegne skjønnhet jeg har argumentert for, nemlig den matematiske skjønnheten i fysikken, trengs imidlertid en annen tilnærming. En må da forstå det matematiske ligningssettet, og finne skjønnheten gjennom denne forståelsen. I en slik betraktning vil Newtons 2. lov og utledning av Navier-Stokes ligninger fra den være relevant for dette eksempelet (se f.eks. White, 2016, Kap. 4). La meg igjen presisere at det ikke er beviset som sådan som utgjør det skjønnne, og en redegjørelse av dette beviset her vil derfor ha lite for seg i den hensikt å tydeliggjøre skjønnheten. Å finne skjønnheten i en betraktning av uttrykket krever at en har gjentatt dette beviset tilstrekkelig mange ganger (gjerne gjennom en mangeårig utdanning) til at en (nærmest) spontant kan erkjenne beviset selv, og nyte et ikke-begreplig subjektivt velbehag fra denne begreplige erkjennelsen.

I motsetning til i illustrasjonen, finner vi ikke en skjønnhet i de matematiske uttrykkene selv utenfor skjønnheten knyttet til matematisk demonstrasjon. Dette eksemplifiserer hvordan den estetiske komponenten av dommer som gjelder disse matematiske uttrykkene er subjektivt begrenset-allmenngyldige: Det er usannsynlig at en som ikke er en del av fysikken og matematikkens begrepsfellesskap vil si seg enig i den estetiske dommen, da vedkommende ikke vil ha tilgang på det estetiske velbehaget (vedkommende kan dermed heller ikke si seg uenig i dommen). Tilgangen er imidlertid ikke begrenset i den forstand at vedkommende aldri kan få tilgang til nevnte velbehag. Skolering i fysikk og matematikk vil kunne åpne veien mot estetisk velbehag i den matematiske fysikken.

II.

Estetiske paradigmer

At tilgangen på et estetisk velbehag knyttet til refleksjon over egen erkjennelse finner sted i et spesielt begrepsfellesskap bringer oss videre til det andre spørsmål stilt innledningsvis. Her spurte jeg om det finnes allmenngyldige prinsipper for skjønnhet innenfor dette fellesskapet og om disse (hvis de finnes) er dynamiske eller statiske. Så langt har vi sett at skjønnheten i fysikken ikke er iboende i de matematiske uttrykkene selv. Skjønnhet og estetisk velbehag finnes i fysikernes estetiske opplevelse, som ledsager kognitiv forståelse i forbindelse med

demonstrasjon og forståelse av fysikkens matematiske naturlover. Slik er skjønnhet i fysikken ikke resultatet av en ren estetisk dom (en smaksdom), men en kognitiv dom (en erkjennelsesdom) som bringer med seg et estetisk velbehag. Opplevelsen av skjønnhet gjennom forståelse i fysikken vil være knyttet til en forståelse av noe som betraktes som riktig eller sant²⁶, og at det som betraktes som sant i fysikken ikke er en statisk størrelse kan vi se av vitenskapshistorien. Når skjønnhet er knyttet til forståelse, er det lite trolig at hva som oppleves som skjønt i fysikken forblir upåvirket av hva som anses som riktig vitenskap i fysikken. Altså vil det estetiske i fysikken neppe være en statisk størrelse.

Innledningsvis trakk jeg frem prinsippene Hossenfelder (2018a) la til grunn for skjønnhet i fysikkens ligninger, nemlig enkelhet, naturlighet og eleganse. Mens enkelhet og naturlighet knyttes til symmetrier og antagelser, beskriver Hossenfelder eleganse som noe en finner i et øyeblikk av innsikt i omgang med det matematiske uttrykket. Denne eleganse har likhetstrekk med den særegne matematiske skjønnheten, med sitt subjektive velbehag som ledsager forhøyelsen av erkjennelsesfunksjonene i matematisk demonstrasjon. De to andre prinsippene, enkelhet og naturlighet, vil det derimot være mer riktig å betegne som beskrivelser av objekter for en smaksdom – og som jeg alt har argumentert for er ikke matematiske uttrykk slike objekter. Vi ser altså en sammenblanding av den estetiske komponenten som ledsager erkjennelse i matematisk demonstrasjon med rene estetiske dommer (smaksdommer) i Hossenfelders beskrivelse av skjønnhet i fysikk.

