

# At undersøge verden – naturvidenskabelige metoder i skolen og i Real Science

Lars Brian Krogh

## ”Mørke huller” – scenen sættes

R. Bybee leverer i bogen: *Videnskabelig forskning og videnskabens natur* en undervisningsbeskrivelse, som jeg vil bruge til at tune ind på dette kapitels problemstillinger (L.B. Flick og N. Lederman, red., 2004). Bybee beskriver et forløb fra amerikansk naturfagsundervisning, hvor eleverne via internet har haft adgang til hundredvis af UV-billeder af Jordens ydre atmosfære. Ved at studere sådanne billeder har eleverne fundet, at der er mørke huller i atmosfærelaget. Læreren har derfor formuleret spørgsmålet: *”Hvad kan mon være forklaringen/forklaringerne på de mørke huller?”*. Eleverne fik efterfølgende til opgave at fremsætte mulige forklaringer og underbygge disse på naturvidenskabelig vis.

Efter nogle dages studier og udforskning delte eleverne sig omkring to foretrukne forklaringer: Én gruppe af elever foreslog, at hullerne var forårsaget af talrige små kometer, som entrer Jordens atmosfære fra andre dele af Solsystemet. Gruppens ræsonnement var, at kometerne primært består af vand, som fordamper ved bevægelsen i atmosfæren og absorberer UV-lys, som derved i mindre mængde når frem til detektoren i det rumskib, som producerer UV-billederne. Den anden gruppe mente, at hullerne ikke var et naturfænomen, men skyldtes forskellig slags elektronisk støj. Blandt kilderne til denne støj fremhævede eleverne især kosmisk stråling fra rummet, som tænkte at indvirke på rumskibets datasystemer, samt elektronisk støj ved modtagelsen af billedsignalet på Jorden.

Jeg vil nu sætte kapitlets scene med nogle få spørgsmål i tilknytning til case-beskrivelsen

- Udfører eleverne overhovedet en naturvidenskabelig undersøgelse? Anvender de naturvidenskabelige metoder?
- Hvilke aspekter af naturvidenskabens metoder kan og bør indgå i naturfagsundervisningen?

Disse spørgsmål åbner straks for andre og dybere spørgsmål: For hvad skal vi i bund og grund forstå ved naturvidenskabelige metoder, hvilket forhold bør der være mellem naturvidenskabelige metoder i videnskabsfag og skolefag, og hvordan underviser vi i dem, så de både bliver tilgængelige, anvendelige og attraktive for eleverne? Det er min fornemmelse her, at disse spørgsmål vil fremkalde sved på panden for manganen en naturfagsunderviser, og at de udgør en slags mørke huller i naturfagsundervisningens mentale landskab. I mit bidrag her vil jeg koncentrere mig om at give nogle indspark til de første spørgsmål og kun enkelte steder berøre spørgsmålet om, hvordan man underviser i naturvidenskabens metoder.

## Real Science

R. Bybees eksempel er vel valgt, fordi eleverne åbenlyst ikke selv har udført observationer, haft hands-on eller gennemført et struktureret eksperiment. Deres arbejde er ikke styret af hypoteser - men ender med dem - og hypoteserne lader sig ikke på simpel måde berigtige eller falsificere. Samtlige af disse elementer indgår i videnskabsfilosoffen K. Poppers beskrivelse af naturvidenskab som værende hypotetisk-deduktiv af natur, hvilket er den mest kraftfulde forestilling om naturvidenskabelig metode, som findes blandt naturvidenskabsmænd og undervisere i naturfag. Og efter sådanne forestillinger udgør elevernes billedanalyse og formulering af (hypotetiske) forklaringer i case-beskrivelsen i bedste fald kun første trin i en naturvidenskabelig undersøgelse.

Ifølge den hypotetisk-deduktive beskrivelse af naturvidenskab er det videnskabsmandens opgave at formulere hypoteser, som kan gøres til genstand for eksperimentel efterprøvning. Alt afhængigt af eksperimentets udfald vil hypotesen herefter fremstå konsolideret, om end ubeviselig, eller blive falsificeret og give plads for nye hypoteser. Med fysikeren A. Eddingtons ord er eksperimentet den ultimative domstol: *“Sandhedsværdien af den fysiske*

*naturvidenskabs konklusioner efterprøves med observation som den ultimative domstol*". Dette billede af eksperimenter og logik som vejen til (større) og kontrollerbar vished stortrives blandt naturfagsundervisere på alle niveauer, og i en nylig undersøgelse (Andersen & Krogh, 2009) blandt gymnasieundervisere omtaltes det af mange i ental og bestemt form, som *den* naturvidenskabelige metode. Én af årsagerne hertil er måske, at metoden er indskrevet i de nye læreplaner for gymnasiet, hvor det tilmed er et mål, at eleverne lærer om naturvidenskab og naturvidenskabelige metoder. Bekendtgørelserne introducerer hermed på betænkeligste vis et mangelfuldt billede af naturvidenskab, idet de discipliner, der studerer naturvidenskab, tegner et langt mere diverst billede. Som videnskabsfilosoffen J. Ziman skriver i sin bog om Real Science: "*De fleste, som overhovedet har tænkt over dette, er klar over, at forestillingen om en altovervindende intellektuel metode ikke er andet end en myte. Denne myte er blevet helt gennemhullet...*". Grunden hertil er dobbelt: Dels har naturvidenskaben selv udviklet sig, og dels er der kommet nye optikker ind i studiet af, hvad naturvidenskab er. Naturvidenskaben har ændret sig fra universitetsbundet, grundforskningsorienteret *academic science* til også at være privatiseret og produktstyret *techno-science*. Stadig mere sofistikeret apparatur på både mikro- og makroniveau er blevet skudt ind mellem fænomenet og videnskabsmanden. Eksperimentel observation og manipulation af fænomener sker som hovedregel kun indirekte. Samtidig har beskrivelserne af naturvidenskab ændret sig. Filosofer, videnskabshistorikere, videnskabssociologer, etnografer m.m. har med hver deres optik frembragt meget forskellige beskrivelser. Filosoferne har i særlig grad beskæftiget sig med naturvidenskabernes *epistemiske praksis*, det vil sige: Hvad kendetegner naturvidenskaben som erkendelsesmåde, og hvor sikker kan man være på dens viden? De øvrige grupper har i højere grad gjort opmærksom på naturvidenskabens *kulturelle aspekter og sociale praksis*. I sædvanlige fremstillinger af den hypotetisk-deduktive metode underspilles de sociale og kulturelle sider af naturvidenskaben.

