

TERMO- DYNAMIKKENS FJERDE HOVEDLOV

Eksperimenter går ikke altid, som man regner med.
Ting går galt, og man får mærkelige resultater
- men hvad betyder det for videnskabens metode?

Forfatterne



Mikkel Willum Johansen er lektor ved Sektionen for Videnskabsteori og Videnskabshistorie ved Institut for Naturfagernes Didaktik, Københavns Universitet. Hans forskning og undervisning ligger inden for videnskabsteori og etik med særligt fokus på matematikkens videnskabsteori. mwj@ind.ku.dk



Henrik Kragh Sørensen er professor MSO samme sted. Hans forskning ligger inden for matematikkens og datalogiens videnskabshistorie og videnskabsteori. henrik.kragh@ind.ku.dk

Hvis en lærebog i fysik indeholder et afsnit om metode, får man typisk beskrevet en variant af den såkaldt "hypotetisk-deduktive metode". Metoden siger i korte træk, at man starter den videnskabelige proces med at opstille en dristig hypotese eller teori. Herefter udleder man observerbare konsekvenser af hypotesen; dvs. man undersøger hvilke forudsigelser om den virkelige verden, der logisk følger af hypotesen. Og endelig tester man disse forudsigelser ved at lave observationer eller eksperimenter. Hvis ens observationer stemmer overens med hypotesens forudsigelser, er hypotesen blevet bestyrket; og hvis de ikke gør, må man forkaste eller justere hypotesen og starte forfra.

Metoden har igennem det 20. århundrede vundet genklang i store dele af naturvidenskaberne, og det er ikke usædvanligt at se den beskrevet som *den* videnskabelige metode. Vi vil dog her gå lidt mere i dybden og se på, hvad der sker, når observationer og eksperimenter ikke går som planlagt.

De sultne astronomer

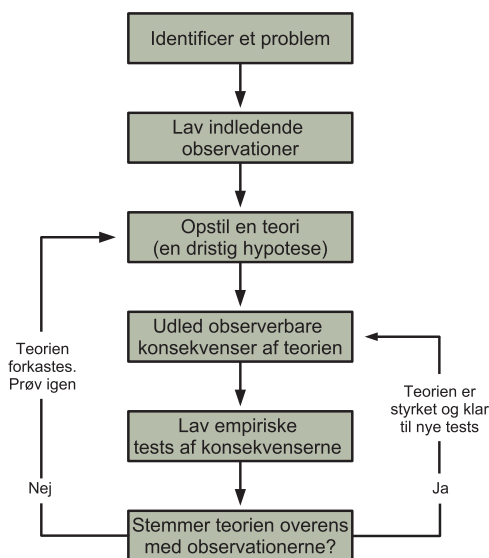
I 1998 begyndte man med jævne mellemrum at opfange et mystisk signal på radioteleskopet ved Parkes Observatory i Australien. Radioteleskopet søger efter signaler fra rummet, men astronomerne havde på fornemmelsen, at det mystiske signal ikke kom fra himlen over os, men snarere fra et sted her på Jorden. Blandt andet forekom signalet kun i den normale arbejdstid, og det kunne jo tyde på, at signalet stammede fra en eller anden form for udstyr, der blev brugt i en

arbejdssammenhæng. Nærmere kunne man dog ikke komme det.

Først i 2015, hvor en nysgerrig ph.d.-studerende tog sagen op, fandt man kilden til signalet. Det viste sig, at mikrobølgeovnen i observatoriets køkken udsendte et kort og kraftigt glimt af mikrobølger, hvis man åbnede lågen, mens ovnen stadig kørte. Man havde faktisk omhyggeligt taget højde for mikrobølgeovnen i forsøgsprotokollen, idet det ikke var tilladt at bruge ovnen, når man scannede rummet efter radiobølger af den frekvens, ovnen brugte. Men det viste sig, at de bølger, som ovnen udsendte, når man åbnede lågen for tidligt, af uvisse grunde var af en lavere frekvens end de, den normalt kørte med.

Termodynamikkens fjerde hovedlov

Historien om de sultne astronomer, der ikke kunne vente til mikrobølgeovnen var færdig med at varme deres mad, viser lidt om, hvor svært det kan være at lave observationer og eksperimenter. Det er selvfølgelig en hel del teknisk





besvær: Forsøgsopstillinger og måleapparatur skal sættes op, data skal indsamles, og man skal føre en omhyggelig protokol. Men det er ikke det, vi tænker på her. Her vil vi se på det mere principielle problem, der består i at afgøre, hvilke data man kan stole på, og hvilke man ikke kan.