Ettersom skjønnhet i fysikken ikke er knyttet til en ren smaksdom, vil jeg fokusere på velbehaget som ledsager den matematiske demonstrasjonen når vi nå skal vurdere hvorvidt det finnes statiske eller dynamiske allmenngyldige prinsipper for skjønnhet i fysikkens begrepsfellesskap. Dette velbehaget har til felles med velbehaget ved en ren smaksdom at det er subjektivt og allmenngyldig. Kravet om allmenngyldighet i det estetiske velbehaget (og den resulterende dommen) er ifølge Kant kun *eksemplarisk*: «Den nødvendighet som tenkes i en estetisk dom, kan bare kalles *eksemplarisk*, dvs. nødvendigheten i *alles* tilslutning til en dom som blir betraktet som et eksempel på en allmenn regel man ikke kan angi.» (KD, §18, s. 108) Det som ligger til grunn for denne nødvendigheten er forutsetningen om en felles sans (*sensus communis*) (KD, §20, s. 109), som «er den nødvendige betingelsen for vår erkjennelses allmenne meddelbarhet» (KD, §21, s. 110). Det er gjennom en slik felles sans at de estetiske

²⁶ Jeg vil ikke ta for meg begrepet «sannhet» her, og begrenser meg til å bemerke at det ikke er nødvendig med en strengere betegnelse på sannhet i naturvitenskapen enn at en «sann teori» er den beste nåværende forklaring på et fenomen.

dommene får sin *normative* eksemplariske gyldighet. Denne normative gyldigheten vil være gyldigheten til et mønstereksempel (παράδειγμα)²⁷: Som eksemplarsk gyldig utgjør ikke en singulær dom basert på et estetisk velbehag bare et eksempel på hva det estetiske i fysikken er, dommen staker ut kursen for hva det estetiske i fysikken skal og bør være.

I *The Structure of Scientific Revolution* (1962) benytter Thomas Kuhn fysikken som eksempel for å beskrive hvordan vitenskapene utvikler seg over tid: en periodisk veksling mellom normalvitenskap, krise og revolusjon. Innenfor normalvitenskapens periode ligger et paradigme²⁸ til grunn, et mønstereksempel som det foreligger enighet om at er en viktig vitenskapelig prestasjon. Mønstereksempler anerkjennes som arbeid som skal beundres og etterlignes. Slike mønstereksempler er normative, i det at de veileder hvordan normalvitenskapen (skal og bør) utføres og hva som regnes som vitenskap.

Vi kan finne flere overensstemmelser mellom mønstereksemplene i Kuhns paradigmateteorien og den eksemplariske gyldigheten av det estetiske velbehaget som vi finner i fysikken. Deres normative karakter står frem som spesielt viktig. Det normative aspektet av slike mønstereksempler og eksemplarske dommer er ikke bare med på å peke ut hva korrekt vitenskap og estetisk velbehag i fysikken er. Det er også med på å reprodusere sin gyldighet i en gitt periode av normalvitenskap – innen en periode hvor den allmenne meddelbarheten av erkjennelser og estetisk velbehag i vitenskapen har en bestemt form.

Reproduserbarheten har å gjøre med innlemmelsen av nye medlemmer i fysikkens begrepsfellesskap. Hvilke matematiske uttrykk en ung fysikkstudent blir kjent med er avhengig av vitenskapsfellesskapets oppfatning av hva som er vitenskap (og hva som ikke er det). Gjennom sin utdanning opparbeider studenten seg inngående kjennskap til og forståelse av fysikkens mønstereksempler. I en moderne fysikkutdanning vil dette typisk være gjennom matematiske sammenhenger knyttet til kjente navn som Newton, Maxwell, Schrödinger,

²⁷ Kant beskriver noe lignende for rene smaksobjekter når han omtaler eksemplarske smaksprodukter. Slike eksemplarske smaksprodukter vil utgjøre forbilder for hva en med god smak vil anse som skjønt. Disse eksemplarske smaksproduktene finner man ved å betrakte overensstemmelse i velbehaget «hos alle folk til alle tider» (KD, §17, s. 102).

