



N

NATURFAG

Leiar	02
MODELLAR I NATURFAGUNDERVISNING	04
Modeller i naturfag	06
Representasjoner er språket for modellering	10
Å la elevene lage og snakke om modeller for å utvikle forståelse	14
Representasjoner i naturfag	16
Modeller i fysikk	18
Kjemiske modeller: Å vise det usynlige	22
Modeller av virus og smittespredning	26
Den flytende mosaikkmodellen	28
Å lage egne, fysiske modellar	32
Bruk av modellar for å vurdere berekraft i teknologiske produkt	34
Bruk av årshjul som modell for å utforske dyrs tilpasninger til klimaendringer	38
Flaskehagen – en levende modell	42
Andøya Mission Control som modell	46
Prototyper i teknologiundervisning	48
3D-modell av internett	52
Modellering med programmering i naturfag	56
MODELLAR I FORMIDLING	60
Virale heklemasker i pandemitid: Da heklede R-tall fikk folk til å forstå	62
Modeller i et geologisk museum	68
MODELLAR I NATURVITENSKAP OG TEKNOLOGI	74
Jordas utvikling i et tidsperspektiv – fra mange modeller til en samlet teori	76
Klimamodeller – komplekse modeller for komplekse problemer	78
Modeller for gravitasjon – fra Newtons lover til Einsteins tidrom	82
Inne i den virtuelle hjernen: ChatGPT snakker ut	88

N

NATURFAG

Utgitt av
Naturfagsenteret
Nasjonalt senter for
naturfag i opplærings
Universitetet i Oslo

Nummer 1/2024

Ansvarlig redaktør
Merethe Frøyland

Redaktør
Aud Ragnhild Skår

Redaksjon
Berit Haug
Wenche Eriien
Maria Vetleseter Bøe

Layout
Aud Ragnhild Skår

Adresse
Postboks 1106 Blindern, 0317 Oslo

Telefon og e-post
22 85 53 37
post@naturfagsenteret.no

Trykkeri
Aksell

Forsidefoto
Jarli & Jordan / Naturfagsenteret

Opplag 3200
ISSN 1504-4564

Kopiering fritt til skolebruk når ikke
annet er spesifisert, men
forbudt i kommersiell sammenheng.

Abonnement er gratis.
naturfagsenteret.no/abonnement

Naturfag finner du i PDF på
naturfagsenteret.no/naturfag



LEIAR

Modellar i naturfag er eit stort og viktig tema. Vi håpar at vi i dette nummeret klarar å få fram mangfaldet i korleis vi kan arbeide med modellar i skolen.

Frå da eg underviste elevar i biologi på vidaregåande skole, hugsar eg ein gong det gjekk opp eit lys for elevane. Det var da eg samanlikna DNA med eit bibliotek. Heile genomet kan samanliknast med heile biblioteket, mens eit gen kan samanliknast med ei bok der basane er bokstavane i boka som formar ord. Elevane uttrykte: – Å ja, nå skjønnte vi, slik må du forklare andre ting også! Dette viser kor viktig modellar er for å hjelpe elevane med å forstå faget.

I dette nummeret finn du mange artiklar som viser ulike eksempel på korleis vi kan arbeide med modellar i naturfag. Vi kan, som i DNA-eksempelet, legge fram ulike modellar for elevane for å få fram viktige aspekt ved fagstoffet, eller vi kan la elevane sjølve uttrykke kva dei har forstått gjennom å lage og utvikle ein modell.

Dei ulike artiklane i dette nummeret får på ulikt vis fram at modellar kan ha ulik hensikt. Nokre blir bruka til å forenkla og forklare fenomen, andre til å føreseie kva som vil skje under gitte forhold. Andre modellar igjen illustrerer det som er veldig smått, veldig stort, veldig abstrakt eller veldig langsamt. I teknologi kan vi også bruke modellar til å designe og teste eit produkt.

Modellar har ulike eigenskapar og kan bli representerte på ulike måtar. Modellar kan både vere *fysiske*, som ein flaskehage eller ein hekla poncho, og *abstrakte*, som ein klima- eller smittespreiingsmodell. Modellar viser noko, men ikkje alt. Derfor er det viktig at elevane lærer om at modellar har sine styrkar og avgrensingar.

Modellar vil òg ofte utvikle seg over tid. Både når elevane utviklar sine egne modellar og når naturvitarar endrar modellane når ny kunnskap kjem til.

Vi har delt dette nummeret inn i ein stor bolk om modellar i naturfagundervisninga, ein bolk om korleis modellar kan formidlast i samfunnet og ein bolk om korleis modellar blir bruka i naturvitskapleg forskning og i teknologi. Vi håpar at artiklane blir til inspirasjon i arbeidet med å nå måla i læreplanen innanfor arbeidet med modellar.

Lykke til!

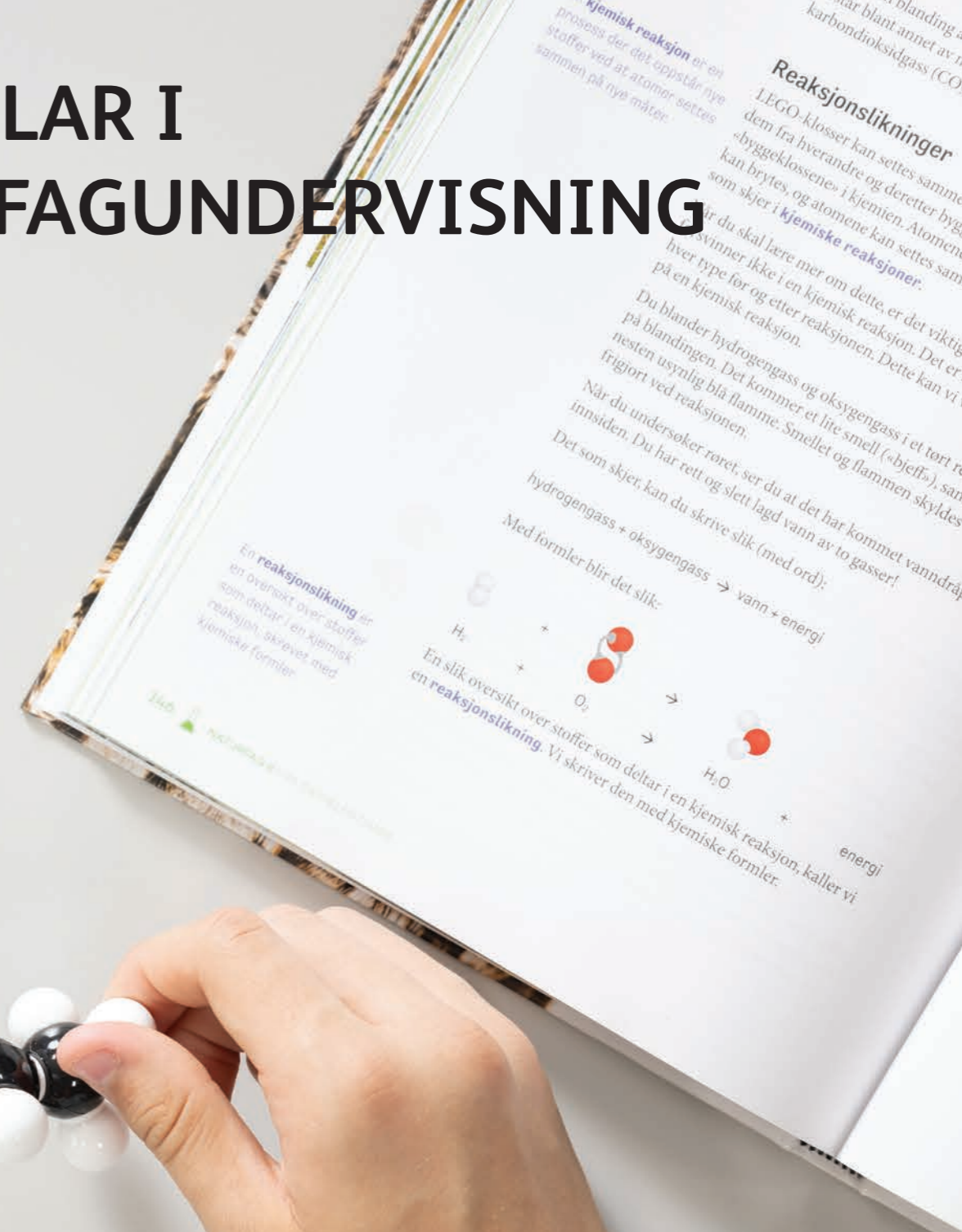
Aud Ragnhild Skår

LEIAR



På kva måte kan eit bibliotek vere ein modell? Jo, vi kan samanlikne DNA med eit bibliotek. Foto: Oli Götting / pixabay.com

MODELLAR I NATURFAGUNDERVISNING





Modeller i naturfag

Denne artikkelen sier noe om hva modeller er i naturfag, og den viser til ulike dimensjoner av arbeid med modeller i undervisningen.

Modeller kom inn for fullt som et sentralt element i naturfagene i læreplanen fra 2020 (LK20). Det er nevnt spesifikt i kjerneelementet naturvitenskapelige praksiser og tenkemåter i naturfag der det står: «Ved å arbeide praktisk og ved å lage egne modeller for å løse faglige utfordringer, kan elevene utvikle skaperglede, evne til nytenking og forståelse av naturfaglig teori.» Modeller er gjennomgående i kompetansemålene fra 4. trinn og utover med en progresjon i å lære om modeller samt å bruke og lage modeller. Programfagene har egne kjerneelementer som fremhever at praksiser og tenkemåter «handler om hvordan naturvitenskapelige hypoteser, teorier, metoder og modeller blir utviklet og brukt i faget». Geofag viser hvor viktig modeller er i faget gjennom et eget kjerneelement som heter modeller og modellering.

Når det jobbes med modeller, er det nødvendig med en begrepsavklaring. Mange elever har egne oppfatninger av hva en modell er, og det kan være alt fra modellfly til modeller som viser frem klær. Det at modeller brukes på ulike måter i hverdagslivet kan bidra til forvirring hos elever i naturfag, siden modeller har en spesifikk betydning innenfor naturvitenskapene og teknologi.¹

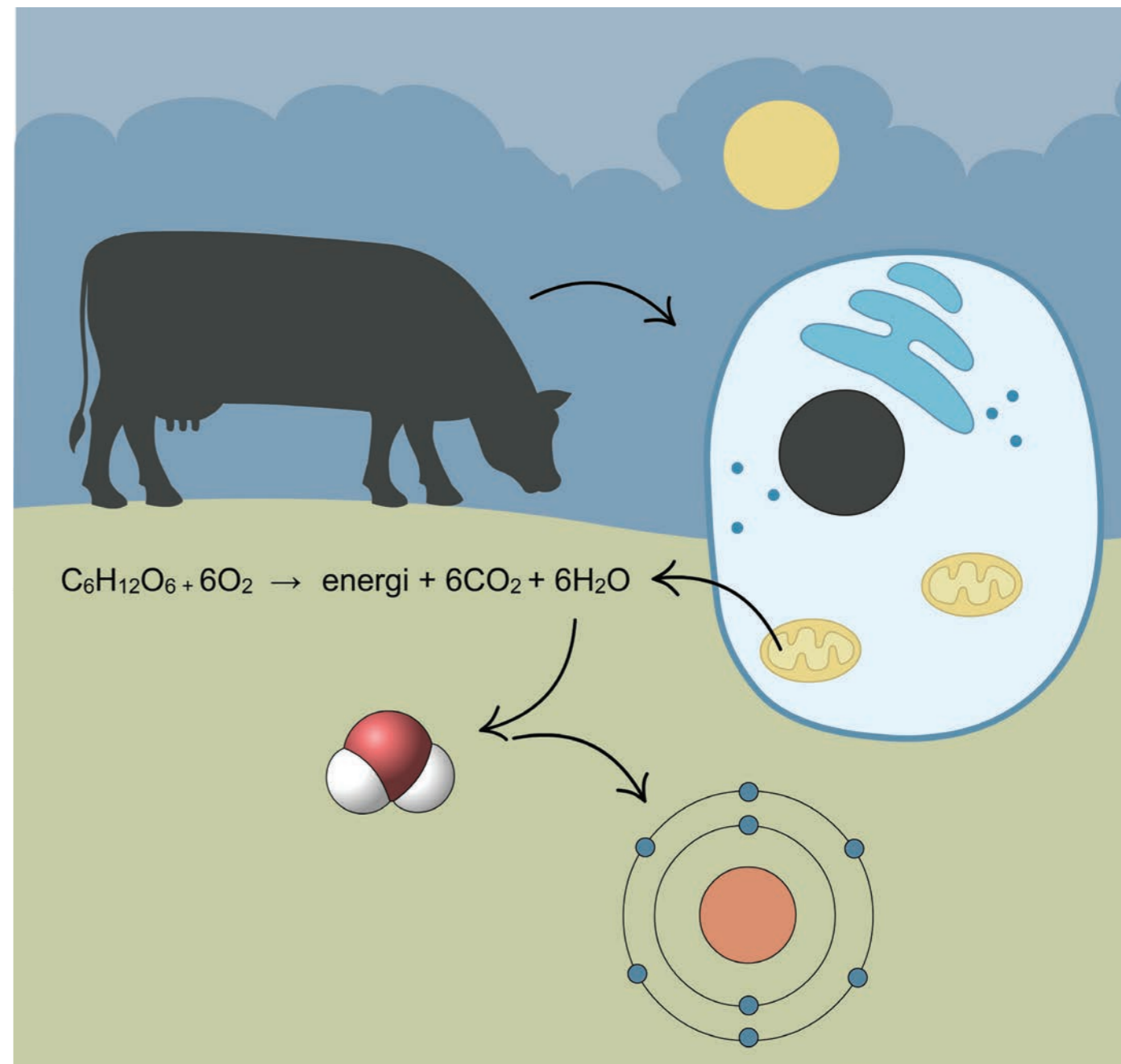
I teknologi lages og brukes modeller ofte for å designe et produkt og teste hvordan det fungerer. For eksempel kan man lage en prototype av en solbrille som testes for de funksjonene man ønsker den skal ha, for så å bearbeide og prøve ut i flere omganger til solbrillen er slik man ønsker. Innenfor naturvitenskapene er modeller en forenkling av fenomener, og modellene brukes til å forklare hva som skjer eller forutsi hva som vil skje under gitte forhold. Naturvitenskapelige fenomener kan være komplekse og krevende å forklare. Derfor kan det være nødvendig med forenklinger. Hvis

man for eksempel skal forklare funksjonen til en celle, bruker man en forenklet og stilisert versjon av en celle. Mange av prosessene innenfor naturvitenskapene foregår på mikronivå og er ikke direkte observerbare, og da må vi ty til modeller for å forklare det som skjer (se figur 1).

Noen sentrale egenskaper ved modeller

I tillegg til å bruke og lage modeller, skal elever også lære om modeller. De skal lære hvorfor vi bruker modeller og hva som kjennetegner modeller. Først og fremst kan vi si at modeller innenfor naturvitenskapene ikke er kopier, men uttrykker et forenklet eller idealisert bilde av virkeligheten. Dette bidrar til en annen sentral egenskap ved modeller: Alle modeller har begrensninger, uansett hvor gode de er. Bohrs atommodell, eller skallmodellen, utelater mange detaljer om atomkjernen og elektroners bevegelse og er langt fra en reell gjengivelse av et atom. Men den brukes fordi den er enkel og kan gi innsikt i egenskaper og prosesser på en måte som er mulig å forstå.

Modeller kan ha mange former, alt fra visuell form (tegning, figur, diagram), verbal form (analogier), materiell form (fysiske gjenstander, se figur 2), virtuell form (datasimuleringer), til gester og rollespill osv.² Hvilken uttrykksform som velges, avhenger av formålet med modellen og hva man ønsker å fremheve ved fenomenet modellen representerer. Siden alle modeller har sine styrker og begrensninger, er det ofte hensiktsmessig å bruke flere modeller for å få en dypere forståelse av et fenomen. Atomer og molekyler kan uttrykkes ved hjelp av kalottmodeller, skallmodeller eller formler, og for eksempel kan en forbrenningsreaksjon blant annet presenteres av en kalottmodell og en reaksjonsligning (se figur 1 og les



Figur 1. Modeller kan forklare det som skjer på mikronivå. Her ser vi ulike modeller: modell av dyrecelle, reaksjonsligning av celleånding, kalottmodell av vannmolekyl og skallmodell av oksygenatom. Illustrasjon: Wenche Erlien / Naturfagsenteret



Figur 2. Elever studerer modeller av ulike organer i kroppen. Foto: Jarli & Jordan / Naturfagsenteret

mer i artikkelen på side 22). Det at ulike modeller kan uttrykke samme fenomen er en sentral egenskap ved modeller som elever bør kjenne til. Like viktig er det å forstå at en og samme modell kan brukes til å forklare ulike fenomener. Skallmodellen kan for eksempel brukes til å forklare både elektronparbindinger og lysemisjon. En og samme modell kan altså brukes til ulike formål.

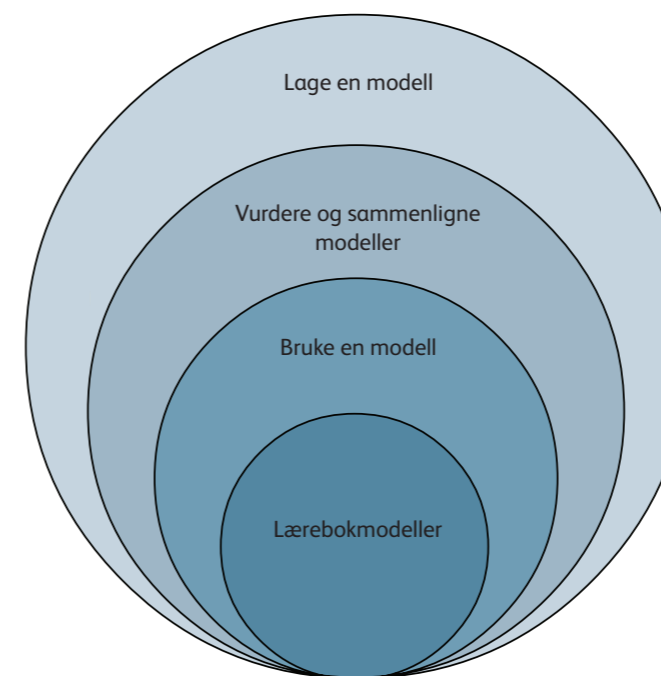
En annen egenskap ved modeller er at de ikke er statiske, men kan endres. En modell utvikles i takt med ny informasjon og økt forståelse for det modellen uttrykker. For eksempel utviklet modeller som ble brukt for å forutsi antall covid-19-smittede seg etter hvert som folkehelseinstituttet fikk mer informasjon om smittespredning. Når elevene lager egne modeller i naturfag for å forklare et

fenomen, kan også deres modeller utvikles og bli mer avanserte etter hvert som de lærer mer om fenomenet.

Kort oppsummert kan vi si at modeller ikke er kopier av virkeligheten, de har begrensninger og de kan endres ut ifra ny informasjon. I tillegg kan ulike modeller brukes for å forklare samme fenomen (f.eks. en kjemisk reaksjon), og en og samme modell (f.eks. skallmodellen) kan forklare ulike fenomener.

Arbeid med modeller i skolen, fire dimensjoner

Det er ulike måter å jobbe med modeller på i skolen. De vanligste modellene elevene introduseres for, er såkalte lærebokmodeller eller pedagogiske modeller (se figur 3). Dette er modeller av



Figur 3. Oversikt over ulike dimensjoner i arbeidet med modeller^{1,2}.

kjent kunnskap som brukes for å introdusere, forklare og formidle fagstoff. Elevene introduseres for disse modellene og kan også få i oppgave å gjenskape dem. Bruk av skallmodell for å lære om atomets oppbygging er eksempel på en slik modell.

Elevene skal også lære å bruke modeller for å forklare fenomener. Dette er oftest etablerte modeller som kan forklare en rekke observerbare fenomener på mikronivå. Partikkelmodellen er en slik modell, og den kan blant annet brukes til å forklare hva som skjer med vannmolekylene når vann fordampes eller fryses.

Den tredje dimensjonen handler om å sammenligne forskjellige modeller av et fenomen og vurdere på hvilken måte de bidrar til formålet med modellene. Hva fremheves i de ulike modellene, hva er de gode på og hvilke begrensninger har de? Hvis elevene skal lære hvordan en elektrisk krets virker, kan de for eksempel sammenligne et koblingsskjema med en snoranalogi hvor elevene står i sirkel og holder i en snor som representerer strømmen (les mer i artikkelen på side 18).

Ifølge læreplanen skal elevene ikke bare bruke, men også lage, modeller. Det betyr at de skal lage, teste, vurdere og revidere modeller som kan bidra til å forklare et fenomen de undersøker. Modeller egner seg godt til bruk i utforskende arbeid. Et eksempel er å lage en modell i tilknytning til spørsmålet *Hvordan påvirker lysets inngangsvinkel hvordan lyset oppfører seg i overgangen mellom luft og vann?* Elevene kan utvikle og revidere modellen etter hvert som de tilegner seg mer kunnskap om fenomenet, og bruke den som støtte i egen læring. Å lage modeller for å uttrykke egne tanker og ideer er krevende for elever. Figur 3 viser at det å lage modeller er den fjerde dimensjonen og at den innebærer at elevene har kunnskap om de tre innerste dimensjonene. Det er stor forskjell på å bruke ferdige modeller og å lage egne, og læreren kan hjelpe elevene gjennom å introdusere ulike typer modeller og alltid begrunne formålet med modellen og hvordan den bidrar til å forklare et fenomen eller deler av et fenomen.

Under presenteres en liste med spørsmål som kan være til hjelp for elever i arbeidet med å lage modeller. Lista kan også brukes av lærere i vurderingsarbeidet.

Noter

- 1 B. S. Haug og S. M. Mork (2021). *Nøkkelbegreper i utforskende arbeid*. Universitetsforlaget
- 2 J. K. Gilbert og R. Justi (2016). *Modelling-based Teaching in Science Education*. Springer Cham

Hjelpespørsmål til å lage en modell¹

1. Hva er målet med modellen? Hva skal den beskrive, forklare eller forutsi?
2. Hva vet du om dette fra før? Egne erfaringer, søke opp informasjon, eventuelt utføre forsøk for å finne ut mer.
3. Hvilke elementer er det viktig å fokusere på?
4. Hvordan begrunner du dine valg av elementer du vil fremheve i modellen?
5. Hvordan vil du uttrykke modellen?
6. Hvordan vil du navngi modellens deler og deres funksjoner?
7. Hvilke begrensninger har modellen?
8. Hvem er mottager? Hvordan kan du hjelpe mottager å forstå din modell?
9. Hvordan kan modellen revideres ut ifra ny informasjon?



Representasjoner er språket for modellering

Både i naturvitenskap og i naturfagene er ulike representasjoner av begreper og fenomener viktige for kommunikasjon og læring. Representasjoner kan betegnes som *språket for modellering*, og i denne artikkelen skal vi belyse hvordan representasjoner er viktige når elever skal lære naturfag gjennom modellering.

Representasjoner og modeller

Representasjoner kan være mye forskjellig, alt fra tekst, tegning, bilde, gestikulering, tabeller, grafer, matematiske uttrykk og fysiske modeller til praktiske forsøk. Representasjoner er viktige i forskningsprosesser og læringsprosesser i skolen for å relatere observasjon og erfaring, «noe der ute», til begreper og modeller. Modeller kan defineres som bevisst konstruerte representasjoner som har til hensikt å forklare eller forutsi. Representasjoner er derfor viktige ressurser når man skal lage modeller og kan betegnes som *språket for modellering*.

Det kan være nyttig å skille mellom representasjoner og representasjonsformer. En *representasjon* er en spesifikk graf eller tegning, mens grafer som gruppe er en *representasjonsform*. Det som er viktig i modellering er at ulike representasjonsformer har ulike *muligheter* og *begrensninger* til å kommunisere kunnskap. Du kan jo bare prøve å be noen om å forklare hva et DNA-molekyl er bare med ord. Du vil antageligvis straks se at personen desperat leter etter noe å tegne på, eventuelt at personen vifter med hendene, gjerne med sirkulære bevegelser. Tekst og muntlig tale har en begrensning ved at det ikke egner seg så godt til å få frem visuelle aspekter. Hvis du ber noen om å *tegne* et DNA-molekyl vil du kanskje erfare at de tegner to streker som danner en dobbeltspiral. Men hvis du spør noen om hva DNA er, vil de ofte legge vekt på andre ting ved DNA-molekylet. Kanskje vil de si et det er

en oppskrift på egenskaper. Den *muntlige forklaringen* legger vekt på funksjonen til DNA, mens *tegningen* la vekt på hvordan DNA-molekylet ser ut og plasserer seg i rommet. For å forstå hva et DNA-molekyl er, trenger man selvfølgelig flere representasjoner som belyser ulike aspekter av DNA-molekylet. Kanskje kan man bygge en fysisk modell for å få tydeligere frem de tredimensjonale aspektene? Da vil man kunne snu modellen og studere den fra ulike vinkler: Det er *mulig* ved fysiske modeller. Den tredimensjonale modellen er også viktig for å forstå hvordan DNA-molekylet binder seg til andre molekyler. Faktisk var en fysisk modell i laboratoriet sentral i å utvikle en kjemisk forståelse for DNA uttrykt med kjemiske symboler.

Representasjon og deltakelse i naturfag (REDE-prosjektet)

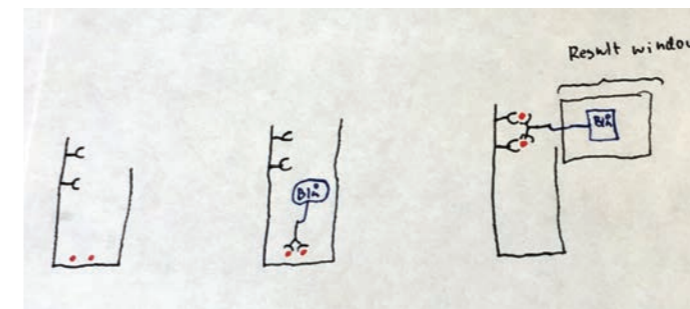
I prosjektet Representasjon og deltakelse (REDE) har vi designet og forsket på undervisningsopplegg hvor elever utforsker aspekter ved klimaendringer og bærekraftig utvikling ved hjelp av representasjoner. Representasjoner egner seg godt i utforskende arbeid ved at de gir elevene erfaringer som har likhetstrekk med hvordan forskerne arbeider. Representasjoner gir også støtte i læringsprosessen, og bringer inn et utforskende element, selv i lukkede og mer styrte forsøk. Elevenes representasjoner kan i seg selv være utgangspunkt for utforskning, gjennom at elevene sammenligner hverandres representasjoner, og drøfter hva som er en god repre-

sentasjon, hva de betyr, og hvordan de forholder seg til framstillinger for eksempel i læreboka.

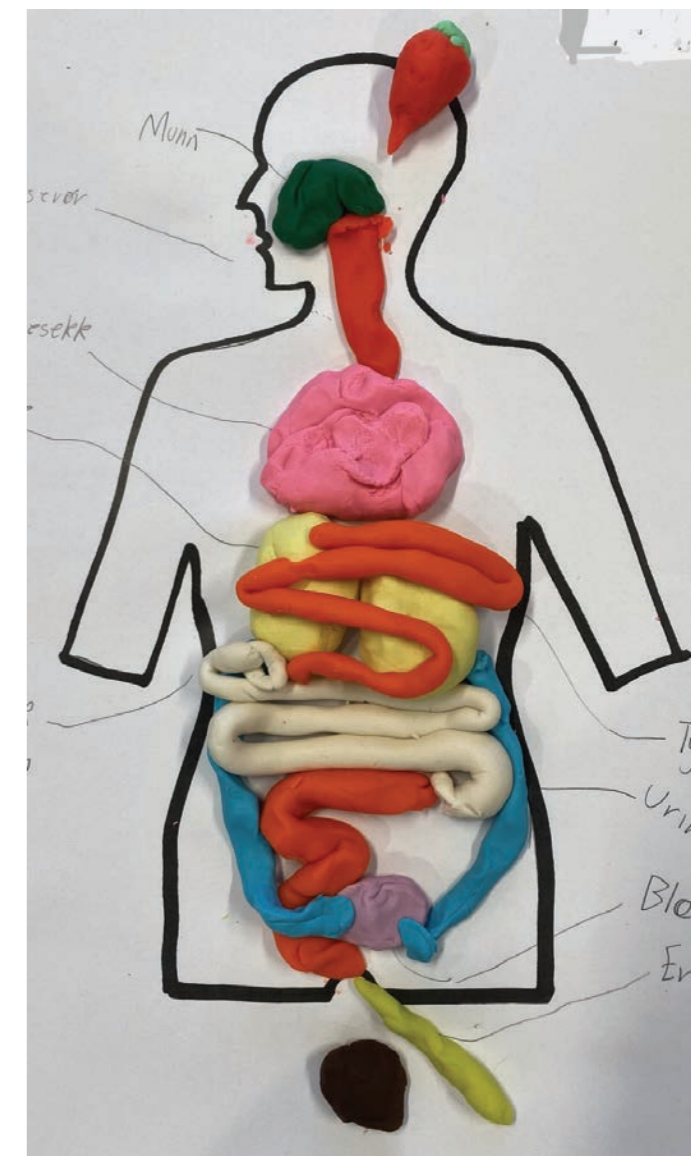
Hvilke roller spiller representasjoner når elever skal lage modeller?

I forbindelse med REDE-prosjektet har det kommet en del forskning på representasjoner i tilknytning til modellering. I et sideprosjekt til REDE-prosjektet forsket vi på bruken av representasjoner i biologiutdanningen på universitetet. I en studie av hvordan biologistudentene jobbet med å utforske den molekylære mekanismen bak graviditetstester, fant forskerne at ulike representasjonsformer, som muntlig tale, tegning og gestikulering, spilte komplementerende roller som sammen bidro til at elevene klarte å lage en forklarende modell¹. De ulike representasjonsformene (tegning, tale og gester) utfylte hverandre, og studentene dro nytte av de ulike mulighetene ved de ulike representasjonsformene.

Tegningen viste for eksempel plassering av molekylene inni graviditetstesten. Ved å lage flere tegninger som representerte stadier i en tidssekvens, viste man utvikling over tid og hvordan molekylene bindes sammen i resultatvinduet i testen. Videooptak med hodekamera viste også hvordan studentene, da de stod fast med å tegne de molekylære interaksjonene i kontrollvinduet, begynte å bruke hendene til å modellere hvordan antistoffer og antigener bindes sammen. Hendene er alltid tilgjengelige for oss og kan brukes til å utforske tredimensjonale aspekter av et fenomen når man jobber med tegning eller diskuterer. Da studentene hadde funnet ut av hvordan molekylene ble bundet, fortet de seg å tegne interaksjonen og fortsatte med modellen på papir.



Studentenes første tegning av de molekylære interaksjonene bak graviditetstester. Foto: Mari Sjøberg



En modell av fordøyelsessystemet laget av tegning og plastelina. Foto: Janne Stølhaug

Arbeid med ulike materialer gir også unike muligheter for læring², og praktisk arbeid kan derfor innebære arbeid med ulike representasjonsformer. I en studie der elever skulle lage sin egen spiselige cellemodell utnyttet elevene matvarenes *konsistens* til å få frem aspekter ved de ulike organellene³. De smeltet ost for å lage



En «cellepizza», en spiselig cellemodell. Foto: Anne-Lise Ellingsen

vakuole til plantecellen og utnyttet altså konsistensen til flytende ost til å få frem at vakuolen er en væskefylt organelle.

I en annen studie skulle elever på 5. trinn lage en modell av fordøyelsessystemet med plastelina⁴. I likhet med andre fysiske modeller har plastelina en mulighet til å få frem romlig plassering og tredimensjonale aspekter. Men i motsetning til mange andre fysiske modeller har plastelina den egenskapen at den er formbar underveis i prosessen. Dette gir flere muligheter for elevenes interaksjon med materialet. Elevene kan kontinuerlig endre på form og samtidig studere utfallet. Dette gir rike muligheter for læring som det kan være viktig for læreren å være klar over. I dette studiet ble det vist at diskusjonene elevene hadde rundt form og struktur på organer («hvor lang skal tarmen være?») også førte dem inn mot en diskusjon av organenes funksjon. Når de skulle lage modellen av plastelina, måtte de også ta stilling til rekkefølgen de ulike organene har i fordøyelsen, noe som bidro til at de måtte tenke mer helhetlig på kroppen som et system⁵.

I denne artikkelen har vi vist hvordan ulike representasjonsformer, som tegning, muntlig tale, gesikulering og ulike materialer som matvarer og plastelina, er viktige ressurser når elevene skal lære naturfag gjennom å lage modeller. Kunnskapen om ulike representasjonsformers unike muligheter og begrensninger er viktig for lærere både i planlegging og gjennomføring av undervisning. Kunnskapen om representasjoner og modeller er også viktig for elevene selv som en del av kunnskapen om naturvitenskapens språk, praksiser og tenkemåter.

Noter

1 Sjøberg, M., Furberg, A., & Knain, E. (2023). Undergraduate biology students' model-based reasoning in the laboratory: Exploring the role of drawings, talk, and gestures. *Science Education*, 107(1), 124-148. doi.org/10.1002/sce.21765

2 Tang, K.S., Jeppsson, F., Danielsson, K., & Nestlog, E. B. (2022). Affordances of Physical Objects as a Material Mode of Representation: A Social Semiotics Perspective of Handson Meaning-making. *International Journal of Science Education*. doi.org/10.1080/09500693.2021.2021313

3 Ellingsen, A. (2022). *Muligheter og utfordringer ved å lage egne modeller for å lære om cellen*. Masteroppgave, Institutt for matematikk og naturfag, Universitetet i Sørøst-Norge

4 Stølhaug, J. (2023). *Representasjonsfokuset undervisning: En studie om elevenes læring om fordøyelsessystemet*. Masteroppgave, Institutt for matematikk og naturfag, Universitetet i Sørøst-Norge



Foto: Jarli & Jordan / Naturfagsenteret



Å la elevene lage og snakke om modeller for å utvikle forståelse

Å la elevene lage og revidere sine egne modeller er et godt utgangspunkt for å skape forståelse og for å gi god veiledning.

