

Modeller og modellering i grundskolens naturfag



Jørgen Løye Christiansen,
Læreruddannelsen, Center
for Skole og Læring,
Professionshøjskolen Absalon

Abstract: I denne artikel behandles generelle aspekter ved modeller og modellering, og der præsenteres en ny modelinddeling i tre basale grupper: 1-D-, 2-D- og 3-D-modeller. Der advokeres ydermere for en enklere definition af modellering hvor denne defineres som den proces der udspiller sig mellem "data" og "model". Det bliver herved tydeligere for eleverne i grundskolen at al anvendelse af modeller i naturfagsundervisningen ikke hører til modelleringskompetencen, og det bliver lettere at adskille de naturfaglige kompetencer fra hinanden til gavn for såvel lærere som elever. Med artiklen ønsker jeg at øge kendskabet til model- og modelleringsbegrebet for at kvalificere modelleringsundervisningen i den danske grundskole.

Introduktion

Modelleringskompetencen er et af de fire kompetenceområder der rammesætter naturfagsundervisningen i den danske grundskole. Der er imidlertid ikke konsensus om forståelsen af begrebet modelleringskompetence i litteraturen. Som det vil fremgå senere, beskriver Børne- og Undervisningsministeriet modelleringsbegrebet og anvendelse af modeller på en måde så det ofte ikke er muligt at adskille modelleringskompetencen fra undersøgelseskompetencen. Skal lærerne undervise i modellering, skal de vide hvad modellering er, og kunne adskille den fra de andre naturfaglige kompetencer.

I denne artikel behandles væsentlige generelle aspekter af modeller og modellering og relateres til elevernes arbejde med modeller og modellering som det er intenderet i den danske grundskole. En ny modelgruppering i tre grupper præsenteres, og der advokeres for en enklere definition af modellering således at kompetencerne lettere lader sig adskille fra hinanden til gavn for såvel lærere som elever.

Vi berører modelbegrebet med overvejelser om hvad modeller er, og hvad der ikke er en model i naturfaglig henseende, om hvordan modeller kan inddeles i forskellige typer til gavn for eleverne, og om modellers funktion generelt og i undervisningen.

Dernæst handler det om forskellen mellem modeller og modellering og slutteligt om modellering i undervisningen.

Hvad er en model?

Det er karakteristisk for naturfag at anvende modeller. Men selvom det anerkendes at modeller spiller en vigtig rolle i den naturvidenskabelige praksis og undervisning, er der ingen konsensus angående en definition af modelbegrebet, men der synes dog at være enighed om at en model altid er *af* noget og *har* et specifikt formål (se fx Halloun, 2004). Typisk er modeller forenkede versioner af noget i den virkelige verden. Så ved første øjekast er modeller simplificerede eller forstørrede eller reducerede versioner af nogle objekter (Gelfert, 2017). Ordet *repræsentation* indgår ofte i en beskrivelse af hvad en model er (se fx Gilbert & Ireton 2003; Halloun, 2004; Schwarz *et al.* 2009; Frigg & Nguyen, 2017). Frigg og Nguyen (2017) skriver fx at "Modeller er repræsentationer af en udvalgt del eller et aspekt af verden" (Frigg & Nguyen, 2017, p. 51). Det der repræsenteres via modellen, kaldes ofte i engelsksprogede artikler for *target* (målet). På dansk kunne vi også kalde det for "virkeligheden" bag modellen. Jeg vil nedenfor fortrinsvis bruge ordet *target* som synonym for den "virkelighed" som modellen repræsenterer.

Modeller er særlige beskrivelser der skildrer et *target* enklere (eller bare anderledes) end det faktisk er (Levy, 2015). Derfor kan det siges at modeller er fantasifulde beskrivelser af forhold i den virkelige verden. Når der udarbejdes en model, postuleres der hermed et bestemt scenarie, altså modellen, og modellen anvendes som en stand-in, altså et surrogat, for den del af verden (*target*) man ønsker at blive klogere på (Levy, 2015).

Det *target* som modellen repræsenterer, kan underinddeles på forskellig vis. Men den definition som bl.a. Van Der Valk *et al.* (2007) og Oh og Oh (2011) anvender, hvor en model er en repræsentation af objekter, fænomener (og begivenheder), processer, idéer og/eller systemer, kan samlet set synes problematisk. Godt nok vil objekter, fænomener, processer og systemer være noget der findes "ude i virkeligheden", men idéer vil jeg mene er menneskeskabte og må her betegnes som modeller i sig selv.

I denne artikel er det valgt som præmis at modeller skal søge at beskrive noget i den virkelige verden, noget som tænkes at være "derude", og som naturligvis ikke i sig selv er en model. Derfor er det her valgt at inddele det *target* som modellerne kan repræsentere, i følgende fire grupper: objekter, fænomener (inkl. begivenheder), processer og systemer.

Et objekt kan være en kvark, det faste stof natriumklorid, et øje, et hus, et tankskib, Jorden, Mælkevejen osv. Et fænomen er en observerbar forekomst, som fx stråling, konvektion, nedbør, solformørkelse, "sort sol", angst, meteornedslag osv. En proces er en række relaterede begivenheder eller trin der typisk forekommer i en bestemt

rækkefølge. Det kan fx være fermentering, forbrænding, fordampning, fotosyntese, diagenese osv. Et system kan fx være et rensningsanlæg, carbonkredsløbet, det geologiske kredsløb osv.

Love og teorier er egentlig også modeller, men de er ikke i en kategori for sig, men vil normalt kunne indplaceres i en af ovenstående kategorier på baggrund af deres *target*.

På tilsvarende måde forholder det sig med metaforer, sammenligninger (semiler) og analogier – deres *target* afgør deres placering. En metafor antyder at én ting er den *samme* som en anden, mens en sammenligning antyder at én ting er *ligesom* en anden (Gilbert, 2004; Taber, 2017). En metafor kunne være at sige at *cellekernen er cellens hjerne*, mens en sammenligning kunne være at sige at *både enzymet og substratet har specifikke geometriske former der passer præcist til hinanden som en nøgle passer i en lås* (Taber, 2017).

Analogier anvendes i modelsammenhænge ofte til at forstå noget der ikke er direkte tilgængeligt for os. En analogi har såvel negative som positive træk i den forstand at kun nogle aspekter af analogien direkte peger ind i *target*, og der er derfor ligheder på nogle områder og ikke på andre. Tag fx analogien om at et atom er som et lille solsystem. Det er i begge tilfælde sandt at det meste af systemets masse er at finde i midten af systemet, men det er kun i solsystemet at det er grundet centripetalkraften at enhederne (her planeterne) kontinuerligt kredser om den centrale masse (i stedet for at forlade systemet) (se endv. Taber, 2017).

Analogier kan sagtens være modeller, men det er mere usikkert om metaforer egentlig kan betegnes som modeller (Oh & Oh, 2011).

Vi kan spørge os selv om et blankt stykke A4-papir kan være en model? I sig selv er det jo ikke en model, men hvis der skabes en relation mellem A4-papiret og et *target* hvor elementer af *target* lader sig repræsentere ved A4-papiret, så vil A4-papiret i denne sammenhæng være en model. A4-papiret kunne jo repræsentere et olietankskib, eller tykkelsen på papiret kunne svare til tidsenheden et år osv. Vi har derfor brug for en oversættelse, en fortolkning, ja, en nøgle der for os selv, og for det meste også andre, gør A4-papiret til en model og etablerer en forbindelse til *target*. Så hvorvidt noget er en model eller ej, afhænger af hvordan den forstås og anvendes, snarere end hvilke iboende egenskaber den besidder (Taber, 2017).