²⁸ Merk at i Kuhn (1962) benyttes begrepet paradigme i både bred og smal forstand. I bred forstand kan et paradigme vise til en bestemt tilstand av normalvitenskap – en epoke hvor et bestemt bilde av hva vitenskap er, er rådende. Gjennom en vitenskapelig krise og -revolusjon forekommer et paradigmeskifte. I smal forstand viser paradigme til et bestemt mønstereksempel (også kalt et *exemplar* av Kuhn). Det ligger til grunn en konsensus i vitenskapsfellesskapet om at mønstereksemplet er en vitenskapelig bragd og et rådende eksempel på hva korrekt vitenskap er. For å unngå forvirring bruker jeg begrepet mønstereksempel fremfor paradigme videre, for å omtale paradigme i smal forstand.

Navier, Einstein, Heisenberg, og flere. Fysikkstudenten lærer imidlertid ikke faget ved å lese side opp og side ned *om* matematiske uttrykk og eksperimenter, men ved å gjenta eksperimentene og *utføre* nødvendige utledninger og «oppdagelsesprosesser» som resulterer i disse matematiske uttrykkene (sml. Breitenbach, s. 967). Som vi alt har sett følger det estetiske velbehaget ved den matematiske demonstrasjonen erkjennelsen som oppleves idet disse uttrykkene «oppdages» og «gjenoppdages». Slik ledsager de eksemplariske estetiske dommene innlemmelsen i begrepsfellesskapet gjennom forståelsen av de rådende mønstereksemplene. For den kommende fysikeren går altså utviklingen av en følelse av velbehag ved internaliseringen av de matematiske demonstrasjonene hånd i hånd med utviklingen av den metodiske forståelsen av vitenskapens indre logikk.

Hva betyr det så at den allmenne meddelbarheten av erkjennelser og estetisk velbehag i vitenskapen har en bestemt form innenfor en periode av normalvitenskap? Dette har å gjøre med at begrepsapparatet (og dermed også meddelbarheten) av ideer, problemstillinger og lignende, gjennomgår en drastisk endring i et paradigmeskifte (ifølge Kuhn er begreper, metoder ol. fra to ulike paradigmer inkommensurable). I utgangspunktet skulle vi ikke tro at en lignende inkommensurabilitet finnes i det estetiske velbehaget i fysikken, da velbehaget skyldes erkjennelsesevnenes spill og forhøyningen av disse evnene. Og selv om dette velbehaget i matematiske demonstrasjoner beror på erkjennelse gjennom begrep, er det ikke nødvendigvis avhengig av innholdet i begrepene selv. Den estetiske erfaringen i vitenskapen vil imidlertid være avhengig av hvilke uttrykk som regnes som en del av vitenskapen, på to ulike måter. For det første vil det være disse eksemplariske uttrykkene (og lignende uttrykk, som aksepteres av det rådende paradigmet som gyldig metode) som vil utledes og benyttes i begrepsfellesskapet (både i innlemmelsen og i aktiv deltagelse her). Dermed er det gjennom disse uttrykkene at en utsettes for muligheten til å føle et estetisk velbehag. For det andre er det disse uttrykkene som vil regnes som sanne. Dermed er det disse uttrykkene som resulterer i kognitiv erkjennelse, en erkjennelse som er nødvendig for estetisk erfaring i fysikken (ettersom vi ikke finner rene smaksdommer her). Altså vil skjønnheten knyttet til demonstrasjon av de matematiske sammenhengene i fysikken ikke være forbundet med tilfeldige sammenhenger, men med matematiske sammenhenger som aksepteres innenfor vitenskapens samtidige paradigme. Med det kan vi slå fast at det estetiske i fysikken ikke er en statisk størrelse.