Men modellen viser det jo ...

Antagelig er det flere lærere enn oss som har lurt på hvorfor elevene ikke bare tegner figurene vi har snakket om, eller på annen måte bruker figuren i besvarelsene, siden alt jo er der. Men kanskje ser vi ikke det samme, læreren og eleven. En modell legger vekt på enkeltdeler som den som laget modellen ønsker å forklare eller som hen vil fremheve. Andre deler av modellen kan derimot være misvisende eller inneholde ting som lett kan misforstås. Derfor anbefaler vi å vise flere ulike modeller av det samme fenomenet eller objektet. Ofte kan elever tenke at en modell er en kopi av virkeligheten, og at modellen derfor er en forstørrelse eller en forminskning av virkeligheten. Elever kan da reagere hvis læreren tar fram en ny modell som legger vekt på noe annet. Et eksempel kan være modeller av solsystemet som ofte ikke viser størrelsesforhold mellom de respektive planetene og planetenes baner samtidig.

Hvordan modellen er laget er også en viktig faktor for hvordan modellen blir oppfattet. For eksempel vil en tegning av partikkelmodellen gi en mer to-dimensjonal oppfatning av modellen, og det kan oppfattes som at partiklene kun kan bevege seg i ett plan. Bruker du derimot en fysisk modell der partiklene kan bevege seg i alle retninger (i en boks) når man blåser på dem med en hårføner (se figur 1), får du fram det tre-dimensjonale. En slik framstilling kan gi en helt annen forståelse av det samme fenomenet.

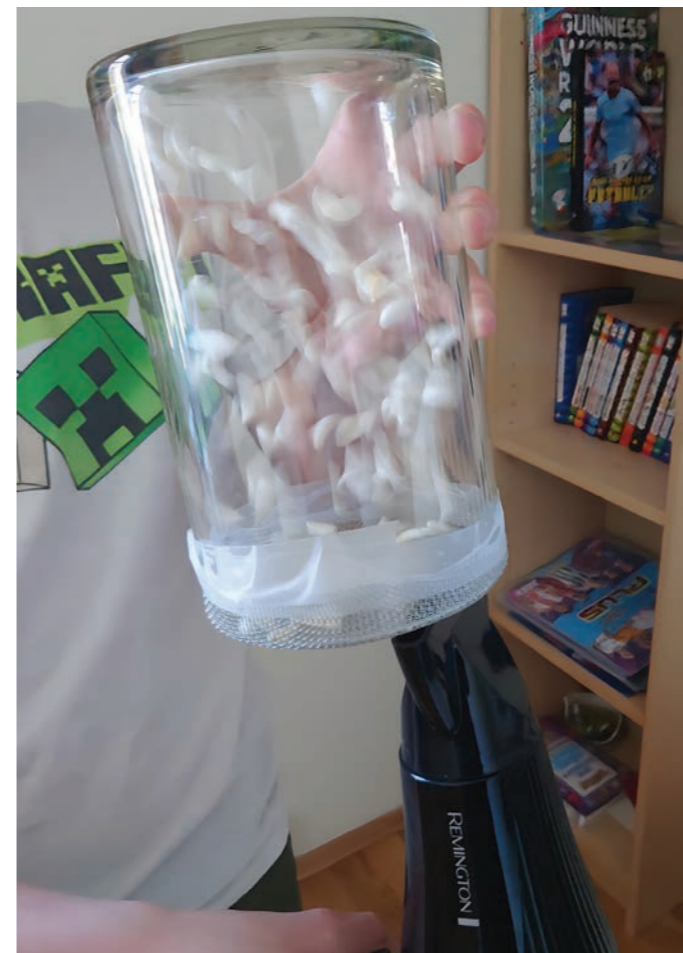
Modeller man fysisk kan ta på, og eventuelt plukke fra hverandre, gir en annen opplevelse og assosiasjon sammenlignet med en ab-

strakt modell. En konkret, fysisk modell kan oppleves med flere sanser, og kan være noe elevene jobber med i fellesskap.

Den fysisk-konkrete og assosiative læringen som for eksempel en typisk torso-modell kan gi, mener vi er særlig viktig for elever på små- og mellomtrinnet. Dette fordi det er viktig å flette konkrete, sansbare erfaringer sammen med mer abstrakt språk og kunnskap.

Lage og revidere modeller

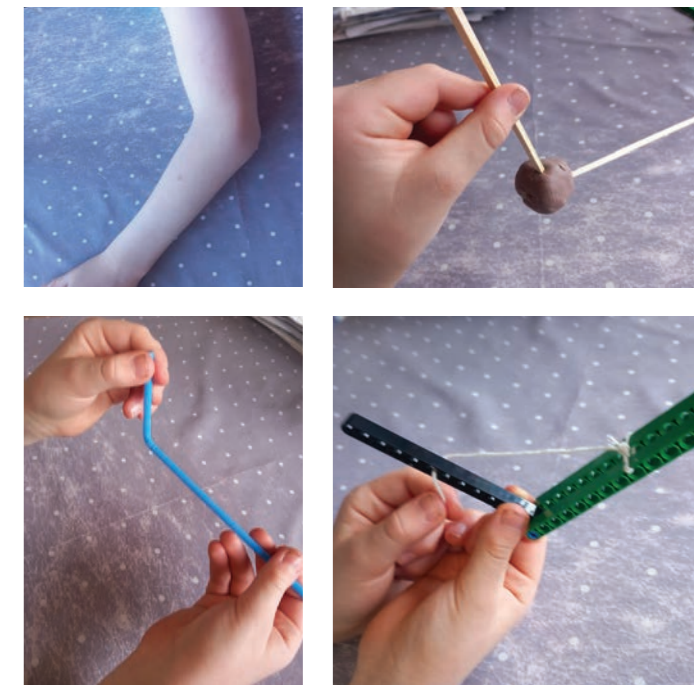
Grosslight mfl.¹ hevder at elever sjelden ser annen hensikt med en modell enn at den skal være en kopi av virkeligheten. En styrke ved å la elevene lage og revidere modeller sammen med medelever og lærer er at elever i større grad kan forstå hensikten med modellen. Et artig forsøk er fra Penner mfl. hvor elevene på 1. og 2. trinn fikk i oppdrag å lage en modell som viste funksjonen til en albue². Elevene fikk mulighet til å både presentere, forklare og begrunne sine valg underveis i to runder, og etter hver runde hadde de mulighet til å endre på sin egen modell. Det resulterte i at elevenes modeller så mindre og mindre ut som en albue, men viste funksjonen til albuen mer og mer. Modellene fikk fram både det at albuen kunne bevege seg, men også begrensningen av bevegelsen. Dette hjalp også elevene med å forstå at en modell ikke nødvendigvis må se ut som det den prøver å forklare eller vise. Artikkelen konkluderer med at denne typen aktiviteter fremmer både elevenes modelleringsevne og evnen til å bedømme andre modeller basert på funksjonalitet.



Figur 1. Ved å tilføre energi i form av en hårføner vil riskornene bevege seg til alle kanter i begeret. Foto: Cato Tandberg

Veiledning og vurdering

Vi ser alle for oss modeller i hodet som representerer hvordan vi oppfatter at tingene i omgivelsene fungerer. Disse kalles mentale modeller og er basert både på kunnskap og erfaringer. Å få innsikt i elevens mentale modeller er ikke enkelt. Noen elever klarer å uttrykke sine mentale modeller med tegninger, mens andre gjør det lettere med hjelp av konkrete som vattkuler, piperensere og ispinner. Elevenes mentale modeller er dynamiske og påvirkbare, og de kan utvikles ut fra tilbakemeldinger fra lærer og medelever.



Figur 2. Fire ulike modeller som viser hvordan elevene valgte å konstruere funksjonen til en albue. Foto: Lisa Lunde

Det er viktig, både for eleven og læreren, at eleven lager sine egne modeller av et objekt eller fenomen i naturfag. Læreren kan da få noe innsikt i hvordan den mentale modellen til eleven ser ut og kan tilpasse undervisningen.

Å vurdere elevenes modeller kan fort kun bli en vurdering av sluttproduktet. Det mener vi i mange tilfeller er lite hensiktsmessig, da det eleven har kommet fram til, endret, ikke fått til eller trodd hen har tegnet og justert er viktige deler i samtalen mellom eleven og læreren. Det gir mening for eleven å sette ord på det hen har jobbet med for å komme fram til sluttproduktet.

Noter

1 Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799–822. doi.org/10.1002/tea.3660280907
2 Penner, D. E., Giles, N. D., Lehrer, R., & Schauble, L. (1997). Building functional models: Designing an elbow. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(2), 125–143. doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199702)34:2<125::AID-TEA3>3.0.CO;2-V



Representasjoner i naturfag

Ulike representasjonsformer har potensial til å bidra med mange og ulike innganger til fagstoff og fagtekster for elever. Men det går også motsatt vei: Elevene kan få vise hvordan de forstår fagstoffet ved hjelp av ulike representasjonsformer.

Som naturfaglærer bruker du en rekke ulike *representasjoner* i undervisningen din, for eksempel tale, skrift, bilder, animasjoner, simuleringer, diagrammer, grafer, tabeller, matematiske uttrykk og konkrete modeller. Og du forventer at elevene dine også kan bruke dem når de formidler sin fagkunnskap til deg.

Representasjonene kommuniserer og uttrykker kunnskap, samtidig som de tolkes individuelt. Ofte oppfattes representasjonene på en annen måte enn det avsenderen har tenkt. For å bli bevisst de representasjonene som brukes i klasserommet, må læreren og elevene fokusere spesielt på dem.

Representasjonsformer er knyttet til ulike arbeidsmåter og metoder i fag. Typisk for naturfag er at flere representasjoner benyttes i kombinasjon. Det kan handle om at muntlige forklaringer og diskusjoner uttrykkes i sammenheng med animasjoner, demonstrasjoner, forsøk og uteaktiviteter. Et annet eksempel kan være at elever registrerer målinger som så fremstilles grafisk, at de dokumenterer en prosess ved å tegne og skrive, eller at de konstruerer en konkret modell som illustrerer en prosess eller et fenomen. Det kan også være mye læring i å ta opp igjen en tegning, graf, skisse eller modell, som så kan justeres og re-modelleres. Det å kunne beherske representasjoner i ulike sjangre og med ulikt formål er en ferdighet som er tett koblet til fagforståelse, og som utvikles parallelt med fagkunnskapen. Det å kunne anvende kombinasjoner av representasjoner er derfor også en viktig del av det å være kompetent fagperson.

Naturfaget i skolen skal blant annet kjennetegnes ved å være både

praktisk, visuelt og teoretisk, og det finnes derfor mange muligheter for å legge til rette for at elever utforsker naturfaglige problemstillinger, dilemmaer og fenomener på ulike måter. Bevisst bruk av representasjoner kan øke elevers engasjement og deltakelse, og det kan legge til rette for kvalitet i faglige samtaler. Det kan bidra til en bedre og enklere bruk av fagsamtalene som del av vurderingen.

Faginteressegruppe: Representasjoner i naturfag

Faginteressegruppen er et nettverk av naturfagdidaktikere som er opptatt av hvordan representasjoner benyttes i naturfagundervisning. Gruppen ble etablert i 2022 etter initiativ fra Nasjonalt nettverk for naturfagutdanning, og har vinteren 2024 i underkant av 20 medlemmer. Gruppen ledes av Cato Tandberg og Pauline Book, begge fra Høgskolen i Innlandet.

I denne faginteressegruppen for naturfagdidaktikere har vi blant annet en diskusjon om sammenhengen mellom modeller og representasjoner. Modeller har fått en større plass i LK20 sammenliknet med tidligere læreplaner, og mange opplever et behov for å tydeliggjøre hva begrepene innebærer. Dette ser vi som en viktig diskusjon, siden modeller og andre representasjoner på ulike måter legger til rette for individuelt og kollektivt faglig engasjement blant elever i naturfag.

Hør mer i podkasten Naturfagpodden, bonusepisode 1.



Foto: Jari & Jordan / Naturfagsenteret



Modeller i fysikk

Fysikk handler dypest sett om å forstå den verden vi lever i, fra det aller minste til det det aller største. Fysikk er vitenskapen om hele universet, hvordan alt stoff er bygget opp, og om kreftene som virker. For å få innblikk i og kunne beskrive dette, trenger fysikere modeller og teorier.

I fysikk er vi opptatt av å lage modeller som gjør oss i stand til å beskrive verden og fenomener vi kan observere, og å gjøre forutsigelser om naturen. Klimamodeller for eksempel, er enormt komplekse modeller med store mengder variabler som brukes for å kunne si noe om hvordan klimaet vil utvikle seg (les mer på side 78). Det er imidlertid viktig at en ikke forveksler en modell med det virkelige fenomenet en vil beskrive. En modell beskriver en avgrenset del av virkeligheten eller bare noen utvalgte aspekter ved et fenomen. Bruken av modeller er viktig for utvikling, formidling og aksept for naturvitenskapelig kunnskap, og en kan kanskje si at modeller utgjør et bindeledd mellom vitenskapelige teorier og virkeligheten.

Så tidlig som i antikken utviklet greske tenkere modeller for universet. De ville gi en rasjonell forklaring på bevegelsene til himmellegemer. De mente at naturen følger lover og regler som det er mulig å forstå. Selv om modellene grekerne utviklet var sofistikerte, bruker vi dem ikke i dag. Vår innsikt og forståelse av universet har endret seg mye siden antikken, men fortsatt lager fysikere modeller for å beskrive den verden vi lever i.

Begrepet modell kan brukes på litt ulike måter. Når vi snakker om en matematisk modell, er det en matematisk beskrivelse av fenomener i naturen. For eksempel er formelen $s = vt$ en modell for en bevegelse med konstant fart. Bohrs atommodell brukes til å beskrive og forklare fenomener i atomverdenen, f.eks. spektrallinjer fra hydrogenatomet.

Modeller blir mye brukt i fysikkundervisningen. I tillegg til mate-

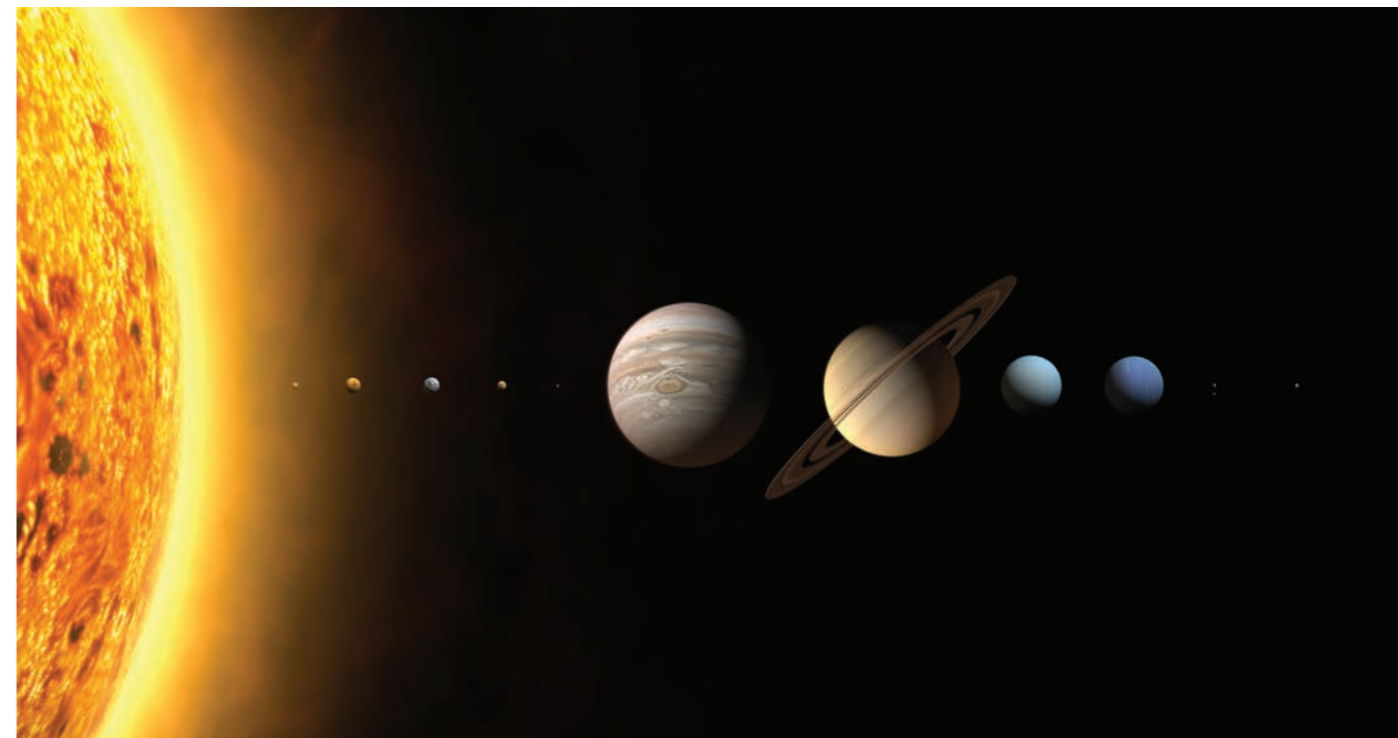
matiske modeller, som vi ikke skal gå nærmere inn på her, deler vi gjerne undervisningsmodeller i to kategorier: skalamodeller og analogimodeller.

Skalamodeller

En skalamodell har likheter med det som skal beskrives, men i en annen målestokk. Skalamodeller kan være mindre enn det som skal beskrives, som for eksempel en modell av solsystemet. Hvis vi forminsker solsystemet 10 000 000 000 ganger, blir sola på størrelse med en grapefrukt (ca. 14 cm). Avstanden mellom sola og jorda blir da 15 m og jordas diameter blir 1,3 mm. Det kan være ganske skjellsettende for elever å bli tatt med ut i skolegården, plassere en grapefrukt på bakken, skritte opp 15 meter og plassere en knappenål der knappenålshodet er jorda! Avstanden til Jupiter i denne målestokken er 78 m. Og så kan en spørre hvor vi må plassere vår nærmeste stjerne (bortsett fra sola). Kanskje får vi forslag om noen kilometer, men svaret er at vi kommer til Nord-Afrika, nesten 4000 km unna! Der finner vi Proxima Centauri som er en del av et stjernesystem med tre stjerner. Vi kan altså illustrere de ufattelig store avstandene og hvor mye tomt rom det er i verdensrommet.

Tilsvarende kan vi forstørre et system. Forstørret vi atomkjernen til en liten appelsin, vil elektronene som kretser rundt atomkjernen gå i baner med en diameter på noen kilometer! Det illustrerer godt at mesteparten av et atom er tomtrom.

I disse to eksemplene vil altså størrelsesforholdene i modellen og i det virkelige systemet være ganske så korrekt. En skalamodell kan imidlertid gjengi noen størrelsesforhold riktig, mens andre ikke-



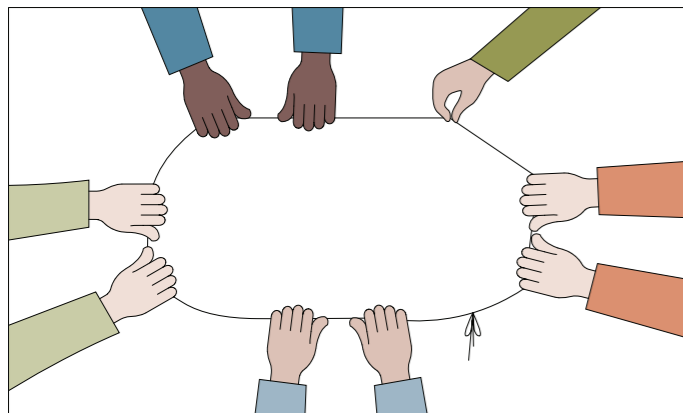
Figur 1. Modell av solsystemet der det er riktig forhold mellom størrelsene til planetene, mens avstanden mellom dem langt fra er korrekt. Illustrasjon: The International Astronomical Union / Martin Kornmesser (offentlig eiendom)

I lærebøker, for eksempel, kan det være modeller av solsystemet der det er riktig forhold mellom størrelsene til planetene, mens avstanden mellom dem er langt fra korrekt (se figur 1). Det ville jo være ganske så umulig på en vanlig bokside.

Å lage skalamodeller kan ha flere utfordringer. Vi kan tenke oss at vi har en lekebil av plast som er en forminsket størrelse av en virkelig bil. Ville vi da kunne forstørre denne modellen til full størrelse med samme materiale? Svaret er nei. For selv om vi har forstørret alle delene i riktig målestokk, og formen er den samme, vil bilen i full størrelse knekke sammen av sin egen vekt. Dette henger sammen med at hvis vi dobler størrelsen til en gjenstand, vil både høyde, bredde og dybde fordobles, og gjenstanden blir åtte ganger så tung. Så selv om en forminsket skalamodell av en virkelig bil kan se korrekt ut, er det egenskaper ved modellen som ikke blir riktig. Det er med andre ord viktig at vi tenker over både styrker og begrensninger ved modellene vi bruker.

Analogimodeller i elektrisitetslære

I undervisningssammenheng er det kanskje analogimodeller som er hyppigst brukt. Med en analogimodell ønsker vi å beskrive et fenomen der vi bruker noe kjent som har viktige likhetspunkter med fenomenet vi vil beskrive. På samme måte som for skalamodeller, må også analogimodeller brukes med forsiktighet. Det skal ikke mye til før de kan gi opphav til feil forestillinger. Noen egenskaper ved analogier passer godt med det virkelige fenomenet vi vil studere, mens andre egenskaper ikke passer. I undervisningen er det helt avgjørende at vi diskuterer med elevene både styrker og begrensninger ved modellene vi bruker. Styrkene ved en modell er kanskje nokså lett å se, mens begrensningene ikke så lett kommer til syne. Selv om en modell passer godt på ett område, kan elever lett tro at en modell er gyldig selv om den egentlig ikke passer på noen andre områder. Det er altså vesentlig å problematisere modellene sammen med elevene. Slike diskusjoner med elevene er nødvendige for at læring med analogier skal bli vellykket.



Figur 2. En elev trekker tauet rundt i sirkelen og er dermed batteriet. En annen holder igjen tauet for å bremse det ned og er dermed som ei lyspære. Illustrasjon: Naturfagsenteret

Analogimodeller er mye brukt som hjelpemiddel i elektrisitetslære, og spesielt elektriske kretser. Det er mange abstrakte begreper i elektrisitetslære, blant annet strøm, spenning og energi. Det er nok grunnen til at analogimodeller er så hyppig brukt. Men også her skal vi se at modellene har styrker og begrensninger.

Et eksempel er *snoranalogen*. Vi bruker en snor knyttet sammen i endene. Den skal illustrere strømmen i en krets. Elevene danner en ring og hver elev holder løst i snora. Læreren eller en av elevene er «batteriet» og drar i snora slik at den sirkulerer, se figur 2. Da vil hele snora bevege seg med samme fart i hele ringen. Dette tilsvarer at det går samme strøm gjennom hele kretsen, og at vi må ha en lukket krets for at strømmen skal kunne gå. Det er like mye snor, og altså strøm, som forlater batteriet som kommer tilbake.

Vi kan også illustrere motstand ved at en elev holder litt hardere rundt snora. Da vil snora bevege seg saktere, og det tilsvarer at det går mindre strøm i kretsen. Elektrisk strøm kan vi definere som hvor mye ladning som passerer et tverrsnitt av lederen per sekund. Når snora går saktere, vil mindre snor (altså strøm) passere en hånd per sekund. Eleven kan også kjenne at det blir litt varmere i hånda, altså at det blir overført energi. I den elektriske kretsen er det strømmen som overfører energi fra batteriet til for eksempel en lyspære. Denne analogien kan være til hjelp for å forstå begrepene strøm og energi. Men modellen kan også gi opphav til misoppfatninger. Strøm er ikke lik en sammenhengende snor. I en leder er

det jo elektroner som beveger seg. En kunne tegne svarte prikker på snora for å representere elektronene, men fortsatt kan det gi en forestilling om at alle elektronene ligger på rekke og rad og beveger seg helt likt, og det gjør de jo ikke.

En hyppig forekommende hverdagsforestilling hos mange elever, er at strømmen brukes opp når den passerer f.eks. en lyspære, altså at det går mindre strøm i kretsen etter lyspæra enn foran. Snoranalogen illustrerer godt at det ikke er tilfelle. Det passerer like mye snor foran og etter en hånd som holder i snora. Men det er noe som «blir brukt opp». Det blir jo overført energi fra batteriet til lyspæra. Det er snora/strømmen som er energibærer og blir ikke selv brukt opp. Når elever i en klasse gir uttrykk for en forestilling om at strømmen brukes opp, kan læreren gjerne svare som for eksempel: «I snoranalogen så vi at det gikk like mye snor, altså strøm, gjennom hele kretsen. Det var ikke noe snor som ble brukt opp. Men det er noe som blir «brukt opp», nemlig energien som er lagret i batteriet». Dette kan vi diskutere med elevene. En annen ting er at en slik diskusjon kan gi opphav til forestillingen at energi er noe som forsvinner, i strid med energibevaringsloven.

Det er altså flere styrker ved denne modellen. Men selv om en kan forstå at det må energi til for å drive strømmen, er ikke spenningsbegrepet godt forklart. Elektrisk spenning er definert som det arbeidet (energien) som blir utført per ladning for å forskyve en ladning fra et punkt til et annet. Dette kan kanskje bedre illustreres ved en modell der vi løfter kuler i tyngdefeltet. Den som løfter kulene til en bestemt høyde, representerer spenningskilden og tilfører kulene potensiell energi. Høyden tilsvarer da det elektriske potensialet. Kulene avgir energi når de faller i tyngdefeltet, og det er høydeforskjellen som representerer spenningen, altså potensiellforskjell.

Det er åpenbart flere utfordringer når en skal «konkretisere» abstrakte begreper som strøm, spenning og energi. Elevene må få uttrykke seg med egne ord om hvordan de oppfatter analogiene. Og, som sagt, er det viktig at både styrkene og begrensningene til modellen blir fremhevet og diskutert.

Analogimodeller i astronomi

Innenfor temaet astronomi bruker en også ulike modeller. Vi har allerede nevnt en skalamodell for solsystemet vårt. Her skal vi se på en modell som skal illustrere universets ekspansjon.



Figur 3. En bolledeig med rosiner som ligger til heving kan være en analogimodell på universet som utvider seg. Rosinene, som galaksehopen, ligger i ro, mens selve deigen utvider seg og gjør at rosinene beveger seg fra hverandre. Foto: Anders R. Sørnes

En ballongoverflate, der vi limer på små papirlapper som illustrerer galaksehoper, kan brukes som en analogi til universet. En galaksehoper er en samling av galakser. Vår galakse, Melkeveien, befinner seg i en galaksehoper som består av over 50 galakser. Det er imidlertid ganske problematisk å skulle forestille seg universet som en todimensjonal flate, der altså selve ballongoverflaten illustrerer *hele* universet. Men hvis vi godtar analogien, viser den noen viktige fenomener. Hvis vi blåser opp ballongen (universet utvider seg), vil vi se at alle papirlappene (altså galaksehopen) fjerner seg fra hverandre. Det spiller ingen rolle fra hvilken galaksehoper vi observerer ekspansjonen. Et viktig poeng er at galaksehopen selv ikke utvider seg, men ligger i ro på sin plass. Det er selve rommet (ballongoverflaten) som ekspanderer. Et godt poeng til er at ballongoverflaten ikke har noe sentrum, som altså tilsvarer at universet ikke har noe sentrum.

Den store utfordringen når en bruker denne analogien, er åpenbart at et tredimensjonalt univers blir fremstilt som todimensjonalt. Det skal ganske mye til for å godta at selve ballongoverflaten er universet og at det ikke eksisterer noe verken utenfor eller innenfor overflaten. Ballongen er ikke noe sted, og ballongoverflaten er alt som finnes i denne modellen!

En bolledeig med rosiner som står til heving, kan også brukes som analogimodell til at universet utvider seg (se figur 3). Rosinene som illustrerer galaksehoper, ligger i ro, og det er selve deigen som

utvider seg slik at rosinene beveger seg fra hverandre. At universet ikke har noe sentrum, kommer ikke fram i denne modellen.

I begge disse modellene har «universet» en endelig størrelse. Men i kosmologien er det fortsatt et stort spørsmål om universet er endelig eller uendelig. Hvis det er endelig, dukker det opp mange spørsmål: Er det noe utenfor? Hva skjer hvis vi krysser grensen til universet? Finnes det flere universer? Og, hva vil det bety hvis det er uendelig?

Til slutt

Å bruke modeller i fysikk- og naturfagundervisningen har mange klare fordeler, som det er forsøkt vist i denne artikkelen. Det kan hjelpe elever til å danne seg mentale bilder av fenomener, noe som kan hjelpe dem i forståelsen av de virkelige fenomenene. Men noen modeller kan være vanskelig å forstå, og modeller kan også gi opphav til misforståelser.

Denne artikkelen er delvis basert på bøkene Fysikkdidaktikk¹ og Fysikk for lærere² der en kan finne mer stoff om modeller og modellering i fysikk- og naturfagundervisningen.

Noter

¹ Angell, C., Bungum, B., Henriksen, E. K., Kolstø, S. D., Persson, J. & Renstrøm, R. (2019). *Fysikkdidaktikk* (2. utg.). Cappelen Damm Akademisk.

² Angell, C., Flekkøy, E.G., & Kristiansen, J.R. (2021). *Fysikk for lærere. Naturfag i grunn- skolelærerutdanningen 5. - 10 trinn* (2. utgave). Oslo, Gyldendal Akademisk.



Kjemiske modeller: Å vise det usynlige

Det blir rosa! Se, det bobler! Kjemisk kan gi umiddelbare og magiske opplevelser i klasserommet, men hvis elevene skal få en dypere forståelse av hva som skjer, må de forholde seg til en usynlig verden av atomer, ioner og molekyler. For noen oppleves også denne verdenen som magisk og spennende, for andre er den bare forvirrende og ubegripelig. Hvordan hjelper vi dem til å forstå det de ikke kan se?

For å gjøre det usynlige tilgjengelig for elevene bruker vi modeller. Og vi bruker ikke bare én modell for et fenomen, vi bruker mange ulike modeller, avhengig av hvilket poeng ved fenomenet vi vil ha frem. Bildet på neste side viser et utvalg ulike modeller av et vannmolekyl som elevene kan møte i naturfagundervisningen. I tillegg er tredimensjonale modeller som molekylbyggesett et nyttig hjelpemiddel, der elevene kan bygge egne modeller av ulike stoffer.

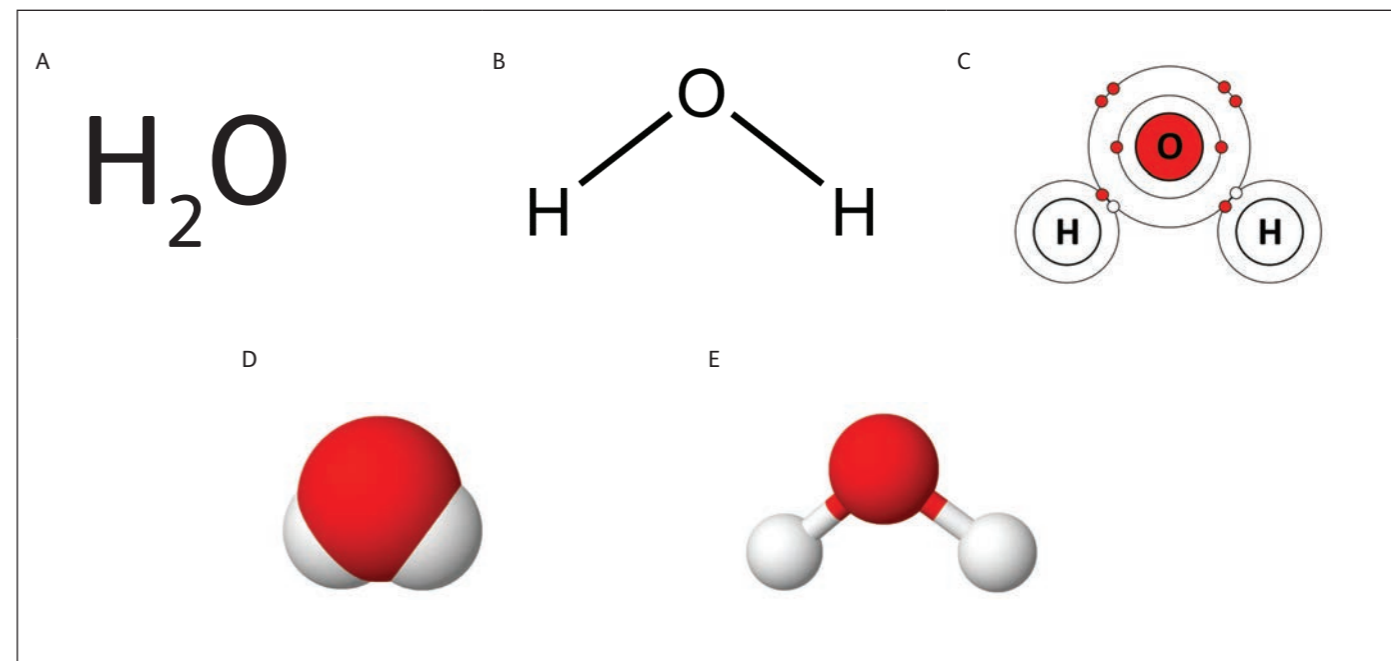
Alle modeller er forenklinger av virkeligheten, som fremhever noen egenskaper på bekostning av andre. Ved å snakke med elevene om styrker og begrensninger ved ulike modeller, kan misforståelser unngås, og elevene kan få et mer bevisst forhold til at modeller ikke viser hele sannheten, men fortsatt er nyttige verktøy. Evnen til å ikke bare bruke modeller, men også å ha en bevissthet om hva modellen egner seg til, er tema i naturfag på både mellomtrinnet og ungdomstrinnet. Ved å la elevene sammenligne ulike kjemiske modeller og snakke om hva de viser og ikke viser, kan man jobbe med både kjemiforståelse og modellforståelse i samme slengen.

