

Videnskabsteori – noget for skolens naturfag?

Svein Sjøberg

*Videnskabelig metodik består af procedurer, så man undgår at blive snydt
– af sig selv og af andre.*

(Norsk læreplan, LK06, generel del)

I videnskabsteorien stiller man spørgsmål af typen: Hvad er naturvidenskab? Hvor sikker er vores viden om verden? Hvordan kommer forskerne frem til deres resultater? Hvordan bliver nye ideer anerkendt af andre? Eksisterer der én eller flere metoder, som kan give os den viden?

Spørgsmål som disse har optaget filosoferne alle dage. Spørgsmålene er måske heller ikke så ligetil, som man ved første øjekast skulle tro. For hvad er det egentlig, forskere i naturvidenskab laver? Jo, deres aktiviteter er mangeartede: De studerer hiv-virus, de leder efter liv på andre planeter, de studerer, hvordan klimaet på jorden ændres, de studerer fossiler, som er millioner af år gamle, de studerer stjerne-tåger, som ligger milliarder af lysår fra os, de studerer parringsmønstre og social adfærd hos myrer, de knuser atomkerner med udstyr, der koster nogenlunde det samme som et middelstort lands statsbudget, osv.

Hvad er det, der får os til at lægge alt det her i én og samme kasse og omtale det som naturvidenskab? Har disse forskellige områder noget til fælles? Og hvad er det eventuelt, de har fælles: De genstande, objekter eller ting, man studerer? Eller er det de fælles grundtræk i den viden, man finder frem til? Eller er det de fælles metoder for, hvordan man studerer disse ting? Den slags spørgsmål er vigtige både for filosoferne og for naturfaglæreren.

Billedet på modstående side:

Videnskabeligt bevist! Næsten alle produkter markedsføres i dag med henvisning til videnskab. Her er en lille detalje fra en reklame for sportsstrømper. Der henvises til billeder taget med nitrogen-afkølet termisk scanner, og der er et virvar af komplicerede tekniske og videnskabelige begreber. Lader købere sig imponere af den slags? Er det informativt eller bare taget med for at narre køberen?

I den offentlige debat og i lærebøger i naturfag refereres der til *den naturvidenskabelige metode*. Der er en udbredt opfattelse af, at *den* naturvidenskabelige metode (det lyder, som om der kun er én) er en slags opskrift, hvor man skridt for skridt og ved enkle observationer og målinger kommer frem til sikre resultater. Et sådant syn på naturvidenskabens væsen er uholdbart, og det repræsenterer en trivialisering af, hvad videnskaben er, og hvordan den arbejder.

Enkel videnskabsteori: tre vigtige retninger

Det er umuligt at undervise i en videnskab uden at give en slags billede af den. Derfor er det umuligt at undervise, uden at man også præsenterer en eller anden form for videnskabsfilosofi.

(videnskabsfilosoffen Gerard Fourez 1988)

Både lærere og forskere i naturfag er ofte usikre på, hvordan de skal forholde sig til de mange påstande, der fremsættes enten på vegne af videnskaben eller med videnskaben som skydeskive og fjendebillede. Det er påfaldende, at selv naturvidenskabsfolk, som har et langt fagstudium bag sig, sjældent har haft timer eller kurser, hvor de kritisk har studeret deres eget fags egenart, metoder og sociale forankring. Når man aldrig ser sit eget fag udefra, kan man let komme til at overtage almindeligt udbredte myter og forestillinger, som viser sig ikke at holde stik. Man kan også let blive offer eller taber i en debat om videnskabens troværdighed, fordi modstanderne kan have tilegnet sig nogle videnskabsteoretiske kundskaber og begreber, som naturvidenskabsfolk ikke er godt nok inde i. Også af denne grund bør en lærer i naturfag have en vis grundlæggende indsigt i videnskabsteori.

Som underviser formidler man under alle omstændigheder et syn på, hvad videnskab egentlig er. Hvis man ikke har et bevidst forhold til den slags spørgs-

mål, er man efter al sandsynlighed bærer og formidler af det, man kan kalde hverdagsforestillinger. Og de holder sjældent stik.