Heller enn å lete etter en fastsatt skjønnhet i naturvitenskapen, kan vi søke etter estetiske paradigmer. Redegjørelsen ovenfor tyder på at slike estetiske paradigmer er en del av vitenskapelige paradigmer, lignende slik den estetiske komponenten i det matematiske beviset

er en del av den oppnådde erkjennelsen. I motsetning til Hossenfelders beskrivelse av kriterier for skjønnhet i fysikken, ser vi at den eksemplariske gyldigheten til de estetiske dommene innenfor et paradigme ikke angår matematiske uttrykk som smaksobjekter, men som vitenskapsobjekter – det vil si erkjennelser og teorier som passer inn under fellesskapets forståelse av det som regnes som gyldig vitenskap.

III.

Estetikk, metafysikk og metode

Under siste spørsmål innledningsvis, spurte jeg om skjønnhet og sannhet i vitenskapen må forstås metafysisk, og hvorvidt det estetiske vil utfordre grunnleggende antagelser om rasjonalitet og metode i fysikken. Ved hjelp av redegjørelsen av hva som utgjør skjønnhet i fysikken og hvordan det estetiske inngår i et vitenskapelig paradigme, kan vi nå ta fatt på disse spørsmålene.

Innledningsvis siterte jeg fysikerne Dirac, Einstein og Feynmans påstander «A physical law must possess mathematical beauty», «You can recognise truth by its beauty and simplicity» og «The only physical theories which we are willing to accept are the beautiful ones». I disse, og lignende påstander finner vi (tilsynelatende) troen på en metafysisk kobling mellom sannhet og skjønnhet hos ledende fysikere²⁹. At skjønnhet er nødvendig – eller i det minste en god rettleider – for å finne sann beskrivelse av naturen er en oppfatning som kritiseres kraftig av Hossenfelder (2018b). Ifølge Hossenfelder er koblingen av sannhet og skjønnhet i fysikken både en feiloppfatning og et hinder for vitenskapelig fremgang, og noe som resulterer i fiksering på supersymmetrier, multiverser³⁰ og lignende, i dagens teoretiske fysikk. Vi har alt sett at Hossenfelder blander sammen smaksdommer generelt og den reflekterende dømmekraftens virkemåte i fysikken. Vil en slik sammenblanding også påvirke hennes konklusjon om skjønnhet som et hinder for vitenskapelig fremgang?

En lignende sammenblanding som gjøres av Hossenfelders finner vi hos Pigliucci (2019), hvor Dirac og Feynmans sammenkobling av sannhet og skjønnhet nærmest latterliggjøres³¹. Spesielt

²⁹ Dirac, Feynman og Einstein har alle tre vunnet Nobelprisen i fysikk, og anses som blant de største og mest innflytelsesrike fysikerne fra forrige århundre.

³⁰ Multivers-hypotesen er en spesielt kontroversiell teori som kun delvis anerkjennes som legitim vitenskap innenfor den moderne fysikken. Kort sagt går den ut på at det finnes en uendelig mengde universer som kan beskrives med de kjente naturlovene, men med ulik fiksering av empirisk bestemte konstanter som inngår i naturlovene.

³¹ «The moral of the story is that physicists should leave philosophy of science to the pros, and stick to what they know best» (Pigliucci, 2019).