Billedet af *how science works* er således langt mere komplekst og mangfoldigt, end man som naturfagsunderviser og/eller curriculumdesigner måske kunne ønske sig. Hvordan kan man meningsfuldt arbejde med naturvidenskabens metoder i undervisningen, hvis man ikke har en vis konsensusforståelse af *how science works*? I et tidligere arbejdsrapport op til gymnasierformen har jeg via litteraturstudier søgt at give mine 10 bud på en sådan konsensusforståelse (se tekstsoks).

1. Naturvidenskab stiller spørgsmål til naturen og forsøger at levere forklaringer på disse.
2. Naturvidenskabelig viden konstrueres i vekselvirkning med empiri/data.
3. Observationer og undersøgelser foretages med et filter af forforståelser og tidligere teori. Der er ikke tale om neutral fact-indsamling, for eksempel forudsætter de fleste måleapparater en teoretisk oversættelse.
4. Resultaterne formuleres oftest i form af love (overvejende deskriptive generaliseringer) og teorier (forklarende og mere sammenhængsskabende modeller). Matematik indgår ofte som en uundværlig del af formuleringen af love og teorier.
5. Love og teorier er principielt altid underbestemte med hensyn til data. Man kan ikke bevise deres gyldighed. Naturvidenskaben har derfor til enhver tid foreløbig karakter.
6. Naturvidenskabelig viden bygger på menneskelig kreativitet og forestillingsevne. For eksempel er modellen gravitationsfelt ikke en indlysende konsekvens af fænomenet et-æble-falder-til-jorden.
7. Naturvidenskabelig viden er socialt og kulturelt indlejret. Naturvidenskaben anses for at være universel, men kulturstudier karakteriserer den som en western-white-male-middle-class-aktivitet. Naturvidenskaben virker ind på og påvirkes af samfundet, på godt og ondt.
8. Naturvidenskabelig viden er kollektivt forhandlet og efterprøvet. Naturvidenskabelig viden er ikke objektiv, men inter-subjektiv qua sin sociale praksis. Denne betyder blandt andet, at man på institutionaliseret vis lægger sine data og procedurer frem til afprøvning i det øvrige naturvidenskabelige samfund (konferencer, publikation med dobbelt refereering forud for publikation osv.). Mere generelt er dens sociale praksis karakteriseret ved sæt af normer/idealer.
9. Naturvidenskaben har en række kriterier, som lægges til grund for afvejning af konkurrerende teorier m.m. Deres relative betydning i konkrete situationer varierer og afspejler forhandling og personlig vurdering: Forudsigelseskraft og præcision, konsistens (internt og med data), mængden af fænomener som omfattes, enkelthed, evne til at udstikke nye undersøgelsesspor og hypoteser, skønhed?
10. Der findes ikke én naturvidenskabelig metode – det er en myte!

Den helt centrale pointe her er, at tekstboksen indfanger et klart skifte i beskrivelsen af naturvidenskab – et skifte fra at anvende én bestemt metode til at *"skabe forklaringer ved hjælp af data, forestillingsevne, logisk tænkning og efterprøvning af andre"*, som Bybee skriver i det tidligere omtalte bidrag. Data (herunder eksperimentelt frembragte data) spiller fortsat en væsentlig rolle, men i den moderne forståelse af naturvidenskabelige metoder er den primære *dataproduktion* alligevel nedtonet i forhold til kognitive og sociale processer knyttet til datainterpretation og validering. Og for lige kort at vende

tilbage til den indledende case: Det kan godt være, at eleverne her ikke er naturvidenskabsmænd i samme forstand som Galilei, men de er det efter ovenstående og mere nutidige standarder.

Med udgangspunkt i udenlandske undersøgelser vil jeg vove den påstand, at der ligger en kæmpe udfordring i at skaffe naturfagsundervisere med *krop* og viden bag dette billede af naturvidenskab. Dernæst kommer problemet med at *omsætte* en sådan indsigt til undervisning, så eleverne opnår et autentisk og dækkende billede af naturvidenskab. Der er i hvert fald langt fra elevforsøg som et praktisk afbræk i undervisningen til en undervisning, "*der er centreret om det at skabe forklaringer ved hjælp af data, forestilling, logisk tænkning og efterprøvning af andre*". Praktisk taget alle tekstboksens punkter kræver refokusering af praksis og/eller en decideret ny praksis. For eksempel kan man dårligt illustrere naturvidenskabens foreløbige karakter og kreative sider via kogeboogsdrevede elevforsøg, der efterviser facits fra lærebogen. Givet disse vanskeligheder, er det naturligt at overveje, om skolefaget overhovedet bør tilstræbe autentiske arbejdsmåder og tankegange i naturfagsundervisningen. I de følgende afsnit vil jeg søge at give både principielle overvejelser og praktiske konkretiseringer, hvad angår forholdet mellem skolefag og videnskabsfag.

## Forholdet mellem Real Science og naturvidenskab i skolen – principielle betragtninger

Vi har nu - i hvert fald i grofttegnet kontur - et billede af *how science works*. Er dette så ikke idealet for naturfagsundervisningens processer, altså *how school science should work*?

Det principielle svar må her være et ubetinget nej! Der er ingen nødvendighed i at overføre autentiske naturvidenskabelige processer og praksisser til undervisningen. Naturfag og naturvidenskab er nemlig i bund og grund helt forskellige ting! Både forskning og undervisning er menneskelige aktiviteter af så stor vigtighed, at der er bygget samfundsmæssige institutioner omkring dem. Der er visse lighedspunkter mellem de to institutionelle aktiviteter, for eksempel er *viden* omdrejningspunktet og ofte det væsentligste produkt i begge sammenhænge. Tilsvarende kan man i begge tilfælde meningsfuldt tale om *produktet* af aktiviteten, de *processer* som direkte influerer produktet, og den *socialle praksis og organisering* som processerne er indlejret i. Vigtigere end disse lighedspunkter er der dog dén helt afgørende forskel: De to institutioner

retter sig imod fundamentalt forskellige overordnede mål. Målet med institutionaliseret akademisk naturvidenskab er først formuleret af amerikaneren R. Merton, som lagde grunden til videnskabssociologien. I optakten til essayet *The normative structure of Science* fra 1942 fastslår han, at naturvidenskabens institutionelle mål er "at udvide området for certificeret viden". Indenfor den senere udviklede *techno-science* er institutionaliseringen svagere og målet at generere såkaldt Modus 2-viden, hvilket væsentligst betyder, at ny viden skabes med anvendelse og konkret problemløsning for øje. Samlet kan man vel sige, at naturvidenskab sigter mod at *skabe* viden og problemløsninger, mens undervisningen handler om, at eleverne *tilegner* sig viden m.m. og evt. formes gennem denne tilegnelsesproces. I formålsparagraffen for folkeskolen (§1, stk. 2) er det nærmeste man kommer videnskabelse, at man stræber efter at etablere "rammer for oplevelse, fordybelse og virkelyst, så eleverne udvikler erkendelse og fantasi og får tillid til egne muligheder". Disse træk kunne for så vidt være nyttige nok i forbindelse med vidensgenerering, men i sammenhængen knyttes de til elevernes evne til selvbestemmelse og medbestemmelse. Det anderledes sigte fremgår også af den nye gymnasie-lov, hvor man taler om at udvikle kompetencer i videnstilegnelse (§1, stk. 3, studiekompetence) og om at udvikle en formal dannelse i form af kreativitet, innovationsevne og kritisk sans (§1, stk. 4). Naturfagene er altså indlejret i en anden type institution end naturvidenskab og har et helt andet sigte, hvilket gør, at man principielt ikke bør forlade sig på en *nedslivningsmodel*, hvor skolefagene automatisk designes som mindst muligt fortyndede versioner af, hvad forskerne har tænkt og gjort.