Op gennem filosofiens historie har vi haft mange forsøg på at beskrive videnskaben og dens virke. Men det har vist sig, at det, vi prøver at beskrive, er et mangesidet fænomen, og det er ikke tænkeligt, at én enkel teori kan give en dækkende beskrivelse. De forskellige teorier giver nok så forskellige billeder af, hvad der kendetegner videnskaben og dens metoder. I det følgende vil jeg ganske kort fremdrage tre forskellige hovedretninger, som jeg mener, at en naturfagslærer bør have kendskab til.

Den første retning er den, der kendes under navnet *positivisme*. Den anden retning omtales dels som *falsifikationsteori*, dels som den hypotetisk-deduktive metode, hvor den vigtigste teoretiker er Karl Popper. Den tredje retning forbindes gerne med Thomas Kuhn, som introducerede begrebet *paradigmeskift*, og som lagde vægt på videnskabens sociale og til dels kulturelle karakter. Lad os kort se på disse tre retninger.

Positivismens fremvækst og tilbagegang

Stærkt forenklet og noget karikeret kan en positivistisk videnskabsteori beskrives således: Videnskabelig viden baseres på erfaringer, målinger, observationer og sanseindtryk. Forskeren skal forsøge at arbejde uden forudfattede meninger eller teoretiske antagelser. Ud fra de data, som samles ind, drages konklusioner i form af lovmæssigheder. Det sker ved, at man slutter eller generaliserer fra enkelttilfælde til det generelle. Dette kaldes *induktion*. Disse induktive generaliseringer er videnskabelig viden. Videnskabelig viden, som kommer frem ved brug af disse principper, hævdes at være objektiv, værdineutral og pålidelig. Ifølge positivismen altså.

Ifølge positivismen baserer fakta sig på objektive sanseindtryk. De taler for sig selv, og de er grundlaget for ny viden. Den viden, man kommer frem til, er neutral, ikke farvet af ideologier, personlige interesser eller gruppeinteresser. Videnskaben, og derved verden, gør fremskridt. Vores viden vokser, jo flere fakta vi indoptager, målinger og observationer bliver mere nøjagtige og konklusioner bliver sikrere. Vores viden vokser støt og roligt. Positivist vil hævde, at vi på denne måde afdækker virkeligheden og opdager naturlovene, som nærmest eksisterer i kraft af sig selv og bare venter på at blive

opdaget. Virkeligheden er som et ukendt landskab, og videnskabens opgave er at kortlægge dette landskab. Terrænet eksisterer uafhængigt af os, og vi kan gradvist afdække og opdage det ukendte. Efterhånden som tiden går, bliver det kort, vi tegner af virkeligheden, stadig bedre, selv om vi endnu ikke ved alt det, der er at vide. Det ukendte er som hvide pletter på et kort, som vi er i færd med at tegne.

Dette klassiske syn omtales af filosofen Karl Popper som "the common sense theory of knowledge", netop fordi det stemmer så godt med udbredte opfattelser af, hvad videnskab er. Når mange mennesker (og lærebøger) skal beskrive videnskabens metoder og egenart, har den mange af den slags træk. Det er også påvist, at denne opfattelse er temmelig udbredt blandt lærere i naturfag.

Dette positivistiske videnskabssyn omtales også med ord som *empirisme* og *induktivisme*. Disse tre ord giver tilsammen grundtanken om, hvad man opstillede som ideal for videnskabelig viden: Bag begrebet positivisme ligger det grundsyn, at man bare skal bygge på det, som er positivt givet, og med det mente man som regel sanseindtryk. Begrebet empirisme giver en tilsvarende association: Man forestiller sig, at kilden til al videnskab er empiri, altså erfaringer fra den virkelige verden. Med sådan et grundsyn bliver det vigtigt at eliminere al metafysisk spekulation og alle ideer, som ikke kan forankres til noget sanseligt eller observerbart. Og endelig: Begrebet induktivisme antyder, at vi ved hjælp af induktive slutninger kan komme fra enkeltobservationer til videnskabelig viden, altså love og teorier.

Positivismens grundtanke eller ideal er, at forskeren på en objektiv og uproblematisk måde kan afdække naturens love ved at foretage nøjagtige målinger og observationer. Og når man har et stort antal observationer, forestiller man sig, at man kan slutte sig til lovmæssige sammenhænge. Men dette syn på videnskaben har vist sig at have så store svagheder, at det i dag ikke har mange fortalere. Alligevel er disse ideer ret udbredte, og vi finder dem desværre ofte i lærebøger i skolerne.