Karakteristika for naturfaglige modeller

Hvordan kan vi afgøre om noget er en naturfaglig model? Første tilnærmelse må selvfølgelig være at der kan argumenteres for at genstandsfeltet falder inden for det naturfaglige område. Et kort over Tolkiens *Middle-Earth* med placeringen af hav og land, veje og bjergkæder (kendte objekter i fx geografi) er vel nok en model, men det er sværere at argumentere for at det er en naturfaglig model, da *target* er fiktion.

Talrige objekter og fænomener vil vi kunne affeje som fiktion, og modeller der har disse som *target*, vil vi ikke definere som naturfaglige modeller. Problemet er dog, at man ikke altid kan afgøre om *target* er fiktion.

Model-*target*-relationen har paralleller til diskussionerne inden for videnskabsteorien hvor gyldige videnskabelige teorier skal kunne falsificeres. Problemet er dog at falsifikationer kun vil være tvingende hvis de er sande, og det kan være vanskeligt at afgøre om det er tilfældet. Falsifikation kan jo selv blive falsificeret som tiden går, og vi bliver klogere. På tilsvarende vis forholder det sig med naturvidenskabelige modeller og deres *target*. Fx ville man i år 1900 med stor sandsynlighed betegne modeller over æteren som videnskabelige modeller. Nu ved vi dog at æteren ikke eksisterer, og modellernes *target* var fiktion. Vi kan heller ikke med sikkerhed vide om fx mørk energi og superstreng eksisterer, men modeller der har disse som *target*, vil vi for nuværende normalt acceptere som videnskabelige modeller. Pragmatisk set bør man lade samtidens velargumenterede bud på en reel virkelighed være demarkeringen mellem fiktion og fakta, og derfor vil denne "virkelighed" være et reelt og gyldigt *target* for naturvidenskabelig modellering.

Modeltyper

Grupperinger af modeller der anvendes i naturfagene, er mangeartede (og en sådan inddeling repræsenterer i sig selv en model). Der tales om fysiske (materielle) modeller i modsætning til ikke-fysiske modeller. Altså en sondring mellem modeller der kan "røres" ved, og dem der ikke kan (altså modeller som man i højere grad har i hovedet end i hånden). Man kan også tale om verbale modeller kontra non-verbale modeller, matematiske modeller kontra ikke-matematiske modeller osv. Det er imidlertid ikke god videnskabelig praksis at definere noget på baggrund af noget det ikke er, hvorfor opgaven bør være at kategorisere modeller på baggrund af deres egenart.

Der er talrige bud på kategoriseringer og grupperinger af modeller. Lige fra en grundinddeling i to grupper (se fx Chamizo, 2013), i tre grupper (se fx Ornek, 2008; Bokulich & Oreskes, 2017), i fem grupper (fx Black, 1962; Hannisdal & Ringnes, 2003; Gilbert, 2004) til inddelinger i ti grupper (fx Harrison & Treagust, 2000).

I denne artikel tages der, som hos Christiansen et al. (2019), udgangspunkt i den modelinddeling som Hannisdal og Ringnes har beskrevet, hvor modeller inddeles i fem grupper alt efter deres præsenteringsform (Hannisdal & Ringnes, 2003; Ringnes & Hannisdal, 2006) (se figur 1). Set i en undervisningskontekst med relation til grundskolen vil en sådan inddeling efter præsenteringsformer give god mening netop fordi eleverne ofte vil blive præsenteret for en modeltype eller selv præsentere en model for andre i forbindelse med deres naturfagsundervisning (se Christiansen et al., 2019). Jeg foreslår dog her at samle Hannisdal og Ringnes' fem grupper i tre basale fremtræ-

delsesformer: 1-D-, 2-D- og 3-D-modeller. Lyd defineres som værende endimensionel, flader som værende todimensionelle, og rumlige former som værende tredimensionelle (se endvidere figur 1). En sådan inddeling i kun tre, men tydeligt adskilte modelgrupper vil gøre det muligt allerede tidligt i naturfagsundervisningen at introducere forskellige og forståelige modeltyper for eleverne i indskoling. Man ville så kunne betegne dem som hhv. lydmodeller, flade modeller og rumlige modeller.

Brandt og Johansen (2014) foreslår at dele Hannisdal og Ringnes' simuleringsmodeller op i to grupper af modeller: animationsmodeller og interaktive modeller, således at der samlet opereres med seks modelgrupperinger. Det er denne inddeling i de seks modeltyper der præsenteres i nyeste læseplaner for naturfagene (Børne- og Undervisningsministeriet 2019a, b, c, d). Om animationsmodeller er en bestemt type af simuleringsmodeller, afhænger af ens forståelse af simulering. Skal det interaktive være det centrale? Skal eleverne kunne ændre på parametre og derved få andre resultater? Hvis sidstnævnte er demarkeringen, vil animationer ikke kunne henregnes til simuleringsmodeller. Animationer skal så enten være i en klasse for sig eller være en "bevægelig" illustrationsmodel. Jeg ser animationer som sidstnævnte (se figur 1).

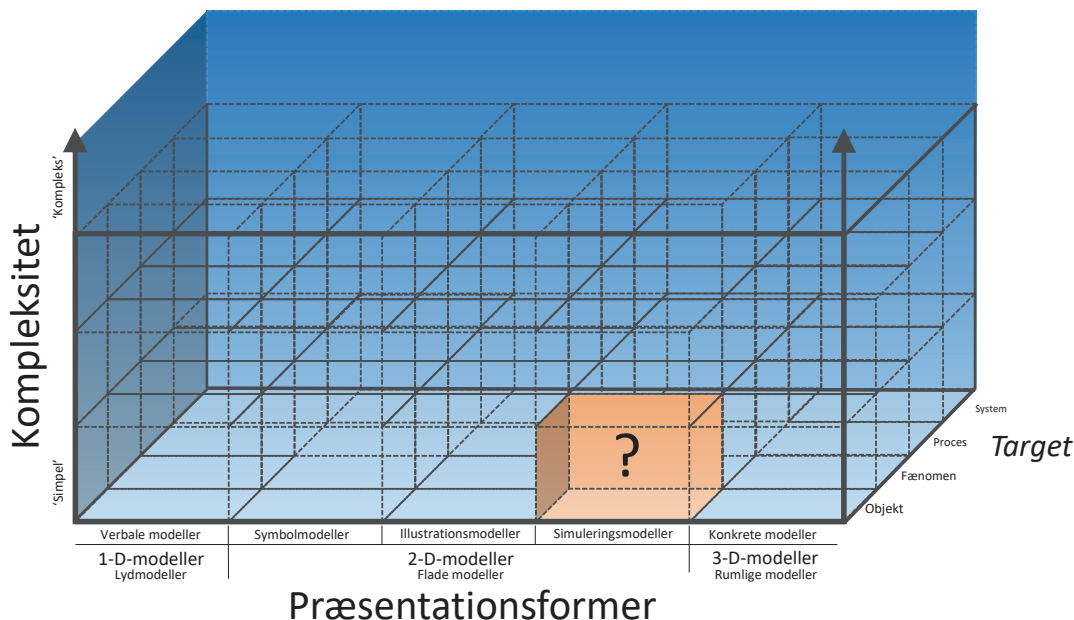
AUDITIVE MODELLER		VISUELLE MODELLER																		
1-D modeller ● Lydmodeller		2-D modeller ● Flade modeller						3-D modeller ● Rumlige modeller												
Verbale modeller		Symbolmodeller		Illustrationsmodeller			Simuleringsmodeller		Konkrete (fysiske) modeller											
Analogier		Sammenligninger		Elektron-prik-model (S)		Kemiske formler (S)	Matematiske udtryk (S)	Reaktionsligninger (S)	Tegning (S)	Tegning (S)	Foto (S)	Graf (S)	Diagram (S)	Animation (D)	Computersimulering (D)	Rolleespil (D)	Dynamiske (D)		Statistiske (S)	
				Forsørelser	1:1	Fornindskelser	Forsørelser	1:1	Fornindskelser											

