



## Et slag for naturvidenskabelig metode

Sand-Jensen, K.

*Published in:*  
Aktuel Naturvidenskab

*Publication date:*  
2006

*Document version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

*Citation for published version (APA):*  
Sand-Jensen, K. (2006). Et slag for naturvidenskabelig metode. *Aktuel Naturvidenskab*, (1), 30-33.

# Et slag for naturvidenskabelig metode

*Debatterne om tro versus viden og intelligent design har afsløret stor begrebsforvirring helt ind på universiteterne om, hvad teori og videnskab er for noget. Det er vigtigt med en afklaring af begreberne – bl.a. fordi klassisk videnskabelig teori i dag er ved at blive erstattet af modelteori.*

Af Kaj Sand-Jensen

■ For et par år siden løb en langvarig debat i Jyllands-Posten om tro versus viden. Debatten afslørede, at mange danskere ikke ved, hvad naturvidenskabelig viden og videnskabelige teorier er for noget. Mange gav udtryk for den opfattelse, at personlig tro og gode ideer kan ligestilles med eller endog overtrumfe den viden, som gradvist er blevet opbygget over årtier af videnskabsmændene på baggrund af utallige eksperimenter og observationer, og som danner naturvidenskabernes teoretiske fundament.

Ja, faktisk læser mange religiøse personer de hellige skrifter helt bogstaveligt og betragter dem for den højeste form for viden og ikke en mundtlig overleveret og senere nedskrevet beretning udført af mennesker, der levede for 1300-2000 år siden.

Tidligere ville danske naturvidenskabsmænd ikke reagere noget særligt på religiøse syns-

punkter, men blot overlade dem til privatsfæren. Men fordi det religiøse tydeligvis spiller en stigende rolle, og især fordi religiøse synspunkter truer med at brede sig ind over den verdslige verden og endog ind i naturvidenskabernes rige, så er banen blevet kridtet meget tydeligt op i forbindelse med den allersejeste diskussion af intelligent design.

## Behov for kvalificeret vurdering

Det er åbenbart blevet nødvendigt for videnskaben at forsvare oplysningssamfundet og etablere et bolværk mod religionernes spredning ud over deres rimelige interessesfære. Men begrebsforvirringen langt ind på universiteterne har også afsløret et stort behov for dels at kende begreberne og deres rette sammenhæng dels at kunne anvende videnskabelig metode med henblik på at kunne forske og vurdere forsk-

ningsresultater.

I den offentlige debat og i deres daglige arbejde møder mange mennesker forskningsresultater, der skrider på kvalificeret vurdering. Og akademiske medarbejdere i det private og offentlige skal hele tiden rekvirere og implementere faglige udredninger, som bør vurderes efter samme præmisser som videnskabelig forskning.

Så alle akademikere har brug for at kunne vurdere hypoteser, resultater og konklusioner af videnskabelige undersøgelser og varianten heraf, faglige redogørelser.