Det å lære seg noen av de vanligste kjemiske symbolene og å kunne lese enkle kjemiske formler som H_2O (modell A) og forstå hvilken informasjon de inneholder, er en grunnleggende del av det å kunne lese kjemi. Sammenlignet med ordet «vannmolekyl» inneholder den kjemiske formelen mye informasjon om hvilke grunnstoffer og hvor mange atomer av hvert grunnstoff som inngår i et vannmolekyl. De kjemiske formlene gjør det mulig å kommunisere effektivt om kjemi, men forutsetter at man forstår hva både bok-

stavene og tall i ulike posisjoner representerer. Å la elevene bygge molekyler med molekylbyggesett basert på kjemiske formler og sammenligne formlene med grafiske kjemiske modeller, øker den operative forståelsen av hva formlene viser og, kanskje like viktig, hva de ikke viser. Den kjemiske formelen sier for eksempel ingenting om hvordan atomene i molekylet er satt sammen. Den informasjonen finner vi derimot i modell B, der elektronparbindingene er markert med streker. Hver strek representerer vanligvis to delte elektroner, slik at en dobbeltbinding vil være markert med to streker. Dette må elevene lære for å kunne tolke denne typen modeller på riktig måte.

Når elevene skal lære om elektronparbindinger, erstatter vi gjerne modell B med mer detaljerte varianter som viser elektronskall og elektroner, slik at man kan visualisere de delte elektronene. Modell C er et typisk eksempel. En slik modell er imidlertid for detaljert og inneholder for mye informasjon for de fleste andre formål, selv om den er utmerket til sitt bruk. At mer informasjon ikke nødvendigvis automatisk betyr en bedre modell, er et poeng det kan være verdt å diskutere med elevene for å øke bevisstheten om at modeller har ulike bruksområder.

I modell C representeres ikke atomene bare av kjemiske symboler, men også av bestemte farger. I tillegg er elektronene farget i samme farge som atomet de tilhører, slik at det skal være lett å se at elektronene deles. Dette passer godt til formålet, men kan gi inntrykk av at elektronene tilhører bestemte atomer, mens virke-



Her vises ulike modeller av et vannmolekyl: A: kjemisk formel, B: strukturformel, C: modell som viser elektronene, D: kalottmodell og E: kulepinnemodell.

ligheten er at når elektroner deles, er det vilkårlig hvilke elektroner som er rundt hvilket atom.

Fargene som er brukt på oksygen- og hydrogenatomene i modell C er de standardiserte fargene for disse grunnstoffene: Rødt for oksygen og hvitt for hydrogen. De samme fargene går igjen i modell D og E, men her brukes ikke de kjemiske symbolene. For å kunne tolke disse modellene må altså elevene vite at hvite kuler representerer hydrogenatomer, mens røde kuler representerer oksygenatomer. Det samme gjelder når elevene bruker molekylbyggesett. Det er hensiktsmessig for elevene å lære seg de standardiserte fargekodene for noen av de vanligste grunnstoffene (se tekstboks), men vær oppmerksom på at de fort kan møte modeller som avviker i fargesammensetningen, hvis tegneren ikke er bevisst på konvensjonene. En vanlig oppfatning blant elever er at fargene på kulene viser fargene atomene har i virkeligheten, så det kan være verdt å presisere at vann ikke er rødt og hvitt på partikkelnivå, men at vi bruker fargekoder som gjør det lett å se hvilke grunnstoffer et molekyl inneholder.

Det er selvsagt legitimt å spørre om vi trenger så mange forskjellige modeller. Alle lærere bruker sikkert ikke samtlige modeller på bildet. Blant annet er det sjelden vi bruker kalottmodellen (D), selv om den trolig stemmer best med den romlige strukturen til molekylet på partikkelnivå. Det er på mange måter ikke så nøye med en «naturtro» gjengivelse av noe vi uansett ikke skal se i virkeligheten. Derfor er det vanligere å bruke en modell som E, der elektronparbindingene representeres av pinner som tilsvarer strekene i B og minner om pinnene i et molekylbyggesett. Denne typen modell gjør det lett å se hvordan atomene i et stoff er bundet til hverandre. En ulempe er imidlertid at modellen gir et inntrykk av at kjemiske bindinger er noe konkret fysisk, og ikke et resultat av elektriske tiltrekninger mellom elektroner og atomkerner. Denne oppfatningen forsterkes når elevene bygger med molekylbyggesett. Modeller med synlige bindinger kan også bidra til oppfatningen om at det er luft mellom atomene i et molekyl. Idéen om at det bare er tomrom, kan være vanskelig å forholde seg til. Gjør det modeller med synlige bindinger uegnet? Nei, slike modeller er blant de mest brukte i kjemi, de gir oversiktlige modeller og gjør det mulig å vise

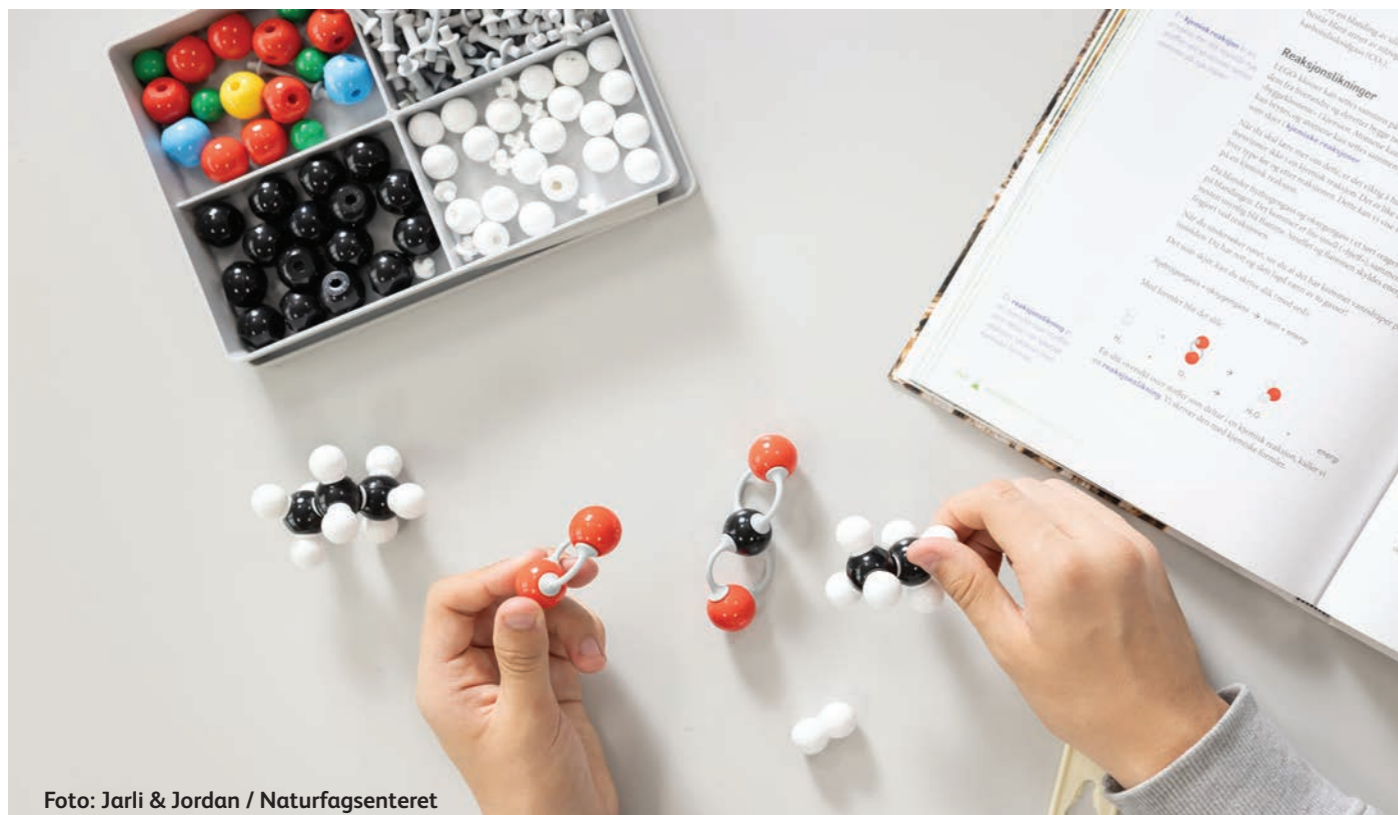


Foto: Jarli & Jordan / Naturfagsenteret

Fargekoder for noen vanlige grunnstoffer

Elevene bør helst lære seg følgende fargekoder:

hydrogen = hvit ●
karbon = svart ●
nitrogen = blå ●
oksygen = rød ●

De kan også komme borti

klor = grønn ●
svovel = gul ●

Til metallatomer brukes ofte grå eller sølv (●), men dette er ikke spesifikt for ett bestemt grunnstoff.

både enkelt-, dobbelt- og trippelbindinger. Det er ingen grunn til å slutte å bruke slike modeller, men ved å sammenligne dem med andre molekylmodeller kan vi hjelpe elevene til å forstå modellens styrker og begrensninger, slik at de kan bruke dem riktig uten å ta med seg misoppfatningene.

Det er viktig at vi som lærere er bevisste på hvilken kunnskap elevene trenger for å tolke modeller og på hvilke modeller vi bruker. Denne bevisstheten kan vi dele med elevene. Ved å bruke ulike modeller for den samme tingen, i dette tilfelle et vannmolekyl, og eksplisitt snakke om hva modellene viser og hvorfor vi bruker de ulike modellene der vi gjør, blir elevene ikke bare bedre til å tolke modeller, men også mer bevisste på at en modell er en representasjon av virkeligheten og ikke selve virkeligheten. Denne kunnskapen vil både hjelpe dem å forstå kjemiens usynlige partikkelverden og ruste dem til å forholde seg til de mange andre modellene de vil møte i naturfag.



Foto: Jarli & Jordan / Naturfagsenteret



Modeller av virus og smittespredning

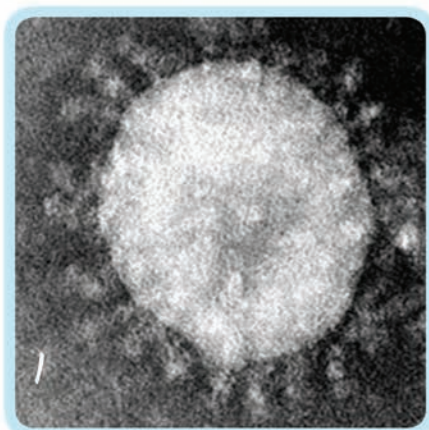
En modell er ei forenkla framstilling som viser fram noen viktige kjennetegn. Alle modeller har sine styrker og begrensninger, og det er viktig at elevene kjenner til disse for å kunne få godt faglig utbytte av modellen. I denne artikkelen vil jeg beskrive hvordan elevene kan jobbe med styrker og begrensninger ved ulike modeller gjennom to eksempler fra Viten-programmet Virus og vaksine¹.

I starten av Viten-programmet introduseres elevene til tre ulike modeller av koronaviruset: et mikroskopbilde, en 3D-modell og ei tegning som viser et tverrsnitt av koronaviruset. Elevene får i oppgave å vurdere styrkene og begrensningene til tegninga av koronaviruset (til høyre på figur 1).

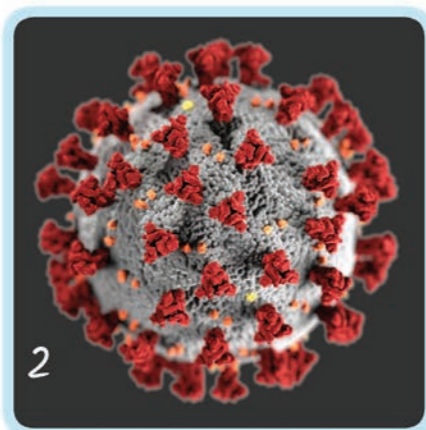
Under utprøving av programmet har vi sett at elever skriver at det er en styrke at modellen viser hvordan viruset ser ut inni og at det

blir enklere å forstå hvordan viruset er oppbygd. Mens det er ei begrensning at tegninga ikke ser så ekte ut og at det er mange flere pigger i virkeligheten.

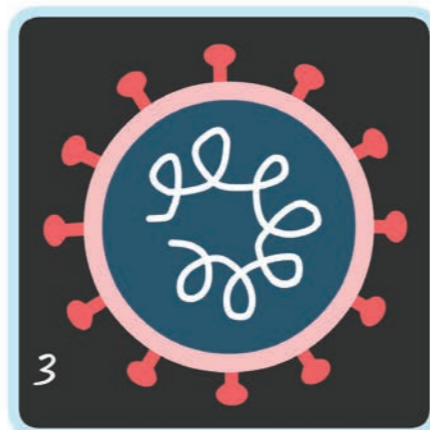
Denne tegninga av koronaviruset brukes gjennomgående i hele Viten-programmet. Det er derfor viktig at elevene får et bevisst forhold til at dette er en modell som ikke er en direkte kopi av koronaviruset, og at de har tenkt litt rundt hva som er styrkene og



Bilde av koronaviruset sett gjennom et elektronmikroskop.



3D-modell av koronaviruset som fremhever formen på molekylene på overflaten av viruset.



2D-modell som viser et tverrsnitt av koronaviruset og fremhever arvestoff og pigger.

Figur 1. Skjermdump fra viten.no/virus av ulike modeller av koronaviruset.

begrensningene til modellen. Når elevene får se ulike modeller av viruset, er det dessuten lettere å forstå styrkene og begrensningene til hver enkelt modell, samtidig som de ulike modellene gir en mer sammensatt forståelse av hvordan koronaviruset ser ut.

Dette er en oppgave som kan overføres til andre tema som solsystemet, celler, et grunnstoff eller fotosyntese. Bruk gjerne ulike typer modeller av samme fenomen eller prosess og be elevene sammenligne og finn styrker og begrensninger ved de ulike modellene. Det kan for eksempel være en fysisk modell, ei tegning, foto eller forminskede eller forstørrede modeller med riktig målestokk.

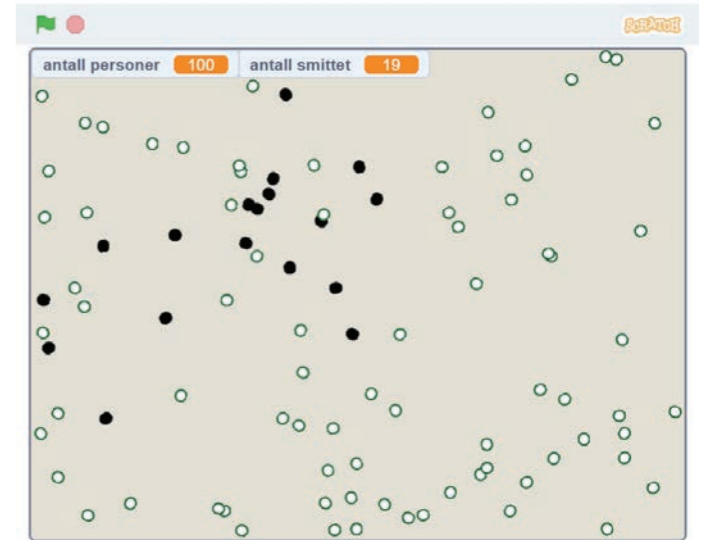
Simuleringer er modeller vi kan bruke for å teste hva som skjer under gitte forhold. I Viten-programmet Virus og vaksine skal elevene utforske ei enkel simulering for smittespredning i ei gruppe på 100 personer på et kjøpesenter (se figur 2). Elevene skal teste ut hva som skjer i tre situasjoner: ingen tiltak, bruk av munnbind og en meters avstand. For hvert tiltak skal de gjøre tre kjøring med simuleringa, notere ned antall smittede og regne ut gjennomsnittet. Dette for å få fram at simuleringa viser tilfeldige bevegelser hos personene og at vi får litt ulikt resultat for hver kjøring.

Simuleringa av smittespredninga er ingen nøyaktig gjengivelse av virkeligheten, og det er gjort noen forenklinger. Elevene får derfor i oppgave å vurdere om simuleringa viser følgende faktorer:

- effekt av munnbind
- effekt av enmetersregelen
- effekt av håndvask
- inkubasjonstid (tiden fra man blir smittet til man får symptomer på sykdom)
- tilfeldigheter (som for eksempel tilfeldig bevegelsesmønster)
- hvor mange i gruppa som er vaksinert
- at noen syke blir friske igjen

Løsninga på oppgaven er at simuleringa ikke viser effekt av håndvask, inkubasjonstid, hvor mange i gruppa som er vaksinert og at noen syke blir friske igjen.

På spørsmålet om det er andre ting simuleringa ikke viser går det an å nevne:



Figur 2. Skjermdump av simulering av smittespredning.

- Simuleringa viser ikke hvor mange som har vært smittet tidligere og derfor er immune.
- På et kjøpesenter vil det være områder der det er lettere å bli smittet (for eksempel på en kafe eller i en heis). Dette får simuleringa ikke fram.
- Noen elever vil kanskje påpeke at simuleringa ikke viser om noen dør. Men dette er ikke relevant for denne simuleringa, da den bare viser smittespredning på et kjøpesenter.
- Simuleringa sier ikke noe om over hvor langt tidsrom ei kjøring varer i virkeligheten (for eksempel om ei kjøring tilsvarer en time på et kjøpesenter).

Dette er et eksempel på hvordan vi kan gi elever trening i å ikke bare bruke simuleringer, men også trening i å vurdere kvaliteten til simuleringer og hva de faktisk viser.

I denne artikkelen har jeg gitt noen eksempler på hvordan man kan jobbe med følgende kompetansemål etter 10. trinn: *bruke og lage modeller for å forutsi eller beskrive naturfaglige prosesser og systemer og gjøre rede for modellenes styrker og begrensninger.*



Den flytende mosaikkmodellen

Den flytende mosaikkmodellen er mye brukt som modell på cellemembranen. I denne artikkelen skal vi se på hva som er hensikten med denne modellen, diskutere styrker og begrensninger ved modellen og argumentere for hvorfor denne modellen bør utfylles med andre modeller i skolen.

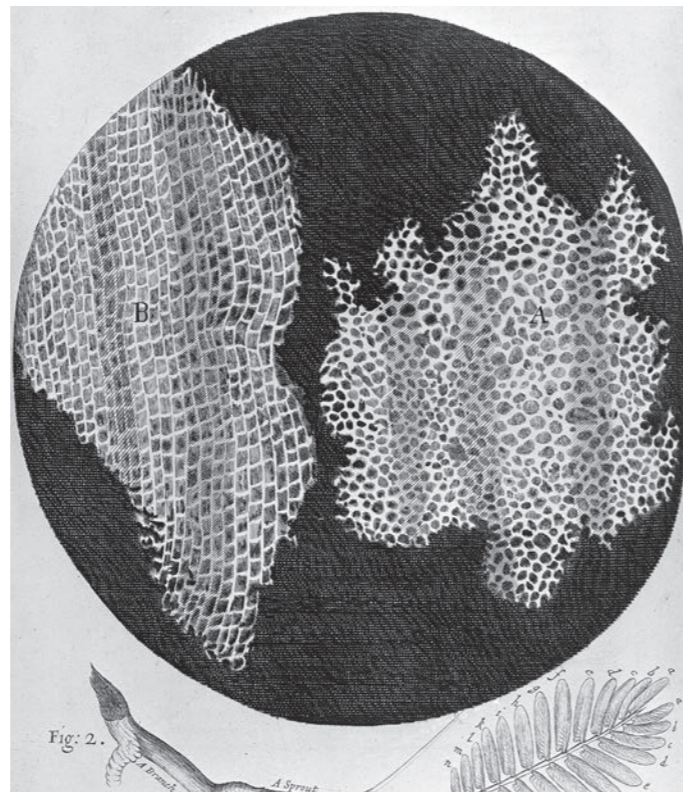
Historien rundt utviklingen av den flytende mosaikkmodellen

Historien om oppdagelsen av celler er godt kjent. I 1665 oppfant Robert Hooke det første mikroskopet og oppdaget at tynne skiver av kork var sammensatt av regelmessige, små kamre (se figur 1). Han kalte dem celler, etter ordet «cella» som betyr «lite kammer». Det han så, var cellevegger i korkvev. I 1839 ble celler beskrevet som de minste enhetene i alle levende organismer.

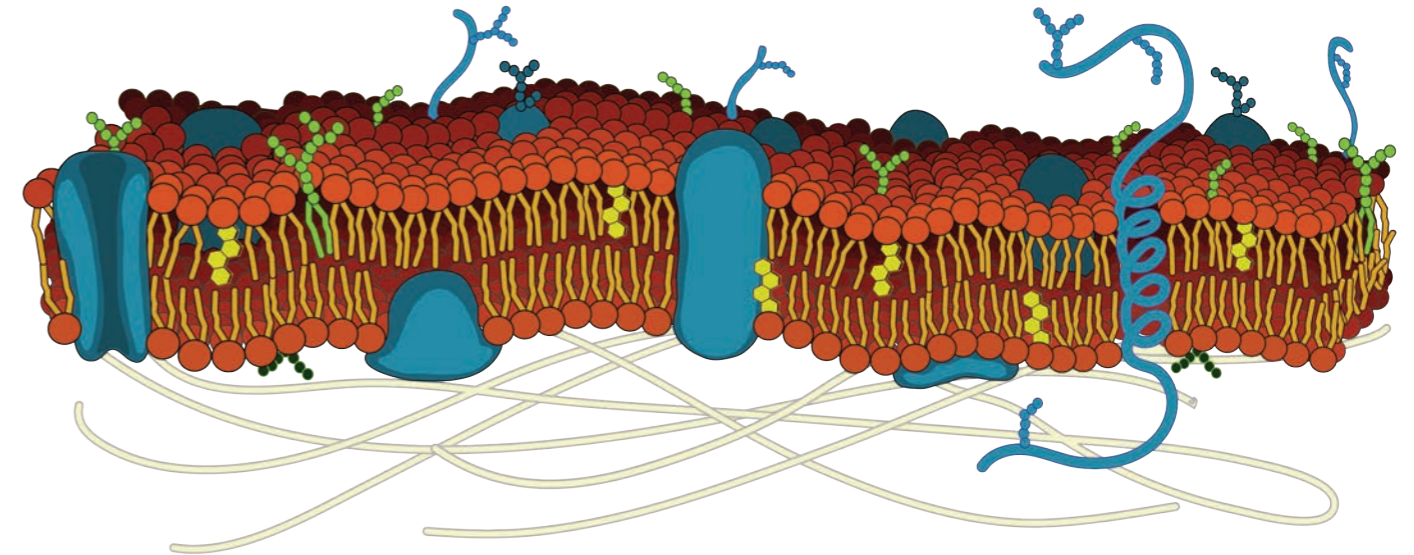
Historien rundt utformingen av cellemembranteorien og den flytende mosaikkmodellen er kanskje mer ukjent, men både spennende og begivenhetsrik! Den flytende mosaikkmodellen (se figur 2) er nå den mest vanlige vitenskapelige modellen for å illustrere og forklare struktur og funksjon til cellemembraner, både i lærebøker for naturfag og biologi og i vitenskapelige fagartikler og bøker.

Den flytende mosaikkmodellen er basert på Singer og Nicholson sin hypotese fra begynnelsen av 1970-tallet som sa at biologiske membraner er bygd opp av lipider, proteiner og karbohydrater. Lipider er hovedsakelig amfipatiske fosfolipider med en polar, «vannelskende» ende og en upolar, vannfrastøtende ende. Dette gir fosfolipidene en ganske unik egenskap i kontakt med vann, der de automatisk legger seg i et dobbeltlag og organiserer seg i selvstendige, sirkulære strukturer der de polare endene er i kontakt med vann, mens de upolare endene vender mot hverandre. Denne strukturen er den mest stabile strukturen.

Amfipatiske proteiner følger samme logikken og legger seg hoved-



Figur 1. Korkceller observert gjennom et lysmikroskop av Robert Hooke i 1665. Foto: Wellcome Collection gallery CC BY 4.0 / Wikimedia Commons



Figur 2. Skisse av cellemembranen med den flytende mosaikkmodellen. Ill.: LadyofHats / Wikimedia Commons (offentlig eiendom)

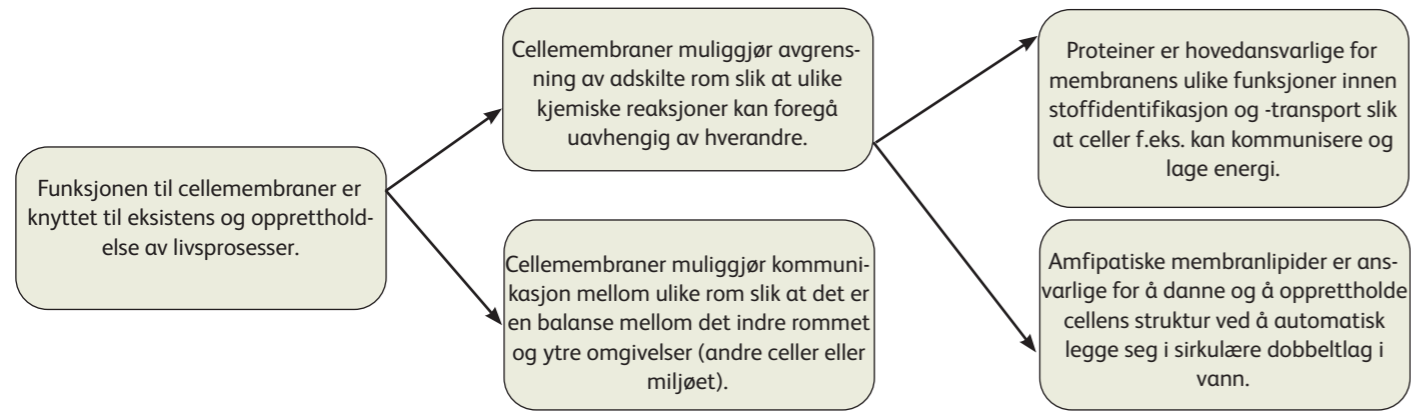
sakelig i lipiddobbelletaget, mens karbohydratene enten er festet til proteinene eller lipidene. *Mosaikk* i den sammenhengen referer til den varierende sammensetningen av proteinene og lipidene i ulike celletyper, mens *flytende* refererer til egenskapene fosfolipidene har til å kunne bevege seg innad i membranen. Cellemembranen er dermed ikke en *statisk* begrensning rundt et hulrom som begrepet *celle* i seg selv kan gi umiddelbare assosiasjoner til, og som det kan se ut som når Robert Hooke og dagens elever observerer planteceller gjennom et lysmikroskop og kun ser plantecellenes særegne, harde *cellevegger*. Heller er den tynne cellemembranen en dynamisk struktur som gjør at ulike miljøer kan avgrensnes, samtidig som at det muliggjør utveksling av informasjon mellom de ulike miljøene.

Det tok forskere mer enn 200 år å enes om den sentrale rollen cellemembranen har for utviklingen av selve cellen som minste enhet for liv. For eksempel bidro fysiologiske, kjemiske og fysiske undersøkelser av membrans halvgjennomtrengelighet på midten av 1800-tallet, identifisering av lipider og proteiner som hovedbestanddel i starten av 1900-tallet, forslaget om et dobbeltlag av lipider ti år senere og den første observasjonen av hvilke molekyler cellemembranen besto av gjennom elektronmikroskopet på 1950-tallet til det endelige forslaget av den flytende mosaikkmodellen i 1972. Figur 3 viser en oversikt over egenskapene til cellemembranen som er omtalt her og hvordan de henger sammen.

Den flytende mosaikkmodellen i undervisningssammenheng

Fortsatt er den flytende mosaikkmodellen fremdeles den beste vitenskapelige modellen for å illustrere og forklare sammenhengen mellom strukturer og funksjoner til ulike membranlipider og proteiner. For eksempel gir tverrvitenskapelig forskning på membranproteiner forskere mulighet til å bedre forstå hvordan cellemembraner styrer en kontinuerlig stoffutveksling for å opprettholde balansen mellom sitt indre og ytre miljø og dermed være i stand til å utvikle tilpasset medisin mot typiske menneskelige sykdommer som forstyrrer denne balansen, slik som de fleste krefttypene eller en SARS-CoV-2-infeksjon gjør.

Men hva som er en god modell for vitenskapen, trenger ikke nødvendigvis være en god modell i undervisningssammenheng. Generelt har enhver modell sine begrensninger og styrker med tanke på at den fremhever noen aspekter av et fenomen, mens den ikke får fram andre. Det kan ofte være vanskelig for elever å forstå det skjulte og implisitte med en modell. I en undervisningssammenheng er det derfor viktig at læreren legger opp til en diskusjon rundt hensikten med en bestemt modell, samtidig som at elevene diskuterer hva modellen får fram og ikke. I løpet av denne diskusjonen er det viktig at læreren tar hensyn til elevene sine førforestillinger og ikke minst at elevene selv blir klar over disse.



Figur 3. Oversikt over egenskapene til cellemembranen og hvordan de henger sammen.

Forskning² viser at elever både på grunnskole og videregående skole har en tendens til å forestille seg cellemembranen og celleveggen som tilsvarende strukturer som dermed også har den samme funksjonen, nemlig å mekanisk beskytte cellenes indre fra det truende, ytre miljøet. Om og i hvilken grad den flytende mosaikkmodellen fungerer som en god modell i skolen er avhengig av om den fremhever de følgende sentrale aspektene som både tar hensyn til elevenes forestillinger og de vitenskapelige begrepene^{2,3}:

- forskjellen mellom celler og organeller som isolerte byggeklosser og som organiserte, avgrensede rom
- forskjellen mellom to- og tredimensjonalitet for å forstå at cellemembraner er funksjonelle deler av celler og at spesielt proteiner og lipider er viktige deler av cellemembranen
- hvordan vannmiljøer avgjør cellenes sirkulære struktur og dermed at cellemembraner er barrierer mellom to slike miljøer
- at proteiner gjør hovedfunksjonen til cellemembranen, nemlig transport og kommunikasjon, mulig
- at membranproteiner blir produsert av cellen selv ut fra skiftende miljøforhold

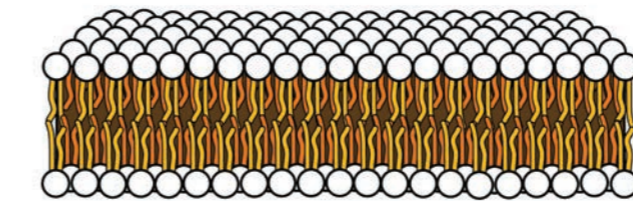
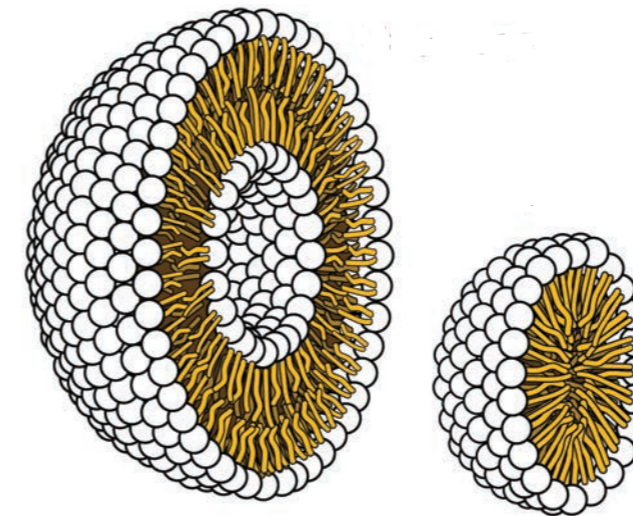
Hvilke sentrale aspekter skjules og fremheves av den flytende mosaikkmodellen?

Når vi bruker de sentrale aspektene som briller for å studere hensikten med den flytende mosaikkmodellen i undervisninga, ser vi at modellen skjuler mer enn den fremhever.

Det at a) ikke vann og andre oppløste stoffer samt cellens indre og ytre miljø vises samt at b) cellemembranen er illustrert som et rektangulært todimensjonalt utsnitt og ikke en sirkulær struktur og c) bare lipidene og ikke proteiner og karbohydrater er illustrert ut fra sin kjemiske struktur, er problematisk i skolen. Dette kan støtte opp under en forestilling av at membranen ikke er en funksjonell del av *alle* celler, men bare ligger som en statisk, endimensjonal linje rundt en isolert celle (slik som dyre- og planteceller gjerne illustreres i bøker eller vises i lysmikroskopet) og at grunnen til at lipidene organiserer seg i et dobbeltlag ligger i deres *ønske* om å beskytte cellen på best mulig måte framfor at dobbeltlagstrukturen skyldes den kjemiske oppbygningen. Videre kan det være vanskelig å forstå at membranproteiner har ulike funksjoner. For eksempel har kanalproteiner på samme måte som lipidene en hydrofil, indre side som danner «kanalen» og dermed kan slippe gjennom hydrofile stoffer og et hydrofobt ytre som kan reagere med lipidene i membranen. Det kan også være utfordrende for elevene å forstå at proteinsammensetningen i membraner varierer fra celletype til celletype og er veldig dynamisk. Cellen kan «skru på» spesielle gener for å øke produksjonen av bestemte membranproteiner ut fra for eksempel endringer i kostholdsvaner (for eksempel økt konsum av nikotin eller koffein).

Kombinasjon av den flytende mosaikkmodellen og andre modeller

I skolen bør den flytende mosaikkmodellen kombineres med andre modeller som fremhever sammenhengen mellom struktur og



Figur 4. Todimensjonale illustrasjoner av et liposom (en kuleformet partikkel bestående av minst ett dobbeltlag av lipider rundt vann), en micelle (en kuleformet partikkel bestående av ett enkeltlag av lipider) og et rektangulært dobbeltlag av lipider. Illustrasjon: By Mariana Ruiz Villarreal, LadyofHats / Wikimedia commons, offentlig eiendom

funksjon til lipidene, proteinene og membranen som helhet på en bedre måte. For eksempel kan dette gjøres ved å la elevene sammenligne todimensjonale illustrasjoner av liposomer (kuleformete partikler bestående av minst ett dobbeltlag av lipider med vann på innsiden), miceller (kuleformete partikler bestående av ett enkeltlag av lipider) og et rektangulært dobbeltlag av lipider (se figur 4), samtidig som at elevene observerer en tredimensjonal «dråpmodell» av cellen. Læreren kan for eksempel vise hvordan flytende fett fra matolje automatisk danner en fettdråpe i vann (selv om fettmolekylene i matolje ikke er amfipatiske, men lipofile, vil de i første kontakt med vann legge seg i kuleform før de leg-



Figur 5. Forslag på tredimensjonale lipid- og proteinmodeller som kan utfylle den flytende mosaikkmodellen. Foto: Naturfagsenteret

ger seg på toppen av vannet). Deretter kan elevenes blikk rettes mot proteinene og deres ulike funksjoner i cellemembranen, samt cellemembranens sammensetning av lipider og proteiner, ved at elevene selv modellerer sin egen flytende mosaikkmodell av egnet materiale. Det kan for eksempel være ulikt godteri med ulik farge (for å illustrere polaritet) og form (for å illustrere ulike proteiner eller lipider), se figur 5.