Figur 1. En klassifikation af modeller til anvendelse i grundskolen kunne se således ud. Den centrale inddeling er i de fem modeltyper: verbale modeller, symbolmodeller, illustrationsmodeller, simuleringsmodeller samt konkrete modeller. Men hertil er der både en underinddeling og en overinddeling. Underinddelingen inden for de enkelte modeltyper er her ikke udtømmende, og inddelingerne kan ydermere forekomme kategorialt forskellige. De er dog medtaget for at give en forståelse for et muligt hierarki i modeltyper. Inden for de visuelle modeller betegner (S) og (D) at der er tale om hhv. statiske og dynamiske modeller. Hvis man vil starte med at indføre en mere simpel inddeling i modeltyper i naturfagsundervisningen, kunne dette være i tre grupper: 1-D-modeller, 2-D-modeller og 3-D-modeller. Her kunne man som underviser se det formålstjenligt at indføre andre og mere forståelige modelbegreber for eleverne. Fx hhv. lydmodeller, flade modeller og rumlige modeller.

Modelinddelingen her i artiklen omfatter ikke mentale modeller. Det betyder ikke at mentale modeller ikke udgør en vigtig del af elevernes modeller, men de mentale modeller er ikke tilgængelige for bedømmelse af andre. Det er først når elevernes mentale modeller kommer ud af "hovedet", at de kan vurderes, og dermed kunne indplaceres i en af ovennævnte 5 modelklasser (Christiansen *et al.*, 2019).

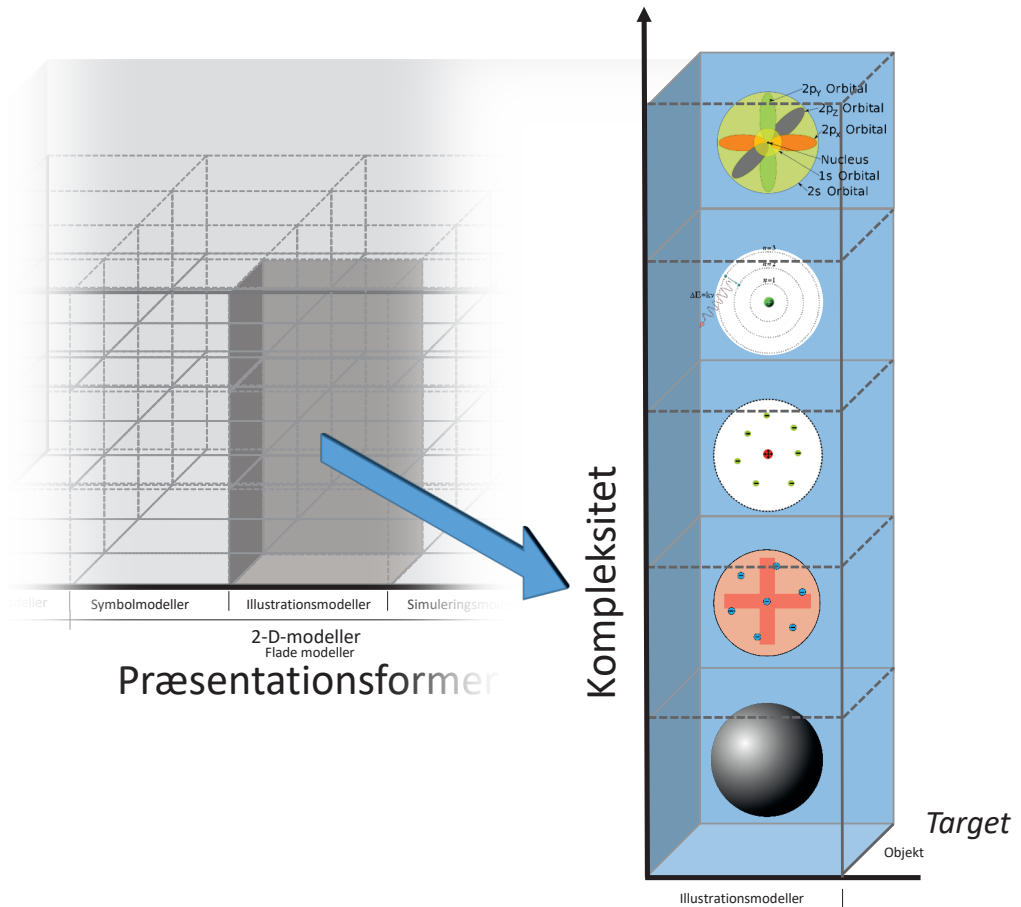
Ulempen ved Hannisdal og Ringnes' modelinddeling er imidlertid at der kan forekomme væsentlige overlap mellem modeltyperne. Nogle kategorier af modeltyper vil have samme udtryksform. Eksempelvis optræder "tegning" på figur 1 både som en symbolmodel og som en illustrationsmodel, men der er forskel på om der er tale om en simpel tegning af en sky med nogle streger der er symbol på regnvejr, eller om en tegning som illustrerer vandets kredsløb. Ydermere vil rollespil kunne være i såvel 2-D som 3-D og derfor lejlighedsvis henregnes til simuleringsmodeller, som på figur 1 er en del af 2-D-modellerne, og lejlighedsvis til de konkrete dynamiske modeller (fx rollespil hvor elever med dem selv som objekter viser rotationsrelationer mellem Solen, Jorden og Månen). Man vil kunne argumentere for at der indenfor 2-D-modellerne generelt er en stigende kompleksitet fra symbolmodeller, gennem illustrationsmodeller og til simuleringsmodeller. Det kan forstås sådan at symbolmodeller ofte indgår i illustrationsmodeller og simuleringsmodeller, mens det er sjældent at illustrations- og simuleringsmodeller er en del af symbolmodeller. Men man vil kunne diskutere om fx et kartogram, som det ekstremt forenklede og stærkt for tegnede kort over placeringen af S-togsruiter og -stationer, med sin omfattende brug af symboler skulle henregnes til gruppen af symbolmodeller eller illustrationsmodeller? Eller skal den interaktive animation som illustrerer den intertropiske konvergenzonen varierende placering i løbet af et år, henregnes til simuleringsmodeller eller til illustrationsmodeller? Det bliver til en diskussion af om nogle forhold overtrumfer andre, når modeller skal placeres i de fem klasser. For mig vil dette være en god mulighed for at træne argumentation med eleverne. Argumentation er jo et nøglepunkt i naturvidenskab og en del af det eleverne i den danske grundskole måles på (indgår fx tydeligt i kommunikationskompetencen i naturfagene). Eleverne skal derfor kunne argumentere for hvorfor de mener en given model skal indplaceres i den ene modelkategori frem for en anden.