Denne pointe kan forekomme banal, men en nylig undersøgelse blandt gymnasielærere viser, at den langt fra er det. Gymnasiet er qua sin placering mest indlysende udsat for nedslivningstænkning. Ydermere er gymnasiets naturfagslærere via deres egne studier socialiseret så kraftfuldt ind i videnskabsfaget, at de bevidst eller ubevidst bidrager til at udviske distinktionen. En sådan tendens så vi i hvert fald, da vi (Andersen & Krogh, 2009) undersøgte gymnasielæreres opfattelse af fag og undervisning i optakten til gymnasiereformen i 2005. Her stillede vi ét eksplicit spørgsmål om opfattelsen af videnskabsfaget, mens et andet gik direkte på forholdet mellem videnskabsfag og skolefag. 40% af lærerne fra naturfagene svarede med henvisning til skolefaget, når de blev spurgt om videnskabsfaget, og da de senere blev fastholdt på at reflektere over en eventuel forskel på de to, fastholdt 50% af lærerne, at der, hvad angår "essensen, er tale om det samme". Kun cirka 1/5

fremførte argumenter for en væsensforskel. Tendensen til udviskning varierede dog kraftigt henover fagrækken: Cirka 80% af biologerne i samplet så denne essentielle lighed - typisk med henvisning til, at *"de samme metoder anvendes"*. Modsat var der for langt de fleste matematiklærere i undersøgelsen signifikant forskel, primært fordi de opfattede skolefaget som simpelt værktøjsorienteret og dermed fjernt fra den udforskning, som de anså karakteristisk for videnskabsfaget.

Forholdet mellem (processer i) naturvidenskab og naturfag bør altså ikke være en bevidstløs spejling eller den mindst mulige fortynding af naturvidenskab. Naturfag er (som andre fag) en sammensmeltning af det samfundsmæssigt ønskværdige med elevernes mulighedshorisonnt indenfor det givne vidensområde. Det betyder, at det er fagets (ud)dannelsesopgave og elevernes udviklingszoner, der styrer, om der kan og skal arbejdes metodeautentisk på alle punkter, om man i stedet skal udvælge specifikke aspekter til eksemplarisk undervisning eller om man i nogle situationer er bedst tjent med at bringe tilpassede (u-autentiske) processer i spil. I det perspektiv er det relevant og lærerigt at studere tidligere forsøg på meningsfuldt at placere naturvidenskabens metoder centralt i skolens undervisning.

## Rationaler for og erfaringer med autentiske naturvidenskabelige processer i undervisningen

Der har i tidens løb været en række argumenterede forsøg på at bygge naturfagsundervisning op omkring autentiske naturvidenskabelige processer. I det følgende vil jeg kort omtale rationaler og erfaringer fra et spektrum af bestræbelser. Alle repræsenterer de et bud på, hvorledes bestemte begrundelser og elevforestillinger kan realiseres i et fokuseret arbejde med afstemte dele af naturvidenskabens metoder.

### **Forstandens videnskabelige vaner**

For Dewey var naturvidenskab drivkraften i samfundet og det ultimative middel i (noget nær al) uddannelse (Shamos, M. H., 1995). Han så det som en af skolesystemets vigtigste opgaver at udvikle logisk, kritisk tænkning og holdninger i overensstemmelse med naturvidenskabens. Naturfagene og deres arbejde med naturvidenskabelig metode var omdrejningspunkt i en sådan bestræbelse:

*En ny slags forstand er gradvis ved at udvikle sig under indflydelse af videnskabelige metoder”.*

*”Den egentlige udfordring for intellektuel uddannelse er forvandlingen af mere eller mindre tilfældig nysgerrighed og sporadiske antagelser til en indstilling præget af vågen, varsom og grundig undersøgelse”.*

*”Videnskabelig metode er i sin mest omfattende og intelligente betydning selve begrundelsen for undervisning i naturfag. Og dannelsen af videnskabelige vaner burde være hovedmålet for naturfagslærere i gymnasiet. Videnskabelig metode er i sin mest omfattende betydning mere end blot spørgsmål om måleteknik, manipulation og eksperimenteren. Der kan være perioder i uddannelsen af videnskabelige specialister, hvor dette for en tid bliver et formål i sig selv. Men i sekundær uddannelse (secondary education - svarende til 8. klasse og op efter) fastsættes deres værdi og dermed også deres grænser af det omfang, hvormed de medvirker til at skabe og udvikle logisk tænkning og intellektuelle vaner”.*

For Dewey er naturvidenskabelige metoder i undervisningen først og fremmest et middel til at generere en slags formel dannelse, som alle bør have andel i, og som anses for at være alment anvendelig. I folkeskolen og ungdomsuddannelserne bør arbejdet med naturvidenskabelige indstillinger og rationalitetsformer gå forud for naturvidenskabelig (specialist-)viden.

*”Videnskaben lever ikke op til sit ansvar, hvis den alene anvender metoder, hvis hovedformål er forevigelsen af specialiserede videnskabelige discipliner, og dermed forsømmer at hjælpe det store flertal med at tilegne sig den fordomsfrihed, intellektuelle integritet, iagttagelsessevne og interesse i at afprøve holdninger, som kendetegner den videnskabelige indstilling (scientific attitude). At fremme denne intellektuelle indstilling burde være hovedmålet for alle forelæsninger om alle emner”.*

Videnskabshistorikere med flere vil nok mene, at Dewey idealiserer naturvidenskaben med sin karakteristik af naturvidenskabelige indstillinger (*scientific attitudes*). I mange situationer har naturvidenskabsmænd vist sig ikke at leve op til sådanne ideale kriterier, og man vil sagtens kunne bestride, hvorvidt de fleste af trækkene i særlig grad kan knyttes til naturvidenskaberne. Deweys forestillinger om *”Progressive Education”* med udvikling af kritisk, social engageret intelligens som mål vedbliver at være en inspirationskilde (for eksempel



erfaringspædagogik og projektpædagogik), men på den store skala blev de aldrig realiseret. Den samme grundlæggende tro på, at naturvidenskabelige rationalitetsformer kan øge ens evne til medbestemmelse, genfinder man i moderne *Scientific Literacy*-orienteringer, for eksempel hvor evnen til at argumentere med naturvidenskabelige belæg (for eksempel det engelske IDEAS-projekt ved J. Osborne et al, 2002) eller evnen til at drage evidens-baserede slutninger (for eksempel OECD's PISA-definition af scientific literacy).