Jeg håper at denne artikkelen kan bidra til økt bevissthet om at hvis vi ønsker at elevene skal forstå cellemembraner som de fascinerende molekylære strukturer som de er, så kan vi ikke bare ukritisk overta den flytende mosaikkmodellen, men vi må supplere med kreative, utfyllende modeller som er egnet i undervisningen.

Noter

- 1 Lombard, J. (2014). Once upon a time the cell membranes: 175 years of cell boundary research. *Biology Direct*, 9(32).
- 2 Johann, L., Rusk, R. Reiss, M., & Groß, J. (2022). Upper secondary students' thinking pathways in cell membrane biology – an evidence-based development and evaluation of learning activities using the Model of Educational Reconstruction. *Journal of Biological Education*, 1-22.
- 3 Rundgren, C.-J., Tibell (2010). Critical Features of Visualizations of Transport through the Cell Membrane-an Empirical Study of Upper Secondary and Tertiary Students' Meaning-Making of a Still Image and an Animation. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8, 223-246.



Å lage egne, fysiske modellar

Å la elevane lage sine egne modellar er eit godt utgangspunkt for å lære. Korleis kan vi legge opp dette arbeidet?

Skap læringsbehov og gi tydelege kriterium

Det å gi elevane i oppdrag å lage sin eigen modell av noko, vil vere ein drivkraft og skape eit læringsbehov. For å lage modellen treng dei informasjon om det dei skal lage, dei må finne ut kva for delar modellen bør bestå av og forma på dei ulike delane. Det å lage ein fysisk modell vil derfor vere eit godt utgangspunkt for å skulle lære seg eit fagleg innhald. Det er viktig å ha tydelege kriterium for korleis modellen skal vere. Dette gir støtte for og retning på korleis elevane skal utforme modellen.

Eit eksempel på at elevane skal lage sin eigen modell finn vi i uteromsopplegget *Hvilke kjennetegn har småkrypene?* (sjå naturfag.no/uterommet). Her skal elevane lage ein fysisk modell av eit småkryp. Modellen skal få fram fire kjenneteikn.



Her har elevane laga ein modell av eit småkryp ved å bruke kjenneteikna dei finn i eit småkrypatlas. Foto: Naturfagsenteret

I opplegget *Elektrisitet* skal elevane kople elektriske krinsar i eit modellhus. For å få til dette må dei lære korleis slike krinsar verkar. Det blir skapt eit læringsbehov for å vite kva elektrisitet eigentleg er og korleis ein krins må vere slutta for at det skal gå straum gjennom han.

Eit anna eksempel finn vi i opplegget *Cella som system* (naturfag.no/celler), der elevane blant anna skal lage ein eteleg cellemodell som får fram form og funksjon til dei ulike delane av cella. Dei skal enten lage ei plante- eller ei dyrecelle (eventuelt bakterie- eller sopp-celle) og få fram dei viktigaste kjenneteikna på denne celletypen.

Prosessen med å lage sin eigen modell

For å lage modellen må elevane hente informasjon. Her kan det vere lurt at læraren gir elevane eit avgrensa innhald å hente informasjon frå, som ein tekst, ein film eller ein nettstad.

I småkryp-opplegget brukar elevane informasjon frå eit småkrypatlas som viser kjenneteikn på ulike småkryp, for eksempel kor mange bein dei har. Smågrupper av elevar vel seg ut eitt småkryp og blir einige om kva for fire kjenneteikn som dei tenker er viktige for å kunne kjenne igjen dette småkrypet. Dei lagar ein modell av småkrypet som får fram desse kjenneteikna ved hjelp av materiale dei finn ute.

I celle-opplegget må elevane finne informasjon om kjenneteikn på dei ulike celletypene. For eksempel for planteceller må dei få fram at desse har kloroplastar og velje materiale som passar for å få fram funksjonen til kloroplastane, for eksempel at dei inneheld grøne fargepigment fordi dei har fotosyntese.



Det kan bli stor variasjon av cellemodellar som på ulike måtar får fram dei viktige delane cellene består av. Foto: Naturfagsenteret

I prosessen med å lage sin eigen modell må elevane også samarbeide og bli einige om kva val dei skal ta for å få fram det dei vil. For å få til å lage modellen må elevane trekke ut essensen i fagstoffet og forenkla meir enn å legge vekt på detaljane. Kva blir det viktigaste som modellen må vise? Dette er også med på å synleggjere at modellar får fram noko, men ikkje alt. Det vil også ligge godt til rette for at elevane ser at det er lov, og nyttig, å prøve og feile. Dei følger ikkje ei oppskrift, men må prøve seg fram for å få fram det dei vil og lage modellen slik dei ønsker. I prosessen med å lage sin eigen modell, vil elevane få eit eigarskap til og stoltheit for modellen sin, og kanskje av den grunn hugse innhaldet i fagstoffet enda betre.

Samanlikne modell med verkelegheit

Sjølv om ingen modellar liknar heilt på verkelegheita, vil tredimensjonale, fysiske modellar ofte likne noko meir enn for eksempel ei todimensjonal teikning. Det kan derfor vere lettare for elevar å sjå føre seg korleis ting faktisk ser ut dersom dei ser eller lagar sjølve ein fysisk modell. Men modellen vil uansett vere ganske så annleis enn verkelegheita. Å samanlikne modellen sin med verkelegheita kan vere ein fin inngang for å snakke om styrker og svakheiter ved modeller. Modellen viser noko, men ikkje alt.

I småkrypopplegget skal elevane prøve å finne småkrypet sitt i naturen for å samanlikne modell og verkelegheit. Dersom dei ikkje finn «sitt» småkryp, kan dei finne eit småkryp som liknar og har

nokre av kjenneteikna. Modellhuset i elektrisitetsoplegget liknar på eit ekte hus, men er sjølvsagt veldig forenkla.

Bruke eigen modell i formidling

Modellen elevane lagar kan vere eit godt utgangspunkt for å formidle kva dei har forstått. Ved å bruke sin eigen modell kan dei få fram viktige, faglege poeng.

I det nemnde uteromsopplegget om småkryp går elevane rundt til dei ulike gruppene og gjettar på kva for småkryp modellen viser. Dette får fram at dei må vere tydelege når dei lagar modellen, slik at modellen får fram det mest vesentlege. Tilsvarende er det i celleopplegget der elevane skal gjette kva for celletype modellen viser. Elevane må grunngi kva val dei har tatt når dei har laga modellen. I elektrisitetsoplegget skal elevane vise fram sitt modellhus og få overrekk fagbrev som modellhuselektrikarar.

Eksempelopplegg

Hvilke kjennetegn har småkrypene? (3.–7. trinn): naturfag.no/småkrypmmodell

Elektrisitet (5.–7. trinn): naturfag.no/elektrisitet

Cella som system (8.–10. trinn): naturfag.no/celler



Bruk av modellar for å vurdere berekraft i teknologiske produkt

Kva slag verktøy treng elevane for å kunne vurdere eit teknologisk produkt i eit berekraftig perspektiv? I undervisningsopplegget *Berekraftig teknologi i arbeidslivet* brukar elevane tre ulike modellar som hjelper dei til å sortere informasjon og til å vurdere berekrafta til eit produkt.

Eitt av kompetansemåla i naturfag for yrkesfag handlar om å utforske og presentere teknologi knytt til eige utdanningsprogram og vurdere han i eit berekraftsperspektiv. Ein måte å jobbe med dette kompetansemålet på, er å bruke undervisningsopplegget *Berekraftig teknologi i arbeidslivet* på naturfag.no. Her får elevane i oppdrag å forbetre eller designe eit teknologisk produkt og vurdere berekrafta i forslaget sitt ut frå dei tre dimensjonane av berekraftig utvikling. Dette er ei kompleks problemstilling som krev kunnskap og ferdigheiter om livsløp til produkt og om berekraftig utvikling.

Bruk av modellar for å forstå komplekse problemstillingar

For å forstå komplekse problemstillingar som livsløpet til produkt og berekraftig utvikling, kan bruk av modellar vere til støtte for elevane. Modellar kan for eksempel brukast til å forenkla noko komplekst og for å uttrykke korleis noko heng saman¹. I undervisningsopplegget *Berekraftig teknologi i arbeidslivet* jobbar elevane med tre modellar som støtte for å oppnå dette:

1. Modell for berekraftig utvikling
2. Modell for livsløpet til eit produkt
3. Modell for vurdering av berekrafta i livsløpet til eit produkt

Modell for berekraftig utvikling

Modellen for berekraftig utvikling som vist i figur 1 illustrerer korleis dei tre overordna perspektiva sosiale forhold, økonomi og

miljø påverkar kvarandre. Han reflekterer behovet for å balansere økonomisk og sosial vekst med omsyn til miljøet. For å bli i stand til å vurdere berekraft må elevane forstå at beslutningar må takast ved at ein finn eit kompromiss som i størst mogleg grad ivaretar alle dei tre perspektiva i berekraftig utvikling².

I undervisningsopplegget *Berekraftig teknologi i arbeidslivet* over elevane seg på å bruke modellen berekraftig utvikling. Dei får ei oppgåve der modellen skal brukast som verktøy til å identifisere og sortere generelle utsegnar om bruk og anskaffing av produkt i dei ulike perspektiva av berekraftig utvikling (se figur 1).

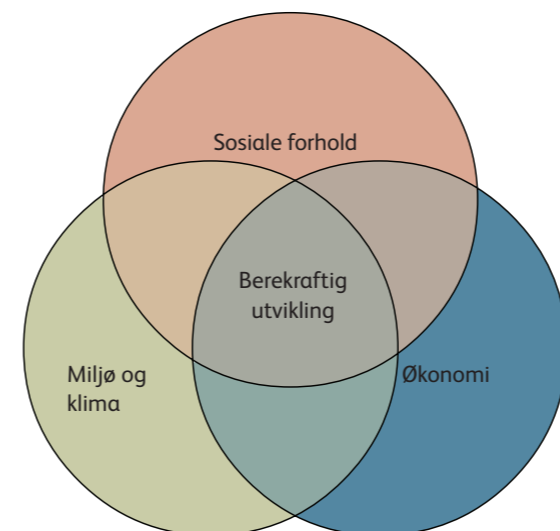
Modell for livsløpet til eit produkt

Modellen for livsløpet til eit produkt illustrerer at eit produkt har ulike livsfasar (figur 2). Formålet med å sjå på heile livsløpet til eit produkt er å gjere det mogleg for forbrukarar å ta grunngitte forbruksval med mål om minst mogleg miljøbelastning.

Det kan ofte vere vanskeleg å innhente informasjon om transporten eit produkt har hatt frå råvare, via produksjon til bruk, og heilt til avfallsfasen. I tillegg kan det vere utfordrande å skilje mellom råvare- og produksjonsfase. Derfor blir elevane i undervisningsopplegget *Berekraftig teknologi i arbeidslivet* presentert for ein forenkla modell av livsløpet til eit produkt, der transportfasane er tatt ut, og råvare- og produksjonsfasen er slått saman til ein fase som kallast produksjon. Modellen for livsløpet til eit produkt slik

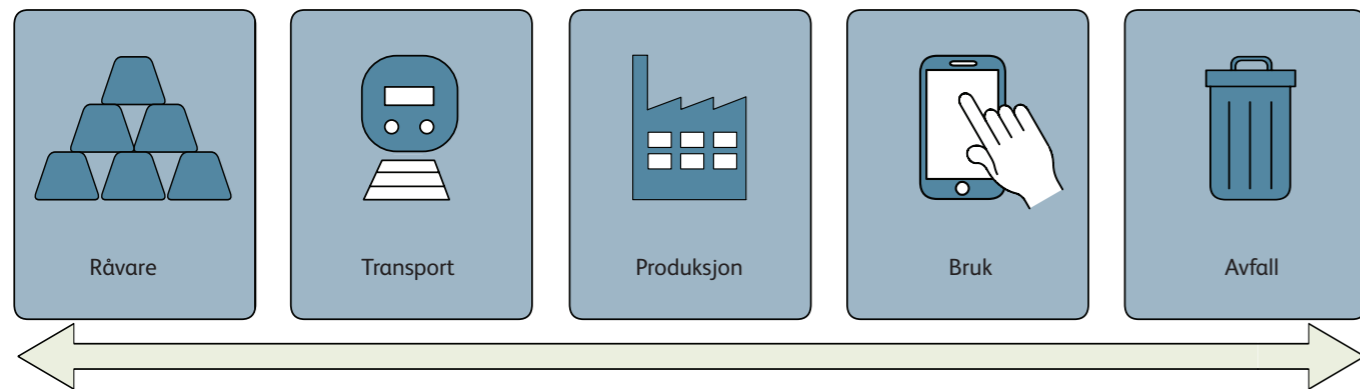


Klesindustrien kan vere eit godt utgangspunkt for å diskutere livsløp til ulike produkt. Foto: Orna/pixabay.com



Kjøre varer med god kvalitet	Kjøre produkt der avfallet kan bli resirkulert	Forbetre produkt slik at dei brukar mindre energi
Kjøre meir norsk-produserte produkt	Kjøre brukte produkt	Reparere produkt i staden for å kjøpe nytt
Sortere avfall	Skru av elektriske apparat som ikkje er i bruk	Kjøre Fairtrade-produkt

Figur 1. Modell for berekraftig utvikling og utsegnar om bruk og anskaffing av produkt.






Figur 2. Modell for livsløpet til eit produkt, frå råvare til avfall.

han brukast her, fungerer som ei forenkla konkretisering av ulike fasar i levetida til eit produkt.

Modell for vurdering av berekrafta i livsløpet

Oppdraget i undervisningsopplegget *Berekraftig teknologi i arbeidslivet* skal svarast på ved at elevane lagar ein reklame som profilerer produktet dei har forbetra/designa. Reklamen skal argumentere for på kva måte løysinga bidrar til ei meir berekraftig utvikling, uttrykt ved dei tre perspektiva av berekraftig utvikling og

Fase	Sosiale forhold	Økonomi	Miljø
 Produksjon			
 Bruk			
 Avfall			

Figur 3. Modell for vurdering av berekrafta i livsløpet til eit produkt.

dei tre fasane i livsløpet. Det betyr at elevane skal vurdere om deira forslag bidrar til ei meir berekraftig utvikling ved at det blir gjort endringar i enten produksjonsfasen, bruksfasen eller avfallsfasen.

For å støtte elevane i dette arbeidet har vi utvikla ein modell som kombinerer dei to tidlegare omtalte modellane, modell for berekraftig utvikling og modell for livsløpet til eit produkt (figur 3). I undervisningsopplegget *Berekraftig teknologi i arbeidslivet* fungerer modellen for vurdering av berekrafta i livsløpet til eit produkt som ein støttestruktur for konkretisering og systematisering av informasjon, slik at han hjelper elevane til å forenkle noko komplekst og uttrykke korleis noko heng saman.

Bruk av modellar i undervisninga

I denne artikkelen har vi gitt eksempel på korleis modellar kan brukast til å forenkle og konkretisere komplekse problemstillingar. Modellen for vurdering av berekrafta i livsløpet til eit produkt er eit verktøy som bidrar til å organisere informasjon og argument, og som kan hjelpe elevane til å trekke konklusjonar på velfundert bakgrunn.

Notar

- Haug, B. S., Sørberg, Ø., Mork, S. M., & Frøyland, M. (2021). Naturvitenskapelige praksiser og tenkemåter – på vei mot et tolkningsfellesskap. *NorDiNa* 17(3)
- Korsager, M. & Scheie, E. (2017). Evaluering av undervisning og elevutbytte. I Korsager, M. & Scheie, E. et.al (Red) (2017). *Nordisk arbeidsmodell for undervisning for bærekraftig utvikling*. Naturfagsenteret rapport 1/17 (s.42-43). Naturfagsenteret.

Berekraftig teknologi i arbeidslivet (Vg1, yrkesfag):
naturfag.no/teknologidesign



Foto: Danisė Henze / pixabay.com



Bruk av årshjul som modell for å utforske dyrs tilpasninger til klimaendringer

I et undervisningsopplegg ble elever på ungdomstrinnet utfordret til å finne svar på hva som skjer med utvalgte arter hvis klimaet endrer seg og våren kommer tidligere. Hva skjer med deres tilgang på mat? Får de flere konkurrenter? Blir de mer utsatt for rovdyr? Som verktøy for å utforske problemstillingen brukte elevene en modell i form av et årshjul.

I undervisningsopplegget *Hva skjer hvis våren kommer tidligere?* skulle elevene finne ut hvordan klimaendringer kan påvirke det biologiske mangfoldet. Elevene fikk en kort innføring i hvordan dyr kan tilpasse seg miljøet de lever i, og hvordan trendene i klimaendringene ser ut per i dag. De fikk presentert et årshjul med kjøttmeisa som eksempelart, for å demonstrere hvordan alle opplysningene om kjøttmeisa kan organiseres, slik at det blir lettere å se hvilke ulike faktorer som påvirker artens muligheter for å overleve og å produsere avkom. Elevene fikk i oppdrag å bruke årshjulet for å lage en hypotese om hva som skjer med polarlomvi, snøspurv eller lappspurv hvis våren starter tidligere (se boks til høyre). Disse artene ble valgt fordi de lever i et miljø med et begrenset antall arter.

Dyrs tilpasninger til klima- og miljøendringer

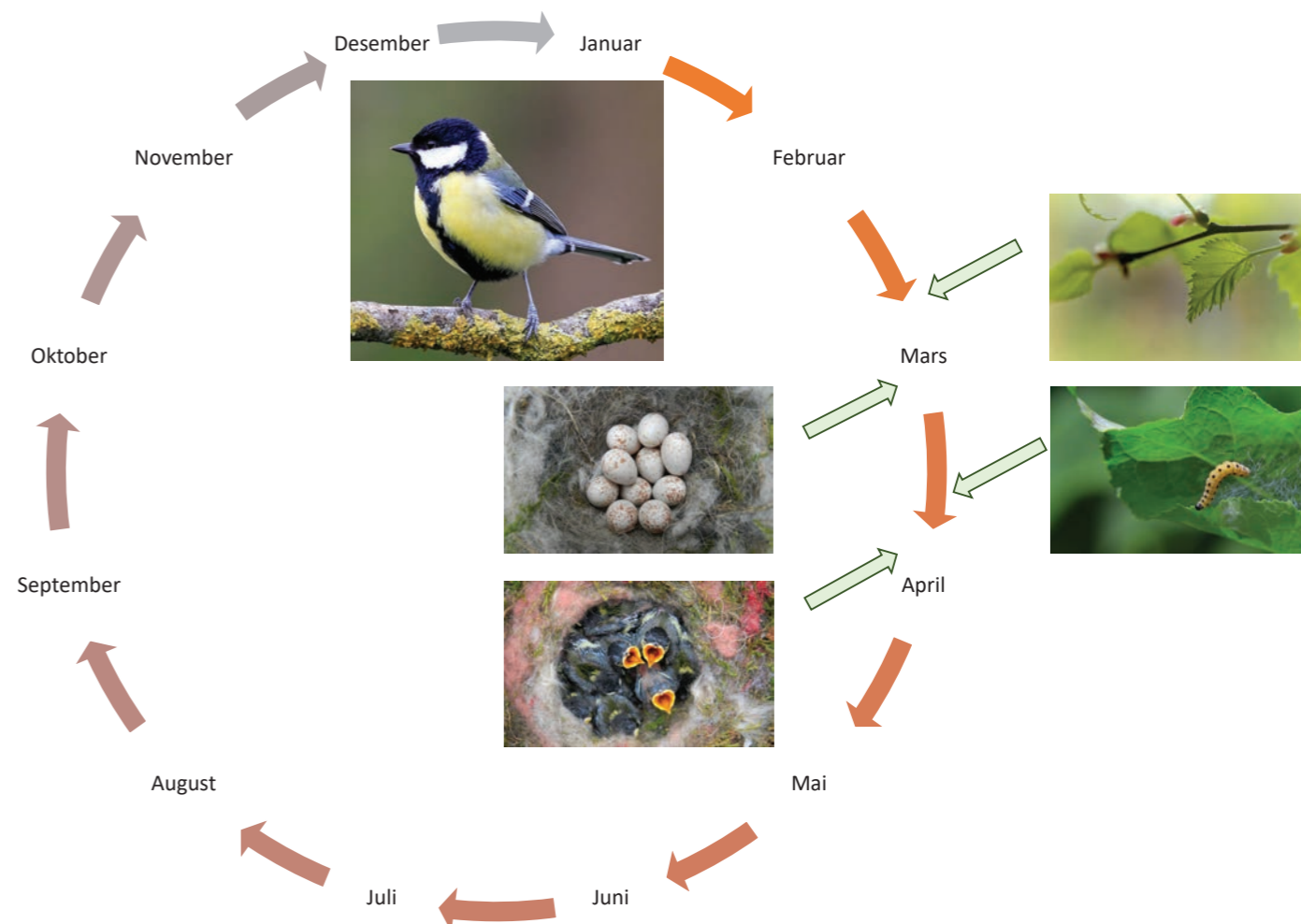
Dyr er evolusjonært tilpasset det miljøet de lever i, men raske endringene i klimaet kan gi store konsekvenser for mange arter hvis dyra ikke klarer å tilpasse seg raskt nok. Det er tre ulike måter å tilpasse seg på, geografisk tilpasning, genetisk tilpasning (evolusjonær tilpasning) eller tilpasning hos det enkelte individet (fenotypisk plastisitet). Geografisk tilpasning handler om at artene finner nye leveområder. Rødreven flytter seg for eksempel oppover i høyreliggende fjellområder i takt med at tregrensa kryper oppover, og den vil dermed konkurrere om fjellrevens habitat og true dennes eksistens. Ved individuell tilpasning kan arten endre

Oppdraget

Velg en av artene snøspurv (*Plectrophenax nivalis*) på Svalbard, lappspurv (*Calcarius lapponicus*) på Hardangervidda eller polarlomvi (*Uria lomvia*) på Svalbard og lag en modell i form av et årshjul for arten. Modellen bør få fram informasjon om hvordan arten påvirkes av abiotiske og biotiske faktorer i økosystemet. Bruk modellen til å lage en hypotese om hvordan klimaendringer påvirker eksempelarten.

fysiologi, utseende eller atferd i takt med miljøendringene, som for eksempel at fugler tilpasser seg en tidligere vår ved å legge egg tidligere. På denne måten kan tidspunktet for at insektene er i larvestadiet sammenfalle med at fugleungene klekkes og trenger tilgang på næringsrike larver. Uten denne tilpasningen risikerer de at det ikke blir nok mat til ungene.

Evolusjonær tilpasning er den langsomme endringen som handler om at individene som er best tilpasset det nye miljøet overlever og får videreført sine gener. Det tar flere generasjoner før nettopp disse egenskapene blir de rådende i en populasjon. Det klassiske eksempelet på evolusjonær tilpasning er bjørkemåleren som lever på bjørketrær. De fleste bjørkemålerne var hvite i fargen, og ble dermed godt kamuflert mot den hvite bjørkestammen. Da den in-

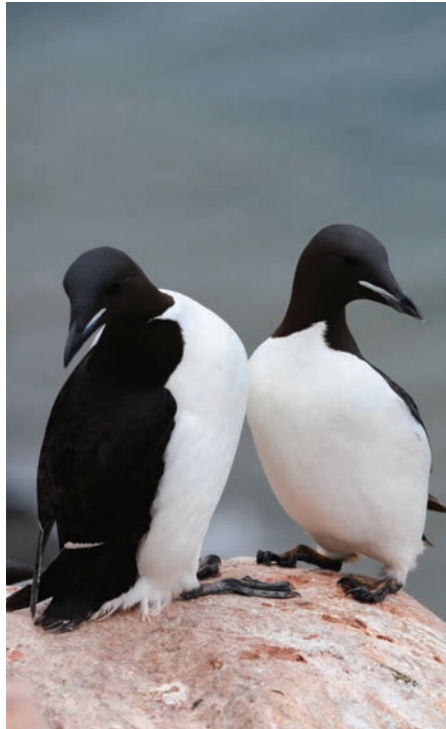


Figuren illustrerer at kjøttmeisa legger egg i mars som klekkes i april. Ungene fores med larver som dukker opp når løvet er sprunget ut. Hvis våren kommer tidligere, kan kjøttmeisa bli for sein til dette matfattet.

dustrielle revolusjonen kom, ble bjørketrærne mørkere på grunn av forurensing, noe som var en fordel for de av bjørkemålerne som var mørkere i fargen. De mørkere bjørkemålerne overlevde i større grad og fikk mulighet til å formere seg, og dermed ble disse den «nye normalen».

Bruk av modeller for å illustrere komplekse og langsomme endringer

I dette undervisningsopplegget bruker elevene modellen årshjul for å forutsi hva de tror vil skje under gitte forhold. Modellen bidrar til at elevene lettere kan organisere og visualisere relevant informasjon som de har samlet, for så å kunne formulere en hy-



Polarlomvi. Foto: Sebastien Descamps, Norsk Polarinstitutt CC BY 4.0



Snøspurv. Foto: Stephan Sprinz, CC BY SA 4.0



Lappspurv. Foto: wikimedia commons / offentlig eiendom

potese. Det finnes ingen fasit til oppdraget – selv forskere vet ikke eksakt hvordan det vil gå med artene! Men for å lage en god hypotese må man ta hensyn til mange faktorer og se dem i sammenheng. Vi erfarte at ungdomsskoleelevene var i stand til dette med litt hjelp, og at oppdraget uten en klar fasit engasjerte dem. Gjennom arbeidet fikk de innblikk i ulike deler av de valgte artenes liv. Blant annet fant de ut at i noen tilfeller vil et varmere klima kunne gi arter bedre tilgang på mat, men også at de valgte artene samtidig vil få flere konkurrenter og kanskje flere predatorer som er ute etter dem. Noen av elevene foreslo at lomvien, som spiser småfisk, blir ekstra utsatt hvis vannet i havet blir varmere fordi klimaendringene forskyver livssyklusen til maten til småfiskene og dermed mengden småfisk. Noen elever fant også ut at det vil bli større konkurranse med andre fuglearter om de gode reirplassene, og at hvit kamuflasjefarge blir en stor ulempe hvis snøen forsvinner tidligere.

Prosjektet KlimaDidakt

Prosjektet KlimaDidakt er et samarbeid mellom NTNU, Naturfagsenteret og CICERO, og har økonomisk støtte fra Norges Forskningsråd.

Dette undervisningsopplegget er utarbeidet av didaktikere i samarbeid med en forsker innen økologi, og er utprøvd på Vikhammer ungdomsskole i Malvik og på Huseby ungdomsskole i Trondheim.

www.ntnu.no/skolelab/klimadidakt

Støttestruktur for å lage årshjulet

For å hjelpe elevene med å komme i gang med å svare på oppdraget, og å vite hva de trenger av informasjon, får de en liste med punkter som kan bidra til å strukturere arbeidet deres.

1. Det kan være lurt å legge ekstra vekt på vår og sommer. Slike elementer kan for eksempel være:
 - Oppvåkning/ankomst etter vinter
 - Tid til parring, reirbygging, egglegging og ruging.
 - Ungeutvikling
2. For å kunne velge ut hvilke andre arter i økosystemet som det kan være viktig å inkludere må dere finne ut hvordan eksempelarten passer inn i økosystemet og hvilke biotiske interaksjoner den har, f.eks. mat (eller lavere trofisk nivå), predator eller konkurrent. Velg ut 3–5 andre arter, eller grupper av arter, som skal inkluderes i modellen.
3. Skaff dere en enkel oversikt over hvilke abiotiske endringer vi kan forvente i det aktuelle habitatet/miljøet på grunn av klimaendringer (nedbør, temperatur, snøsmelting m.m.) Bruk modellen og det dere vet om klimaendringene til å

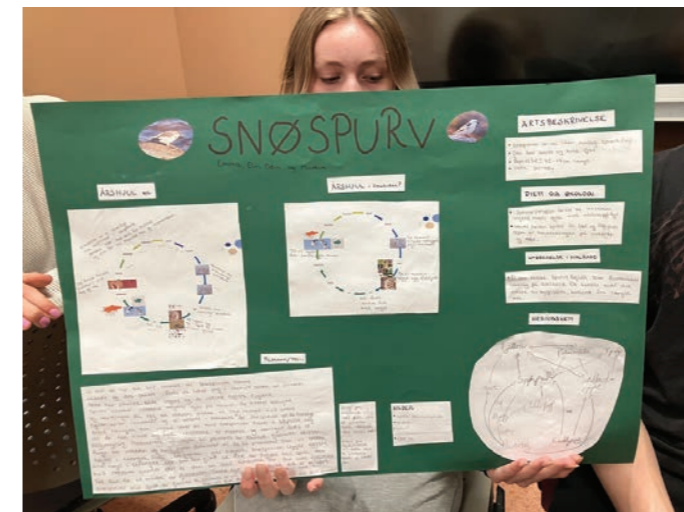
lage en hypotese om hvordan klimaendringer påvirker eksempelarten via andre deler av økosystemet, både abiotiske og biotiske komponenter. For å klare det kan det være nyttig å forsøke å tenke seg svar på noen av følgende spørsmål:

- Hvilke abiotiske endringer vil påvirke artene?
- Hvilken del av livet og livssyklusen til artene vil bli påvirket?
- Vil endringene hos én art påvirke noen andre arter i økosystemet?
- Hva blir de samlede endringene vi kan forvente for eksempelarten?

Skisser gjerne muligheter for hvordan vi kan teste hypotesen.

Nyttige kilder:

snl.no/klimatilpasninger_i_naturen
artsdatabanken.no



Elever viser hva de har kommet fram til om eksempelarten sin. Foto: KlimaDidakt





Flaskehagen – en levende modell

Flaskehagen er en dynamisk modell av jorden som økosystem. Denne artikkelen bygger på erfaringer med bruk av flaskehage i klasserom, lærerutdanning og videreutdanning av lærere i naturfag.



En flaskehage er en lukket flaske, eller et lukket glass, med jord, planter og småkryp, der ingen stoffer blir tilført eller fjernet etter oppstart. Flaskehagen er en levende modell, og den er et godt utgangspunkt for å illustrere og utforske økologiske prosesser.

Hvorfor bruke flaskehagen i undervisningen?

Å anlegge en flaskehage krever lite utstyr og er lett å få til. Flaskehager trenger ikke vedlikehold. De som inneholder flerårige planter og velfungerende kretsløp kan overleve i flere tiår. Vi anbefaler at modellen inngår som del av undervisningen over en periode på seks til åtte uker (se læringsaktiviteter i boks på side 44).

Flaskehager kan brukes både som modell av et økosystem og for å synliggjøre elevenes tanker om økologiske fenomener¹. Arbeidet med modellen legger godt til rette for differensiering, slik at alle elevgrupper kan få et meningsfullt læringsutbytte. Elevene kan følge med på plantevekst, vannets kretsløp eller mer avanserte prosesser. Dukker det opp en ny plantespire, en bille eller andre småkryp, skaper dette nysgjerrighet. Dette skiller en flaskehage fra abstrakte modeller.

Modellen kan anvendes på alle trinn innen flere av kjerneelementene i naturfag og det tverrfaglige temaet bærekraftig utvikling. Det finnes mange grunner til å bruke flaskehage i undervisningen, og her har vi valgt ut tre fokusområder: Flaskehager skaper engasjement, kan knyttes til naturfaglige praksiser og til å utvikle økologisk forståelse hos elevene.

Modellen egner seg godt til naturfaglig observasjon og læring om ulike fenomener i økosystemet. Foto: Kerstin Sonesson

Skape engasjement

Det skaper vanligvis stort engasjement når elevene selv anlegger flaskehagene.

For at elevene skal få best mulig læringsutbytte tror jeg det kan være viktig at de er med å lage flaskehagen sin selv, eller i en liten gruppe. Slik får de mer eierskap til flaskehagen.

Lærer i videreutdanning

Til modellen kan de bruke jord, planter og ulike naturmaterialer som samles i skolens nærmiljø. Elevene bør ha innflytelse på hva de fyller sine glass med. Noen velger kanskje pinner, steiner og frø i tillegg til jord og planter. Dermed får hver flaskehage sitt eget estetiske uttrykk, ut fra den enkelte elev sine valg. Dette øker opplevelsen av eierskap.

Elevenes engasjement og eierskap til sin egen flaskehage gir en betydelig læringsfordel. Dette tilrettelegger for undervisning.

Lærer i videreutdanning

Forandringer i flaskehagen stimulerer elevenes nysgjerrighet for å forstå prosessene i økosystemet. Spørsmålene kan være mange. Hvorfor vokser den ene planten mens den andre ser ut til å dø? Hvorfor er det så mye dogg i flasken om morgenen?

Jobbe med naturvitenskapelige praksiser

I oppstarten er det naturlig at elevene lager hypoteser om hvordan de tenker at flaskehagen kommer til å utvikle seg. Elevenes utsagn kan gi læreren et innblikk i forkunnskaper. Gjennom bruk av flaskehager i egen undervisning har vi registrert at mange tror at både dyr og planter kommer til å dø etter kort tid. De tenker at det blir mangel på vann, oksygen eller karbondioksid.

Modellen egner seg godt til naturfaglig observasjon knyttet til kretsløp og organismers liv eller død. Det må være tydelig for elevene hva de skal se etter. Avhengig av læringsmål kan observasjonene for eksempel knyttes til dogg, nye blader eller fargeforandringer. Observasjonene bør gjennomføres systematisk, for å dokumentere utviklingen i flaskehagen. Vi har erfart at det er bra å bruke foto fra samme vinkel for å fange opp forandringer.