Modeller der anvendes i grundskolen, kan rammesættes af modeltype, *target* og kompleksitet, forstået sådan at de fem modeltyper (se figur 1) kan kombineres med de fire *targets* der tidligere er beskrevet, og samtidig rumme mulighed for varierende modelkompleksitet (se figur 2 og 3). Eksempelvis vil 3-D-modeller, altså konkrete modeller, kunne repræsentere hhv. et objekt – fx en polystyrenkugle som model for et atom (en konkret statisk model med forstørrelse af *target*), fænomenet meteornedslag – fx ved sten der kastes i sand (en konkret dynamisk model med formindskelse af *target*), processen fotosyntese (som konkret statisk model) og en fysisk model repræsenterende fordøjelsessystemet (en konkret dynamisk model med forstørrelse af *target*).



Figur 2. Skematisk repræsentation af forslag til inddeling af modeller i fem præsentationsformer (jf. figur 1), med fire typer af "virkelighed" (target): et objekt, et fænomen, en proces eller et system. Figuren antyder også at for alle typer af modeller i kombination med de fire typer af target er det muligt at modellerne har varierende kompleksitet gående fra simpel til kompleks. Spørgsmålstegnet i kombinationen simuleringsmodeller og objekt hentyder til at kombinationen er formålsløs idet det ikke giver mening at foretage en simulering af et objekt i sig selv. Hvis objektet derimod fx vibrerer, er det dette fænomen der simuleres.

Hvad angår parameteren kompleksitet, så skal denne forstås således at det inden for alle gyldige kombinationer af modeltyper og target er muligt at variere på modellens kompleksitet hvad angår beskrivelse af target. En model kan være meget simpel, mens en anden model af samme type og med relation til samme target kan være langt mere kompleks (se endvidere figur 3).



Figur 3. Med udgangspunkt i figur 2 vises her som eksempel hvordan illustrationsmodeller af opbygningen af et atom kan gå fra en simpel atommodel, som foreslået af Dalton tilbage i 1803, gennem mere komplicerede modeller af Thomson, Rutherford, Bohr, og Schrödinger efterhånden som den videnskabelige erkendelse udvikledes. Forståelsen af atomets struktur har naturligvis udviklet sig siden Schrödingers atommodel fra 1926. Figuren er derfor ikke et forsøg på at vise et samlet overblik over udviklingen af atommodeller, men snarere at gøre opmærksom på at der findes mange modeller for samme virkelighed (target) med varierende kompleksitet.

Modellers funktion

“... hvis alle naturvidenskabelige modeller har noget til fælles er det ikke deres natur, men snarere deres funktion” (Contessa, 2010, p. 194).

Det er repræsentation der er kernen i modellers funktion. Modeller spiller en stor rolle for både produktion, formidling og accept af naturvidenskabelig viden. En videnskabelig model kan virke som medie for tænkning og kommunikation med henblik på

at beskrive, forklare og forudsige naturfænomener og formidle videnskabelige idéer til andre. Modellers funktionelle roller kan udtrykkes med ikkesproglige semiotiske midler eller ved hjælp af analogi. Modeller hjælper os til at forstå den virkelige verden, altså den fysiske verden med dens fysiske realiteter. For at noget skal være en model, kræver det dog en rettedhed eller en intentionalitet. Modeller laves altså med henblik på noget og kan ikke ses løsrevet fra denne intentionalitet. Derfor er model- lers funktion også påvirket af overbevisninger, intentioner og kognitive interesser hos såvel modelskaber som modelbruger.

For modelskaber kan det være et ønske om at synliggøre abstrakte forhold, et ønske om at bibringe beskrivelser og/eller forenklinger af komplekse forhold eller et ønske om at give videnskabelige forklaringer på og forudsigelser af naturfaglige forhold.

Forskellige forskere vil ofte udarbejde forskellige modeller af samme *target* afhæn- gigt af deres særlige interesser og særlige mål. Derfor er det vigtigt at pointere at der ikke tales om rigtige eller forkerte modeller, men kun om gode eller dårlige modeller. Om en model er god eller dårlig, er i den grad kontekstafhængigt. Det er derfor vigtigt når der udarbejdes modeller, at modellerne har et sigte. Og netop sigtet har indfly- delse på hvilken model der endes op med. Modeller bruges derfor til at forstå verden og/eller til at kommunikere et syn på verden til andre. I en undervisningssituation er modeller derfor værktøjer der skal hjælpe eleven til bedre at kunne forstå verden eller til at kommunikere en forståelse af verden til andre.

Modellering

Der er naturligvis forskel på model og modellering. Modellen er en simplifikation, en reduktion, af omverdenen, mens endelsen -ing henviser til en handling eller proces. Derfor er modellering fortrinsvis den proces hvor data behandles (handling) og resulterer i en model. Altså modeller bliver til via modellering. Der er imidlertid ikke konsensus om hvad der specifikt indgår i modelleringsprocessen. Men idealisering, uafhængighed og forestillingsevne er de karaktertræk der udgør modelleringens sær- præg, hvorfor fantasi har en særlig kognitiv rolle i modelleringsprocessen (Levy, 2015). Jong *et al.* (2015) skriver at,

“Modellering er den proces, hvor forskere og studerende fremstiller, konstruerer, reviderer og rekonstruerer mentale modeller, der giver dem mulighed for at løse problemer og skaffe sig videnskabelig viden” (Jong *et al.*, 2015, p. 987-988 – egen oversættelse)

Hos Halloun (2004) inkluderer modelleringen udvælgelse, konstruktion, validering, analyse og anvendelse af modeller. Hos Windschitel *et al.* (2007) involverer model- leringsprocessen trin som at tilgå et spørgsmål eller problem, danne midlertidige mo-

deller eller hypoteser om kausale eller holistiske relationer hos fænomener, foretage systematiske observationer med henblik på at teste rigtigheden af disse hypoteser, danne modeller baseret på disse observationer, evaluere modellerne i forhold til deres anvendelighed, deres evne til at forudsige eller deres evne til at forklare samt kunne revidere modellen og anvende den i nye sammenhænge.

Louca og Zacharia (2012) inddeler modelleringsprocessen i to faser: først en model-formuleringsfase med systematiske observationer og indsamling af data efterfulgt af konstruktionen af modellen. Dernæst opererer Louca og Zacharia (2012) med en modelanvendelsesfase hvor modellen først evalueres, dernæst evt. revideres og anvendes i nye situationer. Når Hestenes (1992) fx definerer modellering som den iterative proces der involverer konstruktion og videreudvikling af repræsentationer af fysiske fænomener, så dækker denne definition kun den centrale del af modelleringsprocessen som beskrevet af Louca og Zacharia (2012).

Levy (2015) betegner kort og godt modellering som konstruktion og analyser af modeller. Imellem disse to synes Schwarz *et al.* (2009) at placere sig med deres forsøg på at operationalisere elevernes modelleringspraksis via en inddeling i fire elementer:

- (1) elever *konstruerer* modeller
- (2) elever *anvender* modeller
- (3) elever *sammenligner og evaluerer* modeller
- (4) elever *reviderer* modeller

Modelleringsprocessen starter iflg. Louca og Zacharia (2012) med at gøre observationer og indsamle data. Også Prins *et al.* (2016) inkluderer dataindsamlingen som en del af modelleringsprocessen. Mens fx Hestenes (1992), Schwarz *et al.* (2009) og Levy (2015) ikke har dataindsamling indlejret i modelleringen (se endvidere Christiansen, 2020).