De to overordnede ideer i positivismen er altså, at man for det første kan observere uden at medtage teorier og opstille hypoteser, og for det andet at induktive slutninger er mulige. Men, for at gøre en lang historie kort, så har begge disse forudsætninger vist sig at være uholdbare. Ved alle obser-

vationer tager man formodninger, forventninger og hypoteser med sig. Og tilsvarende findes der heller ikke nogen logisk gyldig vej fra enkelttilfælde til generelt gyldige lovmæssigheder. Induktive slutninger er ganske enkelt ikke gyldige. Der har været mange forsøg på at redde positivismen ved at eliminere svaghederne, men de er alle strandet, og positivisme som videnskabsfilosofi må i dag opfattes som forladt.

Positivismen har imidlertid en del idealer, som man ikke uden videre skal forkaste: Respekten for observationer, fakta, evidens og empiri, samt ønsket om at undgå metafysisk, okkult spekulation og henvisning til religion og autoritet.

Det er også vigtigt at fremhæve et andet særligt forbehold: Selv om en positivistisk beskrivelse af videnskaben ikke holder vand, betyder det ikke, at man ikke kan bruge induktion som pædagogisk metode i undervisningen! I undervisning i naturfag skal man ikke nødvendigvis kopiere de processer, der ligger bag videnskabens vækst. Dette uddybes i nogen grad i boksen *Induktion i videnskaben – og i skolen*.

Induktion i videnskaben – og i skolen

Der er en række svagheder ved at antage, at videnskabens vækst er baseret på induktive slutninger. Videnskabsteoretikere i dag er stort set enige om, at videnskabelig erkendelse ikke opstår som generaliseringer ud fra observationer.

Hvad så med skolens naturfag? Skal man holde op med det, der længe har været god pædagogik, nemlig at gå fra det konkrete til det abstrakte, drage slutninger og lave regler ud fra nogle få og udvalgte eksempler? Skal man give afkald på en induktiv arbejdsform?

Vores svar på det er et klart nej. Skolens naturfagundervisning skal ikke simulere videnskabens vækst op gennem tusinder af år. Undervisningens metoder behøver ikke efterligne forskerens metoder. Nej, undervisning i naturfag – som i andre fag – er også en delvis indføring i en kulturarv, som den faktisk foreligger. I en pædagogisk sammenhæng er der derfor til dels tale om at overtale eleven til at konstruere begreber og se netop de sammenhænge, som vi gennem videnskaben i dag mener er hensigtsmæssige værktøjer til at mestre og forstå verden. Derfor opstiller vi situationer, som vi tror kan lede i en sådan retning, og vi introducerer begreber, som kan bidrage til denne proces.

I en sådan undervisningsproces er alle metoder i princippet åbne, de må vælges ud fra lærestoffets egenart og elevernes ståsted. I sådan en proces kan en induktiv fremgangsmåde være meget velegnet. Men så er valget af fremgangsmåde *pædagogisk* begrundet, og ikke begrundet i at det er sådan forskere arbejder.

Karl Popper: Kritiske undersøgelser og falsifikation

Videnskabens store tragedie er, at en fantastisk teori kan blive væltet af et grimt lille faktum!

(Thomas Huxley 1825–95)

Man kan altså ikke, som positivisterne mente, udlede generelle love ud fra observationer, uanset hvor mange gange vi foretager dem. Men vi kan, som citatet ovenfor fra Thomas Huxley antyder, gøre det modsatte: Vi kan modbevise en lov bare ved at henvise til *et* eksempel på, at den ikke holder! Det ene modeksempel får større betydning end tusind bekræftelser.

Mange hævder, at det netop er det, der er det centrale i videnskaben: De hævder, at videnskaben må opstille udsagn, som man så kan prøve at modbevise, eller med et fint ord: *Falsificere*. Udsagn, som i princippet ikke kan falsificeres, bør derfor ikke regnes som videnskabelige. Dette er en central ide i den videnskabsfilosofi, som er blevet udviklet af Karl Popper. Han var oprindelig østrigsk fysiker, men efter anden verdenskrig boede og arbejdede han i England til sin død i 1994. Han er måske den videnskabsfilosof, som i nyere tid har haft størst indflydelse på det at tænke om videnskabens væsen. Mange af hans centrale ideer har også slået rod blandt forskere og er blevet en del af videnskabens selvforståelse.