Ifølge den amerikanske matematiker og videnskabsteoretiker Jerome Ravetz lyder termodynamikkens fjerde hovedlov: Eksperimenter går altid galt første gang. Det er selvfølgelig en vittighed, men alle, der har sat deres ben i et laboratorium, ved, at forsøg indimellem kikser, at observationsudstyr kan opføre sig mærkeligt, og at ting i det hele taget kan gå galt på alle mulige måder. Men hvordan afgør man, om et forsøg er lykkedes eller ej?

Hvis man er gymnasieelev eller på anden vis er under uddannelse, er problemet ikke så stort: Hvis ens observationer eller forsøgsresultater stemmer overens med den accepterede teori, er resultatet korrekt, og hvis ikke, må forsøget på en eller anden måde være gået galt. Når man bedriver frontforskning er svaret imidlertid ikke helt så

enkelt, og problematikken udgør en væsentlig og principiel forskel mellem den oplevelse, en gymnasieelev og en forsker har, når de befinder sig i laboratoriet. Når man bedriver frontforskning tester man jo i et vist omfang etablerede teorier, og måske har man slet ikke nogen teori at støtte sig op af. Og hvad gør man så? Sæt nu man får et resultat, der er i modstrid med en kendt teori eller på anden måde virker mærkeligt; skal man så gå ud og sige det, og dermed risikere at blive til grin, hvis der senere viser sig at være en fejl i ens forsøg, eller skal man i stilhed se bort fra det overraskende resultat?

Hurtigere end lyset

Uanset hvad man gør, kan det få alvorlige konsekvenser for ens videnskabelige karriere. I september 2011 offentliggjorde forskere fra det såkaldte OPERA-eksperiment på CERN således, at de havde målt sub-atomare partikler (neutrinoer), der bevægede sig hurtigere end lyset. Da resultatet er i modstrid med Einsteins relativitetsteori, skabte det en del røre, og forskerne bad eksplicit andre om at gennemgå deres eksperiment kritisk, da de selv havde svært ved at tro på deres resultat. Året efter fandt man da også ud af, at der havde

Parkes Observatory i Australien. Her fandt man i 2015 ud af, at en mikrobølgeovn i køkkenet var årsag til signaler, som havde forstyrret visse målinger siden 1998. Foto: David McClenaghan, CSIRO/ CC BY 3.0.

Eksperimenteres onde cirkel

Videnskabssociologerne Harry Collins og Trevor Pinch introducerede i bogen *The Golem* begrebet *experiment's regress* til at beskrive den situation, frontforskere står i, når de laver eksperimenter og observationer. Hvis man får et overraskende resultat som neutrinoer med overlyshastighed, hvordan kan man så vide, om resultatet skyldes fejl i eksperimentet eller at neutrinoer faktisk kan antage overlyshastighed? Det er klart, at viden om neutrinoers mulige hastighed ikke kan afgøre sagen, da det jo netop er det, vi er i færd med at undersøge. For at vide, om et eksperiment er gået godt, er vi nødt til at vide, om eksperimentet har givet det rigtige resultat. Men for at vide, hvad der rigtige resultat er, er vi nødt til at have eksperimenter, der er gået godt, og så videre. Det er en form for ond cirkel. Cirklen kan brydes, hvis man finder fejl i eksperimentet, men hvor længe skal man lede efter fejlkilder, før man kan være sikker på, at der ikke er nogen?



OPERA-detektoren under Gran Sasso i Italien, hvor forskere i 2011 målte neutrinoer, der tilsyneladende bevægede sig hurtigere end lyset. Der viste sig dog, at være fejl ved eksperimentet.
Foto: Randal Schwartz/ CC BY-SA 2.0.

været fejl i deres eksperiment: Et kabel var ikke tilsluttet rigtigt, og et ur gik forkert, og derfor havde de fået det overraskende resultat. På mange måder havde gruppen opført sig helt i overensstemmelse med god videnskabelig praksis. De havde rapporteret et overraskende resultat og omhyggeligt gjort opmærksom på, at de selv tvivlede på det. Alligevel førte episoden til så megen mistillid i gruppen, at to af de ledende forskere måtte trække sig fra deres poster. De havde holdt på den forkerte hest, og den slags har konsekvenser.

Tvivlsom praksis

Hvis man omvendt vælger at se bort fra et resultat, risikerer man at gå glip af en vigtig opdagelse og muligheden for at blive klogere: Hvis neutrinoerne i OPERA-eksperimentet faktisk *havde* bevæget sig end lyset, ville målingen have ændret vores grundlæggende forståelse af fysikken. Desuden handler man strengt taget videnskabeligt uredeligt, hvis man sletter eller ser bort fra et resultat, idet man ikke uoplyst må manipulere sine data. Hvis man tror, der er en fejl i et resultat, bør man derfor søge at identificere fejlkilden, inden man forkaster det. Men som historien om mikrobølgeovnen på Parkes' radioteleskop illustrerer, kan det være svært og tidskrævende at finde den specifikke fejlkilde.