### **Child-as-scientist**

Udtrykket er en fællesbetegnelse for nye statsinitierede curriculuminitiativer, som opstod i kølvandet på Sputnik-chokket i 1957 i primært USA og England. Disse curricula var i vid udstrækning drevet af et ønske om at sikre den vestlige verden flere og mere kompetente naturvidenskabsfolk, så naturligt nok kunne naturfagsundervisningen i skolen ikke ligne den ægte vare for meget, og logisk nok blev de nye curricula i vid udstrækning designet af naturvidenskabsfolk fra universitetsmiljøer (for eksempel fysikforskere fra MIT). Fælles for rækken af curriculuminitiativer er deres samtidige vægtlægning af naturvidenskabelige processer og centrale principper i naturvidenskabens vidensstruktur. Eleverne skulle selv foretage undersøgelser, efter velbeskrevne naturvidenskabelige procedurer og med et snævert fokus på bærende naturvidenskabelige begreber og love. Denne *science-for-scientists*-læreplan blev aldrig en succes med større elevgrupper, for som det hedder i henholdsvis underviser- og designertilbageblik i en amerikansk fysiklærerforenings 50-års jubilæumsskrift: "*Det var hårdt*" og "*[det] forudsatte, at både lærere og elever tænkte sig om*". Det svære var udvidelsen fra at tænke i fysik, til også at tænke om fysik og som fysikere.

### **Autentisk naturfagsundervisning**

Begrebet blev (re)lanceret med W. M. Roths bog *Authentic School Science* fra 1995. Fokus er nu ikke primært at (gen)opdage naturvidenskabens principper, men at engagere eleverne i genuin og åben udforskning analog til videnskabsmandens. Undersøgelsesprocesserne, ikke forsøgsresultaterne, er det væsentlige. Denne orientering matcher tidens spirende kompetencetænkning, og udtrykker tillige et ønske om at tegne et retvisende billede af naturvidenskabelig aktivitet og epistemologi. Eleverne lærer derved også noget om naturvidenskab. Det er i højere grad en kulturelt begrundet almindelse end en formal dannelse, som er målet med denne udlægning af det autentisk naturvidenskabelige. Herhjemme er konceptet først og fremmest realiseret af

J. Dolin m.fl. i gymnasieprojekt *Autentisk Fysik* (J. Dolin et al, 2001). Omdrejningspunktet for dette projekt var elevernes arbejde med selv at fysikalisere problemstillinger, designe undersøgelser og analysere resultaterne frem mod en (oftest) *empirisk-matematisk beskrivelse*. Problemstillingerne for elevernes arbejde var valgt, så der virkelig var tale om åbne undersøgelser - ofte i situationer, hvor lærerne i mangel af facits selv måtte skaffe sig et ståsted via egne naturvidenskabelige undersøgelser. Dette ekstra autentiske aspekt kan måske samtidig ses som projektets svaghed, idet det ofte ikke var muligt (og da slet ikke for elever) på simpel vis at konstruere forklaringer på de observerede empiriske sammenhænge. Naturvidenskabens forklarende aspekt blev således nedtonet til fordel for matematisk-empirisk beskrivelse. Eleverne arbejdede i samme grupper over længere tid, men parallellerne til forskerteams og naturvidenskabens sociale praksis blev ikke ekspliciteret. Ved evalueringen efter det toårige interaktionsforløb kunne man blandt andet konkludere, at den implementerede undervisning fastholdt interessen hos eleverne bedre end traditionel undervisning.

## Rekapitulation

Børns begrebsudvikling ligner på mange måder naturvidenskabens historiske udvikling. R. Driver startede bølgen af forskning i børns hverdagsforestillinger i sluthalvfjerdserne, da hun skiftede sit forskningsfokus fra generelle tankemønstre til børns tænkning omkring et konkret indhold. Pludselig blev det synligt, at børn konstruerer teorier på basis af og til nytte for deres ageren i hverdagen. Disse teorier var ofte lokale og afvigende fra nutidige naturvidenskabelige teorier på området, men typisk havde de væsentlige træk fælles med tidligere naturvidenskabelige teorier. Ved tilstrækkelig udfordring (kognitiv konflikt) kunne teorierne endda på revolutionerende vis skiftes ud til fordel for mere dækkende beskrivelser. Disse indsigter tilsammen gav en fornemmelse af, at børns teoriudvikling omkring bestemte fænomener mere eller mindre følger naturvidenskabens. Som udtryk for denne tendens blev hverdagsforestillingerne bl.a. betegnet *childrens' science*. En umiddelbar pædagogisk konsekvens af denne rekapitulations-hypotese var at udvikle børnenes forståelse af nutidens naturvidenskab med udgangspunkt i videnskabshistorien. I en dansk kontekst har der aldrig været udviklet et pensum på dette grundlag, men ideen var en del af inspirationsgrundlaget, da man for eksempel indførte den såkaldte *historisk-filosofiske dimension* som en del af gymnasiets fysikundervisning i 1988-reformen. De mest ambitiøse internationale projekter baseret på en tilsvarende tankegang blev i realiteten

udviklet ved Harvard i USA, i øvrigt under medvirken af den senere så kendte videnskabshistoriker T. Kuhn. Et par tiår senere konstaterer en anden af de centrale ophavsmænd (L. Klopfer), at tiltagene ”*kun har sat sig få spor i naturfagsundervisningens landskab*”.

De anførte eksempler viser, hvorledes arbejdet med naturvidenskabens metoder i vekslende grad har oprådt som mål henholdsvis som middel for naturfagsundervisningen. Begrundelserne har varieret fra rekruttering, over faglig læring og kulturelt begrundet naturvidenskabelig dannelse til formal almendannelse, som vist i Tabel 1.

	<b>Primær begrundelse</b>	<b>Målgruppe</b>	<b>Fokus</b>
<i>Scientific habits of mind</i>	Formal, almen dannelse	Alle – uanset niveau	Generelle tænkemønstre (logik), evne til at håndtere evidens (evt. argumentation), undersøgende indstillinger.
<i>Child as scientist</i>	Rekruttering	Alle – der sker alligevel udttynding i pipelinen til naturvidenskab	Begrebsstyret undersøgelse med struktureret empiriindsamling. Lukket epistemologi/få frihedsgrader.
<i>Autentisk naturfag</i>	Almendannelse, læring om (og i ) naturvidenskabelig processer	Alle (gymnasie-niveau)	Empirisk-matematisk modelleringskompetence. Åben epistemologi/Flere frihedsgrader.
<i>Rekapitulation</i>	Læring (begreber, metoder)	Alle – uanset niveau	Naturvidenskabelige begrebers og metoders udviklingshistorie som stillads for elevers læring.