Popper hævder, at en hypotese alene er videnskabelig, hvis den i princippet kan modbevises, falsificeres. Det betyder, at det skal være muligt at foretage observationer, som vil kunne vise, at den ikke er sand. Ud fra dette kriterium kan vi ifølge Popper adskille videnskab fra pseudovidenskab eller fupvidenskab, hvilket er meget vigtigt for Popper. Påstande (eller hele fagområder), som udgiver sig for at være videnskabelige, skal man altså ifølge Popper have mulighed for at undersøge nærmere. De må kunne underkastes kritik. Hvis hypoteserne skal kunne give os information om virkeligheden, må de også kunne tåle en nøjere granskning. Det er altså falsificerbarheden, der er Poppers afgrænsningskriterium for, hvad der er videnskab.

Poppers krav om falsificerbarhed er et strengt krav. Ifølge et sådant kriterium ville meget af det, vi forbinder med videnskab, kunne klassificeres som uvidenskabeligt. For eksempel ville store dele af psykologien blive betragtet som uvidenskabelig – i hvert fald al psykoanalyse – for at tage et eksempel,

som Popper selv bruger. Endvidere vil store dele af samfundsvidenskaberne falde udenfor. Samfundsvidenskabelige udsagn kan sjældent falsificeres på nogen entydig måde. Poppers krav om falsificerbarhed ser ud til at have størst gyldighed inden for naturvidenskaben.

Popper hævder, at videnskaben gør fremskridt ved, at den lærer af sine fejl, og at den er åben for kritik. Han fremhæver et ganske andet videnskabsideal end det induktive: Mens videnskaben ifølge det induktive syn tager nogle små skridt ad gangen, hævder Popper, at videnskaben gør fremskridt ved at fremføre dristige hypoteser, som så bliver kritisk undersøgt i forsøg på at falsificere dem. Og fundamentet i vores videnskab er dristige påstande, som har modstået utallige forsøg på falsificering! Popper hævder, at videnskaben aldrig beviser, men altid forsøger at modbevise, falsificere. Ja, det er kun udsagn, som kan falsificeres, der kendetegner videnskab, og som adskiller videnskab fra pseudovidenskab og tågesnak!

Dette strider måske mod den almindelige opfattelse af videnskab. Popper hævder, at videnskaben ikke leder efter bekræftelser på sine hypoteser. Han siger, at den prøver at finde modeksempler. Tusind bekræftelser er pludselig intet værd, hvis vi finder et modeksempele. Så må hypotesen forkastes eller i hvert fald ændres. Ifølge dette syn kan man aldrig sige om en videnskabelig teori, at den er sand. Man kan imidlertid sige, at den hidtil har vist sig at holde stik. Man kan også sige, at den er bedre end andre teorier. Når én teori bliver forkastet til fordel for en anden, er det, fordi den gamle er falsificeret, og den nye bedre er i stand til at beskrive virkeligheden. Det er sådan, videnskaben gør fremskridt ifølge dette videnskabssyn.

Poppers videnskabssyn kan også omtales som hypotetisk-deduktivt. Han mener, at videnskaben består af to meget forskellige faser: Den dristige fremsættelse af hypoteser og så den kritiske og forsigtige fase, hvor man prøver at falsificere disse hypoteser eller konsekvenser, som man har deduceret fra dem.

Det er typisk, at Poppers måske vigtigste bog bærer titlen *Conjectures and Refutations* (Popper 1969). Med *Conjectures* sigter han til den første dristige fase, det at fremsætte påstande, antagelser eller hypoteser. Med *Refutations* sigter han til den anden fase i videnskaben, det mere forsigtige og systematiske arbejde med at teste hypoteserne i kritiske situationer.

Første fase kan ifølge Popper dårligt beskrives logisk og ud fra en opskrift. Der er ingen opskrift, man kan følge for at få gode ideer og gode hypoteser. Her er der tale om inspiration og kreativitet. De gode ideer opstår imidlertid ikke af sig selv, de må i sagens natur vokse ud af overblik og fagkundskab. Popper opfatter det ikke som videnskabsteoriens opgave at beskrive i detaljer, hvordan den slags gode ideer opstår. Noget nedladende siger han, at dette er et arbejde for psykologer, og ikke for filosoffer. Han er imidlertid langt mere præcis, når det gælder beskrivelsen af videnskabens anden side: Den kritiske.