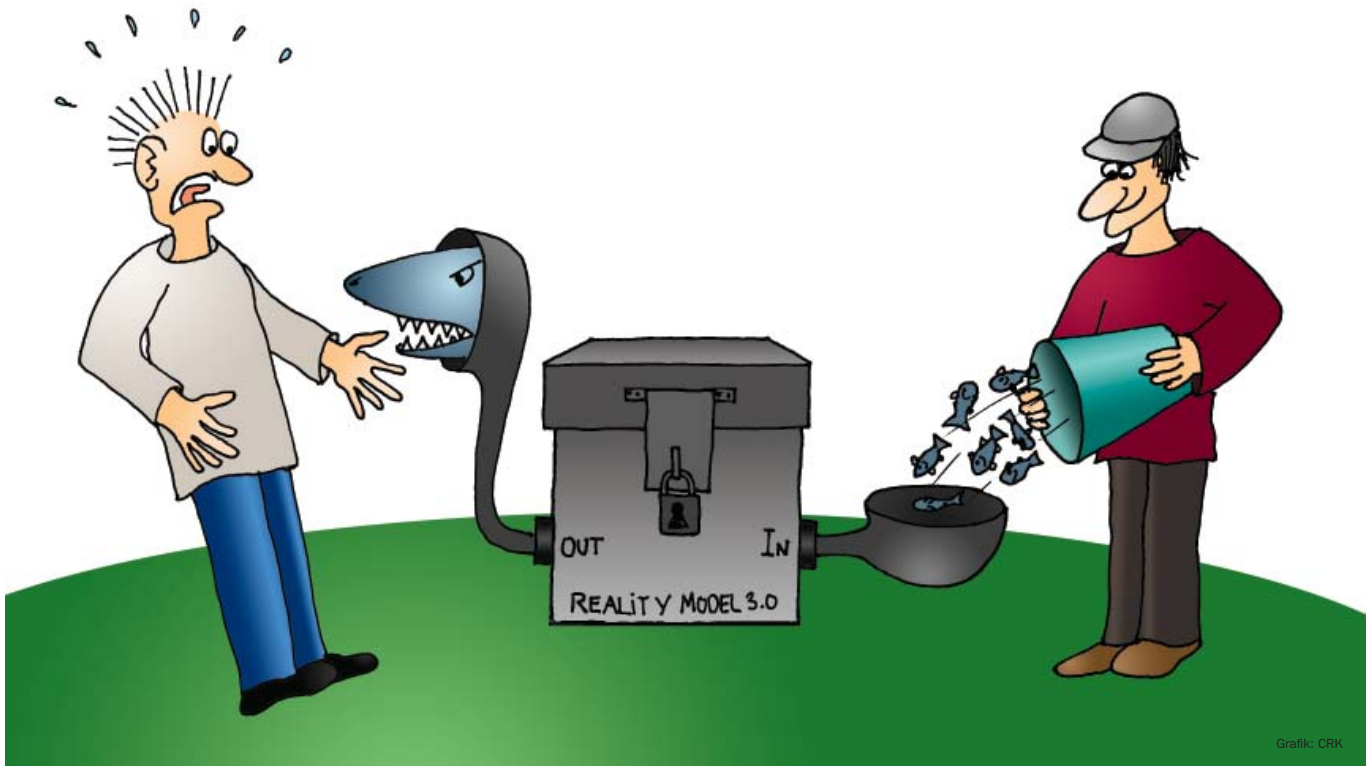
## Videnskabelig metode – den klassiske

Videnskabelige studier kan tage afsæt i uafklarede spørgsmål i en allerede etableret teori, der ønskes testet og videre udbygget. Afsættet kan også være et nyopdaget fænomen såsom en særlig iagttagelse eller en sammenhæng, som litteraturen

ikke umiddelbart kan give svar på. Fænomenet kan stamme fra naturen, et eksperiment eller et datasæt. Mulighederne er mange.

Lad mig give et konkret eksotisk eksempel. For få år siden opdagede svenskeren Christer Brönmark, at karusser i søer enten kan være højryggede eller lavryggede. For at afklare: *hvorfor nogen karusser er højryggede, mens andre er lavryggede?* kan man opstille en systematisk arbejdsplan med et hierarki af hypoteser, forudsigelser, tests og statistisk vurdering af testresultater (Boks 1). Efter endt undersøgelse afsluttes den hierarkiske proces med konklusioner og implikationer. Eventuelt tages nye spørgsmål op og den hierarkiske proces gennemløbes igen fra grunden for gradvis at indsnævre den korrekte forklaring på høj- eller lavryggethed.

Det konkrete karusseksperiment kan give anledning til for-



Videnskaben er i stigende omfang afhængig af modeller, som kun få kan overskue. Modellernes troværdighed bliver således et nøglespørgsmål i fremtiden.

mulering af forskellige alternative hypoteser. Højryggethed versus lavryggethed kunne i udgangspunktet skyldes:

1. arv – der forekommer to adskilte fiskeracer,
2. føde – de højryggede har bedre fødetilgang, eller
3. rovfisk – rovfisk inducerer højryggethed hos karussen.

Det kan være påkrævet at teste alle tre hypoteser. Men det kan også være, at eksisterende viden eller faglige ræsonnementer betyder, at vi indledningsvis kan se bort fra visse hypoteser. Det er altså tilladt at tænke sig om og udelade de vildeste hypoteser for at undgå, at forsøgsmatrixen bliver for stor og uhåndterlig.