En vigtig parameter i modelleringskompetencen er metamodellering. Metamodellering kan forstås som en overfaglig og emneafhængig forståelse af modeller og modellering. Den generelle viden om modeller og deres anvendelse kaldes af Schwarz (2002) for metamodelleringsviden. Metamodellering udgør fundamentet for en forståelse af betydningen af modeller og modellering i de enkelte naturfag og inkluderer viden om hvad modeller kan repræsentere inkl. viden om modeltyper, viden om modelleres styrker, svagheder, fordele og ulemper, viden om hvilke formål modeller har, hvordan de anvendes, hvorfor de anvendes, og hvorfor modeller ændres. I denne definition er metamodellering en generel forståelse af modeller og modellering hvori den praktiske dimension ikke direkte er inkluderet (Schwarz *et al.*, 2009, 2012). Men metamodelleringsviden har stor indflydelse på hvordan modellering praktiseres.

Ovennævnte eksempler viser at der tydeligvis er forskellige syn på hvad modelle-

ring indbefatter. Men netop synet på modelleringsprocessen må også have indflydelse på hvad vi vil inkludere i modelleringskompetencen som den kommer til udtryk i den danske grundskole. Spørgsmålet er derfor hvordan Børne- og Undervisningsministeriet placerer sig i forhold til ovenstående forståelser af modellering, og hvilke konsekvenser denne forståelse har.

Hvilke kompetenceområder hører modeller og modellering til?

Det er klart at modeller og modellering spiller en stor rolle i modelleringskompetencen. Men når eleverne anvender modeller i naturfagsundervisning er det, bedømt ud fra læseplanerne for de fire naturfag i grundskolen, ikke nødvendigvis som del af kompetenceområdet modellering, og når eleverne modellerer er det heller ikke nødvendigvis som del af kompetenceområdet modellering. Dette kan lyde underligt, men forklaringen har flere årsager. For det første er der som allerede nævnt forskel på model og modellering. For det andet er der forskellige syn på hvad der bør være inkluderet i modelleringsprocessen. Og for det tredje afhænger det af hvordan man vælger at definere og afgrænse de fire naturfaglige kompetenceområder som rammesætter naturfagsundervisningen. For hvis vi skal kunne bedømme modelleringskompetencen, er vi også nødt til at kunne adskille den fra de andre naturfaglige kompetencer. Da det er oplagt at hvis vi ikke evner at adskille fx modelleringskompetencen fra undersøgelseskompetencen, evner vi heller ikke at kunne evaluere den ene frem for den anden.

Hvad angår modelleringsprocessen er det tydeligt at modellering hos Børne- og Undervisningsministeriet inkluderer modeller som middel til dataindsamling. Fx skrives der i læseplanen for Natur/teknologi inden for kompetenceområdet modellering – Kompetencemål efter 2. klasse at “... eleverne kan lære om opbygningen af kroppen, herunder sanseorganernes placering og funktion, ud fra fysiske modeller som skelet og andre afbildninger af kroppen” (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019a, p. 17). Her bliver modeller middel til ny viden (data) som hermed giver svar på spørgsmål om opbygningen af kroppen. Dataindsamling med modeller opfattes derfor som en del af modelleringskompetencen, men ministeriet opfatter også dataindsamling med modeller som en del af undersøgelseskompetencen. Dette kan understøttes af et par eksempler fra læseplanen for Geografi, hvor der inden for kompetenceområdet undersøgelse skrives: “I undervisningen kan eleverne anvende modeller, kort og statistik til at undersøge årsager til demografiske, erhvervmæssige og bymæssige mønstre på forskellige geografiske skalaer og til forskellige tider” (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019d, p. 18) og videre “I undervisningen kan eleverne med modeller, kort og feltarbejde undersøge danske naturlandskabers karakteristika. Der kan være fokus på at undersøge jordbunden og den danske undergrund ved brug af kort og modeller og

derigennem lære om jordbundens og undergrundens sammensætning og udbredelse i det danske område” (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019d, p. 19).

Det er tydeligt i læseplanerne for naturfagene at det at anvende modeller ikke kun er en del af modelleringskompetencen. I læseplanernes generelle del står fx: *“Derudover er det en del af undersøgelseskompetencen at kunne forbinde egne undersøgelsesresultater med fagets forklaringer, modeller og måder at udvikle viden på” (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019a, b, c, d, p. 8).* Og som en del af undersøgelseskompetencen skal eleverne også kunne sammenholde deres resultater med faglige modeller (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019a, b, c, d).

Om undersøgelseskompetencen skrives der i læseplanernes generelle del: *“I arbejdet med undersøgelse og undersøgelseskompetence er der en progression, således at det gradvist bliver mere komplekst, hvad der undersøges, hvordan der undersøges, hvilke krav der stilles til elevernes analyse, fortolkning og modellering, samt hvor store frihedsgrader eleverne forventes at kunne håndtere i deres undersøgelser” (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019a, b, c, d, p. 9).*

Skal ovennævnte sætning tolkes som et perspektiverende blik på undersøgelseskompetencen og hvad den senere skal lede hen til? Eller ligger der her en forståelse af at modellering også er en del af undersøgelseskompetencen og ikke kun en del af modelleringskompetencen?

Metamodelleringsaspekter i læseplanerne ses tydeligst i den generelle del af læseplanerne for biologi, fysik/kemi og geografi hvor modelleringskompetencen beskrives: *“Det er ved at få erfaringer med modellering som proces, at eleverne for alvor udbygger deres modelleringskompetence. Selv at undersøge, revidere og konstruere modeller skærper elevernes blik for forholdet mellem model og virkelighed, for betydningen af en models funktion og for styrker og svagheder ved modeller”. (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019b, c, d, p. 10).* Endvidere skrives der: *“Eleverne udvikler igennem undervisningen et metablik på modeller og modellering, således at de mod slutningen af trinforløbet kan vælge modeller efter formål, diskutere deres styrker og svagheder samt indgå i en samtale om modeller og modellering i relation til et specifikt fagligt indhold eller en problemstilling” (Børne- og Undervisningsministeriet, 2019b, c, d, p. 19).*

Det er derfor åbenbart at læseplanerne har metamodellering som et tydeligt og vigtigt mål i den kompetenceorienterede naturfagsundervisning. Faren er imidlertid at læreren i sin undervisningsplanlægning i høj grad orienterer sig efter den fagspecifikke del af læseplanen hvor metamodelleringsaspektet ikke fremstår med megen vægt.

Fx skrives der for faget biologi i afsnit 5.3 at eleverne inden for færdigheds- og vidensområdet Evolution skal anvende og vurdere modeller, inden for færdigheds- og vidensområdet Økosystemer skal eleverne udvælge, anvende og vurdere modeller, in-

den for færdigheds- og vidensområdet Krop og sundhed skal eleverne kunne udvælge, anvende, vurdere og redesigne modeller, og inden for færdigheds- og vidensområdet Bioteknologi skal eleverne anvende, forstå og forklare modeller, og undervisningen kan her også omfatte konstruktion af egne modeller. Overordnet set er der her en mere "instrumentel" tilgang til modelleringen. Et enkelt metamodelleringsaspekt nævnes dog under færdigheds- og vidensområdet Krop og sundhed nemlig at eleverne skal arbejde med kritisk stillingtagen til modeller. Ordet modellering optræder talrige gange i de dele af læseplanerne der er fælles for de fire naturfag. Men det kan undre at ordet modellering overhovedet ikke optræder i de fagspecifikke færdigheds- og vidensområder inden for kompetenceområdet modellering.