Ingen af disse tilgange leverer fuldstændige beskrivelser af naturvidenskabens praksis, for eksempel er naturvidenskab som social praksis stort set et mørkt hul i dem alle. Kun Deweys *scientific attitudes* overlapper med lidt god vilje i nogen grad med dele af normsættene for naturvidenskab. Child-as-scientist-programmet er som det eneste afprøvet i større systemisk skala, og var vel næsten dømt til at mislykkes ved at insistere på en alt for bred målgruppe. Selvom de øvrige koncepter ikke rigtig er blevet afprøvet i større skala, synes de alle at have et potentiale hvad angår naturfagsundervisning

orienteret mod brede elevgrupper. I den forstand dokumenterer de, at det giver mening at tilstræbe at arbejde med autentiske aspekter af naturvidenskab i naturfagsundervisningen. Omvendt har vi med *child-as-scientist*-redegørelsen set, hvorledes elevernes udviklingszoner sætter grænser for, hvor ambitiøst man kan arbejde med naturvidenskabelige metoder i forhold til den brede elevgruppe. Dette forhold vil blive udfoldet i det følgende.

## Kan børn håndtere naturvidenskabelige metoder?

Hvad angår de videnskabelige indstillinger, er de (ifølge Dewey) forbundet med *"vågen, varsom og grundig undersøgelse"*. Nysgerrighed og evnen til at undres over det usædvanlige må anses at være den altafgørende naturlige drivkraft bag opmærksom og påpasselig udforskning. Grundlæggende er der indenfor psykologisk forskning i nysgerrighed almindelig enighed om, at børn er i besiddelse af både en informationssøgende (*scientific* i epistemologisk forstand) og en erfarings-/sensesøgende nysgerrighed i deres tidligste år. Børns udforskning af deres nære omverden sker i deres første år via *tinke- ring*, hvor de afprøver små variationer af kendte temaer eller tester nye stimuli via allerede kendte teknikker (for eksempel ved at putte tingene i munden). Der er noget systematisk og agtpågivende over denne udforskning. Denne tidlige tendens til naturvidenskabelig nysgerrighed synes imidlertid ofte at forsvinde eller tørre ind inden mødet med formel undervisning.

En række af de naturvidenskabelige indstillinger, som Dewey og andre har fremhævet (for eksempel fordomsfrihed, personlig integritet, ærlighed osv.) er af en sådan karakter, at de efter al rimelighed falder udenfor den faglige undervisnings område. Andre derimod (for eksempel kritisk sans, respekt for evidens, evnen til at stille spørgsmål) *kan* gøres til genstand for undervisning og forekommer tillige særdeles relevante.

Disse nedslag indikerer, at det er muligt at fremme, hvad man kunne kalde en undersøgende tilgang (nysgerrighed, naturvidenskabelige indstillinger i bredere forstand) på et tidligt tidspunkt i skolesystemet.

## Børn som naturvidenskabelige tænkere?

I et nyligt review *In what sense can the child be considered to be a "Little Scientist"?* konkluderer Brewer blandt andet sin nuancerede udredning med ordene: *"Børn laver teorier, der kvalitativt ikke er meget anderledes end dem,*

*videnskabsfolk laver*” (Duschl og Grandy, red., 2008). En del af grundlaget for konklusionen hviler på moderne udviklings- og hjerneforskning. En række undersøgelser peger her på overordnede og kvalitative ligheder mellem børns teorier og naturvidenskabens, mens andre mere specifikt for eksempel godtgør, at børn i folkeskolens små klasser er i stand til at evaluere teorier efter konsistens, empirisk akkuratess og tilsvarende naturvidenskabelige kriterier. Mest radikalt omtaler Brewer undersøgelser, som godtgør, at børn helt ned til 1-2-års alderen udviser nysgerrighed, udvikler og revurderer teorier og udfører systematisk eksperimenteren. Der synes således at være et tidligt potentiale for naturvidenskabelige tænkemåder m.m.

Men selv om børn formår at udvikle, afprøve og revurdere teorier på måder, som kvalitativt ligner naturvidenskabens, betyder det ikke nødvendigvis, at deres etablerede tankegange og videnstruktur modsvarer naturvidenskabens. Børnene er henvist til at hente deres tænkeindhold ud fra deres hverdagsbundne og personlige erfaringer, i perioder forstærket af det ego-centriske personlige perspektiv, som er en del af børns udvikling. En række forskere har påpeget, hvorledes netop hverdagslivets opsamling af kontekstrige erfaringer med fokus på nytteværdi begunstiger konkrete, kontekstuelle, induktive, episodiske og associative træk ved børns tænkning og forestillinger. Formuleret med en grov computer-analogi kan processoren kun arbejde med de (begrænsede) input, den får. Derfor forekommer det kun logisk, at K. Paludan i sin bog *Videnskaben, Verden og Vi* (K. Paludan, 2000) finder de modsætninger mellem træk ved børns befæstede tankemønstre og træk ved naturvidenskabens tankemønstre, som fremgår af Tabel 2.

<b>De unges hverdagstænkning vs. naturvidenskabelig tænkning</b> (Paludan, 2000)	
Antropocentrisk	Decentreret
Antropomorfistisk	Dehumaniseret
Finalistisk	Mekanisk-kausal
Konkret	Abstrakt
Kontekstuel, lokalt logisk	Generaliseret
Induktiv	Deduktiv
Episodisk	Kvantitativ, statistisk, analyserende
Holistisk	Reduktionistisk
Associativ	Taksonomisk

**Tabel 2**

Når børnene tropper op i naturfagslokalet, er der således afgørende forskelle mellem deres etablerede tankegange og den etablerede naturvidenskabs. Man kan prøve at tackle problemet på to niveauer: Curriculum-designeren kan beslutte sig for, at visse af naturvidenskabens autentiske træk holdes væk fra eller nedtones i naturfagsundervisningen. I curriculum for de mindre klasser og almindennende naturfagsundervisning i det hele taget vil det for eksempel være naturligt at nedtone abstrakte, deduktive, kvantitative og dehumaniserende elementer. Alternativt kan læreren på det pædagogiske niveau tackle forskellen ved som *culture broker* at gå ind og eksplicitere og begrunde uundgåelige forskelle, samt sikre eleverne en oplevelse af, at naturvidenskabens måder har deres særlige nytteværdi.