Ved opstilling, gennemførelse og vurdering af tests indgår statistisk planlægning af forsøg og indsamlinger som en integreret del. Planlægningen skal sikre uafhængige målinger i et

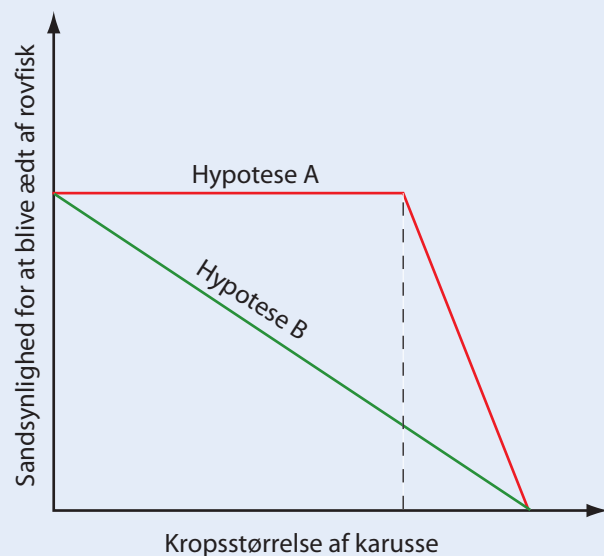
tilstrækkeligt antal, så der kan gennemføres en statistisk vurdering og med rimelig sikkerhed fastslås, at resultaterne ikke skyldes statistiske tilfældigheder, men et reelt biologisk fænomen. Det kan forekomme ganske banalt. Ikke desto mindre forsynder mange videnskabelige studier og næsten alle udredninger af private firmaer sig netop mod dette punkt.

I det konkrete tilfælde viste det sig, at rovfisk udskiller kemiske stoffer, som karusserne reagerer på ved at blive mere højryggede, hvorved rovfiskene får sværere ved at sluge dem. Da højryggethed er forbundet med større energiforbrug til svømning, er karusserne til gengæld lavryggede ved fravær af rovfisk.

### Forskellige hypoteser

Der er tydeligvis sket en udvikling med tiden fra overvejende at teste hypoteser af kvalitativ art til at teste kvantitative og

## To kvantitative hypoteser



To kvantitative hypoteser, der beskriver den størrelsesafhængige predation på karusser af en rovfisk af given størrelse. I kurve A er sandsynligheden for at blive ædt af en rovfisk konstant høj under en given tærskel for karussernes kropshøjde, mens sandsynligheden brat falder til nul over denne tærskel. I kurve B falder sandsynligheden lineært i takt med karussernes kropshøjde.

Teori overbygning	Rovdyr-byttedyr relationer afhænger af fiskenes størrelse og form		
Konklusion og implikation	Rovfisk inducerer højryggethed		
Overensstemmelse med hypotese:	Nej	Nej	Ja
Test af forudsigtelse:	Opmåling	Fødeforsøg	Karusser med/uden rovdyr
Forudsigtelse ifølge hypotesen:	Anatomien er forskellig	Mere føde → Højrygget	Rovdyr → Højrygget Uden rovdyr → Lavrygget
Hypotese:	Forskelle skyldes arv	Forskelle skyldes føde	Forskelle skyldes rovdyr
Ide, spørgsmål, ny iagttagelse	Der findes høj- og lavryggede karusser		



Øverst højrygget karusse og nederst lavrygget karusse.

*Boks 1: Videnskabelig metodeplan. Det systematiske hierarki i en videnskabelig arbejdsplan ser sædvanligvis ud som vist til venstre. I de næste tre kolonner illustreres tre konkurrerende hypoteser om: arv (1), føde (2) og rovdyr (3), der er opstillet som mulige forklaringer på tilstedeværelse af højryggede og lavryggede karusser i søer.*

ofte flere konkurrerende hypoteser.