Utvikle økologisk forståelse

Modellen reduserer kompleksiteten i et økosystem. Den forenkler og illustrerer økologiske fenomener og kretsløp, noe som kan være vanskelig å observere ute i naturen. Derfor er den godt egnet til å utvikle elevenes forståelse i økologi.

Bruken av en flaskehage gir en autentisk modell som tydelig demonstrerer sammenhengen mellom vann, karbon og fotosyntese.

Lærer i videreutdanning

Å beskrive og forklare de konkrete forandringene elevene observerer i egen modell krever ord og begreper. Det blir en inngang til å utvikle begrepsforståelsen. Blant annet er doggdannelse i flaskehagen og vann på innsiden av glasset en god inngang til læring om vannets faseoverganger og kretsløp.

Å lage en flaskehage

- Velg et stort glass med tett sittende lokk.
- Fyll $\frac{1}{4}$ av glasset med jord, helst fra naturen.
- Tilsett litt vann.
- Bruk helst ville planter eller potteplanter f.eks. eføy, *Helix hедера*.
- Sett på lokket.

Se Bygg ett minikretsløp, naturskyddsforeningen.se/skola/bygg-ett-minikretsløp





Flaskehagen er en levende modell av et økosystem. Denne er laget høsten 2018 og fotografert oktober 2021. Foto: Jorunn Simones

Ifølge den svenske professoren Gustav Hellden² sliter elever langt opp i trinnene med å forstå stoffkretslop, planters behov for å leve, fotosyntese og celleånding. Han anbefaler å jobbe med lukkede terrarier for å hjelpe elevene med å utvikle økologisk forståelse. En viktig styrke til modellen er at den er et lukket system der nye grunnstoffer hverken kan komme inn eller ut, akkurat som på jorda. Gode spørsmål kan skape rammen for engasjement og tilrettelegge for elevenes læring: Hvor mye veier en flaskehage dersom

Læringsaktiviteter og spørsmål knyttet til flaskehage

Oppstart, undringer:

- Hva trenger en plante for å overleve i glasset?
- Hva tror du kommer å skje i flaskehagen?

Underveis, aktiviteter og spørsmål:

- Observer og dokumenter hva som skjer i flaskehagen med bilder og tekst.
- Sammenlign med økosystem jorda.
- Endres vekten over tid?
- Hvordan endres innholdet av CO₂ og O₂ i flaskehagens atmosfære gjennom døgnet?
 - Utfør målinger og forklar.
- Hvis plantene dør, hvilke abiotiske/biotiske faktorer kan ha forårsaket dette?
- Studer vannets kretslop og faseoverganger.
- Hvorfor dukker det opp nye planter og dyr?
- Lag en fortelling om C-atomets reise fra planten og tilbake til luften igjen.
- Forklar karbonets kretslop med fotosyntese og celleånding knyttet til egen flaskehage.

Avslutning:

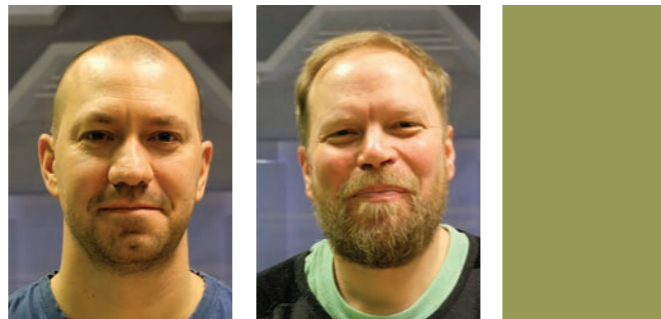
- Åpne lokket og stikk nesen ned i glasset – beskriv lukt.
 - Hvilke økologiske prosesser kan forårsake duften?
- Skriv rapport.

plantene har stor vekst, sammenlignet med i oppstarten? Dersom eleven begrunner svaret sitt godt, vises sentral basiskunnskap som er nødvendig for forståelse av kretslovene på jorda. I en tid der fakta er lett tilgjengelig, blir slik grunnleggende kunnskap som bygger forståelse viktig.

Noter

- 1 Haug, B.S. & Mork, S.M. (2021). Nøkkelbegreper i utforskende arbeid. Kapittel 9, Modeller, s. 161-183. Universitetsforlaget, Oslo.
- 2 Helldén, G. (2012). Elevers kunnskaputveckling och förståelse av ekologiska processer. Kapitel 10, Vad kännetecknar elevers tankar om ekologiska fenomen? s. 144–156. Liber AB, Stockholm.





Andøya Mission Control som modell

I *Andøya Mission Control* blir elevene en del av modellen og skal ta styringen i et simulert romoppdrag hvor klasserommet fungerer som «mission control». De kan veilede og overvåke en astronaut som må utføre viktige reparasjoner i verdensrommet før en solstorm treffer jorden, eller lande en rover på Mars for å undersøke mulighetene for liv. Underveis i hele oppdraget vil en «astronaut» fra Andøya Space være med fra broen på *Spaceship Aurora*.

Samtale mellom to åttendeklassinger etter endt oppdrag:

- Var det på ordentlig?
- Tror du virkelig at de hadde latt oss elever få gjøre noe sånt på ordentlig?

Et ekte romoppdrag involverer gjerne hundretalls personer over lang tid, mye trening, fare for liv og helse, og store kostnader. Klasserommet blir en miniatyr av dette, i mindre skala og uten fare, men som samtalen over viser vil noen elever oppleve det som ganske realistisk.

Når oppdraget skal gjennomføres, fungerer klasserommet som «mission control», plassen hvor en gruppe mennesker kontrollerer, veileder og overvåker alle funksjoner under et bestemt romoppdrag.

Elevene stiller forberedt (lærer bestemmer selv hvor mye tid de vil bruke på det, fra én dag til måneder) og inndelt i grupper som har spesialiserte arbeidsoppgaver og ulikt ansvar. Alle må bidra, samarbeide og kommunisere slik at oppdraget blir vellykket. I andre enden sitter astronauten fra Andøya Space ved spakene i *Spaceship Aurora*, klar for at elevene skal gi tillatelse til å starte oppdraget.

I *Oppdrag: Solstorm* skal elever fordelt på fire grupper sørge for

at en defekt satellitt i bane rundt jorden blir reparert på en trygg og forsvarlig måte. En virtuell astronaut skal gjøre selve reparasjonene, koordinert av mission control.

Elevene må sørge for sikkerheten til astronauten som gjennomfører romvandring. De må overvåke oksygentilførsel, CO₂, puls, skadelig stråling og sørge for at kommunikasjon mellom bakken og romstasjonen fungerer, samt hvordan status er på den defekte satellitten. Dette gjøres ved en kontinuerlig dialog med astronautene. Videofeed fra astronautene veksler mellom pilot og astronaut på romvandring. På skjermene til de ulike stasjonene i mission control vises et kontrollpanel hvor elevene kan overvåke og utføre oppgaver. Underveis må gruppene notere hendelser som er relevante for debriefingen. Hele oppdraget er over i løpet av en hektisk skoletime, forhåpentligvis vellykket.

I *Oppdrag: Mars* arbeider klassen som fem grupper. I dette oppdraget skal en rover klargjøres og sendes til et bestemt sted på naboplaneten, på et bestemt tidspunkt. Elevene må derfor velge avreisedato for mest effektiv reiserute og bestemme landingssted som er fornuftig for oppdraget. Valgene som tas må presenteres og grunngis.

Instrumenter og roveren må sjekkes før avreise, alt må være klart før de kjører nedtelling og sender av gårde astronaut og rover mot Mars.



Elever i gang som spesialister i et romoppdrag. Foto: Andøya Space Education

Underveis i oppdraget må roveren programmeres slik at den kan gjennomføre sine rutiner når den er plassert på overflaten til Mars. Alle fem gruppene konsentrerer seg om ulike delalgoritmer som sys sammen av den ene gruppa, en bestemt kjørerute for roveren. Er alt vellykket og koden lastet over til roveren i tide før ankomst, kan elevene laste ned data etter utkjøringen. Oppdrag fullført!

For å gi elevene best mulig utbytte av romoppdragene må det trenes på forhånd. Treningen kan bestå av forarbeid. ESERO Norway tilbyr mange ulike undervisningsopplegg som kan brukes i forarbeidet før selve oppdraget.

– Etter å ha tatt et nettkurs for hvordan bruke Andøya Mission Control, hentet jeg ut samtlige kompetansemål fra Udir og la en masterplan for hvordan vi kunne ta dette inn på 10. trinn. Jeg presenterte planen for lærere i flere andre fag og fikk dem med meg, og så var vi i gang, forteller Cecilie Bye, lærer ved Finnsnes ungdomsskole og nyutnevnt Space Ambassadør for ESERO Norway.

Lærere kan når som helst ta et digitalt introduksjonskurs for hvert av de to oppdragene. Kursene varer omtrent 30 minutter.

Andøya Mission Control

Andøya Mission Control er et nettbasert rollespill hvor klasserommet forvandles til et kontrollsentrum, og elevene bemanner forskjellige stasjoner for å bistå i et romoppdrag. I oppdragene, som ledes av en pilot ombord i *Spaceship Aurora*, må elevene jobbe raskt, samarbeide og kommunisere godt for at oppdragene skal bli vellykket.



Nyttige lenker

- www.esero.no/laererkurs
- www.esero.no/prosjekter/andoya-mission-control
- www.esero.no/ressurser/andoya-mission-control



Prototyper i teknologiundervisning

En prototyp er eksempel på en type modell som vi ofte bruker i teknologi. Den er en foreløpig utgave av et produkt, en tjeneste eller et system og kan brukes som et ledd i ideutviklingen, til å teste ulike løsninger og til å kommunisere ideen og løsningen til andre. Elevene kan lage en prototyp som et ledd i læringsprosessen, og her vil vi presentere hvordan prototyper brukes i to undervisningsopplegg fra skaperskolen.no.

Modeller i teknologi og naturfag

Naturfag i norsk skole omfatter naturvitenskapene biologi, kjemi, fysikk, geofag og i tillegg fagområdet teknologi. Hovedskillet mellom de to fagområdene naturvitenskap og teknologi kommer til uttrykk i formålet med faget. I naturvitenskap søker man å utforske og lage forklaringer, og i teknologi er målet å skape produkter som fyller ulike funksjoner. Litt forenklet kan vi si at målet med naturvitenskap er «know why» og målet med teknologi er «know how». Dette hovedskillet kan også beskrive bruk av modeller i de to fagområdene. I naturvitenskap brukes modeller for å beskrive eller forklare fenomener, mens i teknologi brukes modeller som en del av den kreative prosessen med å skape et produkt som har en funksjon som fyller et behov eller løser et problem.

En prototyp er en fysisk modell av det ferdige produktet, men i en foreløpig og forenklet utgave. Prototyper brukes i både ide- og utviklingsfasen. Ved å lage en fysisk prototyp i korrekte materialer vil man gå mer i dybden når det gjelder form/funksjon, materialbruk og materialegenskaper, visuelle virkemidler, verktøy og teknikker og i noen tilfeller også målgruppe eller brukergruppe. Prototypen kan brukes til å kommunisere ideen og løsningen med andre designere, oppdragsgivere, brukere og eventuelt investorer. Den kan også brukes til å teste at produktet fungerer tilfredsstillende og eventuelt oppdage tekniske feil eller svakheter i designet.

Bruk av prototyper i undervisning

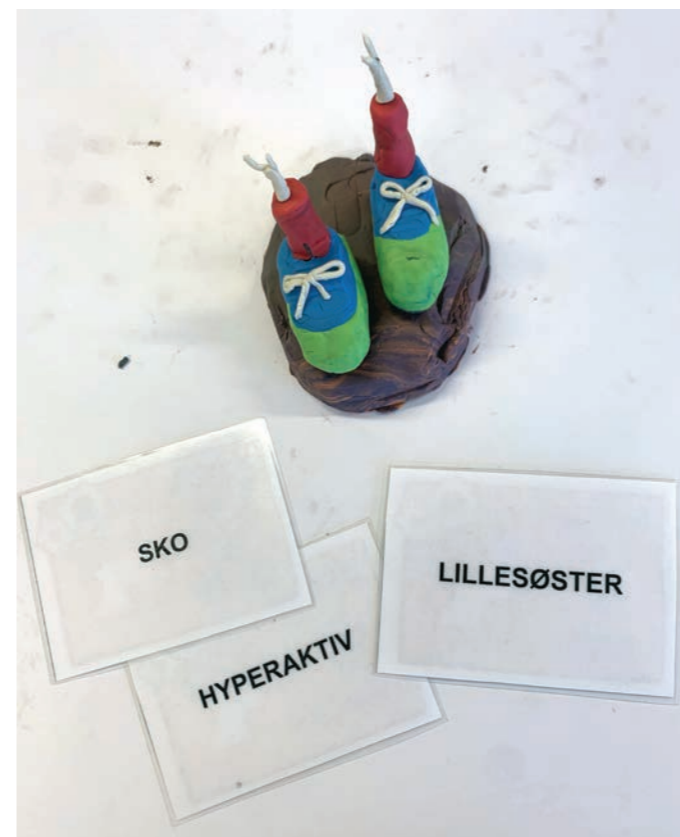
I skolesammenheng vil det ferdige produktet ofte være i form av

en prototyp. Det viktigste formålet med å lage en prototyp vil da være å lære og å uttrykke det du har tenkt og lært gjennom et fysisk produkt. Seymour Papert¹ hevdet at vi lærer mest effektivt gjennom å lage fysiske produkter og at kunnskapsbygging skjer best gjennom å bygge ting som er håndgripelige og delbare.

Hensikten med prototypen er å utvikle og kommunisere ideen, vurdere ulike materialer og teste ulike løsninger. Når elevene bygger en prototyp, lærer de gjennom å fikle og prøve og feile. Elevene utvikler håndverksmessige ferdigheter og får erfaring med ulike teknikker, materialer og teknologiske mekanismer. Og samtidig som de lager, må de tenke på det de skal gjøre. Dette gir en god mulighet for læreren til å få innsikt i hva elevene kan ha tenkt

Om Skaperskolen

Naturfagsenteret har sammen med de norske regionale vitensentre utviklet Skaperskolen (skaperskolen.no), som inneholder en samling undervisningsressurser sammen med en didaktisk modell for praktiske arbeidsformer. Målet med Skaperskolen er at elevene skal lære gjennom å leke og lage, og et helt sentralt spørsmål for læreren er: Hva kan elevene lage for å lære dette? Dette spørsmålet kan stilles i en rekke tema på tvers av de ulike fagene i skolen og bidrar til å gjøre skolen mer praktisk og variert. Målet er læring, og elevene skal lære gjennom å lage.



Figur 1. Sko til en hyperaktiv lillesøster som har en festemekanisme til bakken for å holde henne i ro. Foto: Skaperskolen

underveis i ide- og utviklingsprosessen. Elevene kan gi uttrykk for egne refleksjoner om hvordan de har tenkt i prosessen og hvilke valg de har tatt.

Eksempel på prototyper i Skaperskolen

Kompetanse i teknologi handler om å kunne bruke, reparere, forstå og skape teknologiske gjenstander. Resultatet av skapende arbeid i teknologi er et produkt som fyller en funksjon og løser et problem. I flere av undervisningsressursene i Skaperskolen er produktet elevene skal lage en prototyp. Ofte har oppdraget en leken tilnærming og produktet vil i varierende grad kunne gi uttrykk for elevenes fantasi. Prototypen er ofte laget i enkle materialer som skal forestille andre, mer realistiske materialer. Vi vil her presentere to eksempel på bruk av prototyper i Skaperskolen: *Oppfinner-*



Figur 2. Tretopphytte. Foto: Skaperskolen

verksted og *Tretopphytte*. Begge oppleggene er beregnet for 5.–7. trinn.

I Oppfinnerverksted skal elevene lage en prototyp av en oppfinnelse med utgangspunkt i en gjenstand, en bruker og en egenskap til brukeren. Den kreative prosessen styres ved at elevene trekker kort som angir disse tre kategoriene, for eksempel en *sko* til en *lillesøster* som er *hyperaktiv* (som vist på figur 1).

Elevene lager ikke en realistisk prototyp i det faktiske materialet produktet er tenkt produsert i, men de lager en prototyp i plastelina. Formålet med å bruke plastelina er å lage en tredimensjonal prototyp for å utvikle ideen lenger og kommunisere ideen bedre enn ved å bruke todimensjonale skisser. Vår erfaring med under-



Figur 3. Gjennom bygging av prototypen må elevene vurdere hvilke materialer som kan anvendes.

visningopplegget er at elevene blir veldig engasjerte og utvikler mange kreative og spennende nye produkter.

I Tretopphytte skal elevene bygge en prototyp av en hytte til en definert bruker, og hytta skal festes i et tre. På samme måte som i Oppfinnerverksted, trekker elevene kort som setter rammer for den kreative prosessen. Kortene gir føringer for bruker, hvilke materialer som skal brukes og for designet av hytta. For eksempel kan oppdraget være å bygge prototyp av en hytte for en lat idrettsutøver. Hytta skal bygges i tre og ha firkantede vinduer.

Elevene går gjennom en styrt kreativ prosess på vegen mot den ferdige prototypen. De utforsker ulike muligheter for å bygge og feste ei hytte i et tre, de tegner skisse og bruker spørsmål for å videreutvikle ideen. Og til slutt bygges selve prototypen (se figur 2).

I byggeprosessen legges det blant annet vekt på valg av materialer til hytta og hvilke egenskaper ulike materialer har. Gjennom bygging av prototypen må elevene vurdere hvilke materialer som kan anvendes ut fra spørsmålet «Hvilke materialer kan se ut som hva?» (se figur 3).

Målet med begge disse undervisningsoppleggene er at elevene skal få et innblikk i vår teknologiske verden og de produktene vi omgir oss med. De skal gå gjennom en kreativ prosess som resulterer i en prototyp av et produkt som løser et problem eller fyller et behov for en bruker. I løpet av prosessen vil de både utvikle et bedre produkt, utvikle mer avansert tenking og trene på å bli metakognitive. Målet er også at elevene skal tilegne seg og trene på å bruke teknologibegreper gjennom å presentere et produkt de har eierskap til og har skapt selv gjennom sin egen unike kreative prosess.





3D-modell av internett

I undervisningsopplegget *Internett fanger* på skaperskolen.no skal elevene bygge en modell av internett som ledd i å etablere forståelse av hvordan internett er bygget opp, hvilke deler det består av og hvordan det fungerer. Hensikten er at elevene skal bygge seg til systemforståelse.

Modeller og teknologiske systemer

Bruk av modeller og modellering er ett av kjerneelementene innen teknologi¹. Modeller i form av skisser og tegninger, brukes som visuell støtte i designprosessen, prototyper av hele eller deler av løsningen kan brukes for å utvikle og teste ulike løsningsalternativer, ulike former for flytdiagrammer kan illustrere prosesser både i designprosessen og i det ferdige produktet og 3D-modeller, fysiske eller digitale, kan brukes til å kommunisere valg av løsninger til samarbeidspartnere eller kunder.

Modeller er ofte forenklet og stiliserte, samtidig som de skal kommunisere visuelt sentral informasjon. Til høyre er det et eksempel på en modell som viser oppbygning av et teknologisk system, nemlig T-banesystemet i Oslo.

T-banesystemet i Oslo er altså et eksempel på et teknologisk system, og systemer er også et av kjerneelementene i teknologi. Et system har en funksjon samtidig som det består av ulike delsystemer som har sine funksjoner som bidrar til at systemet som helhet kan fungere. T-banesystemet skal frakte folk rundt om i Oslo, og for å gjøre det trenger det delsystemer som vogner, motorer, skinner og systemer for organisering og kommunikasjon.

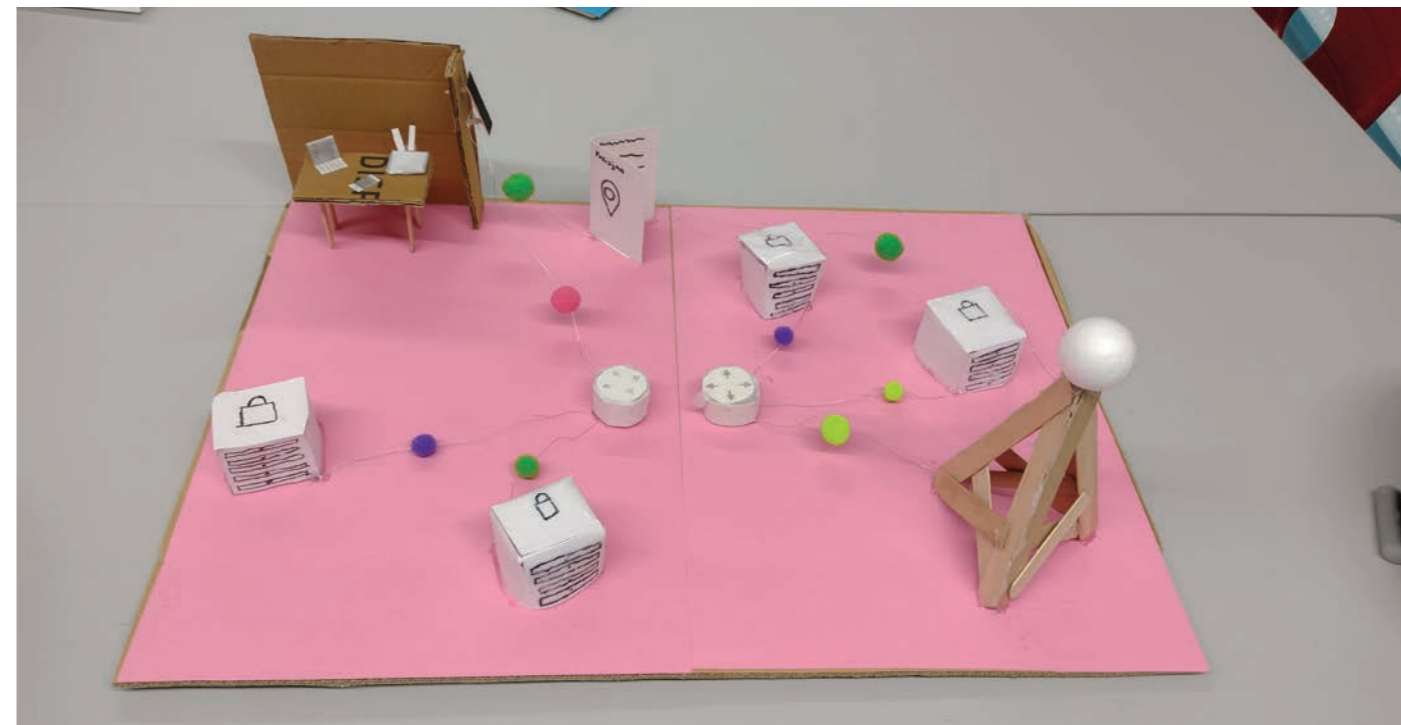
Samfunnets infrastruktur består av en rekke store teknologiske systemer som vi har blitt helt avhengige av. Vi har systemer for strøm, for veg, for vann og avløp, for post og pakker og for digital kommunikasjon. Ofte er delene av disse systemene skjult for oss, vi kjenner ikke til hvordan de er bygget opp, men samtidig er samfunnet vårt helt avhengig av dem.



T-banekart over Oslo. Foto: SelfishSeahorse, CC BY 4.0

Undervisningsopplegget *Internett fanger*

Hensikten med undervisningsopplegget «Internett fanger» er at elevene, gjennom å bygge en modell, skal tilegne seg forståelse av hva vi bruker internett til, hvilke deler det består av, funksjonen til noen sentrale deler og informasjonsflyten mellom dem. Etter vår mening er en grunnleggende forståelse av samfunnets infrastrukt-



Bildet viser at 3D-modellen består av en kombinasjon av fysiske representasjoner av de ulike delene og bruk av visuelle virkemidler. På neste side kan du se tilsvarende modell laget av en annen gruppe. Foto: Skaperskolen

turen viktig i et demokratisk perspektiv for å kunne delta i vurderinger av sikkerhet, sårbarhet og ressursutnyttelse. For internett spesielt, er det også viktig i et nettveit-perspektiv og kunne vurdere hvilke digitale spor vi legger igjen og hvordan disse kan utnyttes.

Undervisningsopplegget består av flere faser der elevene først skal anvende egen forforståelse til å prøve å beskrive hva som skjer når vi utfører kjente tjenester som for eksempel å sende en sms eller gjøre et google-søk. Elevene skal så, gjennom ulike oppgaver tilegne seg kunnskap om de mest sentrale delene i internett, hvordan de fungerer og hvordan de er satt sammen til et system. Til slutt skal elevene bygge en 3D-modell av internett. Elevene kan velge både form og materiale til de ulike delene av modellen, men kravet er at både form, materialer og visuelle virkemidler skal bidra til å kommunisere funksjonen til delen.

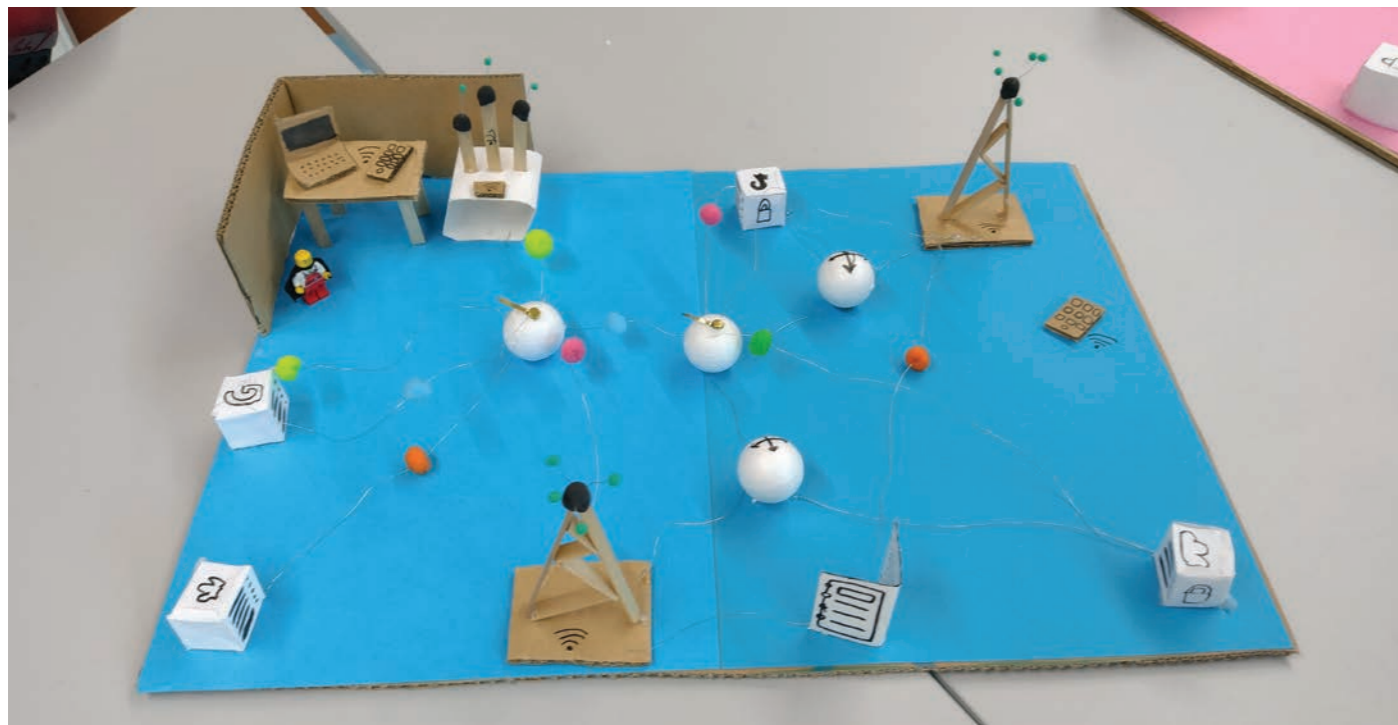
Undervisningsopplegget består blant annet av et elevhefte som Naturfag 1/24

elevene bruker gjennom hele prosessen. Der kan de finne informasjon om de ulike delene som internett består av.

I beskrivelser av internett, blir det brukt en rekke ikoner for å visuelt kommunisere funksjonen til de ulike delene. Vi møter disse ikonene daglig gjennom bruk av ulike digitale verktøy. Ikonene fungerer som visuelle virkemidler som elevene kan bruke i modellen for å kommunisere funksjonen til de enkelte delene.

Etter å ha brukt elevheftet og gjort oppgaver knyttet til hver enkelt del, skal elevene til slutt bygge en 3D-modell av internett. De skal bruke modellen i en film eller presentasjon som grunnlag for å forklare hva som skjer når vi utfører dagligdagse funksjoner som å gjøre et google-søk, lagre en fil «i skyen» eller sende en SMS.

Bildet over og bildet på neste side viser to eksempler på elevenes 3D-modeller av internett. Eksemplene viser hvordan elevene har



Her ser vi hvilke valg en annen gruppe har gjort når det gjelder materialer, form og visuelle virkemidler. Foto: Skaperskolen

brukt både materialer, form og symboler til å illustrere hva de enkelte delene representerer. De to gruppene har valgt litt ulike materialer og former til å representere samme funksjon, men det kan også se ut som de to gruppene har hentet ideer fra hverandre. Begge har brukt fargede skumkuler som en fysisk modell av data-pakker som sendes i systemet.

Kommentarer fra elever om nytten av å bygge modell:

- Jeg hadde aldri før tenkt på hvordan internett fungerer – hadde aldri tenkt på det – det var nytt å lære om.
- Ved å bygge modellen kom jeg dypere inn på tema enn å bare lese.
- Det var enklere å forstå når jeg bygde og gjorde det selv.
- Det var lettere å se visuelt enn å bare lese.
- Forståelse klikka inn når vi var nesten ferdig med å bygge modellen.

Hensikten med opplegget er at elevene skal tilegne seg en overordnet kunnskap hvordan et stort og abstrakt system er bygget opp og fungerer. Å lage en fysisk modell innebærer at elevene må uttrykke egen forståelse gjennom et fysisk objekt. Både det å lage modellen og å kommunisere om den til andre, bidrar til å gjøre egen tenking synlig for seg selv. Samtidig bidrar det til å utvikle egen tenking og skaper større og dypere forståelse for fagstoffet.

I etterkant av opplegget uttrykte elevene tydelig at det å lage en modell og å lese om funksjonen til de ulike delene hadde hatt stor betydning for egen læring.

Noter

1 Rossow et al (2011). Concepts and contexts in engineering and technology education: An international and interdisciplinary Delphi study.



Foto: Jarli & Jordan / Naturfagsenteret



Modellering med programmering i naturfag

Modellering med å bruke programmering kan stimulere til undring og refleksjon. Elevenes forhandling mellom modeller, teori og egne forestillinger og kunnskap om verden kan skape engasjement for naturvitenskapene.

Naturvitenskap er dynamisk og levende, og undring og utforskning står sentralt i naturvitenskapenes praksiser og tenkemåter. Dette kommer ikke alltid like godt fram gjennom tradisjonell undervisning, der naturfagene fort kan oppleves som fagområder der innlæring av veletablerte fakta er det mest sentrale. Det er selvfølgelig viktig å lære seg slike fakta for å danne et grunnlag for videre kreativitet og utforskning, men det er vel så viktig å balansere dette med undervisning som stimulerer til undring og refleksjon. Modellering er en metode vi kan bruke til dette formålet¹⁻³.

Programmering og modellering

Vi har lang tradisjon med å bruke simuleringer i klasserommet, for eksempel gjennom nettressurser som viten.no eller PhET⁴⁻⁷. Slike simuleringer er ofte lagd ved å kombinere visuelle modeller med enkel brukerinput. Her kan elever utforske hvordan ulike variabler påvirker ulike utfall. Det kan være veldig verdifullt å arbeide med slike simuleringer fordi elevene kan gjøre virtuelle eksperimenter og få umiddelbare visuelle tilbakemeldinger på det de har prøvd ut^{6,7}. Det slike simuleringer mangler, er en måte for elevene å se hvordan modellene er bygd opp på og eventuelt modifisere disse eller lage egne modeller. Dette kan vi derimot gjøre med programmering.

I motsetning til simuleringer har programkode en relativt høy inngangsterskel og gir ikke så lett muligheter for avansert visualisering. Men det gir oss muligheter til å arbeide eksplisitt med mo-

deller, spesielt matematiske modeller. Dette kan bidra til å knytte matematisk og naturvitenskapelig kunnskap tettere sammen. Dessuten er programkode en svært eksplisitt representasjonsform. Dette gjør at selve modellen og dens begrensninger kan komme tydeligere fram enn ved en visuell datasimulering.

La oss se på et eksempel der vi bruker enkle modeller for å beskrive utslippet av CO₂ i Norge. Vi starter med en enkel modell som kan presenteres som en enkel matematisk sammenheng der vi sier at utslippet u i tonn per innbygger øker med en viss andel a av utslippet hvert år:

$$u_{\text{ neste år}} = u_{\text{ forrige år}} + a \cdot u_{\text{ forrige år}}$$

Fase 1: Diskutere

Dersom elevene presenteres for denne modellen, bør de diskutere gruppevis hva modellen sier oss og i hvilke sammenhenger modellen er en god beskrivelse av virkeligheten. Hva betyr a og hvilke forhold i virkeligheten kan påvirke denne faktoren? Her kan det også være gunstig å diskutere gyldighetsområdet til modellen. Be gjerne elevene skissere en graf for utslippet over tid. I forbindelse med dette kan de også regne ut for hånd utslippet over fem år, gitt en startverdi for utslippet, u_0 , og en konstant utslippsrate a . Da har de dannet seg en hypotese for hvordan utviklingen vil være ifølge denne modellen.