Et andet blik på elevernes muligheder for at håndtere naturvidenskabelige tænkemåder får man via den kortlægning af epistemologisk tænkning hos engelske elever i alderen 9-16 år, som Driver m.fl. har foretaget (R. Driver et al 1996). Forfatterne sammenfatter væsentlige dele af deres forskning i beskrivelsen af tre forskellige ræsonnementsformer: En fænomen-baseret, en relations-baseret og endelig en model-baseret ræsonnementsform. Den relations-baserede form ser naturvidenskabelig undersøgelse som observation og manipulation af specifikke fænomener. Indenfor den relations-baserede form er det afgørende at finde sammenhænge mellem variabler via fair tests og kontrollerede forsøg. Endelig forbindes naturvidenskabelig undersøgelse i den model-baserede tænkning med teori-/model-evaluering og en bevidsthed om, at model og virkelighed er principielt forskellige ting. Undersøgelsen konkluderer, at fænomen-baseret tænkning dominerer blandt børn under 12 år. I aldersgruppen fra 12-16 år dominerer så en relations-baseret tænkning, mens andelen af model-baserede tænkere øges gradvist uden at dominere på noget alderstrin. Forfatterne anfører hertil: *"På denne baggrund anser vi, at de fleste skoleelever ikke er blevet tilskyndet til at anvende eksplicitte modelbaserede ræsonnementer"*. Udviklingen ses derfor ikke ensidigt som et udtryk for en biologisk udviklingslinje (à la Piagets stadieteori), men i lige så høj grad som et resultat af træning og eksplicitte undervisningstiltag i en for barnet passende udviklingszone. Undersøgelsen giver samtidig et godt bud på, hvor udviklingszonen typisk starter for de undersøgte aldersgrupper.

Som tidligere omtalt er naturvidenskabens hovedærinde at generere forklaringer. Drivers ræsonnementsformer giver også her et interessant indblik i børns tænkning omkring og brug af forklaringer. I den fænomen-baserede

form er der oftest ingen skelnen mellem beskrivelse og forklaring. Naturvidenskabens præference for kausale forklaringer må nødvendigvis få det svært her. Forklaring handler om at sammenkæde naturvidenskabelige størrelser (observerede, konstruerede), enten kausalt eller via matematisk-empirisk generalisation – det forudsætter altså som minimum en relations-baseret tænkning. Under 25% af de 16-årige håndterer forklaringer, hvori der indgår ikke-observerbare teoretiske størrelser, og samme moderate andel anerkender, at der kan være multiple forklaringer på et bestemt fænomen (træk ved den model-baserede form). Driver et al's undersøgelse giver således en fornemmelse for, på hvilket niveau man kan starte arbejdet med naturvidenskabelig forklaring.

En sidste vigtig naturvidenskabelig tankegang består i at drage slutninger ud fra naturvidenskabelige belæg i form af evidens-baserede slutninger eller i mødet med argumentation. J. Osborne (J. Osborne et al, 2005) har argumenteret for, at netop denne tankegangskompetence er det vigtigste mål for en almindelig naturfagsundervisning. Med konkrete undervisningsmaterialer og videoklip fra undervisning af elever på 11-14 år har disse folk tillige dokumenteret, at denne aldersgruppe kan lære at argumentere i den forstand, som S. Toulmin netop betegner som naturvidenskabelig (S. Toulmin, 1958).

Også her peger udredningen på, at der er mulighed for og perspektiv i at arbejde med autentiske aspekter af naturvidenskab; her i form af tankegange. Arbejdet skal blot afstemmes i karakter og ambition efter bl.a. ovenstående pejlemærker.

### **Den sociale praksis**

Jeg har tidligere forfægtet, at naturvidenskab som institution er noget andet end undervisning. Alligevel er det en overvejelse, om man meningsfuldt vil kunne overføre eller simulere dele af dens sociale organisation og praksis. Da dette aspekt er et af de mørke huller i metodelandskabet, vil jeg undtagelsesvist forsøge at antyde, hvordan elementer af den sociale praksis kan indføres i undervisningen. Pædagogisk er det absolut farbart at opdele klasser i stabile teams af naturfagsforskere, som arbejder på at undersøge og/eller problemløse åbne problemstillinger. Dermed genererer grupperne reelt ny viden og nye bud på problemløsning, hvorved deres mål og organisation bliver analog til moderne naturvidenskab. Internt i naturfagsforskergruppen

diskuterer eleverne selvfølgelig løbende og forbereder sig på at drage ud i verden for at dele deres viden, for eksempel via artikler, præsentationer og plakater. Delingen er dialogisk og giver dem samtidig mulighed for at efterprøve og udvikle deres forståelser, for eksempel via workshops i matrixgrupper, via feedback fra peers/reviewere osv. Der er tale om velkendte pædagogiske elementer blot organiseret i en slags *gameplay*, som langt hen ad vejen modsvarer naturvidenskabens praksis, og som læringsteoretisk trækker på Wengers praksislæring (x. Wenger, 1998). Med lidt iscenesættelse kan en sådan undervisning realiseres allerede i natur/teknik-undervisningen. I første omgang vil der opbygges en tavs viden om, hvorledes naturvidenskaben arbejder, som så senere i skoleforløbet vil kunne ekspliciteres, for eksempel via *meta-breaks*, hvor man diskuterer, hvad der gør den ene gruppes resultater mere tillidsvækkende end andres, hvilken status en evt. bedste model har (sandhed eller intersubjektiv) og åbenbarer, hvorledes klassens arbejdsform bevidst efterligner (dele af) naturvidenskabens arbejdsformer. I den sidste ende vil elevernes egne oplevelser og processer med at generere viden kunne bruges som afsæt for videnskabsteoretisk diskussion af en karakter som i gymnasiets (stx's) Almen Studieforbereelse. Interesserede kan evt. selv overveje, hvilke roller den stilladserende lærer mest hensigtsmæssigt kan udfylde i det science-autentiske game-play.

### **Den akademiske naturvidenskabs normsæt CUDOS har kun delvis pædagogisk anvendelighed:**

***Communism*** – betyder at resultater deles.

***Universalism*** – betyder blandt andet at alle (uanset race, køn m.m.) kan bidrage til projektet. Dette inkluderende træk er pædagogisk attraktivt. Universalism betyder også, at den viden, som man lægger vægt på, er af universel og generel karakter. Dette træk kan man blive nødt til at balancere i de mindre klasser.

***Disinterestedness*** – det naturvidenskabelige ideal er her, at man ikke må være styret af interesser, men skal forholde sig objektivt og neutralt til tingene. I en pædagogisk sammenhæng er det et problematisk træk, idet vi normalt drømmer om at skabe en naturfagsundervisning, som opleves personligt relevant og involverende for eleverne. Via diskussioner omkring socio-naturvidenskabelige problemstillinger, rollespil og bestemte rapporteringsgenrer er det muligt at bearbejde dette umiddelbare modsætningsforhold.