Feynmans utsagn om at man kan gjenkjenne sannhet ved dens skjønnhet og enkelhet får gjennomgå, som en metafysisk prinsipp som ikke kan forsvares. Med utsagn som «*The test of all knowledge is experiment. Experiment is the sole judge of scientific “truth”*» (Feynman, Leighton & Sands, 1963, s. 1-1) og «If it disagrees with experiment, it is wrong» (Feynman, ca. 1960) kan vi imidlertid trekke i tvil hvorvidt Feynman selv legger til grunn en metafysisk kobling mellom sannhet og skjønnhet. Med en (svært) veldedig tolkning av Feynmans «You can recognise truth by its beauty and simplicity» kan vi argumentere for at Feynman kobler sannhet til estetisk velbehag og relativ fullkommenhet. Skjønnheten finner vi i erkjennelsesprosessen, altså skjønnheten i demonstrasjonen, mens den relative fullkommenheten finner vi i uttrykket selv. Slik forstått kan det estetiske i vitenskapen ha en heuristisk funksjon, uten en sterkere metafysisk kobling: vi gjenkjenner skjønnheten i vitenskapelig erkjennelse på veien mot vitenskapelig sannhet. Breitenbach er inne på en slik heuristisk funksjon, når hun beskriver innbildningskraftens frie spill – både i vitenskap og kunst – som «‘exploratory’, ‘fictive’, ‘elaborative’, ‘constructive’, and ‘thematizing’ imaginings.» (Breitenbach, 2020, s. 74). Samtlige av disse aktivitetene i innbildningskraften vil være nyttige innenfor fysikkens forskning. Hva vil så dette bety for sannheter i vitenskapen?

Naturvitenskapen, slik vi kjenner den, fremstår som rasjonell, metodisk og kalkulert. «Den Vitenskapelige Metode», hvis sannhet er udiskutabel, settes gjerne som sannhetsvitne til enhver teori. Med sin nærhet til den «objektivt sanne» matematikken, og som selve opphavet til og fanebærer for den vitenskapelige metoden, står fysikken som kongen på haugen av naturvitenskapene (fulgt av kjemi, biologi, geologi, osv.), og er ofte misunnet av andre fagfelt for sin (tilsynelatende) klarhet og sannhet.³² En slik forståelse gir lite rom for det estetiske, og utsagn om skjønnhet fra fysikere (som sitatene ovenfor) vil derfor kunne oppfattes som svært kontroversielle.

Denne forståelse av naturvitenskap, med sitt fokus på rasjonalitet og objektivitet, representerer et utbredt syn på naturvitenskap generelt og fysikk spesielt. Forståelsen har imidlertid ikke stått uimotsagt det siste århundret. I *Against Method* (1975) argumenterer Feyerabend direkte mot at det finnes en (objektiv) vitenskapelig metode, en Metode med stor M, og går dermed hardt ut mot troen på en objektiv vitenskap fundert i objektiv metodikk.

³² Begrepet *physics envy* benyttes gjerne om måten matematikk og ligninger benyttes innenfor fagfelt som økonomi og psykologi for at forskningen skal fremstå som mer troverdig (Rapley, 2018)

Det estetiskes rolle i fysikken, som jeg har tatt for meg i denne teksten, bygger opp under Feyerabend's poeng. Det estetiske i de vitenskapelige paradigmenes, må, som vi har sett, forstås med utgangspunkt i den reflekterende (og ikke den bedømmende) dømmekraft. Det estetiske velbehaget som ledsager erkjennelsesdommene er allmenngyldig, men ikke objektivt av den grunn. Fremfor å stå som objektive sannheter, vil de estetiske dommene kun fordre andres enighet, ikke kreve den ved lovmessighet. At en estetisk komponent inngår i erkjennelser i fysikken betyr ikke at fysikkens teorier og begrunnelser er rent estetiske. Men forståelsen av disse teoriene ledsages av en estetisk komponent, et subjektivt estetisk velbehag. Dette velbehaget er ikke ubetydelig. Selv om det estetiske velbehaget ikke er en objektiv størrelse, vil det kunne spille en stimulerende rolle i søken etter vitenskapelige sannheter. Det vil både inngå som veiledende (om enn ikke bestemmende) i den vitenskapelige utforskningen og normativt dannende for videre teorier og perspektiver innenfor et vitenskapelig paradigme i fysikken.