Kvalitative hypoteser rummer udsagn af typen: højryggede karusser har samme (eller mindre) risiko for at blive ædt af rovdyr end lavryggede karusser. Resultatet af testen er enten et ja eller et nej med den indbyggede usikkerhed, som statistikken viser.

Kvantitative hypoteser rummer derimod udsagn om faktiske talmæssige sammenhænge eller sandsynligheder. For karusser kunne hypotesen være, at risikoen for at blive ædt af en rovdyr af given størrelse, er konstant høj op til en vis grænse for karussens kropshøjde, mens

risikoen hurtigt falder mod nul over denne grænse. En alternativ hypotese kunne være, at risikoen for at blive ædt falder proportionalt med karussens kropshøjde.

Svaret på en test af kvantitative hypoteser er ikke enten et ja eller et nej, men derimod, at en sammenhæng er i bedre statistisk overensstemmelse med data end andre. Her kan vi altså ikke bare falsificere hypoteser i Karl Poppers ånd. I stedet vælger vi at gå videre med den "bedste" hypotese, underforstået den, der bedst beskriver data. Hvis der findes en simplere hypotese med tydeligere biologisk mening, kan vi dog foretrække

denne under forudsætning af, at den også beskriver data rimelig godt. Enkelhed og sammenhængende logik foretrækkes, hvis det samtidig virker.

### Komplekse eller simple modeller

I erkendelse af, at mange sammenhænge er komplekse benytter videnskaben i stigende grad modeller, der kan regne på sådanne kompleksiteter.

Det kan dreje sig om et netværk af forbundne kvantitative hypoteser, der matematisk beskriver rovdyrs predation på mange karusser, som gensidigt er afhængige af hinandens størrelse – for nu at blive i eksemplet. Det kunne også være føderelationerne og bestandsudviklingen for samtlige arter af fisk i en sø eller i havet. Sådanne komplicerede modeller med mange koblede ligninger har været kendt og benyttet i fiskeribiologien i mere end 30 år.

Det er fortsat muligt at sammenligne modellens overordnede resultat med virkeligheden. Men modellerne problem er, at få kan overskue dem og vurdere rimeligheden og overensstemmelsen med den samlede sum af viden. Dog kan forudsigelser testes og de enkelte elementer i modellerne vurderes vha. en følsomhedsanalyse, hvor man ser på effekten på modeloutputtet ved at

ændre på bestemte variable.

Som et alternativ til de komplicerede dynamiske modeller findes simple empiriske regressionsmodeller. De repræsenterer sædvanligvis den bedste statistiske sammenhæng mellem en afhængig variabel og en række uafhængige variable. Et eksempel kunne være fiskeriudbyttet i søer afhængigt af søernes geografiske placering, næringstilstand og størrelse. Fordelen ved simple empiriske modeller er, at enhver kan overskue sammenhænge og bruge dem i praksis vha. den personlige computer.

Selvom simple empiriske modeller kan være i bedre overensstemmelse med de faktiske målinger end komplekse dynamiske modeller kan interessere for at anvende dem alligevel være begrænset. En faglig indvending kan være, at de ikke afspejler de kendte sammenhænge og reguleringer, som man derfor ikke kan blive klogere på. En indvending fra private konsulentfirmaer kan være, at de ikke kan tjene penge på simple modeller, da kunden selv kan udføre beregningerne. De komplicerede dynamiske modeller er derimod et hemmeligt og dyrt regneværktøj.

### Modeller vinder frem

Med evnen til at måle flere detaljer og udføre komplicerede beregninger samt erkendelsen



Foto: Christian Børnmark

*Forsøgsdam opdelt i to halvdele med plastikfolie. I den ene halvdel – uden rovdyr – bliver karusserne lavryggede. I den anden halvdel – med rovdyr – bliver karusserne højryggede.*





Foto: Christer Brönmark

Øverst højrygget karsusse og nederst lavrygget karsusse.



Størrelsen er afgørende for rovfishs byttefangst. Gedde har fanget skalle fra siden, men byttet må drejes og sluges på langs for at at gedden kan gabe over det.

af, at de fleste sammenhænge er komplekse, kan vi forvente, at modeller vil vinde frem på mange andre områder også uden for hidtidige kerneområder i økologi, geofysik og klimatologi. Ved fremtidige vurderinger af den humane DNA-kode og sygdomme, risikoen for naturkatastrofer, risikoen for spredning af fugleinfluenza osv., vil computermodeller uden tvivl få en stadig større anvendelse og nye fagdiscipliner vil dukke op.