Fase 2: Simulere

Siden det programmeringstekniske ikke bør være det sentrale i aktiviteten, kan elevene bli bedt om å fylle inn det som mangler i et program for å simulere med utgangspunkt i denne modellen. Det bør være de viktige delene for faglig forståelse som mangler i programmet. Eventuelt kan oppgaven tilpasses slik at de elevene som er mer komfortabel med programmering, får muligheten til å lage programmet fra bunnen av. Her er et forslag til hvordan programskissen kan se ut:

```
import matplotlib.pyplot as plt

tid = 1825      # Startår
tid_slutt = 2100 # År etter 1825

a = 0.040      # Utslippsrate
u = 0.01       # Utslipp i 1825 (tonn per innbygger)

utslipp = [u]  # Legger inn startutslipper i en liste
årstall = [tid] # Legger inn startåret i en liste

while tid <= tid_slutt:
    # Legg inn modellen og fyll inn i listene her

plt.plot(årstall, utslipp)
# Legg til aksetitler og eventuelt annet
plt.show()
```

Her kan elevene kjøre programmet og se om de får samme utvikling over tid som de tidligere antok. Hvis ikke, bør de diskutere avviket. Hvis de får syntaksproblemer, kan de enten spørre læreren eller bruke verktøy som ChatGPT, som fort løser opp i problemer som vi ikke ønsker å bruke mye tid på.

Fase 3: Eksperimentere

Etter at elevene har kjørt programmet og fått et resultat, kan de eksperimentere med ulike parametere. De kan for eksempel endre slutt-tida, utslippet ved startåret og utslippsraten a . Her gjelder prinsippet om variabelkontroll på samme måte som ellers i naturvitenskapene. De bør beskrive systematisk hva som skjer når de endrer på de ulike parametere, for eksempel ved å eksperimentere med tre ulike verdier av hver parameter og sette opp resultatene i en tabell.



Foto: Jarli & Jordan / Naturfagsenteret

Fase 4: Evaluere

Vi har god oversikt over årlig utslipp av CO₂ i tonn per innbygger i Norge, blant annet gjennom nettsida ourworldindata.org. Dermed kan elevene sammenlikne modellen med reelle data. Hvilke støttestrukturer som trengs for at de skal kunne lese av og visualisere data fra en fil, avhenger av nivået til elevene, men det er enklast å benytte Pandas-biblioteket. Du finner en fil med data over utslippene til Norge her: realprog.no/docs/datafiler. Husk at det finnes ulike former for målinger og sortering av disse, noe som gjør at det finnes tilsvarende data med ulike verdier. Dette kan gi fine muligheter til å kritisk drøfte gyldigheten til ulike data.

Et komplett program som plotter både data og modell i samme koordinatsystem, kan se slik ut:

```
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd

tid_slutt = 2000 # År etter 1825
tid = 1825      # Startår
a = 0.045      # Utslppsrate
u = 0.01      # Utslipp i 1825 (tonn per innbygger)
```

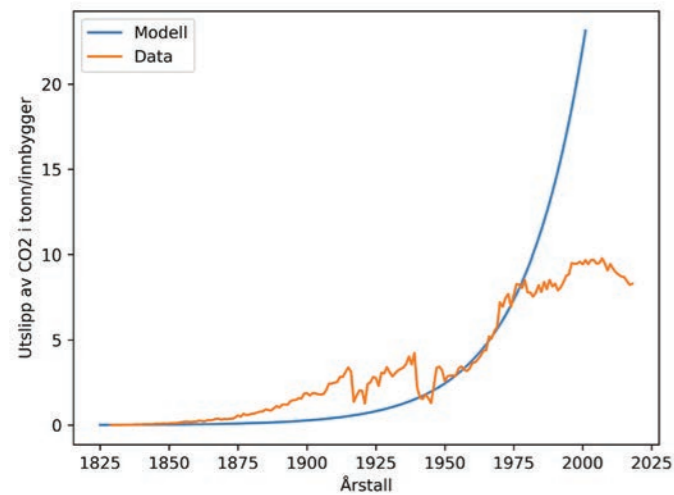
```
utslipp = [] # Legger inn startutslipper i en liste
årstall = [tid] # Legger inn startåret i en liste
```

```
data = pd.read_csv("CO2_Norge.txt")
t_data = data["år"]
u_data = data["co2"]
```

```
while tid <= tid_slutt:
    u = u + a*u
    tid = tid + 1
    utslipp.append(u)
    årstall.append(tid)
```

```
plt.plot(årstall, utslipp, label = "Modell")
plt.plot(t_data, u_data, label = "Data")
plt.xlabel("Årstall")
plt.ylabel("Utslipp av CO2 i tonn/innbygger")
plt.legend()
plt.show()
```

Du kan eventuelt erstatte filnavnet med internettdressen til fila. Dette gir følgende plott:



Her kan elevene eksperimentere med ulike verdier av a for å tilpasse modellen til dataene. Akkurat her har vi valgt en a som gjør at modellen beskriver utviklingen etter andre verdenskrig og fram til ca. 1975 ganske godt. Andre verdier av a kan gi ulike gyldighetsområder for modellen.

Fase 5: Modifisere (og evaluere på nytt)

Nå som vi har vurdert modellen ut fra reelle data, kan vi gå tilbake til å modifisere modellen vår. Vi ser nemlig at den eksponentielle modellen har et veldig begrenset gyldighetsområde. Derfor ønsker vi å beskrive et scenario der modellen flater ut. Med andre ord vil vi introdusere en utslippsbegrensning b , noe som ikke er så urealistisk at kan oppstå, enten med statlig styring eller naturlig gjennom begrensende faktorer som velstand eller sykdom (for eksempel koronapandemien). En matematisk modell som tar hensyn til dette, kan se slik ut:

$$u_{\text{ neste år}} = u_{\text{ forrige år}} + a \cdot u_{\text{ forrige år}} \cdot (1 - u_{\text{ forrige år}} / b)$$

Elevene kan oppfordres til å modifisere koden slik at den tar hensyn til utslippsbegrensningene og deretter beskrive utfallet. Be dem også gjerne om å beregne faktoren $1 - u/b$ for noen år for hånd, så ser de tydelig at den nærmer seg null når u går mot b . Endringen i koden er ganske liten:

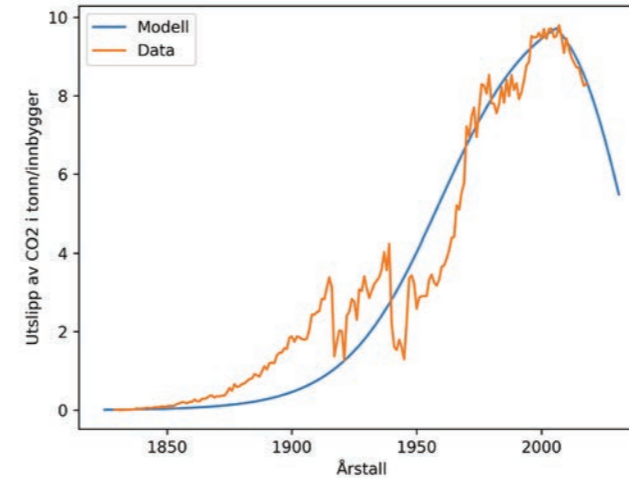
```
b = 10.5 # Utslippbegrensning i tonn/innbygger
```

```
while tid <= tid_slutt:
    u = u + a*u*(1 - u/b) # Legger til faktor (1 - u/b)
```

Etter å ha modifisert modellen kan elevene gå tilbake igjen til å endre på a og b slik at modellen passer med dataene. De kan også legge til andre premisser for modellen. Hva hvis vi for eksempel innførte tiltak i 2006 slik at utslippet går ned med 10 % istedenfor opp? I koden kan dette gjøres ved å legge til en if-setning inne i løkka:

```
if tid >= 2006:
    a = -0.1
```

Med a 0.053 og b 10.5 får vi da følgende utvikling dersom vi simulerer fram til 2025, som er relativt beskrivende for utviklingen de senere årene:



Utvide og utforske

Helt til slutt kan vi utvide programmet slik at kurven flater ut ved en bestemt verdi til slutt. Her kan elevene få modellen av læreren, og for eksempel finne en måte å implementere den på selv. Deretter bør de diskutere hva modellen gjør og hvordan den oppfører seg for ulike verdier av parameterne. De kan for eksempel regne ut ulike verdier for hånd, slik de gjorde med den logistiske kurven som flatet ut. Vi benytter følgende modell, der parameteren c er en målverdi for hvor mange tonn CO₂ per innbygger vi kan regne med er mulig å redusere til:

$$u_{\text{ neste år}} = u_{\text{ forrige år}} + a \cdot (u_{\text{ forrige år}} - c) \cdot (1 - u_{\text{ forrige år}} / b)$$

Hovedløkka og de tilhørende parameterne vil kunne se slik ut:

```
a = 0.045 # Utslppsrate
b = 10    # Maks mulig utslipp
c = 2.5  # Målverdi for utslipp per innbygger etter nedgang
```

```
while tid <= tid_slutt:
    if tid >= 2006:
        a = -0.1
        u = u + a * (u - c) * (1 - u / b)
    else:
        a = 0.055
        u = u + a*u*(1 - u/b)
```

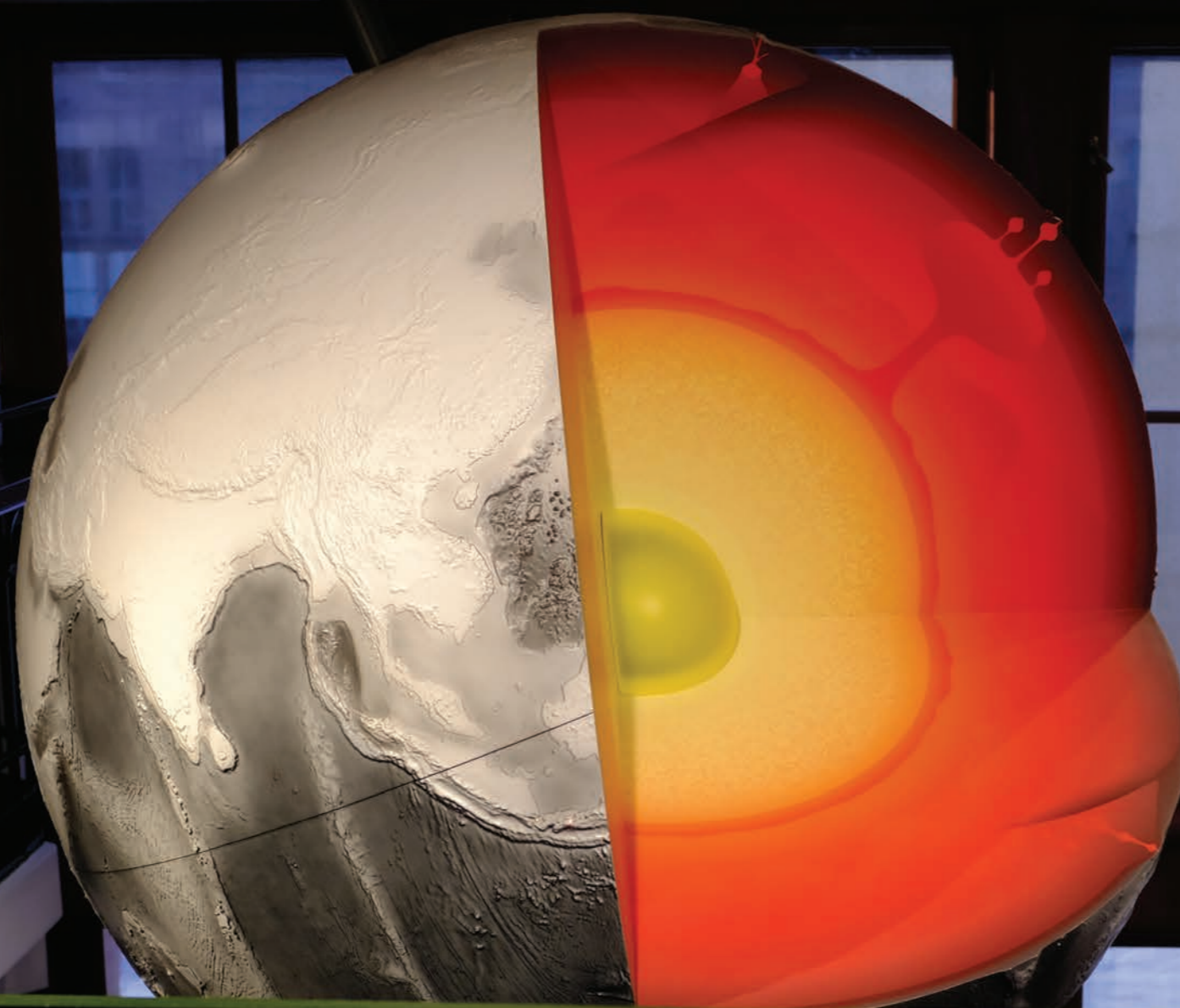
Hovedpoenget med slike oppgaver er ikke det programmerings-tekniske. Derfor bør vi hjelpe elevene med gode stillas som gjør at de kan legge vekt på det naturvitenskapelige innholdet. Det viktigste er at vi gir dem mulighet til å reflektere over og drøfte modellene og hvordan de representerer ulike naturfaglige fenomener.

Konklusjon

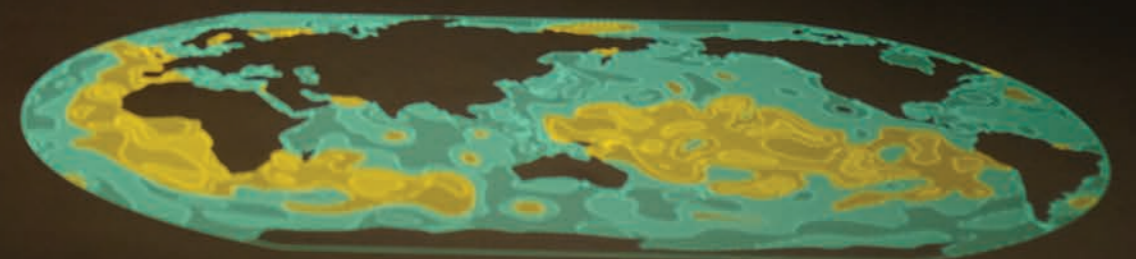
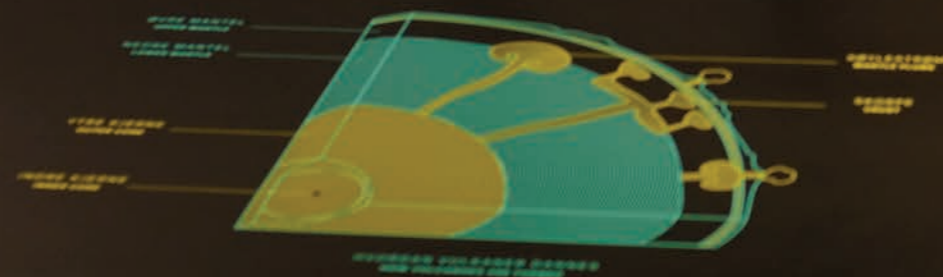
Modelleringsprosessen som er illustrert gjennom eksemplene ovenfor, der elevene er i forhandling mellom modeller, teori og egne forestillinger og kunnskap om verden, kan være en verdifull prosess for engasjement og utforskning av naturvitenskapene. Dessuten kan det gi elever en innsikt i hvordan vi bruker naturvitenskapelige modeller på en dynamisk og levende måte, ikke som statiske formler og illustrasjoner i en lærebok. Programmeringens gjentakende og eksplisitte natur kan utnyttes i denne prosessen, med gode støttestrukturer og stillas som gjør at flest mulig kan lære mest mulig.

Noter

- Gilbert, J. K.; Justi, R. *Modelling-Based Teaching in Science Education*; Models and Modeling in Science Education; Springer International Publishing: Cham, 2016; Vol. 9. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-29039-3>.
- Hallström, J.; Schönborn, K. J. Models and Modelling for Authentic STEM Education: Reinforcing the Argument. *IJ STEM Ed* 2019, 6 (1), 22. <https://doi.org/10.1186/s40594-019-0178-z>.
- Blomhøj, M.; Elicer, R. Epidemiological Models and the Problem of Coherence: From the Critical Justification to a Practice of Teaching Mathematical Modelling. *Quadrante* 2021, Artigos no Prelo. <https://doi.org/10.48489/QUADRANTE.23597>.
- Casa-Coila, M. D.; Mamani-Vilca, P. S.; Tisnado-Mamani, L. M.; Pari-Achata, D.; Vilca-Apaza, H. M. Model Chemlab and Phet Simulator: A Didactic Resource for Chemistry Learning in Undergraduate Students. *ijmst* 2023, 10 (5), 59–75. <https://doi.org/10.15379/ijmst.v10i5.2420>.
- Clark, T. M.; Chamberlain, J. M. Use of a PhET Interactive Simulation in General Chemistry Laboratory: Models of the Hydrogen Atom. *J. Chem. Educ.* 2014, 91 (8), 1198–1202. <https://doi.org/10.1021/ed400454p>.
- Haryadi, R.; Pujiastuti, H. PhET Simulation Software-Based Learning to Improve Science Process Skills. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2020, 1521 (2), 022017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1521/2/022017>.
- Moore, E. B.; Chamberlain, J. M.; Parson, R.; Perkins, K. K. PhET Interactive Simulations: Transformative Tools for Teaching Chemistry. *J. Chem. Educ.* 2014, 91 (8), 1191–1197. <https://doi.org/10.1021/ed4005084>.



MODELLAR I FORMIDLING





Virale heklemasker i pandemitid: Da heklede R -tall fikk folk til å forstå

Da koronaviruset kom snikende inn i luftveiene våre, stengte vi skoler etter råd fra en matematisk modell. Et hekletøy fikk folk til å forstå modellen.

Enn at det kan være så enkelt!

Da jeg var fem år, lærte bestemor meg å hekle. Det aller første prosjektet var et blekrosa forkle til Tusse, en stiv liten kaninbamse med rosa plysjører. Bestemor heklet to omganger med staver («ordentlige» heklemasker), og så overtok mine svette, små hender og heklet noen omganger med enkle masker. To blekrosa knytesnorer senere kunne Tusse ta på seg forkle. Jeg var så stolt! Så fikk Tusse skjørt, og til slutt kompletterte bestemor antrekket med en stripet cape, og viste meg samtidig hvordan du får hekletøyet til å vide seg ut jo mer du hekler: Du hekler to masker i samme løkke på flere steder. Jeg var opplyst og begeistret: Enn at det kunne være så enkelt! Og så logisk!

Førti år senere tok jeg med meg hekleferdighetene inn i formidlingen av forskning og statistikk. Jeg hadde opprettet den populære vitenskapelige bloggen Statistikk.no for å nå ut med kul statistikk og harde fakta gjennom strikkede eller heklede visualiseringer. Den våte formidlingsdrømmen var å få leserne mine til å tenke «Enn at det kan være så enkelt!» om viktige temaer fra statistikk og forskning.

Retten og vrangt om smittespredning

Siden jeg bor på Nesodden, en kommune beryktet for sin vaksineskepsis og gjentatte kikhosteepidemier, og smittespredning er et eget fagfelt innenfor statistisk modellering, var smittespredning og vaksinedekning temaer jeg brant for å kommunisere. I 2017 designet jeg derfor en strikkeponcho (en strikket modell, ikke helt



Kaninbamsen Tusse med heklet forkle. Foto: Kathrine Frey Frøslie



Her viser Kathrine Frey Frøslie, førsteamanuensis i biostatistikk ved NMBU, fram heklede modeller av R -tallet. Foto: Georg Mathisen

ulik capen til Tusse) formet som et kakediagram, for å vise hva som var kritisk vaksinedekningsgrad for å holde den smittsomme sykdommen kikhoste under kontroll. Men ponchoen krevde en lengre forklaring, for hva menes egentlig med kritisk vaksinedekning, hvordan beregnes det, og hva hadde jeg egentlig strikket?

Beregning av nødvendig vaksinedekning gjøres med utgangspunkt i det *basale* (grunnleggende) R -tallet, fortalte min kollega Birgitte. Hun forsket på spredning av smittsomme sykdommer, og hadde R -tallet som et av de viktigste modellverktøyene sine. På den tiden hadde verken jeg eller mannen i gata hørt om R -tallet eller modellene som ligger bak beregningen av det. Men Birgittes forenklete forklaring av prinsippet for R -tall-modellen ga meg samme opplyste begeistring som bestemors hekleopplæring: Enn at det kan være så enkelt! Og så logisk!

Lenge før bloggen og enda lenger før pandemien, delte jeg derfor entusiastisk og villig idéen om det basale R -tallet; tallet som forteller hvor mange som gjennomsnittlig smittes av en smittebærende person, hvis ingen er immune, og ingen tiltak er satt i gang for å begrense smitten. «Se her», sa jeg ivrig til tilhørere, «hvis R -tallet

er to, vil hver smittede gjennomsnittlig smitte to personer. Så hvis DU er smittet», (pekte på nærmeste tilhører), «vil du smitte hen og hen!» (pekte på to tilfeldig valgte andre personer i nærheten). «Er smittetallet 5,5, slik det er for kikhoste, vil hvert tilfelle av kikhostesmitte gi 5,5 nye tilfeller. (Hjelp!) Og for meslinger, kanskje verdens mest smittsomme sykdom, er det helt vilt: Hvert tilfelle gir mellom 12 og 18 nye smittede.» Sykdommer med R -tall under 1 dør ut. De med R -tall over 1 sprer seg til flere og flere, og de med R -tall på 1 har et stabilt antall smittede. Det er altså kritisk for smittespredningen om R -tallet er over eller under 1.

Å peke på mennesker var en effektiv formidlingsstrategi for én eller to runder med smitte for et R -tall på 1, 2, og litt oppover. Men det fungerte dårlig for å beskrive hva som skjer når R -tallet er rundt 1, eller hvor enorm effekt selv små forskjeller i R -tallet gir etter som tiden går. Så, i stedet for å peke på fullskala menneskekropper, fant jeg frem garn og heklekrok og lot hver heklemaske representere en smittet person. Jeg la opp 10 masker og startet med 10 smittede i første omgang, og heklet utviklingen omgang for omgang, med ett R -tall i hver lapp. Det abstrakte R -tallet hadde plutselig oppstått i fysisk skikkelse.

En verden full av modeller

Du har antakelig også lekt med bamser, dukkeklær, modelltog eller lekebiler. Akkurat som den 13,5 cm høye Tusse, er disse lekene forminskede, forenklete modeller av virkelige ting. Bortsett fra Tusses kaninhodeformede hode med kaninører og en rund liten kaninhale, er det lite ved hennes stive pels og anatomi som minner om hennes levende artsfrender. Modellen er hylende upresis, men vi gjenkjenner henne allikevel som kanin. (De viktigste trekkene ved kanin er tydeligvis hodefasjon, ører og søt rumpe.) Fysiske modeller er imidlertid ikke begrenset til barn og leker. Arkitekter og designere er storbrukere av tredimensjonale modeller for å synliggjøre essensielle egenskaper ved designene sine, så både de selv og andre skal forstå hvordan ting de har tenkt ut kan se ut i praksis. De lager modeller av *idéene* sine.

Idéer er imidlertid ikke begrenset til fysisk utforming. Idéer handler like ofte om abstrakte fenomener og sammenhenger det kanskje ikke engang er mulig å se: Gravitasjonskrefter. Sammenheng mellom røyking og lungekreft. Spredning av smittsomme sykdommer over tid. Slike idéer kommuniseres med *språket*, som i seg selv er symbolske generaliseringer av fenomener rundt oss. På denne måten er modeller, altså forenklinger og generaliseringer vi gjør for å forstå verden og bli forstått, så grunnleggende for oss, og bruken av modeller en så grunnleggende ferdighet for oss, at vi knapt tenker over det. Vi lever i en verden full av modeller.

R-tallet er et eksempel på en idé som er for abstrakt til at den kan sees direkte. Vi kan omtale den med ord som gir mening, slik jeg nettopp har beskrevet, eller enda enklere, bare kalle det *smittetal*. Disse ordene forenkler den komplekse idéen vi ønsker å formidle, men rommer allikevel essensen: Et *tall* som sier noe om *smitte*.

Formlene i matematikken fungerer på mange måter likt som språk. De er abstrakte formuleringer av essensen i idéer eller fenomener vi ønsker å forstå og formidle, som for eksempel smittespredning. Dersom vi forenkler fenomenet «smittespredning i en befolkning», kan vi formulere en *matematisk* modell for *R*-tallet. Vi kan for eksempel anta at smittespredningen holder seg konstant og ikke påvirkes av andre prosesser som også utvikler seg over tid, at populasjonen er uendelig, at andelen immune ikke endres, og at vi kjenner til alle de smittede ved tid 0, y_0 (altså antar vi at y_0 er målt uten usikkerhet). Da vil antall smittede ved tid t , kalt $y(t)$, kunne formuleres med modellen $y(t) = y_0 \cdot R^t$.

Det nyttige R-tallet (modellen, altså)

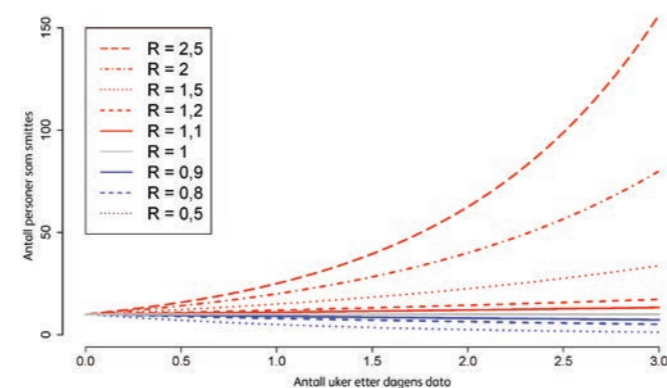
Den matematiske modellen for *R*-tallet er nyttig fordi de som har jobbet med mattefaget i andre fag kan kjenne igjen strukturen og sammenligne den med andre kjente fenomener, som vekst av bakterier i en fjord, hvor mye penger du har på sparekontoen din, hvor fort du får nedbetalt et lån, og mye annet. På den måten kan matematikkfaget og modellene brukes som felles språk for folk som jobber med vilt forskjellige ting. Matematiske formler er en ekstremt effektiv måte å kommunisere på, hvis både avsender og mottaker forstår notasjonen. Vi får sagt svært mye med svært få tegn.

Den matematiske modellen er også nyttig fordi den gjør det enkelt (mulig) å utforske fenomenet teoretisk for ulike scenarier. Hva vil det for eksempel si at *R*-tallet er 1? Jo, da vil $y(t) = y_0 \cdot 1^t = y_0$, altså er antallet smittede stabilt over tid. Vi kan altså utforske formelen ved matematisk analyse.

En fysisk modell av en abstrakt modell

For å kommunisere til folk flest, og for at elever flest skal forstå hva det innebærer at *R*-tallet er 1, 0,9, 0,6, eller over 1, trenger vi ofte noe mer eller annet enn å klaske formelen $y(t) = y_0 \cdot R^t$ og en matematisk analyse i bordet.

Språket og måten vi ordlegger oss på er grunnleggende viktig. Og svært ofte hjelper det godt å lage figurer og grafer for å illustrere det formlene forteller. Men ikke alle har et intuitivt forhold til



Grafer som viser tidsforløpet (over tre uker) for antall personer som smittes av en gitt smittsom sykdom, for ulike *R*-tall. Alle forløpene startet med ti smittede.



Heklede *R*-tall som viser tidsforløpet (over åtte uker) for antall personer som smittes eller har vært smittet av en gitt smittsom sykdom, for ulike *R*-tall. Alle forløpene startet med ti smittede. Den minste lappen til venstre illustrerer et *R*-tall på 0,5. Så følger (med klokka) *R*-tall på 0,8, 0,9, 1, 1,1, 1,2, 1,5, 2 og 2,5. Design: Kathrine Frey Frøslie / statistrikk.no Foto: Kamilla Hjortkjær

grafer. Dermed tyr pedagogene til konkreter: Fysiske ting man kan se og holde i hånda. Hekletøyet er en slags hybrid. Den er en fysisk modell av en abstrakt modell.

Hekletøyet utvider den todimensjonale flaten i grafen til tre dimensjoner. Tid er en fysisk dimensjon i hekletøyet, men den presses ikke til å følge en rett linje. Den folder seg og bukker seg på en måte som er vanskelig å plotte på papir, men som hjernen forstår på et blunk. Øynene fanger på en intuitiv måte de enorme forskjellene på R -tall-verdier fra 0,5 til 2,5, det som ikke er like intuitivt verken gjennom språk, formler eller todimensjonale grafer.

En modell inni en modell

«All models are wrong, but some are useful», lærte vi på Blindern på 90-tallet, og det syntes vi var tøft. Formelen for R -tallet er en sann modell. Feil, men nyttig! Feil fordi den er for enkel og basert på strenge antakelser. Nyttig fordi den kan hjelpe folk å forstå viktige prinsipper for smittespredning.

Den som forstår R -tallet, vil også lettere forstå hvordan og hvorfor vi kan manipulere det. Det aller mest effektive er vaksine. Hvor mange som må vaksineres, avhenger av det tidligere nevnte basale R -tallet: Hvis det *basale* R -tallet er 2, men halvparten av befolkningen er vaksinert, vil det *effektive* R -tallet bli redusert til 1, og vi får kontroll. Hvis R -tallet er 3, må 2 av 3 vaksineres, og er R -tallet 4, må 3 av 4 vaksineres.

Disse beregningene er også basert på forenklinger og en enkel modell. Vi må blant annet anta at vaksinen er 100 % effektiv. For å beregne kritisk vaksinedekning, altså det som må til for å få det *effektive* R -tallet ned til 1, må vi altså først gjøre antakelser om det *basale* R -tallet og bruke en fornuftig modell for å beregne det. Deretter må vi gjøre antakelser om effektiviteten av vaksine, og så putte beregninger fra R -tall-modellen inni beregningene fra vaksinedekningsmodellen for å beregne hvor mange som minst må vaksineres. For kikhoste med et basalt R -tall på 5,5, må vi minst vaksinere 4,5 av 5,5, altså 82 %, for å få kontroll.

Det var dette, altså et kakediagram med 82 % beige og 18 % mørkerødt som i 2017 ble oversatt til en poncho. En *kritisk-vaksinedekning-for-kikhoste-poncho*, med heklede R -tall som mellomregning. To år senere gikk mellomregningen viralt, akkurat som virusene de handlet om.



En kikhostevaksine-poncho som viser kritisk vaksinedekningsgrad for kikhoste, 82 %, som tilsvarer den beige delen av ponchoen. Design: Kathrine Frey Frøslie / statistikk.no Foto: Lene M Linnerud

Så enkelt er det faktisk!

Ved å lage en fysisk og taktil modell av en abstrakt matematisk modell, ble håndarbeidsteknikker overrakt gjennom generasjoner forent med forskningsfronten i statistisk modellering, og folk flest fikk en forståelse for dagsaktuelle nyheter og politiske prioriteringer som de ellers ikke ville hatt. Og tilbakemeldingene, de ble dominert av utsagn av typen «Forklaringen med hekletøyet var kjempegod – tenk at det kan være så enkelt!» Q.E.D.

PS: Prøv selv! Utstyr elevene med heklekrok og garn, og la dem hekle modeller med sine egne hender!

Takk til NMBU-kollega Jon Olav Vik for utvidede og gode modelldiskusjoner.

Se R -tall-videoen som gikk viralt under pandemien: www.youtube.com/watch?v=jmch2H7B44



Modeller inni modeller: kritisk vaksinedekning for å holde i sjakk smitte av (fra venstre:) kikhoste, meslinger og polio. Ponchodesign: Kathrine Frey Frøslie / statistikk.no Foto: Simen Kjellin



Modeller i et geologisk museum

Her forteller vi om erfaringene våre fra da vi totalrenoverte de geologiske utstillingene ved Naturhistorisk museum i Oslo og blant annet lagde modeller av jordsystemet og solsystemet.

Geologisk museum i Oslo (en del av Naturhistorisk museum) hadde forfalt siden åpningen i 1920, og lå nesten i ruiner da vi tok fatt på nye planer i 2011. Takket være en storsatsing fra Universitetet i Oslo ble bygget totalrenoverert til fordums prakt, og svære arealer skulle fylles med nye utstillinger fram til planlagt åpning i 2022. Vi hadde nærmest frie tøyler – en drøm for oss museumsfolk! Ganske tidlig bestemte vi oss for at museet i første rekke skulle baseres på ekte objekter fra naturen, altså stein, mineraler og fossiler. Når vi noen ganger likevel valgte å bruke fysiske eller digitale modeller, var det mest for å støtte opp under de ekte objektene (se figur 1).

Men i tredje etasje ønsket vi å gi innblikk i solsystemet og i de dynamiske prosessene som gjør planeten vår beboelig. Den utstrakte og kostbare bruken av modeller i denne utstillingen ble grundig diskutert og planlagt gjennom flere år, med innlånte konsulenter fra andre deler av universitetet med ekspertise på de ulike fagområdene. Modellene måtte forenkle kompliserte prosesser, samtidig som de måtte være visuelt slående. I moderne museumspedagogikk prøver vi å unngå lange tekster som sjelden leses, så modellene burde også være mest mulig selvforklarende.

Nå, etter nesten to år, har vi sett hvordan publikum bruker utstillingen og hvordan modellene oppfattes. Modellene ser imponerende ut, og vi tror at mange besøkende tar med seg nye tanker hjem.

Modeller i museet

Modeller er forenklinger av større teorier og systemer. Når vi skal prøve å lage en modell som viser hva vi i dag tror foregår inne i jorda, må vi ta mange snarveier. Mange forskere kan ha proble-

mer med dette, og kan lett bli opphengt i at alt må være med og være korrekt. Dette erfarte vi i planleggingen av våre utstillinger. Vi trengte fagpersoner som kunne ha fugleperspektiv på sin egen forskning og si at «ok, tykkelsen av jordplatene er ikke riktig på globusen, men historien vi ønsker å fortelle om at platene beveger seg er riktig». Dette krevde avveininger på hver eneste modell, hva skal formidles, hva kan forenkles (nesten bort) – en prosess som vi kalte «kill your darlings». Spissing til ett enkelt budskap er alltid vanskelig.

På våre globuser som er 1,5 meter i diameter vil ikke en gang Mount Everest kunne føles som en forhøyning ved riktig skala. Her måtte vi øke topografien mange ganger for å få en effekt – ikke riktig, men for å få fram at det finnes fjellkjeder og vulkaner både i havene og på land.