Videnskabens anden side er altså at være kritisk og analytisk, forsøge at finde situationer, som vil sætte hypoteserne på en hård prøve. Og hypoteser, som er et let mål for angreb, som kan afkræftes på mange forskellige måder, er altså dem, der opfattes som mest videnskabelige.

Mens videnskabens første fase er kreativ og skabende, næsten kunstnerisk, er den anden fase systematisk, velstruktureret og kritisk. Videnskaben opnår fremskridt i et samspil mellem disse to sider. Selv om det logisk set er to forskellige faser, vil de i praksis ofte gå hånd i hånd og ske mere eller mindre samtidig. Dristig tænkning og kritisk afprøvning.

Selv brugte Karl Popper udtrykket *kritisk rationalitet* om sit syn på videnskaben. Selv om han afviste tanken om absolutte og endelige sandheder, var han på mange måder optimist. Han hævdede hårdnakket, at videnskabelig viden stadig bliver bedre, at nye tanker vinder fodfæste, fordi de faktisk er mere sande end de gamle. Det ligger i hans falsifikationsideal, at videnskabelige hypoteser skal lægges frem til offentlig debat og kritik. Han tror på den fornuftige samtale, dialogen. Et sted siger han: ”Jeg kan tage fejl, og du kan have ret, og ved fælles anstrengelse kan vi komme nærmere sandheden.” Den, som ikke accepterer fornuften, kan heller ikke overtales med fornuftsargumenter.

Poppers syn på videnskabelighed har efterhånden opnået stor tilslutning, også blandt forskerne selv. Beskrivelsen svarer ret præcist til, hvordan de selv opfatter deres eget virke. Eller i hvert fald hvordan de selv gerne vil have, at den skal være: Kreativ og skabende, men samtidig nådeløs kritisk over for sine egne påstande. Og med åbenhed og dialog.

Men kritiske røster mener, at dette videnskabssyn ikke holder i praksis. Nogle argumenter er af teoretisk karakter, men det ligger uden for rammerne af en fremstilling som denne. Lige så vigtigt er det, at historien viser, at videnskaben slet ikke forlader en teori, selv om den synes at være falsificeret eller modbevist. I praksis bliver teorierne først forladt, når man har udviklet en anden og mere tilfredsstillende teori. Man har altså brug for en alternativ forklaring. Det er ikke nok, at den gamle er forkastet.

Dette fører os til en vigtig side af videnskaben, nemlig at den drives af mennesker. Poppers teorier tager kun i mindre grad hensyn til, at mennesker i videnskaben ikke er væsentlig anderledes end folk i al almindelighed. Det betyder, at en teori om videnskab også må have elementer af psykologi og sociologi: Det drejer sig om det, der foregår inde i hovedet på den enkelte forsker, og det handler om det, der foregår i gruppen af forskere. Poppers teorier bringer os altså et langt skridt videre i forståelsen af videnskabens væsen, men han er mere optaget af videnskabens logiske sider end af de mennesker, der deltager i processen. Måske indebærer Poppers videnskabs-teori gode idealer for, hvordan man bør handle og tænke, men teorien er ufuldstændig som beskrivelse af, hvordan forskningen faktisk fungerer. Så vi skal altså placere videnskaben i en samfundsmæssig sammenhæng, og det leder os frem til at se på ideer, som kan tillægges Thomas Kuhn.

Thomas Kuhn: Videnskab, magt og samfund

Fysikeren og videnskabsteoretikeren Thomas Kuhn (1923-96) har fået en enorm betydning, også langt uden for naturvidenskaben. Hans bog *The Structure of Scientific Revolutions* (Kuhn 1970, på dansk i 1995) har til dels skabt et nyt sprog for analyse af den slags forhold.

Kuhn bringer i højere grad psykologiske og sociologiske sider ind i beskrivelsen af videnskabens egenart. Kuhn siger, at det sjældent er de logiske argumenter, der bestemmer, hvordan videnskaben arbejder. Han hævder, at forskere er som almindelige mennesker, i og med at de er optaget af prestige, magt og indflydelse. Kuhn afviser også Poppers billede af forskeren som en strengt logisk og kritisk person, som altid er villig til at ændre sit syn, når fakta tilsiger det. Tværtimod, hævder Kuhn, er forskere måske mere konservative end de fleste. De ændrer ikke deres opfattelse så let, de insisterer hellere på det, de tror på. Og dette er måske ikke så mærkeligt: Hvis man har brugt

et helt liv på at opbygge en virkelighedsforståelse, er det slet ikke så let at ændre den. Desuden får man efterhånden sin egen identitet og prestige som forsker hængt op på en bestemt teoretisk retning.