***Organized Scepticism*** – henviser til naturvidenskabens institutionaliserede måde at sikre validering af den genererede viden og har sit pædagogiske

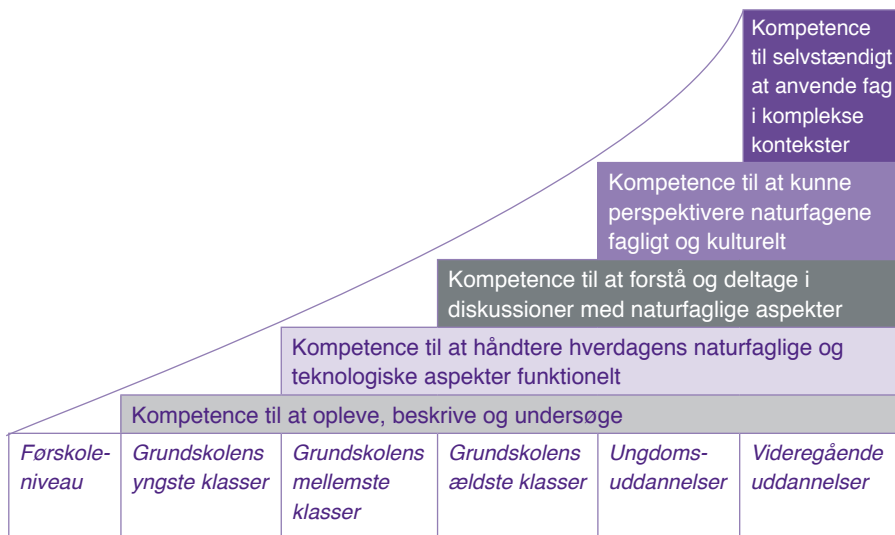


modsvaret for eksempel deling af resultater med responsgivning, reviewing, matrixgrupper osv.

## Et forsøg på at få det hele til at hænge sammen

Jeg har (på noget stakåndet vis) søgt at indkredse, hvad man efter tidens standard kan forstå ved naturvidenskabelige metoder. Senere har jeg demonstreret, hvorledes forskellige begrundelser kan føre til meget forskellige og dog meningsfulde match mellem specifikke autentiske aspekter og eleverne. Endelig har jeg diskuteret, hvorledes elevernes mulighedshorisont på forskellig vis spiller med og mod autentiske naturvidenskabelige arbejdsformer og tankegange i naturfagsundervisningen. Afslutningsvis vil jeg skitsere, hvorledes mit eget foretrukne match ser ud.

Mit ærinde her og nu vil være at udvælge autentiske naturvidenskabelige metoder og indstillinger, som eleverne kan håndtere og som uden scientifikke overtoner kan argumenteres at tilgodese *elevernes autonomi og evne til selvbestemmelse og medbestemmelse*. Der er altså tale om et science-for-all-udvalg med et klart almindeligt sigte. Som vi har set tidligere, findes disse i forskellige varianter, og for mig at se vil det være tjenligt at mikse formaldannende (visse Habits of mind) elementer med demokratisk og kulturelt begrundede elementer. For at tilgodese elevernes udviklingszoner vil jeg selvfølgelig placere elementerne i en progression, bl.a. afstemt efter de pejlemærker som et foregående afsnit etablerede. En ekstra inspirationskilde for mig er også den udredning af naturfaglige kompetencer på langs i uddannelsessystemet, som jeg var med til at lave som *Inspiration til Fremtidens Naturfaglige Uddannelser* (J. Dolin et al, 2003). Kompetencebeskrivelsen havde dengang samme almindelige udgangspunkt, og blandt de faglige processer gik vi bl.a. i større detalje med empiri- og modelleringskompetencerne. I det omfang der arbejdes videnskabsautentisk, modsvarer de faglige kompetencer naturvidenskabelige processer og metoder. Derfor er det relativt nemt at drage elementer fra udredningen ind her. Væsentligst er det muligt at genbruge den progression, som vi dengang etablerede (se Figur 1).



**Figur 1**

Progressionen integrerer umiddelbart tre udviklingslinjer: Stigende kompleksitet i anvendelsen af viden, udvikling i brugen af repræsentationsformer og en udvikling i børnenes orientering fra den nære omverden til stadig fjernere og mere abstrakte verdener.

Med denne progressionstænkning som rygrad (venstre kolonne i Tabel 3) ville jeg bygge arbejdet med autentisk naturvidenskabelige metoder op med følgende indhold og progression:

MÅLET				
Kompetence til demokratisk deltagelse på et informeret, naturvidenskabeligt grundlag	Kritisk sans Ansvarlighed	Samfunds- autentiske undersøgelser	Relationsbaseret tænkning mere generelt: - Anvende modeller til forklaring - Argumentation - Evidensbaseret beslutningstagen - Ekspertér, info- søg- ning og kildekritik	Organized scepticism: Hvordan man bruger ekspertér rigtigt? Hvor finder man dem? Flere er bedre end én. Er de enige? ...
Kompetence til at kunne perspektivere naturfagene fagligt og kulturelt	Bevidsthed om naturvidenskabens begrænsninger  Empati med menneskets grundvilkår (Empathy for the human condition, Bronowsky 1978)	Ekspertimentelt science-autentiske undersøgelser (åbne spørgsmål, team-basering, deling af resultater og inter-subjektiv efterprøvn- ning)	Modelbaseret / bygge modeller / modellering Trin 1 : Matematisk-empirisk modellering Trin 2: Modeller, forholdet mellem model og virkelighed	Metablik på hele den epistemiske og sociale praksis  Eksplitering af (dele af) det videnskabssteoretiske grundlag

Tabel 3

METODEASPEKT					
	Naturvidenskabelige indstillinger (scientific attitudes)	Praktiskundersøgende processer/ empiri- og produkt-genererende	Tankegange/ teori-genererende fortolkning	Social praksis	
<b>MÅLET</b>	Kompetence til at opleve, beskrive og undersøge	Nysgerrighed	Sans-observer-spørg Klassificér	Fænomenbaseret beskrivelse	Communism: Fællesskab om undersøgelse og deling af resultater
	Kompetence til at håndtere hverdagens naturfaglige og teknologiske aspekter funktionelt	Kreativitet Systematik Løsningsrettedhed	Person-nære undersøgelser: - Led efter årsager - Læs-og-søg - Trial-and-error - Fair-test/ variabelkontrol	Relationsbaseret tænkning mellem observerbare størrelser: Hvilke faktorer påvirker mon mit design ..? Vil det mon hjælpe at ændre på ...? - Ansætter til eksperimentel strukturering - Identificere spørgsmål, som kan underkastes naturvidenskabelig undersøgelse - Evidens som belæg	Communism: Bygge brugbart på basen af etableret viden  Organized scepticism: For eksempel institutionaliseret via patentkontor på Klasseplan (i forbindelse med produkt- og løsningsafprøvning)  Commissioned: Brugbare løsninger bestilles