Modeller og modellering i forhold til de 4 naturfaglige kompetenceområder

Når læseplanerne lejlighedsvis henregner anvendelse af modeller til undersøgelseskompetencen og lejlighedsvis til modelleringskompetencen, kan det afspejle en forståelse af at disse to kompetenceområder har væsentlige overlap med hinanden. Men det er også problematisk hvis modelleringskompetencen ikke kan afgrænses fra grundskolens andre naturfaglige delkompetencer, eksempelvis altså undersøgelseskompetencen. Det kan være en udfordring hvis det ikke kan afgøres om elevernes anvendelse af en model som middel til at indsamle data henhører til undersøgelseskompetencen eller modelleringskompetencen (eller begge). Er det egentlig hensigtsmæssigt hvis det ydermere ikke kan afgøres om selv den dataindsamling der ikke gør brug af modeller, er en del af undersøgelseskompetencen eller modelleringskompetencen? Skal det så tolkes som at dataindsamlingen isoleret set er en del af undersøgelseskompetencen, men hvis eleverne senere vælger at anvende disse data som udgangspunkt for en model, så overgår denne dataindsamling øjeblikkeligt til at være en del af modelleringskompetencen hvad den ikke var da data reelt blev indsamlet! Det ville derfor være enklere hvis man valgte at definere modellering på linje med fx Hestenes (1992), Schwarz *et al.* (2009) og Levy (2015) hvor dataindsamling ikke er en del af modelleringen. Der er selvfølgelig ikke tvivl om at der skal være data til stede for at der kan udarbejdes en model, men jeg stiller spørgsmålstejn ved om selve dataindsamlingen bør inkluderes i modelleringskompetencen ift. undervisningen i den danske grundskole.

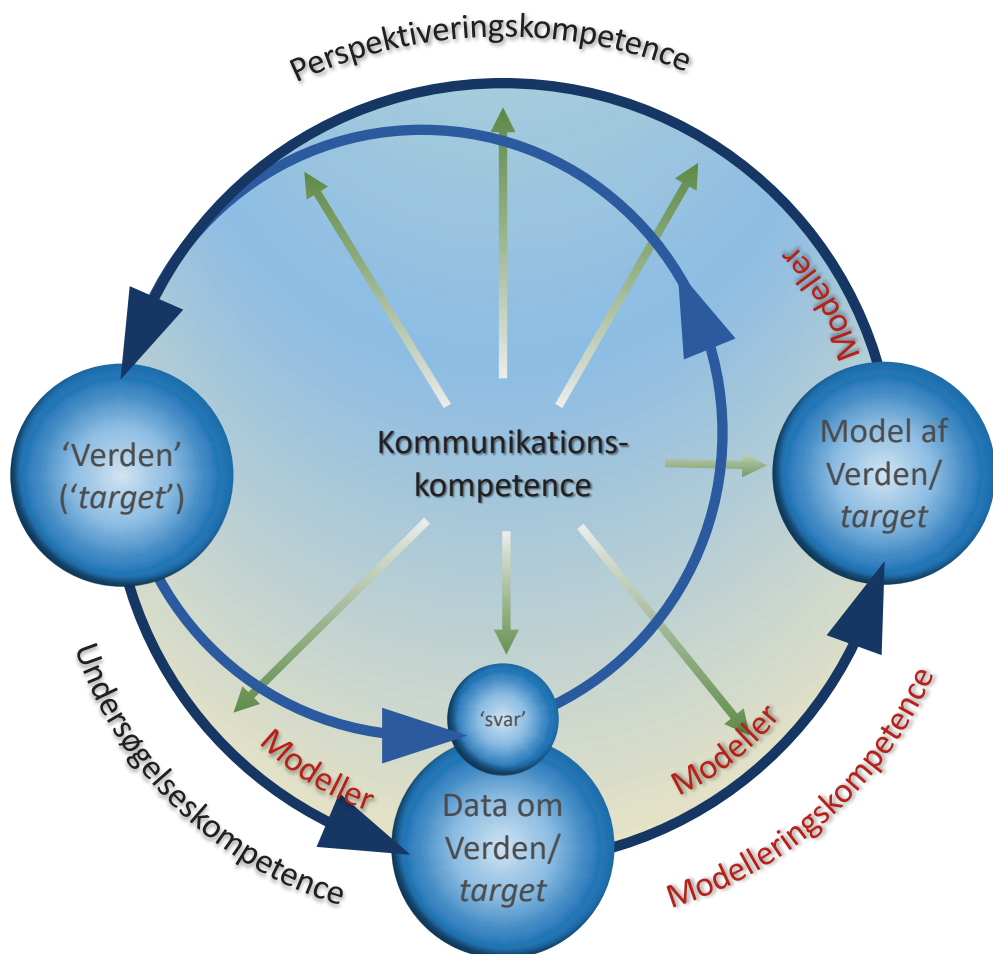
Derfor foreslås det her at modellering defineres som selve den proces der ligger mellem "data" og "model" inkl. de tanker, overvejelser, argumenter m.v. der inddrages i fasen (se endvidere figur 4).

Da der netop er forskel på modeller og modellering og således en accept af at ikke al anvendelse af modeller er en del af modelleringskompetencen, bliver det tydeligt

at modeller spiller en stor rolle ifm. at udvikle elevernes undersøgelseskompetencer. Modeller vil desuden også kunne indgå som del af perspektiveringskompetencen.

I modelanvendelsesfasen har jeg det synspunkt at anvendelse af modellen i ramme af modellens eget regime er en del af modelleringskompetencen, men når modellen anvendes til at løse en helt anden problematik, altså i en ny situation som ikke ligger inden for modellens eget regime, så kan der være tale om perspektivering. Lad mig komme med et eksempel: hvis eleverne i et undervisningsforløb om kartografi ender op med at udarbejde et kort (model) over skolen, vil efterfølgende diskussioner af modellens forklaringskraft, hensigtsmæssig brug af symboler, farver osv. stadig være en del af modelleringskompetencen uanset hvor mange korrektioner (reviderede modeller) disse diskussioner resulterer i. Vi er stadig inden for det jeg kalder modellens eget regime. Men hvis eleverne efterfølgende anvender kortet (modellen) til fx at afgøre hvor på skolens område det vil være mest hensigtsmæssigt at placere det drivhus de skal bruge til tomatdyrkning i biologi, så er modelleringsprocessen ophørt, og modellen er anvendt perspektiverende.