Avsluttende bemerkninger

Gjennom momenter som naturens formålstjenlighet, erkjennelsesevnenes harmoniske spill og estetisk velbehag, har jeg i denne teksten redegjort for hvordan den kantianske estetikken kan være fruktbar for forståelsen av det estetiske i fysikken. Hovedfokuset har vært på hvordan vi kan forstå en del av fysikken som estetisk. Her argumenterte jeg for at skjønnhet ikke kan tillegges de matematiske sammenhengene og uttrykkene selv, da disse ikke kan være rene smaksobjekter. For å beskrive det estetiske ved de matematiske sammenhengene er det velbehaget som ledsager erkjennelsen i (den matematiske) demonstrasjonen som er knyttet til disse uttrykkene som er sentralt. Velbehaget er et subjektivt allmenngyldig velbehag, som riktignok er begrenset til medlemmene av fysikkens begrepsfellesskap: Estetiske dommer om skjønnhet ved matematiske demonstrasjoner fordrer alles enighet, men kun de som forstår begrepene som ligger til grunn for dommen har mulighet til å uttrykke sin enighet eller uenighet. Forståelsen innebærer deltagelsen i et dynamisk begrepsfellesskap, hvor begrepene som ligger til grunn er avhengig av den rådende oppfatningen av hva som er vitenskap. Med dette kan vi gjenkjenne det paradigmatisk i de estetiske dommene som ledsager erkjennelsen. Slik blir begrepsfellesskapet også et estetisk fellesskap – et fellesskap hvor det hersker (og forventes) enighet om det subjektive velbehaget knyttet til matematisk demonstrasjon. Avslutningsvis har jeg argumentert for hvorfor dette ikke innebærer en metafysisk kobling mellom skjønnhet og sannhet. Det vi imidlertid ser er at den vitenskapelige metoden, med sitt fokus på rasjonalitet og objektivitet, tilsynelatende forneker det estetiske aspektet av

erkjennelse i fysikken. Det estetiske i fysikken trenger imidlertid ikke oppfattes som en trussel mot fysikkens gyldighet. Det kan snarere være nyttig for den utforskende aktiviteten som forskning i fysikk er.

Grunnet begrensninger i dette essayets lengde, og i leserens tålmodighet, er det mang en problemstilling knyttet til fysikkens estetikk som jeg ikke har vært inne på her. Et interessant aspekt for videre undersøkelse er hvilken rolle det estetiske spiller i vitenskapelige kriser og vitenskapelige revolusjoner, som er sentrale overgangsperioder i Kuhns paradigmatteori. Vil det estetiske være en konservativ kraft som hovedsakelig opprettholder og reproducerer statusen til eksisterende eksemplariske dommer? Eller vil det estetiske fremme nye mønstereksempler, og dermed utvide vitenskapen ved å bidra til å erstatte «sanne» teorier med andre sannheter? Videre vil det også være interessant å gå inn i hvilke praksiser i fysikken som kan betraktes som (delvis) estetiske, utover de matematiske som jeg har fokusert på her. Kan vi finne et estetisk velbehag i bruk av eksperimentelle metoder eller i simuleringsbasert fysikk, da det også i disse aktivitetene inngår erkjennelse og kreativitet tankevirksomhet? Slike forskningsaktiviteter har tradisjonelt ikke vært fokuset for skjønnheten i fysikken. Gjennom den kantianske estetikken har vi imidlertid flyttet blikket bort fra det tradisjonelle synet på skjønnhet i fysikk (og matematikk) knyttet til iboende skjønnhet i matematiske uttrykk, til skjønnhet i forhøyning av erkjennelsesevnene i matematisk erkjennelse. Dermed kan det tenkes at det med Kants begreper åpnes opp for utforskning av det estetiske i en rekke andre erkjennelsesaktiviteter.