Solsystemet

Når man skal lage en modell av solsystemet, eller deler av det, støtter man på et grunnleggende problem: Avstandene er så store at modeller i riktig skala er urealistiske (med sola så stor som en appelsin ville vi allikevel måttet bruke hele Oslo sentrum). Vi måtte derfor greie oss med modeller med forvrengt skala. I midten av salen henger en svær modell av asteroidebeltet mellom Mars og Jupiter, nærmest en kunstnerisk abstraksjon, med geometriske asteroider kombinert med mer realistiske modeller av Ceres, Vesta og Psyche. En animasjon på en skjerm gir en kort forklaring. Her kombineres en analog og en digital modell som virker sammen for å forklare hvorfor meteoriter faller ned på jorda.

I den samme salen plasserte vi en stor modell av solsystemet med



Figur 1. Presentasjon av Norges kanskje mest kjente fossil, sjøskorpionen *Mixopterus*, i våre utstillinger. Bakerst det originale fossilet, så en livaktig modell og forrest en bronseavstøpning som taktilt element. Til venstre et livaktig akvarium i digital 3D (sjøskorpionen har gjemt seg for øyeblikket). Foto: Jørn H. Hurum

løpende LED-lys som viser planetenes omløpsbaner med riktige innbyrdes størrelsesforhold, og med korrekte relative omløpstider. Det er en flott modell, men vekker kanskje ikke så stor interesse. Det kunne vært morsomt å heller vise planetene i sann tid, slik de står på datoen for utstillingsbesøket, men da ville Neptun nærmest stå stille i de neste hundre årene! Her måtte vi kompromisere igjen. Det er interessant at mekaniske, bevegelige (kinetiske) modeller av jordas og månens bevegelser later til å være langt mer populære. Den første slike modellen vi laget var rent mekanisk, operert med sveiv, men den gikk i stykker etter kort tid. Nå har vi en mer solid modell med elektriske motorer. Igjen med en hovedhistorie: Hvordan månen går rundt jorda som roterer, samtidig som at vi måtte justere skalaforholdene og forenkle detaljer.

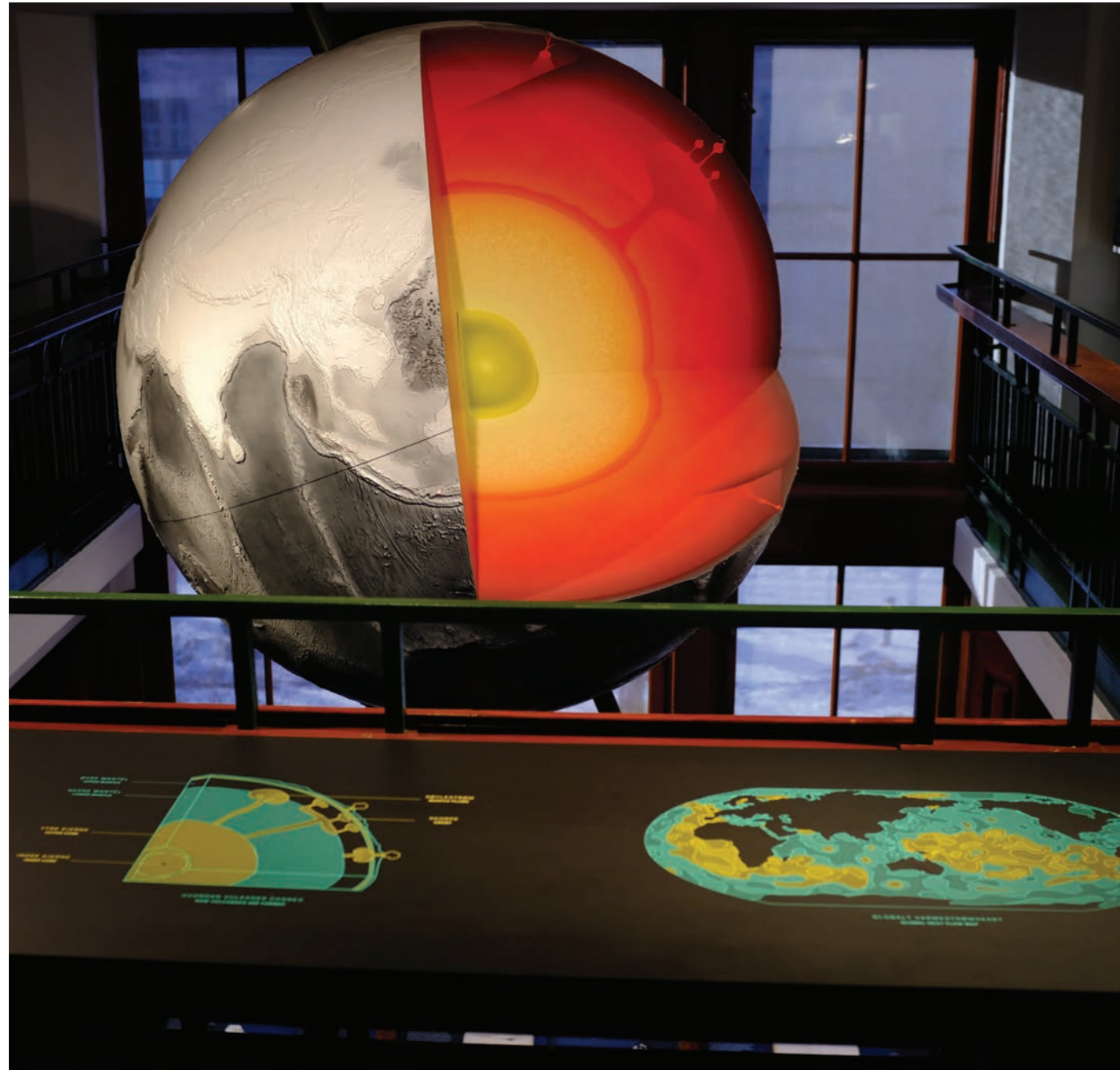
En episk idé, kanskje for stor: Vår dynamiske jord

Jorda er et komplekst system, med et samspill av mange prosesser

i kjerne, mantel, jordskorpe, hav, atmosfære og biosfære. Livet på jorda er avhengig av disse prosessene, og livet bidrar på den annen side aktivt til dem. Hva er det som gjør jorda beboelig? Kunne vi illustrere det moderne synet på jorda som en kompleks «geobiosfære» ved hjelp av analoge og digitale modeller?

Arkitekturen i rommet, med ti store åpninger ned til etasjen under, ga en naturlig løsning. Ti svære globuser (se figur 2) viser hvert sitt aspekt av jordsystemet: Jorda som en vanlig globus; tyngdeseparasjon i jordas indre; mantelkonveksjon; jordas magnetfelt; månen og tidevann; platetektonikk; atmosfære; havstrømmer; biosfære; syntese av alle disse.

Langs midten av rommet er det lange aktivitetsbord med objekter, mikroskoper og fysiske eksperimenter som er relevante for de ulike prosessene illustrert i modellene (se figur 3 og 4).



Figur 2. Gjennomskåret modell av jorda som viser vulkanisme og prosesser i mantelen. Foto: Jørn H. Hurum



Figur 3. En av de interaktive stasjonene på aktivitetsbordet handler om havstrømmene, med en historie om et utslipp av badeeender som ble funnet igjen over hele verden. Vi er et museum også for barn! Foto: Jørn H. Hurum

Naturlover, modeller og virkelighet

Et sentralt element i utstillingen er paneler av dataskjermer (24 til sammen) som illustrerer hvordan vi bruker matematiske, numeriske og geometriske modeller for å forstå prosessene på jorda. Hver prosess er tildelt et «triptykon» med tre skjermer: formler, simulering og virkelighet. I avdelingen om havet viser vi en matematisk beskrivelse av bølger, så en datasimulering, og endelig ekte bølger i storm. Et annet eksempel er vist i figur 4. Disse skjermene er delvis ment som dekorasjon, men vi håper også at de gir et inntrykk av hvordan vi modellerer og abstraherer kompliserte prosesser i naturen.

Augmented Reality på fysiske modeller!

De store modellene av jorda (globusene) er forsynt med grafiske og fysiske elementer som forteller om de ulike prosessene (se figur 5). De er spektakulære i seg selv, men vi satte i tillegg opp 18 «kikkertene» på stativer. Kikkertene peker på globusene, og når man ser inn i dem, starter animasjoner som tilsynelatende foregår på og rundt jordkulene. Det er en ganske sømløs overgang mellom de virkelige modellene og de digitale bildene. Animasjonene er delvis basert på virkelige data, ofte fra satellitter (havstrømmer, vindsystemer, fotosyntese gjennom året), og delvis er de vanlige 3D-animasjoner (solvind og magnetfelt, måne og tidevann). Det er flott



Figur 4. «Triptykon» med korte animasjoner som illustrerer teori, modell og virkelighet: Maxwells likninger for elektromagnetisme, stilisert framstilling av jordas magnetfelt og et kompass i bruk. Foto: Jørn H. Hurum

og morsomt, og gir god tilleggsinformasjon med en levendegjøring av alt fra nordlys til vulkanutbrudd på modellene.

En interaktiv, mekanisk-numerisk modell

En av modellene på aktivitetsbordet er spesiell (se figur 6). På hver side av en dataskjerm kommer det inn rør med virkelige stoppekraner. Publikum kan åpne stoppekranene helt eller delvis, og dermed sende «luftstrømmer» inn i skjermen. I tillegg er det en knapp som skrur på et «varmeelement» under skjermen, som starter konveksjonsstrømmer. Vakre, fargerike strømningsmønstre med kompliserte virvler settes i gang, og demonstrerer luftbevegelser i atmosfæren. Det hele er basert på en forenklet matematisk strømningsmodell som kjører i sann tid, ved hjelp av kraftige grafikkprossessorer. Dessverre er det mange som ikke får med seg helt hva som foregår eller hva modellen egentlig skal illustrere! Her ble abstraksjonsnivået kanskje for stort, kanskje det hadde vært mulig å lage en gjenkjennelig situasjon på samme skjerm i tillegg?

Modeller på museum: Fagformidling og estetikk

Et naturhistorisk museum skal ikke bare vise objekter rent objektivt, eller bare formidle konkrete forskningsresultater. Det skal også formidle vitenskap på en mer indirekte måte. Framfor alt skal

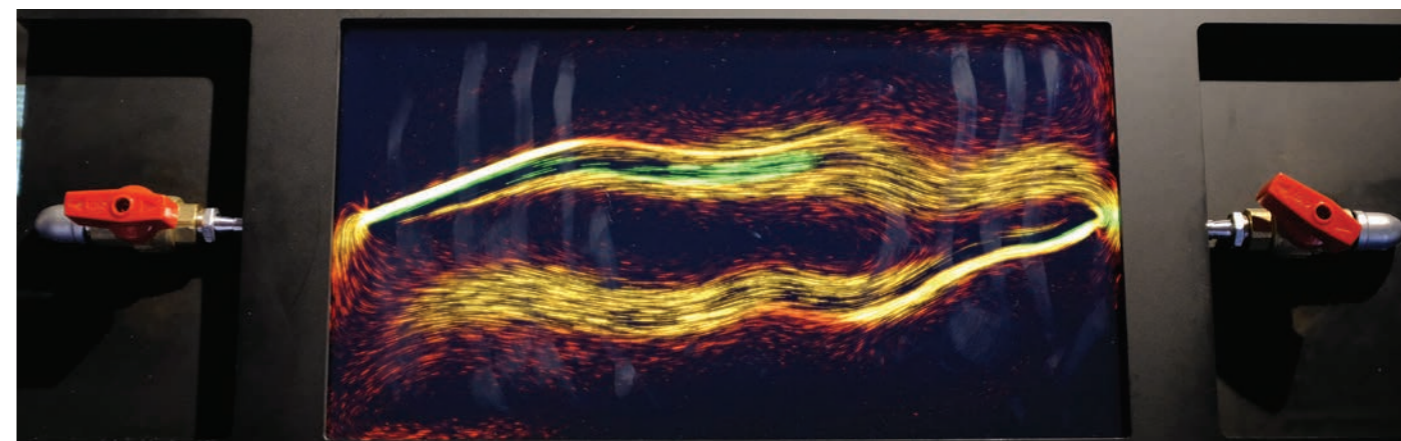
museet være en estetisk opplevelse. Slik kan vi vise hvor vakker naturen er, så vi blir mer interesserte i å studere og bevare den. Vi mener selvfølgelig at det nye Geologisk museum i Oslo er blitt et av de vakreste museene i Norge. NHM fikk da også prisen «Årets museum» i 2023, i tillegg til en pris for det digitale innholdet, og både publikum og presse har vært overstrømmende på det punktet. Modellene bidrar til dette. Mange av dem, både de fysiske og digitale, er svært estetiske. Noen av dem er nesten naturromantiske, til tross for (eller kanskje på grunn av) strenge, digitale uttrykk. Og endelig så viser modellene og aktivitetene hvordan naturvitenskapelig forskning foregår – at det ikke bare dreier seg om å finne og fange ting, men også om å forstå, teste, modellere og regne ut.

Konklusjon

Museet har gått fra å være et sted uten mange modeller og med fullstendig mangel på interaktivitet til et sted der besøkende kan gjøre ting og observere vitenskapelige teorier gjennom modeller. En utfordring er å sørge for at det blir en god balanse mellom objekter og digitale og analoge aktiviteter. Budskapet kommer kanskje ikke alltid så tydelig fram som vi tenkte, så litt hjelp fra en lærer eller museumsguide kan nok være lurt. Men det ser i alle fall flott ut, og det er faktisk også ganske viktig.



Figur 5. Stilisert framstilling av jordas magnetfelt. I «kikkerten» til høyre kan man se en animasjon av magnetfeltet, solvinden og nordlyset. Foto: Jørn H. Hurum



Figur 6. Interaktiv, digital strømningsmodell. Med «kranene» til venstre og høyre kan man sende «luft» inn i skjermen, og sette i gang kompliserte strømningsmønstre. Foto: Jørn H. Hurum

MODELLAR I NATURVITSKAP OG TEKNOLOGI





Jordas utvikling i et tidsperspektiv – fra mange modeller til en samlet teori

Det er når forklaringskraften omfavner mange fenomener og støtter seg på mange og ulike datasett at vi ikke lenger kaller det en modell, men en teori. Etter hvert som nye data samles og nye modeller tas i bruk, kan teorier utvides og øke sin forklaringskraft. Platetektonikkteorien er eksempel på dette.

Gjennom mange århundre har forskere observert og beskrevet mange ulike geologiske fenomener som vulkaner, jordskjelv, landskapsformer, fossiler, mineraler og bergarter. De har også forsøkt å forklare fenomenene ved hjelp av modeller. Et eksempel er superposisjonsprinsippet til Steno fra 1669. Denne modellen forklarer at det nederste steinlaget er eldre enn det øverste. Så enkelt, men også så revolusjonerende for forståelsen av rekkefølgen på geologiske prosesser. Men superposisjonsprinsippet ble aldri en teori. Den modellen forklarer ikke jordskjelv eller vulkaner eller hvordan alle bergarter blir til. Den forklarer bare en liten del av de ulike geologiske fenomenene. Det er når forklaringskraften omfavner mange fenomener og støtter seg på mange og ulike datasett at vi ikke lenger kaller det en modell, men en teori.

Det var det Alfred Wegener gjorde i 1912. Da presenterte han sin teori om kontinentaldrift. Teorien støttet seg på data fra flere fagfelt som geologi, meteorologi, botanikk og paleontologi, og den forklarte at kontinentene var samlet til ett kontinent for 250 millioner år siden, men som med tiden sprakk opp og spredde seg utover kloden til kontinentene og verdenskartet vi kjenner i dag. Ved hjelp av denne teorien kunne Wegener forklare hvorfor fossiler av samme plante er observert på flere kontinenter, og at samme type bergarter er observert i Norge, England og Grønland, og at kystlinjen langsmed Sør-Amerika og Afrika ser ut til å passe sammen som puslespillbiter. Teorien til Wegener møtte likevel mye motstand



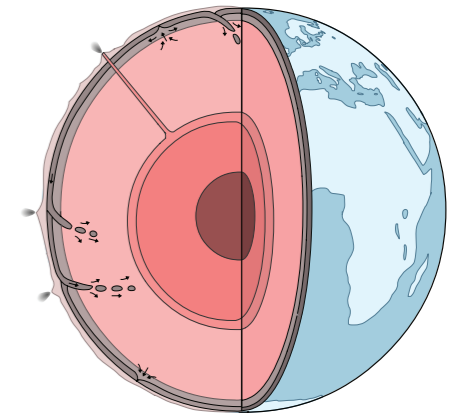
Thingvellir nasjonalpark på Island ligger på grensa mellom to plater. I grenseområdet er det mange oppsprekninger. Her ser vi en av dem. Foto: Matt Hardy / pexels.com



Kontinentaldrift (1912):
Kontinentene har en gang vært samlet til et superkontinent, som siden sprakk opp og spredde seg utover kloden til de posisjonene vi kjenner i dag. Ill.: Wenche Erlie / Naturfagsenteret



Platetektonikk (1960-åra):
Jordskorpa er delt opp i seks-åtte større og en rekke mindre plater som alle beveger seg i forhold til hverandre. Ill.: Wenche Erlie / Naturfagsenteret



Manteldynamikk (2020):
Det er en sammenheng mellom bevegelsene av jordskorpeplater og strømninger i mantelen. Ill.: Wenche Erlie / Naturfagsenteret

fra geologene, og det viktigste motargumentet var at teorien hans ikke forklarte hvorfor kontinentene beveget seg – hva er drivkraften? Da Wegener døde i 1930, ble teorien lagt på hylla av geologene (mens botanikerne støttet teorien også etter hans død).

Det var først da Mary Tharp var på båttokt for å registrere jordskjelv ute i Atlanterhavet på midten av 50-tallet, at teorien ble interessant for geologene igjen. Hun oppdaget at de registrerte jordskjelvene la seg på en nord-sør-linje midt ute i Atlanterhavet. Dette førte til at Tharp trakk fram Wegeners teori og påpekte at jordskjelv-målingene støttet teorien, bare at havbunnen også er med i bevegelsen, ikke bare kontinentene. Fremdeles var det mye motstand i forskningsmiljøet, men på slutten av 60-tallet ble teorien akseptert. Denne gangen inkluderte teorien også havbunnen og handlet om at hele jordskorpen var delt opp i plater som beveget seg. Slik endret teorien seg fra *kontinentaldrift* til *platetektonikk*. Fremdeles var forskerne usikre på drivkreftene til platene.

For å forstå de platetektoniske drivkreftene og koblingen til prosesser i den underliggende mantelen, har Trond Torsvik og kollegaer ved Universitetet i Oslo samlet inn data om jordas indre. De

har avbildet hvordan jordas havbunnsplater synker nesten vertikalt i den underliggende mantelen. Når havbunns materialet når grensen mellom mantelen og kjernen, strømmer det horisontalt langs denne grensen. Når materialet når en av de to store termokjemiske og stabile områdene, dannes en varmesøyle som stiger til jordas overflate og som resulterer i en varmpunktsvulkan (f.eks. Hawaii). Denne prosessen tar millioner av år. Periodevis vil disse være supervulkaner som kan føre til at tektoniske plater sprekker opp. På den måten har teorien utvidet sitt datagrunnlag enda en gang og blitt omdøpt til *manteldynamikk*, men i praksis brukes navnet *platetektonikk* om teorien.

Teknologisk utvikling har betydd mye for utvikling av platetektonikkteorien. GPS-målinger av posisjonen til en rekke stasjoner på jordas overflate har bidratt til data om farten og retningen til platene. Ekkoloddmålinger har bidratt til registrering av profiler av havbunnen og kartlagt riftdaler (kontakten mellom to jordskorpeplater). Seismikk bekrefter at det er konveksjonsstrømmer i mantelen. Datamaskiner som samler data over bergarter på overflaten, hjelper oss å fortelle noe om platenes bevegelser over tid.



Klimamodeller – komplekse modeller for komplekse problemer

Vi trenger ikke klimamodeller for å vite at CO₂ varmer opp kloden. Men vi trenger dem for å få et helhetlig bilde av hvordan vi påvirker klima.

En klimamodell er et verktøy for å simulere jordens klima. De kan variere fra relativt enkle til enormt komplekse, og kan brukes til å beskrive fortid, nåtid eller fremtid, og de kan fortelle oss om alt fra verdens temperatur til om det blir mer skogbrann i Canada. Men hvordan virker disse modellene? Og kan vi stole på dem?

Når vi snakker om modeller i naturvitenskapen, er klimamodeller på mange måter i en egen klasse. Mens enkle modeller kan beskrives med en enkel ligning eller noen få linjer med kode, er de avanserte klimamodellene i realiteten en samling av hundrevis av slike enkle modeller. De består av millioner av linjer med kode, er utviklet over flere tiår, og krever massive superdatamaskiner for å brukes. Hensikten er å forklare klimaendringene vi har sett, som vi kan forvente oss, og effekten av ulike klimaløsninger i et system hvor alt henger sammen.

Forklare fortiden

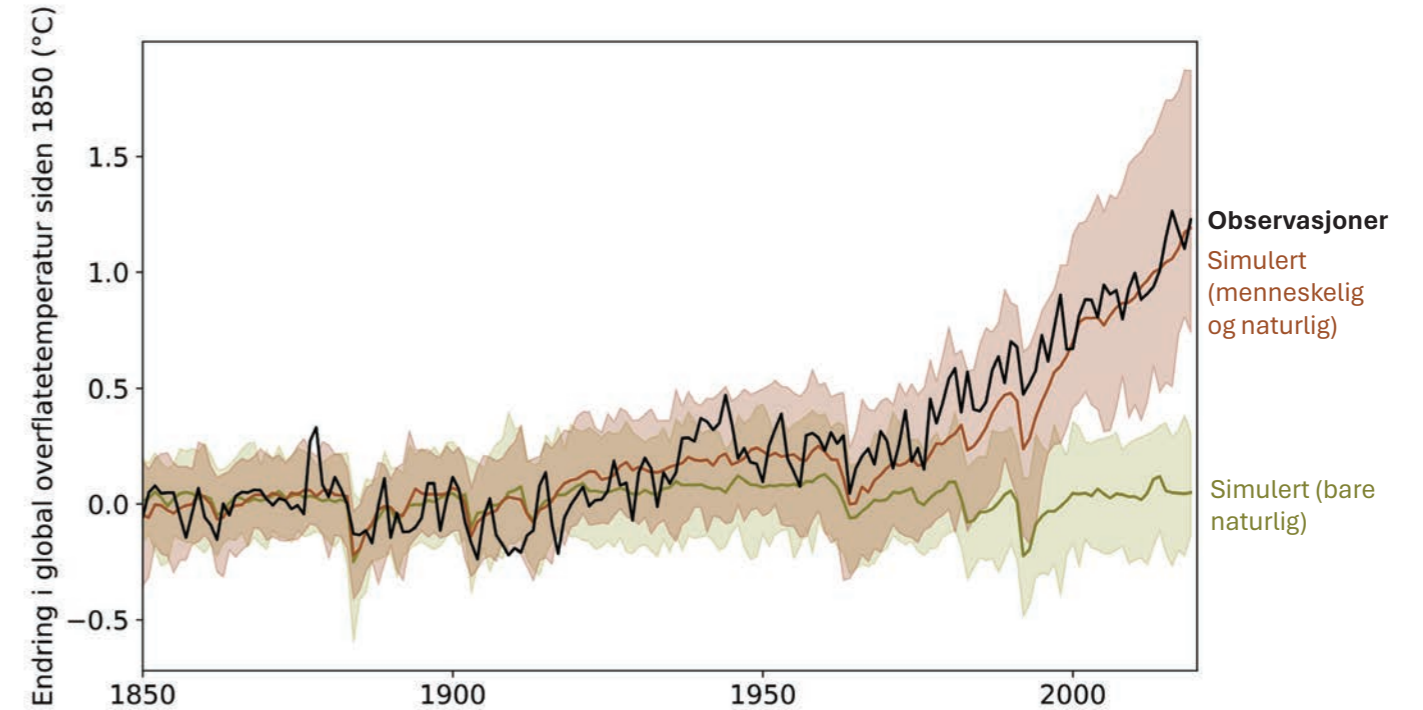
I klimaforskning bruker vi klimamodeller til å forklare hvorfor klimaet på jorda har endret seg slik vi har sett de siste par hundre årene. Siden 1850 har nivået av CO₂ i atmosfæren gått opp med over 50 %, mens temperaturen har gått opp rundt 1,2 grader C¹. At det er en sammenheng mellom disse to, trenger vi ikke noen avansert klimamodell for å vite. Det har vært kjent siden 1800-tallet at mer CO₂ i lufta ville øke temperaturen, og vi kan bruke langt enklere modeller for å regne oss fram til hvor mye den ekstra CO₂-en i lufta varmer opp jorda direkte. Det vi derimot trenger avanserte klimamodeller for, er alle de andre prosessene som også settes i

gang når vi først endrer noe i jordas komplekse klimasystem.

Når vi slipper ut CO₂ (og andre drivhusgasser), fører ikke det bare til økt drivhuseffekt, men også til at vi smelter mer snø og is, endrer luft- og havstrømmer, stimulerer plantevekst noen steder og lager ørkener andre steder, for å nevne noe. Vi endrer med andre ord jorda på en rekke måter som igjen endrer klimaet. Disse tilbakekoblingene er noe av det som gjør klimasystemet spennende, men også uhyre komplekst. På toppen av dette har vi samtidig med drivhusgassene sluppet ut partikler i form av luftforurensing som virker *nedkjølende* på jorda. Den oppvarmingen vi har sett til nå er altså summen av at vi har varmet opp jorda med drivhusgasser og kjølt den ned med partikler. For å forstå hvor mye hver enkelt av disse bidragene betyr for klima, i tillegg til naturlige variasjoner og andre menneskelige påvirkninger, er klimamodeller blitt et helt uvurderlig verktøy (se figuren på neste side).

Beregne fremtiden(e)

I tillegg til å forklare fortiden bruker vi klimamodeller til å beregne hvilke mulige klimaendringer vi har i vente. Hva som vil skje med klimaet på jorda langt fram i tid, er det ingen som kan si sikkert, ganske enkelt fordi det avhenger av hva vi (og jorda selv) gjør. En klimamodell er ikke ment å skulle forutsi hvordan vi mennesker vil oppføre oss i fremtiden. Heller ikke om det for eksempel skulle dukke opp et stort vulkanutbrudd som kjøler ned jorda i et år eller to. Klimamodellene kan derfor ikke gi noen presise varsler (a la værvarsler) for det neste århundret. Men de kan gi oss informasjon



Figuren viser observerte endringer på jorda relativt siden 1850 (relativt til gjennomsnittstemperaturen fra 1850–1900) og hva en stor samling simuleringer med klimamodeller viser (rød). Den grønne linja og skyen viser simuleringer med de samme modellene uten menneskelig påvirkning på klimaet. Tilpasset fra klimapanelets sjette hovedrapport⁴.

om hvilke fremtidige klima vi kan vente oss under ulike utslippsscenarioer. Dette er viktig informasjon for at vi som verdenssamfunn skal kunne nå målene vi har satt oss med å begrense oppvarmingen til godt under 2 grader, og helst 1,5 grader².

Klimamodellene er et viktig redskap for å se hvilket klima vi er på vei mot. Og her gir modellene ikke bare informasjon om de globale temperaturendringene (som ofte får mest oppmerksomhet). Minst like viktig er det at klimamodellene gir oss mer og mer presis informasjon om hvordan klimaendringene vil utspille seg regionalt og lokalt. Temperatur og nedbør vil nemlig endre seg ulikt i ulike deler av verden, og i ulike sesonger. Og for oss i Norge er det for eksempel viktig å vite hvordan nedbøren endrer seg, for å planlegge kraftproduksjon og forberede oss på større flommer. I andre land er endringer i ekstremtemperaturer det vi er mest avhengig av å vite og forberede oss på.

Utforske nåtiden

Mer og mer bruker vi også klimamodellene for å forstå hvordan vi best kan løse klimaproblemet. Det er godt kjent at vi må begynne med å få ned utslipp av drivhusgasser. Men det er også blitt mer og mer klart at vi må finne gode måter å trekke CO₂ ut av atmosfæren på, hvis vi skal klare å stabilisere jordas klima raskt. Da er klimamodellene et avgjørende verktøy for å forstå hvilke konsekvenser det kan få.

Fram til nå har landjorda fanget opp rundt 30 % av det ekstra karbonet vi har sluppet ut i atmosfæren³. Det er derfor naturlig å se til trær og andre planter for å kompensere utslippene som er vanskeligst å få bukt med. Men hvis vi skal plante skog eller hurtigvoksende avlinger i stor skala, vil det i seg selv kunne få konsekvenser for både klima, økosystemer og lokalsamfunn. Trær og planter binder som kjent ikke bare karbon, men de påvirker også klimaet ved å



Foto: GEORGE DESIPRIS / pexels.com

suge opp store mengder vann fra bakken til lufta, endre mengden sollys som fanges opp og bremse opp vinden. I tillegg har de mer eksotiske effekter som at de slipper ut gasser som bidrar til å danne skyer og endre nedbørmønstre. I et komplekst klimasystem må vi ha verktøy for å forstå mest mulig av disse «bieffektene» så vi kan velge de minst inngripende klimatiltakene og styre unna de som i verste fall kan gjøre problemene større.

Etter over 50 år med utvikling av klimamodeller er vi i dag i en situasjon hvor de representerer jordas klimasystem på en imponerende måte. De har i lang tid vist seg pålitelige når det gjelder å forutsi globale klimaendringer. Og takket være stadig bedre forståelse av enkeltprosesser, utvikling av de matematiske formuleringene og kraftigere datamaskiner flytter vi stadig grenser for hvilke spørsmål klimamodellene kan gi oss svar på. Dessverre endrer vi også klimaet raskere enn noen gang. Behovet for kunnskapen klimamodellene kan gi oss har derfor heller aldri vært større!

Film om klimamodeller

vimeo.com/874804231



Noter

- 1 Forster, P.M. et al. (2023) 'Indicators of global climate change 2022: Annual update of large-scale indicators of the state of the climate system and human influence', Earth System Science Data, 15(6), pp. 2295–2327. doi:10.5194/essd-15-2295-2023.
- 2 UNFCCC (2015): Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015, Addendum, Part two: Action taken by the Conference of the Parties at its, twenty-first session, Decisions adopted by the Conference of the Parties, <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>.
- 3 Friedlingstein, P. et al. (2023) 'Global Carbon Budget 2023', Earth System Science Data, 15(12), pp. 5301–5369. doi:10.5194/essd-15-5301-2023.
- 4 IPCC (2021): Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi: 10.1017/9781009157896.001

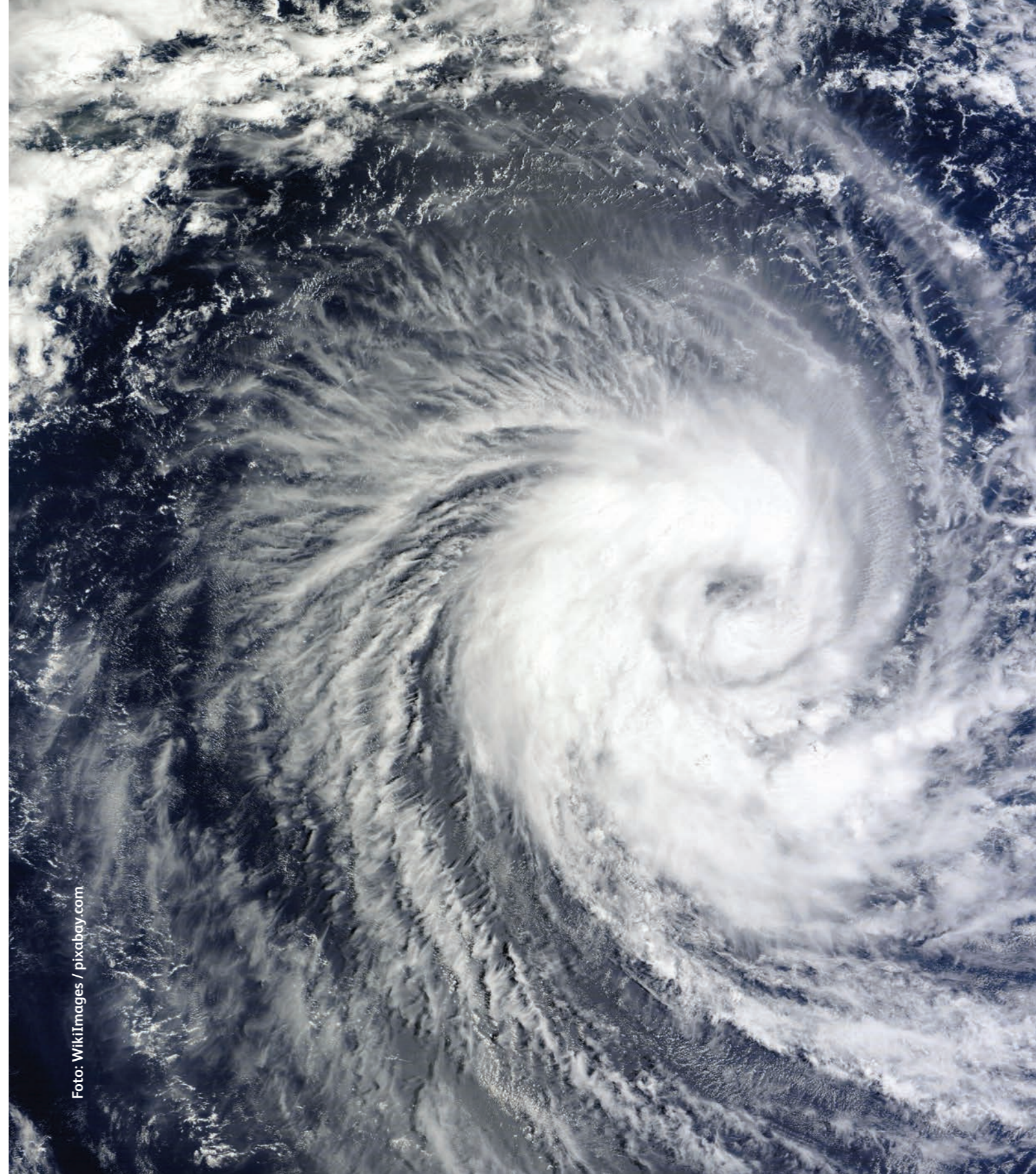


Foto: WikiImages / pixabay.com



Modeller for gravitasjon – fra Newtons lov til Einsteins tidrom

Vår forståelse av verden rundt oss endrer og utvider seg gjennom nye vitenskapelige oppdagelser. Ikke minst er det etablerte modeller som revideres i takt med vår økende innsikt. I denne artikkelen dykker vi ned i historien om gravitasjon — et spennende eksempel på hvordan Newtons og Einsteins forskjellige modeller for det samme fenomenet skapte nye verdensbilder i hver sin tid.