Samlet set vil jeg foreslå at man i dansk skolekontekst definerer de tre naturfaglige kompetencer undersøgelses-, modellerings- og perspektiveringskompetencen som det der udfolder sig mellem hhv. "Verden", "Data om verden" og "Model af verden". Her kan "Verden" i et model-/modelleringsperspektiv erstattes med *target*. Som illustreret i figur 4 bliver kompetenceområderne på denne måde langt tydeligere adskilt fra hinanden end for nuværende hvilket sandsynligvis vil være til gavn for såvel lærere som elever. Bemærk hvordan kommunikationskompetencen her opfattes som et fundament under de tre andre kompetencer der er med til at give disse værdi når eleven argumenterer, diskuterer osv. Herved bliver det tydeligere for eleverne hvordan kompetenceområderne kan afgrænses fra hinanden, og hvordan de kan relateres. Det bliver også tydeligt at der er forskel på model og modellering da modeller ikke udelukkende finder anvendelse i modelleringskompetencen, men også kan være et element i dataindsamlingen (undersøgelseskompetencen) og ligeledes anvendes perspektiverende. Men selve modelleringen udspiller sig, som den proces den er, mellem data og model.



Figur 4. De 4 kompetencemål for den danske grundskoles naturfag er her relateret til hinanden med inspiration fra “den naturvidenskabelige arbejdsmåde”. Hvis eleven har et naturfagligt spørgsmål til “verden”, skal eleven tilvejebringe data for at kunne besvare spørgsmålet. Denne dataindsamlingsproces betegnes undersøgelseskompetencen. De indkomne data skal behandles og analyseres. Nogle gange kan det være nok til at få det svar eleven har brug for. Denne nye viden om “verden” kan eleven så efterfølgende perspektivere “ud i verden”. Andre gange vil de indsamlede data udgøre grundlaget for modelleringsprocessen, der når den er gennemført, vil ende op med en model af verden/target. Denne model af verden kan eleven via perspektiveringskompetencen efterfølgende bruge til at sige noget om (en anden del af) verden.

I figur 4 er kompetenceområderne udspændt mellem de tre “fysiske” enheder Verden, Data om verden og Model af verden. Det er disse tre enheder der for eleven kan synes håndgribelige, mens kompetencerne der udspiller sig imellem, vil være sværere for eleven at få øje på. Det betyder også at modeller i forbindelse med naturfagsundervisningen vil kunne have forskellig funktion alt efter om funktionen bedømmes fra

hhv. en underviser- eller en elevvinkel. I en undervisningssituation må man være sig bevidst om hvorvidt modellen er mål eller middel. Dette er ikke lige til at afgøre da det er kontekstafhængigt. Eleven forstår måske at undervisningsaktiviteten har som mål at der udarbejdes en model, og midlet til at nå målet er modellering. Læreren kan dog have det synspunkt at modellen er et middel til at opnå målet; at gøre eleven mere modelleringskompetent.

Perspektivering

I grundskolen bør vi i naturfagsundervisningen lade eleverne selvstændigt og aktivt arbejde med modeller og modellering. Eleverne skal derfor bringes i situationer hvor de både "gør noget" med modeller og "gør noget" der resulterer i modeller. At "gøre" noget med modeller kræver at modellerne forefindes ved påbegyndelse af aktiviteten, mens det andet aspekt af modellering hvor det at "gøre" noget der resulterer i en model, betyder at modellen ikke foreligger i færdig form til at begynde med.

Hvad angår modelleringsundervisningen, bør den rammesættes således at eleverne får mulighed for selvstændigt at gennemgå modelleringsprocessens forskellige faser.

Når eleven udarbejder en model, skal eleven også kunne fortælle hvorfor der udarbejdes en model (og ikke bare svare "*fordi læreren siger det*"), hvem der skal bruge modellen, og hvad den skal bruges til. Eleven skal derfor have en forståelse for at modellen er et middel til kommunikation af viden til andre. Derfor skal eleven kunne vælge relevant indhold, relevant materiale og relevante udtryksformer.

En aktivitet kunne tage udgangspunkt i carbonkredsløbet hvor en relativ kompleks 2-D-model/illustrationsmodel med 9. klasse som målgruppe danner udgangspunkt for netop en 9. klasses modelleringsaktivitet. Men i stedet for at lade modellen være middel til dataindsamling (ny faglig viden), som ofte kunne være tilfældet i undervisningen, lader man denne model være datagrundlaget for elevernes modelleringsaktivitet. Eleverne skal altså med udgangspunkt i denne komplekse model udarbejde en simplere model der passer til en anden målgruppe (fx 3. klasse). Eleverne skal derfor igennem talrige modelleringsovervejelser: hvad forstår vores målgruppe? Hvad skal vi vælge at medtage fra den svære model, og hvad skal vi fravælge? Hvordan skal vi illustrere det så dem fra 3. klasse kan forstå det? Osv. Læreren kan stilladsere elevernes gruppearbejde så det sikres at alle relevante modelleringsdrøftelser gennemføres i gruppen. Når modellen er produceret, fx i et tegneprogram, kan gruppen i samtale med andre argumentere for deres valg og fravalg. Nogle ville indvende at eleverne ikke bliver meget klogere af at beskæftige sig med carbonkredsløbet på så "lavt" et niveau, men her skal vi huske på at det er målet at eleverne skal blive mere modelleringskompetente – faglig viden om carbonkredsløbet var ikke formålet med aktiviteten.

Det er principielt målgruppen/modelbrugerne der bedømmer om det er en god el-

ler dårlig model der er blevet designet, gerne i dialog med modeldesigner. I sådanne dialoger bliver eleverne opmærksomme på at der ikke bør tales om rigtige og forkerte modeller, men om gode og dårlige modeller. Fx vil den komplekse illustrationsmodel af carbonkredsløbet givetvis være en god model i 9. klasse, men en dårlig model i 3. klasse. Men modellen som sådan bliver jo hverken mere eller mindre rigtig alt efter om det er en 9.-klasseselev eller en 3.-klasseselev der ser på den.

Lad mig komme med et andet eksempel. I en undervisningssituation kan målet være at gøre eleverne opmærksomme på at der er forskel på et "rigtigt" kort og på et godt kort. Et kort kan, sammen med dets signaturforklaring, nemlig godt være korrekt, altså sådan "juridisk" set, men hvis det ikke kommunikerer sit budskab klart og tydeligt, er det ikke et godt kort. Hvis man eksempelvis har et kort hvor havet er sort, skoven er blå, og åen er rød, og hvis alt dette står i signaturforklaringen, er der på sin vis ikke nogen fejl på dette kort. Det er et lige så rigtigt kort som det kort der med samme visning og samme type signaturforklaring viser havet som blå, skoven som grøn og åen som blå. Det sidste kort er derfor ikke et mere rigtigt kort, men et bedre kort fordi det bidrager med en bedre og mere klar kommunikation til brugeren. Hvis eleverne vil indvende at havet jo er blå, kan man som lærer bare vise dem et satellitfoto af fx Nordsøen. Her vil havet fremstå sort, men vi har nogle mere eller mindre vedtagne farvekonventioner der letter og tydeliggør vores grafiske kommunikation hvis vi i modeldesignfasen benytter os af dem.

Metamodellering er et vigtigt aspekt ift. at gøre eleverne mere modelleringskompetente. Men det kræver ofte stilladsering fra lærerside og understøttelse via kommunikationskompetencen. Eleverne skal derfor have mulighed for at ræsonnere og argumentere over relationen mellem model og virkelighed. De skal kunne forklare hvad modellers funktion er, både generelt og specifikt. De skal kunne argumentere for at en model er bedre end en anden model, men samtidig have forståelse for at der kan være fornuftige grunde til at have forskellige modeller af samme fænomen eller objekt.