Man ser tydeligt denne udvikling i de seneste årgange af *Nature* og *Science*. Og man ser den allertydeligst i de globale klimamodeller. Her er det umuligt at forestille sig, at man kan overskue og regne på de komplicerede fysiske sammenhænge i hav-jord-atmosfære systemet uden modeller. En interessant øvelse var faktisk, at forskellige modeltyper for nylig viste sig at give nogenlunde samme svar på den fremtidige klimaudvikling ved øget CO<sub>2</sub>-indhold i atmosfæren.

### Teori - klassisk og i modelvidenskab

De fleste naturvidenskabsmænd opfatter klassisk teori, som integration af viden, der stammer fra omfattende test af hypoteser og empiriske sammenhænge inden for et afgræn-

set område. Teorien er det overblik, der står styrket tilbage, når utallige forskere har testet sammenhængene. Teori skal signalere den øjeblikkelige bedste viden, men rummer samtidig den erkendelse, at teorien kan blive korrigeret eller endog forkastet.

Men i fremtiden vil man måske opleve en ændret brug af begrebet i de datatunge fagdiscipliner. Med store datamængder og evnen til at behandle komplicerede sammenhænge vha. modeller er vi snart derhenne, hvor modellerne selv rummer den indhøstede teoretiske forståelse og mange relevante talmæssige sammenhænge. Så konkurrerende teorier kan i stedet blive til konkurrerende modeller med forskellig opbygning og teoretisk udgangspunkt, som tilfældet allerede er inden for klimatologien.

Vi er vant til, at teorien kan formuleres i en række hovedsætninger og måske gengives stringent i nogle matematiske lovmæssigheder, men for at kunne regne på kompleksiteten og fremsætte kvantitative forudsigelser kræves modelkørsler. Det bliver en udfordring, fordi mange af nutidens studenter har det svært med matematik og statistik og nok kan lære at betjene og køre modellerne, men har vanskeligere ved at

opstille og gennemskue ligningerne. Løser vi ikke udfordringen om bedre evne til kvantitativ analyse i det danske uddannelsessystem, kan vi forudse, at flere forskningsopgaver må udflages (senest Novos), eller der må importeres endnu flere matematisk kyndige udlændinge.

### Fremtidens nøglespørgsmål

Min opfattelse er, at videnskabelig metode kan læres og vil styrke videnskabelig kvalitet og vurdering. Jeg forudser, at naturvidenskabelige fag i stigende grad vil arbejde med konkurrerende kvantitative hypoteser og egentlige modeller. Modellernes gennemskuelighed og realisme bliver et nøglespørgsmål i fremtiden, mens videnskabsfilosofiske aspekter vil halse bagefter som et kuriosum.

Efter disse punchlines, lad mig da slutte med en vigtig indrømmelse. Før som nu, vil der også i fremtiden blive udført førsteklases forskning – f.eks. i kraft af nye metoder eller stor teknisk kunnen – uden at forskeren er særlig bevidst om begreber eller detaljer i naturvidenskabelig metode og planlægning. Vedkommende har bare formuleret et godt spørgsmål og udviklet et nyt værktøj til at give svaret. ■

### Om forfatteren



Kaj Sand-Jensen er professor ved Ferskvandsbiologisk Laboratorium, Københavns Universitet  
Tlf.: 3532 1905  
E-mail: KSandJensen@bi.ku.dk

### Litteratur

Brönmark, C. & Miner, J.G. 1992. Predator-induced phenotypic change in body morphology in crucian carp. *Science* 258: 1348-1350.

Hilborn, R. & Mangel, M. 1997. *The ecological detective*. Princeton University Press.

Ruxton, G.D. & Colegrave, N. 2003. *Experimental design for the life sciences*. Oxford University Press.

Popper, K. 1979. *Objective knowledge*. Cambridge University Press.