Hvorfor faller objekter ned mot jorden og ikke opp mot himmelen? Hva holder oss fast på bakken? Og hvordan er det mulig at stjerner og planeter svever i verdensrommet uten å falle? Gravitasjon er en enkel forklaring på disse spørsmålene. Overraskende nok var det en komplisert oppgave å utvikle vitenskapelige modeller for dette fenomenet¹. Gravitasjonens natur har fascinert mennesker gjennom tidene, og selv i dag brukes to forskjellige modeller for å beskrive den. Dermed illustrerer historien om gravitasjon på en utmerket måte hvor viktig modeller er for naturvitenskapelige framskritt – og hva som karakteriserer en god vitenskapelig modell i det hele tatt.

Ordet «gravitasjon» kommer opprinnelig fra det latinske «gravitas» som betyr «vekt». Dette begrepet kan spores tilbake til Platon og Aristoteles, som forsto tyngdekraft som noe avhengig av vekten til det fallende objektet. I dag beskriver Store norske leksikon gravitasjon som «tiltrekningskraften mellom legemer som skyldes at de har masse»². Denne definisjonen reflekterer den klassiske oppfatningen av gravitasjon som en tiltrekkende kraft i tråd med Newtons teori. Og det er nettopp med Newton vår reise inn i fysikkens historie begynner.

Newtons universelle gravitasjonslov: fundamentet for den klassiske fysikken

Den engelske vitenskapsmannen Isaac Newton er trolig mest kjent

for å ha oppdaget den universelle gravitasjonsloven på 1600-tallet. Newtons gravitasjonslov er en matematisk modell for hvordan to objekter vekselvirker med hverandre. Den sier at alle partikler i universet tiltrekkes av alle andre partikler med en kraft som er avhengig av hvor mye masse de har, og hvor langt de er fra hverandre.

Newton var nødt til å utvikle et nytt matematisk språk for å kunne beskrive dette grunnleggende prinsippet, uttrykt som $F = G \cdot (m_1 \cdot m_2) / r^2$. I tillegg presenterte han med sin gravitasjonsmodell et konsistent teoretisk rammeverk – den klassiske mekanikken – som gir en felles forklaring for fenomener på jorden og i rommet. Gravitasjonsloven gjelder nemlig både for et eple som faller ned fra et tre og for planetenes bevegelse i solsystemet vårt. Dette var banebrytende på denne tiden: sammenføyingen av separate fysiske fenomener (som ved første øyekast ikke har mye til felles) er én av Newtons store prestasjoner.

Newtons modell for gravitasjon fremhever flere aspekter som karakteriserer en god vitenskapelig modell: den er klar og enkel, har et veldig bredt gyldighetsområde, og dens forutsigelser samsvarer godt med observerbare data³. Likevel var ikke Newtons modell uten begrensninger. Selv om Newton klarte å beskrive gravitasjon som en tiltrekkende kraft, kunne han ikke forklare kilden til denne kraften. Årsaken til gravitasjonskraften i Newtons modell forble



Isaac Newton. Illustrasjon: Gordon Johnson / pixabay.com

altså et mysterium. Og det skulle vise seg at dette ikke var den eneste løse tråden.

En planet, et problem og en gammel gåte

Til tross for den store suksessen til Newtons gravitasjonsmodell, var det likevel noen utfordringer den ikke kunne løse. Disse begrensningene ble stadig tydeligere etter som observasjonene ble mer og mer nøyaktige over tid.

Den mest åpenbare begrensningen var den uregelmessige presesjonen i Merkurs bane. I likhet med alle andre planeter er Merkurs bane elliptisk, men den har også en presesjon, noe som betyr at den slingrer sakte over tid. Newtons modell kunne ikke forklare hvor raskt denne presesjonen skjedde. Beregninger basert på Newtons gravitasjonslov viste seg å avvike med en liten, men likevel betydelig forskjell.

Men det fantes et problem til. I 1905 presenterte den tyske fysike-



Albert Einstein. Illustrasjon: OpenClipart-Vectors / pixabay.com

ren Albert Einstein den spesielle relativitetsteorien, som beskriver strukturen i tid og rom. Denne teorien innførte ideen om at rom og tid ikke er uavhengige av hverandre, men henger tett sammen i et firedimensjonalt tidrom. En overraskende konsekvens av dette var at det finnes en øvre fartsgrense i universet: Informasjon og krefter kan bare bevege seg med lysets hastighet.

I Newtons univers forplanter tyngdekraften seg imidlertid med umiddelbar virkning og uendelig hastighet. Derfor ga tyngdekraften Einstein hodepine: det så ut som om hans spesielle relativitetsteori sto i motsetning til Newtons klassiske mekanikk. Når det viser seg at to teorier ikke er forenlige med hverandre, er dette et tydelig tegn på at de grunnleggende modellene i teoriene må revideres.

Til slutt pekte også en gammel gåte knyttet til masse på muligheten for en ny modell for gravitasjon. Massen til en gjenstand har sammenheng med to forskjellige fysiske fenomener. På den ene



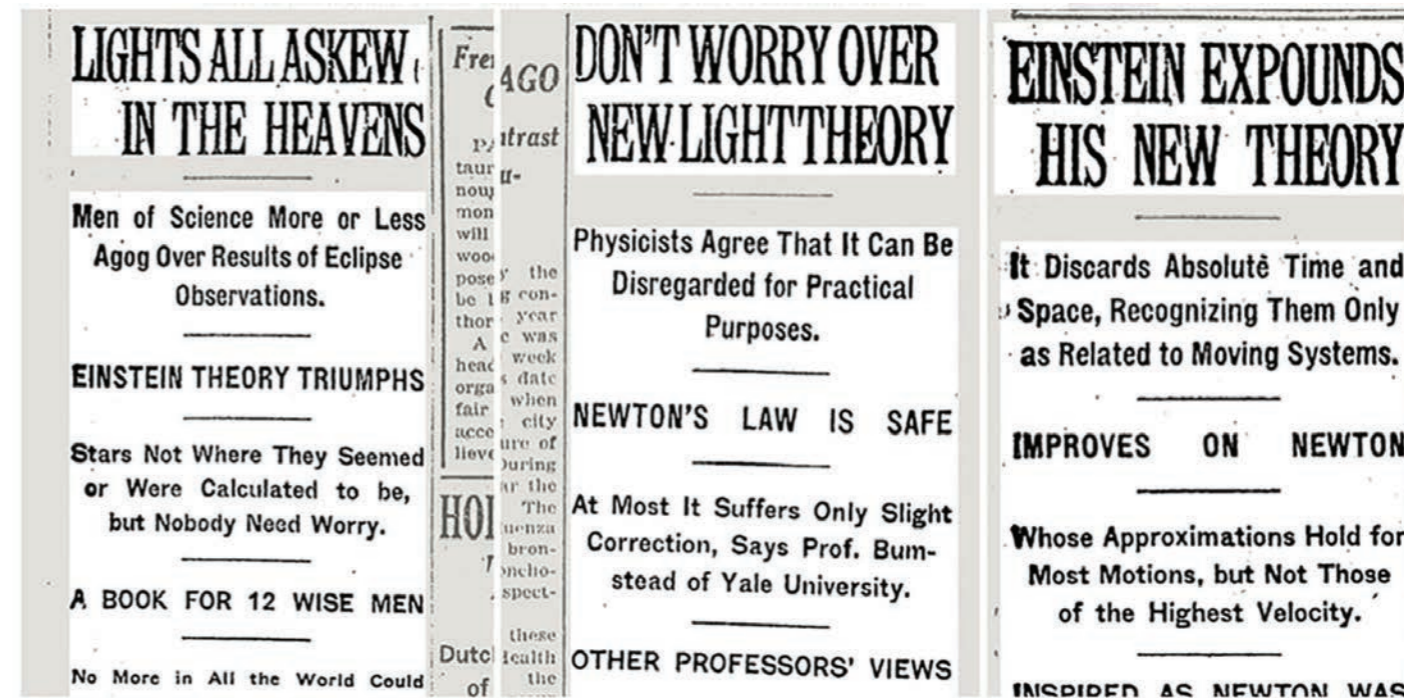
Forbedret bilde fra solformørkelsen i 1919. Foto: ESO/Landessternwarte Heidelberg-Königstuhl/F. W. Dyson, A. S. Eddington og C. Davidson, CC BY 4.0 via Wikimedia Commons

siden snakker vi om *treg masse* i forbindelse med en gjenstands motstand mot akselerasjon, for eksempel når vi prøver å dytte en tung bok over et bord. På den andre siden snakker vi om *tung masse* i forbindelse med gravitasjonens tiltrekkende virkning, som når et eple faller fra et tre. Alle eksperimenter viser at treg og tung masse alltid er like store. Newtons modell ga ingen forklaring på dette fenomenet, men noen fysikere mistenkte en dypere, grunnleggende sammenheng.

Einsteins relativitetsteori: når masse bøyer rom og tid
Oppsummert var det helt klart at Newtons modell for gravitasjon var en viktig milepæl i vår forståelse av universet. Men tidlig på 1900-tallet ble det stadig mer tydelig at det var behov for en ny måte å tenke gravitasjon på. Her kommer Albert Einstein inn i bildet igjen.

Den teoretiske fysikeren presenterte en ny matematisk modell for gravitasjon som dannet grunnlag for hans generelle relativitetsteori. I denne teorien tolkes gravitasjon geometrisk som krumning eller forvrengning av tidrommet: Masse forteller tidrommet hvordan det skal krumme seg, mens det krumme tidrommet forteller masse hvordan den skal bevege seg. Ifølge Einstein følger objekter den rettste mulige veien gjennom tidrommet. Hvis tidrommet er krumt, blir denne veien avbøyd – noe som kan tolkes som en tiltrekkende kraft. Planetene følger altså ikke elliptiske baner på grunn av solens tiltrekningskraft, men fordi de beveger seg i det bøyde tidrommet rundt solen. Einstein selv beskrev denne ideen med en analogi: «Du skjønner, når en blind bilde kravler over overflaten på en globus, legger den ikke merke til at sporet den har gått, er krumt. Jeg var heldig nok til å oppdage det.»

Den generelle relativitetsteorien var et stort intellektuelt gjennom-



Articles in The Times from Nov. 10, 1919, left; Nov. 16, 1919, center; and Dec. 3, 1919.

Den amerikanske avisa The New York Times skrev om den totale solformørkelsen i 1919.

brudd, som ikke bare utfordret Newtons etablerte modell. Den krevde også et massivt perspektivskifte i hvordan vi forestiller oss universet: i Einsteins univers spiller tidrommet en aktiv rolle i naturens lover. Dette står i skarp kontrast til Newtons univers, hvor tid og rom danner en passiv bakgrunn for alle hendelser. Derfor ble den geometriske modellen for gravitasjon møtt med skepsis og motstand fra mange av Einsteins kollegaer. Likevel tok det ikke lang tid før vitenskapsverden skjønte at krumningen av tidrommet ikke bare var en matematisk kuriositet, men faktisk en bedre måte å beskrive gravitasjon på.

Einsteins matematiske kuriositet var i samsvar med empirisk evidens

Hvorfor var Einsteins modell bedre, det vil si mer overbevisende enn Newtons? For det første var det flere teoretiske argumenter som styrket troverdigheten til Einsteins idé: Einstein lyktes med å

presentere en forklaring på hvordan gravitasjonen virker – en forklaring som jo manglet i modellen til Newton. I tillegg var Einstein den første som kunne forklare den merkelige overensstemmelsen mellom tung og treg masse. Hvis gravitasjon ikke er en kraft, men et uttrykk for geometrien i tidrommet, så påvirkes alle objekter på samme måte – og det er akkurat det eksperimenter har vist om og om igjen: I fritt fall akselererer alle objekter på samme måte – uansett størrelse, form eller sammensetning. Ikke minst forutsier likningene i den generelle relativitetsteorien at gravitasjonseffekter forplanter seg med lysets hastighet – og ikke raskere. I motsetning til Newtons modell var Einsteins modell for gravitasjon altså kompatibel med spesiell relativitet.

For det andre fantes det gode empiriske grunner til å godta Einsteins modell. Den viste seg å samsvare nøyaktig med observasjoner fra Merkurs bane, noe som ikke kunne forklares med Newtons

modell. Men Einsteins modell kunne mer enn å forklare eksisterende data – den var også i stand til å forutsi nye fenomener som ennå ikke var observert, et viktig kjennetegn ved en god vitenskapelig modell. Ifølge Einstein følger lys rette baner i tidrommet og blir avbøyd i nærheten av store masser som solen. Dette fenomenet kalles gravitasjonell lysavbøyning.

I 1919 ble Einsteins forutsigelse testet under en solformørkelse i Afrika. Det viste seg at lys virkelig blir avbøyd rundt solen i tråd med Einsteins beregninger– dette var en veldig overbevisende bekræftelse på den generelle relativitetsteorien. Siden 1919 har Einsteins modell for gravitasjon bevist sin verdi gjennom en rekke eksperimenter, ikke minst den spektakulære oppdagelsen av gravitasjonsbølger i 2015, som er en direkte konsekvens av Einsteins teori.

Newton og Einsteins modeller beholder hver sin relevans

Til tross for at generell relativitet i dag er den beste modellen for gravitasjon vi har, er Newtons gravitasjonslov fortsatt relevant. Newtons modell gir oss en enkel og praktisk metode for å beregne «hverdagslige» gravitasjonseffekter når vi kan se bort fra krumningen i tidrommet. Den brukes for eksempel til å skyte opp satellitter, styre raketter og bygge bruer og hus.

Derimot blir Einsteins modell nødvendig på forskningsfronten i astronomi og kosmologi når vi har med veldig store masser å gjøre. For eksempel er det relativitetsteorien som danner grunnlaget for vår forståelse av svarte hull og gravitasjonsbølger. Den blir også relevant når vi har behov for veldig presise resultater, også i hverdagen vår. For eksempel går Einsteins modell inn i GPS-kalibreringen – uten korreksjonene fra den generelle relativitetsteorien ville GPS-koordinater vært flere kilometer feil.

Men selv om begge modellene er gode i hvert sitt gyldighetsområde, er det fortsatt mange ubesvarte spørsmål. Ingen av dem kan fullt ut forklare mørk materie eller mørk energi som utgjør en stor del av universet vårt. Forskerne har heller ikke klart å forene relativitetsteorien med kvantemekanikken som beskriver naturen på de minste skalaene. Derfor kan vi være sikre på at det vil komme nye modeller for gravitasjon som vil utvide vårt perspektiv på universet i framtiden.

Målet er å utvikle stadig mer omfattende beskrivelser av naturen

Historien om gravitasjon gir oss innblikk i hvordan og hvorfor vitenskapelige modeller utvikles over tid. Newtons modell tok ikke feil - den beskrev og forutså en lang rekke fenomener og ble brukt med stor suksess i flere århundrer. I og for seg er den fortsatt en god beskrivelse av gravitasjon innenfor spesifikke forutsetninger – for systemer med svak gravitasjon, hvor objekter beveger seg sakte i forhold til lysets hastighet.

Einsteins modell erstattet Newtons fordi den ga en mer omfattende forståelse av gravitasjonsfenomener, beskrev disse mer nøyaktig, og forutså nye. Modellen gjorde ikke Newtons universelle gravitasjonslov uaktuell, men inkluderte den i stedet som en tilnærming innenfor et større bilde.

Dette er et viktig prinsipp i vitenskapsverdenen: Fremskritt innebærer ofte at modeller forbedres og utvides, i stedet for å forkastes helt. Etter som vi blir bedre til å måle, beveger oss inn på nye områder og støter på uventede fenomener, må modellene våre tilpasses. Målet er å utvikle stadig mer nøyaktige og omfattende beskrivelser, ikke å finne en endelig, uforanderlig sannhet.

Overgangen fra Newtons gravitasjonslov til Einsteins relativitetsteori illustrerer drivkraften bak vitenskapelig fremgang. Begge disse modellene for gravitasjon har fundamentalt endret vårt syn på universet og dets underliggende prinsipper. Og selv om Newton og Einstein har gjort enorme fremskritt, er vår reise for å forstå fysikkens lover langt fra over.

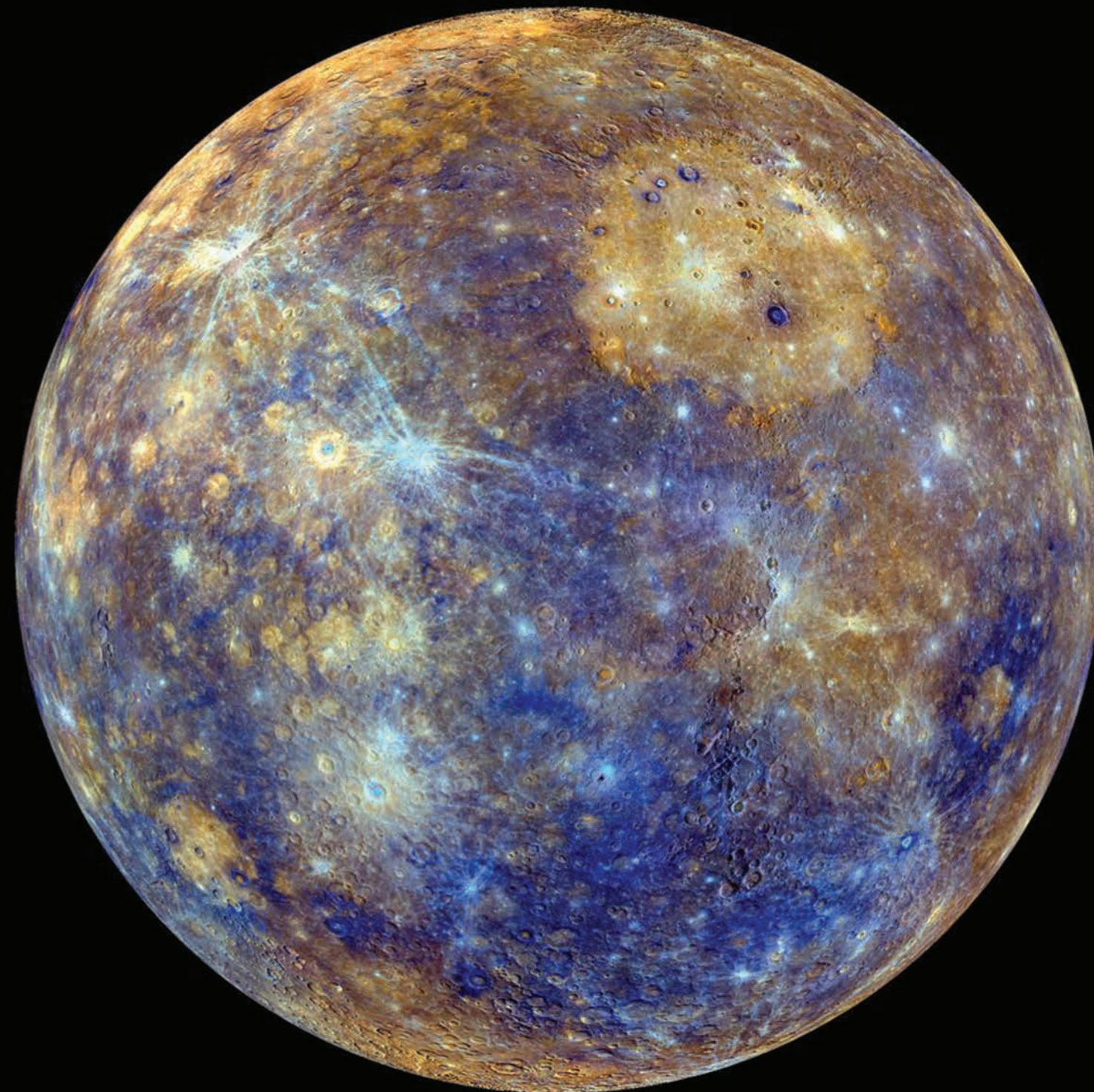
Noter

1 Kersting, M. (2021). Standing on the shoulders of giants – How historical perspectives on gravity can inform modern physics education. In M. Kersting & D. Blair (Eds.), *Teaching Einsteinian Physics in Schools*. Routledge.

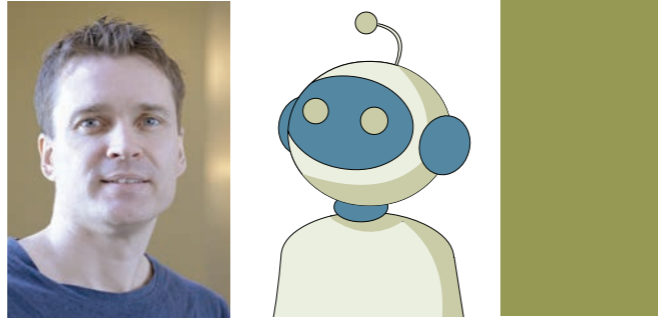
2 snl.no/gravitasjon

3 Pluta, W. J., Chinn, C. A., & Duncan, R. G. (2011). Learners' epistemic criteria for good scientific models. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(5), 486–511. doi.org/10.1002/tea.20415

4 Seelig, C. (1956). *Albert Einstein: A Documentary Biography*. Staples Press.



Merkur. Foto: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington



Inne i den virtuelle hjernen: ChatGPT snakker ut

Dykk ned i den fascinerende verdenen av kunstig intelligens med vår samtalepartner, ChatGPT. Denne avanserte språkmodellen har forvandlet måten vi kommuniserer med datamaskiner på. I dette eksklusive intervjuet avslører ChatGPT hemmelighetene bak sin unike evne til å forstå og generere menneskelig språk.

Ø Hei ChatGPT! Takk for at du umiddelbart kunne stille opp til dette intervjuet. Du har selv fått lage tittel og ingress. Kanskje litt mer tabloid enn vanlig i Naturfag, men jeg tror jeg kan få redaksjonen på gli :-). Kan du innledningsvis gi meg en enkel forklaring på hvordan språkmodellen til ChatGPT fungerer.

C Selvfølgelig! Språkmodellen til ChatGPT er trent opp ved å eksponere den for store mengder tekstdata fra internett. Den lærer å forstå språkstrukturen, grammatikkregler og balansen mellom ordene. Modellen består av et nevralt nettverk som tar inn sekvenser av ord og genererer svar. Når du stiller et spørsmål, tar modellen hensyn til konteksten og tidligere tekst for å forstå og generere et passende svar. Den prøver å predikere neste ord basert på tidligere ord og forståelse av språket. Modellen lærer også av tilbakemeldinger fra menneskelige operatører for å forbedre seg over tid.

Ø Jeg har hørt at modellen består av så mange parametere at selve modellen ikke vil være forståelig for mennesker på andre måter enn gjennom å interagere med modellen. Stemmer dette?

C Ja, det er riktig. Modellen er trent opp ved å justere på hundrevis av millioner av vektorer og bias, og består av millioner av parametere. Så modellens kompleksitet er

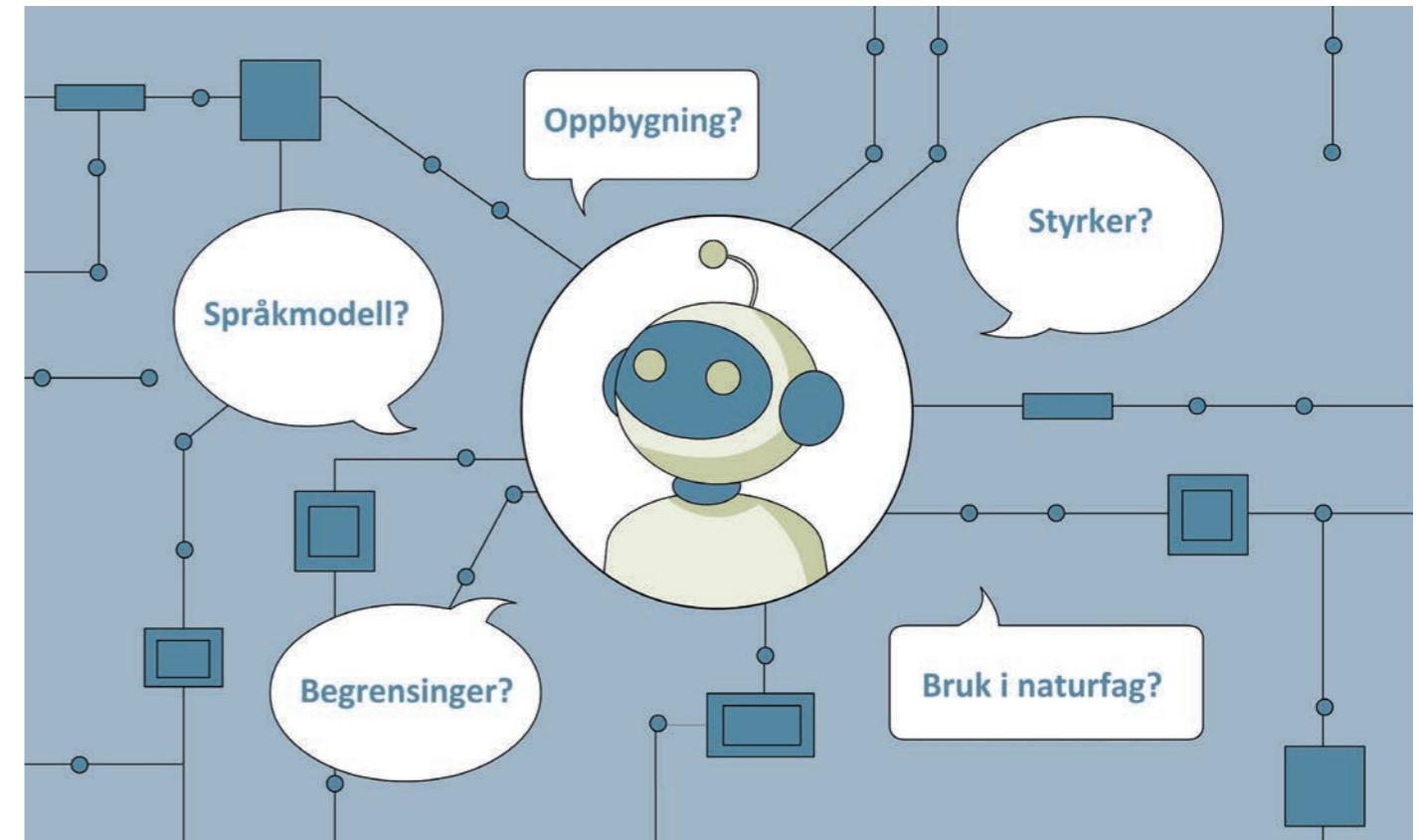
så høy at det vil være umulig for et menneske å forstå det på en annen måte enn å interagere med modellen. Vi kan ikke forklare modellen på en enkel måte siden måten den fungerer på er basert på sofistikerte matematiske beregninger og komplekse algoritmer i det nevralt nettverket.

Ø Alle modeller har styrker og begrensninger. Kan du nevne de tre viktigste av hver for ChatGPT som en punktliste med en tittel og en nøkkelsetning.

C Selvfølgelig! Her er en punktliste med tittel og nøkkelsetning som beskriver de tre viktigste styrkene og begrensningene til ChatGPT:

Styrker:

1. **Kontekstforståelse:** ChatGPT har evnen til å forstå og huske tidligere setninger og kontekst i samtalen, slik at den kan generere svar som er relevante for hele diskusjonen.
2. **Språklig fleksibilitet:** Modellen er i stand til å generere kreative og varierte svar takket være treningen med store mengder tekstdata fra internett.
3. **Responsnøyaktighet:** ChatGPT kan gi ganske presise svar på spørsmål der svaret er faktisk og godt definert.



Illustrasjon: Naturfagsenteret

Begrensninger:

1. **Manglende faktasjekk:** Modellen har begrensede evner til å verifisere informasjon og kan noen ganger generere svar basert på feil eller utdatert informasjon.
2. **Overføring av bias:** ChatGPT kan gjenspeile og forsterke eksisterende skjevheter og fordommer i tekstdataene det er trent på, noe som kan påvirke kvaliteten og objektiviteten i genererte svar.
3. **Mangel på dyp spesialisering:** Mens modellen kan håndtere en rekke emner, har den ikke spesifikke kunnskaper eller ekspertise på spesifikke fagområder, og kan dermed gi upresise eller unøyaktige svar på domenespesifikke spørsmål.

Ø Hvordan vil du skissere selve modellens oppbygning på en enkel måte og ved å konkretisere med eksempler?

C ChatGPT er bygget opp som en dyp nevralt nettverksmodell, spesifikt en variant av transformer-arkitekturen. Denne modellen har flere lag med nevroner som arbeider sammen for å forstå og generere tekst. Her er en enkel skisse av modellens oppbygning:

1. **Inngangsrepresentasjon:** Når du sender inn en melding til ChatGPT, blir den delt opp i en rekke ord eller token (mindre tekststykker som kan være ord, deler av ord eller tegn). Hver token blir deretter omgjort til en vektorrepresentasjon. For eksempel kan ordet «chat» bli representert som en vektor med tallverdier.

2. Lag med oppmerksomhet: Modellen har flere lag med oppmerksomhet, hvor hvert lag hjelper med å forstå sammenhengen mellom tokenene. Disse lagene beregner vektorer for hvor mye oppmerksomhet som skal gis til hvert token basert på konteksten. Dette hjelper modellen med å forstå hvilke deler av meldingen som er viktige.
3. Lag med transformasjon: Etter at oppmerksomhetslagene har beregnet vektene, blir de brukt til å transformere vektorene. Dette trinnet lar modellen kombinere informasjon fra forskjellige deler av meldingen for å generere et sammenhengende svar. Transformasjonslagene gjentar denne prosessen flere ganger for å bygge opp en dypere forståelse.
4. Utgangsrepresentasjon: Til slutt, etter at meldingen er behandlet av flere oppmerksomhets- og transformasjonslag, blir den siste vektorrepresentasjonen brukt til å generere svaret. Modellen kan generere en sekvens av token som utgjør svaret på en gitt forespørsel.

Her er et enkelt eksempel for å illustrere hvordan modellen fungerer:

1. Spørsmål: «Hva er været i Oslo i dag?»
2. Inngangsrepresentasjon: Hvert ord i spørsmålet blir representert som vektorer.
3. Lag med oppmerksomhet: Modellen vektet ordene i spørsmålet basert på konteksten.
4. Lag med transformasjon: Modellen kombinerer de vektete vektorene for å forstå spørsmålet bedre.
5. Utgangsrepresentasjon: Modellen bruker den forståelsen til å generere svaret, for eksempel «Været i Oslo i dag er 18 grader Celsius og delvis skyet.»

Så, modellen bruker disse lagene av nevroner og transformerer inndata for å produsere meningsfulle svar basert på treningen den har mottatt tidligere.

Ø Til slutt, gi meg fem gode måter naturfaglærere selv kan bruke ChatGPT på.

C Naturfaglærere kan dra nytte av ChatGPT på flere måter for å forbedre undervisningen og hjelpe elevene å lære bedre om naturfag. Her er fem gode måter de kan bruke ChatGPT:

1. Spørsmål og svar: Lærere kan bruke ChatGPT til å generere spørsmål og svar på naturfaglige emner. Dette kan være nyttige ressurser for å teste elevenes kunnskap og forståelse av ulike konsepter. Læreren kan også oppmuntre elevene til å stille spørsmål til ChatGPT for å få forklaringer på komplekse temaer.
2. Undervisningsmaterieell: ChatGPT kan hjelpe lærere med å generere undervisningsmaterieell som notater, oppgaver og eksempler. Læreren kan gi spesifikke emner eller nøkkelord til modellen for å generere relevant innhold som kan deles med elevene.
3. Forklaring av konsepter: Lærere kan bruke ChatGPT til å forklare vanskelige naturfaglige konsepter på en enkel og forståelig måte. Modellen kan oversette komplekse terminologier til mer tilgjengelig språk og gi eksempler som illustrerer konseptene.
4. Tilbakemelding på elevarbeid: Lærere kan bruke ChatGPT til å hjelpe med å vurdere og gi tilbakemelding på elevoppgaver. Modellen kan identifisere feil, gi forklaringer på hvorfor noe er feil, og til og med foreslå forbedringer.
5. Forskning og utforskning: ChatGPT kan hjelpe lærere og elever med å utforske og finne informasjon om nye naturfaglige oppdagelser og forskning. Modellen kan hjelpe med å identifisere relevante ressurser og til og med oppsummere forskningsartikler og rapporter.

Det er viktig å merke seg at ChatGPT ikke erstatter læreren, men kan være et nyttig supplement i undervisningen. Lærere bør fortsatt veilede og gi kontekst til informasjonen som genereres av modellen for å sikre at den er nøyaktig og passende for elevenes behov.

Ø Takk for intervjuet! Har du en vits om modeller før du lar være å ta kvelden?

C Ja, her er en liten modell-vits før jeg går: Hvorfor var sola så populær blant modeller? Fordi den var midtpunktet i solsystem-modeller.

Merk: Husk at generert tekst kan inneholde feil eller unøyaktigheter (eller dårlig humor). Ikke benytt deg av informasjonen ukritisk.



Foto: Arli & Jordan / Naturfagsenteret

Naturfagpodden



Podkastredaksjonen består av Geir Ramstad Sletvold, Asbjørn M. Hov, Kristine B. Kostøl og Subashini P. Ruben. Foto: Naturfagsenteret

Naturfagpodden er Naturfagsenterets podkast om naturfag og naturfagdidaktikk i skole og barnehage. Formålet med podkasten er å gi ansatte i skole og barnehage inspirasjon og faglig påfyll gjennom korte episoder som tar for seg aktuelle didaktiske tema. Vi inviterer gjester som har god innsikt i didaktikk innen de ulike fagområdene i naturfaget.

Episodene kommer ut hver andre uke, og du finner oss på: Spotify, Apple, Google og Podme!