Alt det metamodelleringsmæssige kan lyde svært at få inkorporeret i undervisningen, men i den rigtige rammesætning kan læreren facilitere mange gode metamodelleringsovervejelser og -forståelser hos eleverne.

Hvad angår problematikken med modellers relation til virkeligheden, kan vi i N/T godt tage udgangspunkt i en illustrationsmodel med en vejrpoggnose for Danmark. Lad os sige at modellen vil vise at det bliver solskin overalt i Danmark. Der vil derfor ofte optræde en sol over alle de danske landsdele, måske ni i alt. Læreren kan derved facilitere en diskussion af hvor mange sole der findes her i vores del af solsystemet. Mange elever vil nok være klar over at svaret er en, men hvorfor vises der så ni på modellen? Altså hvad er relationen mellem model og virkelighed, og hvorfor kan det alligevel give god mening at vise ni sole?

Referencer

- Black, M. (1962). *Models and metaphors: studies in language and Philosophy*. New York: Cornell University Press.
- Bokulich, A. (2017). Models and Explanation. In Magnani, L. & Bertolotti, T. (eds.), *Springer Handbook of Model-Based Science* (s. 103-118). Springer International Publishing.
- Bokulich, A. & Oreskes, N. (2017). Models in the Geosciences. In Magnani, L. & Bertolotti, T. (eds.), *Springer Handbook of Model-Based Science* (s. 891-911). Springer International Publishing.
- Brandt H. & Johansen, B.L. (2014). Modeller i naturfagene. ntsnet.dk/naturfagsdidaktik 36 pp.
- Børne- og Undervisningsministeriet (2019a). *Læseplan for faget Natur/teknologi*. Lokaliseret d. 29 april 2020 på <https://emu.dk/sites/default/files/2019-08/GSK-L%C3%A6seplan%20-%20Natur%20teknologi.pdf>.
- Børne- og Undervisningsministeriet (2019b). *Læseplan for faget biologi*. Lokaliseret d. 29 april 2020 på <https://emu.dk/sites/default/files/2019-08/GSK-L%C3%A6seplan-Biologi.pdf>.
- Børne- og Undervisningsministeriet (2019c). *Læseplan for faget fysik/kemi*. Lokaliseret d. 29 april 2020 på <https://emu.dk/sites/default/files/2019-08/GSK-L%C3%A6seplan%20-%20Fysik%20kemi.pdf>.
- Børne- og Undervisningsministeriet (2019d). *Læseplan for faget geografi*. Lokaliseret d. 29 april 2020 på <https://emu.dk/sites/default/files/2019-08/GSK-L%C3%A6seplan-Geografi.pdf>.
- Cassini, A. (2018). Models without a Target. *ArtefactOs. Revista de estudios de la ciencia y la tecnología*, 7(2), 185-209.
- Chamizo, J.A. (2013). A new definition of models and modeling in Chemistry's teaching. *Science & Education*, 22(7), 1613-1632.
- Christiansen, J.L. (2013). Kompetenceorienteret naturfagsundervisning. I Christiansen, J.L., Hansen, N.J., Madsen, J. & Lindhardt, B. (red.): *KOMPIS – Kompetencemål i praksis. Et udviklings- og forskningsprojekt i dansk, matematik og naturfag 2009-2012* (s. 29-39). University College Sjælland.
- Christiansen, J.L. (2020). Modelleringsprocessen. *MONA* 2, 85-88.
- Christiansen, J.L., Andersson, J., Hansen, D., Jensen, M.-A.S., Kinnerup, L.B. og Lilius, K.M., (2019). Brug af modeller og modellering i udskolingens naturfagsundervisning. *MONA* 4, 8-27.
- Contessa, G. (2010). Introduction (to special issue). *Synthese* 172, 193-195.
- Frigg, R. & Nguyen, J. (2017). Models and Representation. In Magnani, L. & Bertolotti, T. (eds.), *Springer Handbook of Model-Based Science* (s. 49-102). Springer International Publishing.
- Gelfert, A. (2017). The Ontology of Models. In Magnani, L. & Bertolotti, T. (eds.), *Springer Handbook of Model-Based Science* (s. 5-23). Springer International Publishing.
- Gilbert, J.K. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 115-130.
- Gilbert, S.W. & Ireton, S.W. (2003). *Understanding Models in Earth and Space Science*. Arlington, VA: NSTA Press.
- Halloun, I.A. (2004). *Modeling Theory in Science Education*. Kluwer Academic Publishers. 250 pp.

- Hannisdal, M. & Ringnes, V. (2003). Modeller og modellbruk i naturfagene. I Jorde, D. & Bungum, B. (red.). *Naturfagdidaktik: Perspektiver, Forskning, Utvikling* (s. 199-212). Gyldendal Nordisk Forlag.
- Harrison, A.G. & Treagust, D.F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- Hestenes, D. (1992). Modeling games in the Newtonian World. *American Journal of Physics*, 60(8), 732-748.
- Jong, J.-P., Chiu, M.-H. & Chung, S.-L. (2015). The Use of Modeling-Based Text to Improve Students' Modeling Competencies. *Science Education*, 99(5), 986-1018.
- Levy, A. (2015). Modeling without models. *Philosophical Studies*, 172(3), 781-798.
- Louca, L.T. & Zacharia, Z.C. (2012). Modeling-based learning in Science education: cognitive, metacognitive, social, material and epistemological contributions. *Educational Review*, 64(4), 471-492.
- Oh, P.S & Oh, S.J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.
- Ornek, F. (2008). Models in Science Education: Applications of Models in Learning and Teaching Science. *International Journal of Environmental & Science Education*, 3(2), 35-45.
- Prins, G.T., Bulte, A.M.W. & Pilot, A. (2016). An-Activity-Based Instructional Framework for Transforming Authentic Modeling Practices into Meaningful contexts for Learning in Science Education. *Science Education*, 100(6), 1092-1123.
- Ringnes, V. & Hannisdal, M. (2006). *Kjemi Fagdidaktikk – Kjemi i skolen*. Høyskole Forlaget.
- Schwarz, C.V. (2002). Using Model-Centered Science Instruction to Foster Students' Epistemologies in Learning with Models. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, New Orleans, LA. April 2002. 12 pp.
- Schwarz, C.V., Reiser, B.J., Davis, E.A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 632-654.
- Schwarz, C.V., Reiser, B., Acher, A., Kenyon, L., & Fortus, D. (2012). MoDeLS: challenges in defining a learning progression for scientific modeling. In A. Alonzo & A. Gotwals (Eds.), *Learning progressions in science: current challenges and future directions* (s. 101-137). Boston, MA: Sense.
- Taber K.S. (2017). Models and Modelling in Science and Science Education. In: Taber K.S., Akpan B. (eds) *Science Education. New Directions in Mathematics and Science Education*. (s. 263-278) SensePublishers, Rotterdam.
- Van Der Valk, T., Van Driel, J.H. & De Vos, W. (2007). Common Characteristics of Models in Present-day Scientific Practice. *Research in Science Education*, 37, 469-488.

English abstract

This paper addresses general aspects of models and modelling and pupils' use of models and modelling as intended in the curriculum of Danish primary and lower secondary education. A new classification in 1D, 2D and 3D models is presented. The paper advocates a definition of modelling as the process that lies between "data" and "model". This entails that not all use of models should be included in the modelling competence. The article intends to enable an increase of teachers' knowledge of models and modelling in order to improve modelling-based teaching in science education.