Resultatet bliver ofte, at folk, som sidder i ledende stillinger, får en slags personlig interesse i at holde på de gamle forestillinger. De har en række magtmidler til deres rådighed: Det er de etablerede forskere, som skal uddanne de nye. Det er de gamle, som skal undervise, som skal give eksamensopgaver, som skal bedømme besvarelser. Og ved nye ansættelser er det de gamle, der skal vurdere, hvor gode de nye er. Det er også de veletablerede, som skal bedømme hvilke artikler og afhandlinger, der skal trykkes i bøger og tidskrifter. I den slags situationer har man i sagens natur let ved at bedømme de synspunkter, man selv står for, som de rigtigste.

Derfor er videnskaben ofte konservativ og bevarende, hævder Kuhn. Altså slet ikke dristig og kritisk, som Popper hævder. I og for sig er der måske ikke nogen stor forskel her: Popper beskriver måske, hvordan videnskaben bør være, når den tager sine idealer alvorligt, mens Kuhn hævder, at han beskriver videnskaben, som den faktisk har vist sig at fungere.

Det, vi her har beskrevet, omtales af Kuhn som den normale situation i videnskaben, han kalder den *normal science*. Men selv om beskrivelsen ovenfor kan virke negativ, hævder Kuhn, at netop dette også sikrer kvalitet og fremgang. Ved at der findes veletablerede standarder for godt og dårlig, kan man lettere fjerne det amatøragtige. Ved eksamener og bedømmelseskomitéer bliver kandidaternes præstationer vurderet mod en given målestok, som har vist sig at være frugtbar for videnskaben.

Normal videnskab omtales af Kuhn også som at lægge et puslespil, *puzzle solving*. Forskerne beskrives slet ikke som kritiske og banebrydende, men snarere som små arbejdsmyrer, der er travlt optaget af at bygge deres myretue af viden ud fra en given byggeplan. Selve planen bliver ikke vurderet, men de enkelte deltagere bliver dygtige arbejdere inden for de rammer, der er givet.

Poppers kritiske forsker er travlt optaget af at afprøve dristige teorier. I Kuhns normale videnskab er det næsten omvendt: Det er teorierne, der afprøver forskeren! Dem, der gennem deres arbejde viser, at de behersker teorierne, får nye chancer for at arbejde inden for de samme rammer.

En kendt fysiker, Max Planck (1858–1947), sagde noget lignende længe før Kuhn. Han sagde, at nye ideer i videnskaben slet ikke når frem, fordi tilhængerne af de gamle teorier ændrer mening. Nye ideer vinder derimod frem, fordi tilhængerne af gamle teorier efterhånden dør og bliver erstattet af dem, som tror på en anden teori!

Normal videnskab er kendetegnet ved, at den udfolder sig inden for det, som Kuhn kalder et *paradigme* (et græsk ord, som betyder forbillede eller mønster). Med paradigme mener Kuhn nærmest hele det tankesæt og den virkelighedsforståelse, der ligger til grund for forskningen, de begreber, man beskriver verden med, de spørgsmål, der er rigtige at stille, de metoder, man bruger til at undersøge fænomener, osv. Normal videnskab udfolder sig altså inden for et paradigme, en virkelighedsforståelse, en tradition.

Men paradigmer kan ændres, selv om det ikke sker så ofte. Når det sker i videnskaben, omtales det af Kuhn som en *videnskabelig revolution*. Når man er inde i et paradigmeskifte (eller før en videnskab har fået noget dominerende paradigme), mangler man en fast og fælles målestok for, hvad der er godt og dårligt. Både gode og dårlige ideer blomstrer. Ud af denne usikkerhed vokser der gerne et nyt paradigme. Når det er etableret, får videnskaben igen en fastere struktur, og den udvikler sig målrettet inden for de nye rammer. I boksen *Paradigmeskift – nogle eksempler* antydes det, hvilke ændringer i videnskaben, der kan omtales som paradigmeskift.

Paradigmeskift – nogle eksempler

Det er kun de helt store, nærmest revolutionære forandringer i videnskaben, som kan kaldes paradigmeskift. Det sker ikke så ofte. Her er nogle af de mest grundlæggende.

Det kopernikanske system

Galilei og det nye heliocentriske verdensbillede (også kaldet den videnskabelige revolution!)