Man kan se, hvorledes væsentlige pointer fra det foregående er indlejret i Tabel 3: Naturvidenskabens metoder handler ikke kun om praktisk-eksperimentel undersøgelse, men ligeså vel om teori- og forklaringsgenererende interpretation, knyttet til en bestemt naturvidenskabelig praksis og præget af mere eller mindre naturvidenskabelige indstillinger. På niveau 3 er det praktisk-eksperimentelle islæt således kraftigt nedtonet i forhold til arbejdet med at forbinde empiri med forklaringer, argumentation og beslutningstagen. Bemærk også, at i særdeleshed niveau 2 inkorporerer aspekter af moderne tekno-naturvidenskab, som opdragsbåret (*Commisioned*) generering af løsninger, patenter og produkter. Tabel 3 antyder også, at det giver mening at arbejde med dele af naturvidenskabens praksis på alle niveauer, men kun på niveau 4 anses det for nødvendigt at gøre dette arbejde eksplicit for eleverne, det vil sige italesætte og tydeliggøre, hvad man har gang i og hvorfor.

## Afsluttende perspektivering

Jeg håber at have argumenteret for, at en almindende naturfagsundervisning både kan og bør omfatte arbejde med naturvidenskabens metoder. Ikke fuldstændigt, ikke ukritisk, men afstemt efter, hvad elever på bestemte klassetrin kan håndtere og vil kunne relatere sig til. Til rette tid og i fokuseret forstand må eleverne således gerne trænes i og selv kunne bruge autentiske naturvidenskabelige metoder. Men: I forlængelse af mit almindende perspektiv er det ikke min bestræbelse at gøre eleverne til små videnskabsmænd. Målet har snarere været her at indkredse elementer af naturvidenskabens metoder, som kan omsættes til bæredygtig undervisning, og som kan styrke den enkeltes evne til at orientere sig og klare sig i et samfund præget af naturvidenskab. I bedste fald opnår eleverne at kende så meget til, hvad naturvidenskab er, gør og kan, at de i deres hverdag ikke skræmmes af naturvidenskabelige problemstillinger og kan forholde sig til/bruge naturvidenskabelige undersøgelser m.m. som basis for at træffe mere kvalificerede beslutninger.

Det er i denne sammenhæng afgørende vigtigt, at man ikke fortegner og trivialisere arbejdet med naturvidenskabens arbejds måder og tankegange til blot at følge en bestemt procedure (den naturvidenskabelige metode). Det er mit håb, at kapitlet her vil kunne åbne for bredere og mere nutidige forståelser af, hvad naturvidenskabens metoder er, samt at det vil kunne inspirere en og anden naturfagslærer til et mere retvisende, mere divers, samtidig også mere målbevidst, arbejde med naturvidenskabelige metoder i under-

visningen. Først og fremmest til gavn for eleverne, men på den lange bane også til gavn for naturvidenskaben. Borgere med en forståelse af, hvordan naturvidenskaben arbejder, udvikler rimeligvis nemmere en forståelse for naturvidenskab. Og personligt er jeg ikke i tvivl om, at et mere rigt og varieret arbejde med naturvidenskabelige metoder også vil indvirke positivt på elevholdningen til naturfagene, så det i den sidste ende kan aflæses på rekrutteringen til naturvidenskabelige og tekniske uddannelser. Der er således rigelig grund til at kaste lys og forandring over et af dansk naturfagsundervisnings relativt mørke huller: I hvilken forstand og hvordan man arbejder med Nature of Science og Scientific Inquiry i undervisningen. Disse termer har i en årække været og er fortsat hot spots for den internationale naturfagsdidaktiske forskning, uden at det har sat sig nævneværdige spor i danske udviklingsprojekter og/eller debatter. Derfor er initiativet bag denne publikation mere end velkomment, og med digteren B. Andersens ord kan man sige: "*Det er på høje tid – det er over tiden... – det er nu eller aldrig!*"

## Referencer

Andersen, Hanne M. og Lars B. Krogh (in press 2009): *Science and mathematics teachers' core teaching conceptions and their implications for engaging in cross-curricular innovations*, (fremsendt april 2009 til Nordina med henblik på publikation).

Bronowski, Jacob (1978): *The Common Sense of Science*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

Dolin J., Lars B. Krogh og R. Troelsen (2003): *En kompetencebeskrivelse af naturfagene*, i Inspiration til fremtidens naturfaglige uddannelser, UVM.  
[pub.uvm.dk/2003/naturfag2/html/chapter03.htm](http://pub.uvm.dk/2003/naturfag2/html/chapter03.htm)

Driver, R., J. Leach, R. Millar og P. Scott (1996): *Young peoples images of science*, Open University Press, Buckingham, UK.

Duschl, R. A. og R.E. Grandy (red.) (2008): *Teaching Scientific Inquiry - Recommendations for Research and Implementation*, Sense Publishers, Rotterdam, Netherland.

L.B. Flick og N. Lederman (red.) (2004): *Scientific inquiry and Nature of Science*, Springer, Netherlands.

Lynning, K. H. (2006): *Den lærde skole*, i Dansk Naturvidenskabs Historie, bd. 3, Aarhus Universitetsforlag, Aarhus.

Paludan, K. (2000): *Naturvidenskaben, Verden og Vi*, Aarhus Universitetsforlag, Aarhus.

Dolin, J. et al (2001): *Autentisk Fysik*.  
emu.dk/gym/fag/fy/inspiration/forloeb/autentisk/index.html

Dolin, J. (2002): *Fysikfaget i forandring*. Læring og undervisning i fysik i gymnasiet med fokus på dialogiske processer, autenticitet og kompetenceudvikling. /IMFUFA-tekster nr. 410, /Roskilde, IMFUFA/RUC

Osborne J., et al (2002): *IDEAS-projekt*, <http://www.kcl.ac.uk/schools/sspp/education/research/projects/ideas.html>

Osborne, J. (2005): *The Role of Argument in Science Education*. In Research and the Quality of Science Education. Ed. Boersma, K. and et al. The Netherlands: Springer.

Paludan, K. (2000): *Naturvidenskaben, Verden og Vi*, Aarhus Universitetsforlag, Aarhus.

Shamos, M. H. (1995): *The Myth of Scientific Literacy*, Rutgers University Press, New Brunswick, NJ.

Toulmin, S. (1958): *The Uses of Argument*, Cambridge: University Press.

Wenger, E. (1998): *Communities of Practice: Learning, Meaning and Identity*, Cambridge University Press.

Ziman, J. (2000): *Real Science*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.