Kilder

- Aarnes, J. R. (2018). *Simple Geometry – Complex Flow: A computational study of turbulent particle-laden flows impinging on a cylinder*. Trondheim: NTNU.
- Allison, H. E. (2001). *Kant's theory of taste: a reading of the Critique of aesthetic judgment*. Storbritannia: Cambridge University Press.
- Aristoteles (2007) *Politikk* (T. Eide overs.), Oslo: Vidarforlaget.
- Breitenbach, A. (2015). Beauty in Proofs: Kant on Aesthetics in Mathematics. *European Journal of Philosophy*, 23(4), 955-977.
- Breitenbach, A. (2020). One Imagination in Experiences of Beauty and Achievements of Understanding. *The British Journal of Aesthetics*, 60(1), 71-88.
- Cassirer, H.W. (1938) *A Commentary on Kant's Critique of Judgement*, Storbritannia: Methuen & Co. Ltd.
- Dirac, P.A.M., 1956. Utdrag av forelesning om kvantemekanikk ved Universitetet i Moskva. Gjengitt i Stakhov, A. P. (2009). Dirac's Principle of Mathematical Beauty, Mathematics of Harmony and "Golden" Scientific Revolution. *Visual Mathematics*, 11(1).
- Farmelo, G. (Red.). (2002). *It must be beautiful: Great equations of modern science*. London: Granta.
- Feyerabend, P. *Against Method*. London: Verso, 1975.
- Feynman, R. P. (ca. 1960), (publ. 2008, 13. Juli), Feynman Chaser - The Key to Science [Videoklipp]. Hentet fra: <https://www.youtube.com/watch?v=b240PGCMwV0>
- Feynman, R. P., Leighton, R.B. and Sands, M. (1963). *The Feynman Lectures on Physics. Vol. 1*. MA: Addison-Wesley.
- Hammer, E. (1995). Innledning. *Kritikk av dømmekraften* (E. Hammer overs.). Oslo: Pax Forlag.
- Hawking, S. (2002). *A Theory of Everything: The Origin and the Fate of the Universe*. US: New Millennium Press.
- Henrich, D. (1992). *Aesthetic judgment and the moral image of the world: Studies in Kant*. Stanford University Press.
- Hossenfelder, S. (2018a, 11. juli). Beauty is truth, truth is beauty, and other lies of physics. *Aeon: Ideas*. Hentet fra: <https://aeon.co/ideas/beauty-is-truth-truth-is-beauty-and-other-lies-of-physics>
- Hossenfelder, S. (2018b). *Lost in Math: How Beauty Leads Physics Astray*. NY: Basic Book.

- Kant, I. (1922). *Kritik der Urteilskraft* (5. utg.). Leipzig: Verlag von Felix Meiner.
- Kant, I. (1987). *Critique of Judgement* (W.S. Pluhar overs.). IN: Hackett Publishing Company.
- Kant, I. (1995). *Kritikk av dømmekraften* (E. Hammer overs.). Oslo: Pax Forlag.
- Kant, I. (2009). *Kritikk av den rene fornuft* (S. Mathisen, C. Serck-Hanssen og Ø. Skar overs.). Oslo: Pax Forlag, 2009.
- Kant, I. (2015). *Kritikk av den praktiske fornuft* (Ø. Skar og B. Hansen overs.). Oslo: Aschehoug, 2015.
- Kuhn, T. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. IL: University of Chicago Press.
- Longuenesse, B. (1998). *Kant and the Capacity to Judge* (C.T. Wolfe overs.). NJ: Princeton University Press.
- Longuenesse, B. (2003). Kant's theory of judgment, and judgments of taste: On Henry Allison's Kant's theory of taste. *Inquiry*, 46(2), 143-163.
- Platon (2001a). Symposium (E.A. Wyller overs.). I *Platons Samlede Verker: Bind IV*, Oslo: Vidarforlaget's Kulturbibliotek.
- Platon (2001b). Staten (H. Mørland overs.). I *Platon Samlede Verker: Bind V*, Oslo: Vidarforlaget's Kulturbibliotek.
- Pigliucci, M. (2019, 29. juli). Richard Feynman was wrong about beauty and truth in science. *Aeon: Ideas*. Hentet fra: <https://aeon.co/ideas/richard-feynman-was-wrong-about-beauty-and-truth-in-science>
- Rapley, J. (2018, 9. feb.). Few things are as dangerous as economists with physics envy. *Aeon: Ideas*. Hentet fra: <https://aeon.co/ideas/few-things-are-as-dangerous-as-economists-with-physics-envy>
- White, F.M. (2016). *Fluid Mechanics* (8. utg.). NY: McGraw-Hill Education.
- Wigner, E. (1960). The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences. *Communications in Pure and Applied Mathematics*, 13(1), 1-14.