Darwins evolutionsteori

Newtons mekanik

Atomteoriens indtog i kemi og andre naturvidenskaber

Einstein og relativitetsteorien

Kvantefysikken

Wegeners teori om kontinentalforskydning

Harvey og opdagelsen af blodløbet

Crick og Watson; dna og dobbelthelix

Hvad så? Elever og videnskabsteori

Gennem skolens undervisning danner eleverne sig et billede af, hvad videnskab egentlig drejer sig om. De får et billede af grundlaget for videnskabens kundskaber, af dens arbejdsmetoder, af hvor stabil og varig kundskaben er, af om kundskaben kan opfattes som objektiv, osv. Den slags kundskaber om naturfaget har efterhånden fået stadig større plads i undervisningsplaner i naturfagene i hele verden. På engelsk kalder man det ofte *The Nature of Science*. Det er uden tvivl et bedre og mere acceptabelt udtryk end for eksempel videnskabsteori. Men det kan betale sig at komme med en lille advarsel: Videnskabsteori, videnskabsfilosofi og epistemologi kan være nok så kompliceret, og der er næppe nogen grund til at give eleverne detaljer i en sådan fremstilling.

Men alligevel - der er nogle vigtige sider ved naturvidenskaben, dens metoder og kundskaber, som det kan være vigtigt at få frem også for nok så unge elever, og som alle lærere i naturfag bør kende til. Her er nogle helt grundlæggende pointer. Nedenfor er de opført som 10 punkter, ideer som i stor grad er accepteret af de fleste videnskabsfilosoffer.

1. Naturvidenskaben er empirisk. Den er baseret på erfaringer og observationer i den virkelige verden, enten direkte i naturen eller ved forsøg og eksperimenter i et laboratorium.
2. Observationer og eksperimenter må altid fortolkes, de taler aldrig direkte til os.
3. Forskere diskuterer og argumenterer for bedst at kunne forstå resultater og data. De lægger data og konklusioner frem for andre forskere. Ofte kan de samme data forstås på forskellige måder. Helt ny forskning (forskningsfronten) vil altid være præget af forskellige opfattelser. Debat og uenighed er derfor normalt i videnskaben. Men efterhånden arbejder man sig frem til enighed.
4. Naturvidenskabens beskrivelse af virkeligheden må hele tiden afprøves og udfordres. Hvis man bare finder *et* enkelt eksempel på, at en hypotese eller lovmæssighed ikke stemmer med observationer, svækkes troværdigheden til denne lov betydeligt. Og hvis man desuden har andre måder at forklare observationerne på, vil de nye ideer efterhånden erstatte de gamle.
5. Det findes ingen bestemt fremgangsmåde, opskrift eller metode til at udvikle nye tanker og ideer i videnskaben. Frem for alt kræver det åben-

hed, fantasi og kreativitet, og måske også en lille smule dristighed og galskab.

6. For at forstå naturen, må man bruge begreber. Mange af disse begreber er opfundet (eller konstrueret) af forskere for bedre at kunne beskrive og forstå observationer og data.
7. Naturvidenskabens love og teorier bliver ofte fremstillet matematisk som formler og ligninger. Matematik er nærmest videnskabens sprog.
8. Videnskaben er lavet af mennesker, for at de skal kunne forstå verden. Men disse forskere er ofte børn af deres tid, de bærer ideer og forestillinger med sig, som kan præge de tanker, de får i deres arbejde. Videnskaben bliver derfor også formet af den tid og den kultur, som den er opstået i, selvom man prøver at være så objektiv og neutral som muligt.
9. Naturvidenskabens teorier og kundskaber kan aldrig opfattes som endelige. De udvikles og forbedres hele tiden.
10. Nogle gange må man også forkaste gamle teorier og forestillinger i videnskaben. Dette kalder vi en videnskabelig revolution. Men det mest almindelige er alligevel, at man bygger videre på teorier, som har stået deres prøve i lang tid.

En sådan gennemgang af grundtræk ved videnskabens natur kan sikkert laves længere, og den må selvfølgelig tilpasses den aldersgruppe, man underviser.

Litteratur

Sjøberg, Svein (2005): *Naturfag som almindannelse - en kritisk fagdidaktik*, Forlaget Klim.

I denne bog uddybes artiklens indhold og der henvises ligeledes til anden litteratur på området.