I praksis er det at se bort fra data, der virker forkerte, havnet i en gråzone, videnskabsteoretikere

har døbt "tvivlsom videnskabelig praksis". I en stort anlagt spørgeskemaundersøgelse blandt mere end 3.000 amerikanske forskere vedkendte mere end 15 %, at de havde fjernet data fra deres analyser udelukkende ud fra en mavefølelse af, at der var noget galt med forsøget. Der er også gode historiske eksempler på, at videnskabelige gennembrud er opnået, netop fordi forskere havde en veludviklet mavefølelse for, hvornår et forsøg var gået godt, og hvornår det ikke var. Så hvad enten man kan lide det eller ej, er data i praksis ikke nær så objektive og hypotesetest ikke nær så definitive, som lærebøgerne giver udtryk for.

Reproducerbarhed

Der er heller ikke altid enighed om, hvornår et forsøg eller en observation må regnes for fejlagtig. I fysik og andre eksperimentelle videnskaber kræver man typisk, at et eksperiment skal kunne reproducere, før man for alvor kan stole på et resultat: Det vil sige, at for at det videnskabelige samfund skal acceptere et resultat, skal andre forskere være i stand til at få samme resultat, når de laver det samme forsøg eller observation.

Da det overraskende resultat om overlyshastighed blev offentliggjort af den europæiske forskergruppe, gav et hold amerikanske forskere sig således straks i færd med at gentage OPERA-eksperimentet. Den amerikanske gruppe kunne imidlertid ikke få det samme resultat

som europæerne, men da fejlkilden i OPERA-eksperimentet blevet fundet, inden de amerikanske resultater kom ind, opstod der ingen konflikt: Alle var uden videre enige om, at der var en fejl i de europæiske forsøg.

I andre tilfælde er det imidlertid ikke så klart, hvem der har ret, og hvem der tager fejl. Videnskabshistorien er fyldt med bitre stridigheder mellem forskere (eller forskergrupper), der har lavet de samme forsøg men fået forskellige resultater ud af det, og i dag er de empiriske videnskaber ramt af en decideret "reproducibilitetskrise", i den forstand at rigtig mange forskningsresultater har vist sig overraskende svære at efterprøve, ved at et forskerhold gentager et andet forskerholds eksperiment eller observation og får samme resultat. Krisen ramte først – og hårdest – i den såkaldte adfærdspsykologi, der er en eksperiment-dreven gren af psykologien, men den har også ramt andre grene af videnskaben, selv hårde discipliner som kemi og fysik. I en spørgeskemaundersøgelse, som tidsskriftet *Nature* foretog i 2016, var fysikere og kemikere ganske vist dem, der havde mest tiltro til, at resultaterne inden for deres discipliner kunne reproducere, men knap 80 % af fysikerne og 90 % af kemikerne havde selv uden succes prøvet at reproducere et eksperiment.

Det behøver ikke nødvendigvis betyde, at kvaliteten af de oprinde-

lige eksperimenter var dårlig. Det er selvfølgelig forklaringen i visse tilfælde, men en del af den manglende reproducerbarhed kan også skyldes termodynamikkens fjerde hovedlov: Måske gik der bare noget galt for de forskere, der skulle gentage forsøgene – og interessant nok var det kun forholdsvist få gange, at forskerne forsøgte at publicere et fejlslagent forsøg på at reproducere et eksperiment.

Kunsten at reproducere

En anden del af problemet består i, at det ikke er helt klart, hvad man skal forstå med "det samme forsøg". Den amerikanske gruppe, der forsøgte at reproducere OPERA-eksperimentet havde lignende, men ikke identisk udstyr, og når fysikerne mente, at de to forsøg var ens, var det under den teoretisk funderede forudsætning, at forskellene på de to eksperimenter, ikke havde nogen betydning for det, man målte på. I store eksperimenter (og i det ekstreme tilfælde med CERN) lader det sig simpelthen ikke gøre at opstille den samme forsøgsopstilling uden omfattende idealiserende antagelser.

Ingen forsøgsopstillinger eller observationsapparater er altså helt identiske. Man kan prøve at gøre tingene så ens som muligt, men der vil altid være små forskelle, hvis betydning, man måske ikke forstår – et radioteleskop med en mikrobølgeovn i køkkenet opfører sig for eksempel under nogle omstændigheder anderledes end ét uden, og hvem skulle have troet det? Ud fra disse betragtninger er det da heller ikke helt overraskende, at reproducerbarhedskrisen ramte hårdt i adfærdspsykologien: Da det er et forholdsvist ungt videnskabeligt felt, har man ikke lige så godt styr på de myriader af faktorer, der kan påvirke et eksperiment, som man har i andre felter (og tilsyneladende havde den tidlige adfærdspsykologi endvidere en lidt for lempelig omgang med statistiske metoder).

Når man reproducerer forsøg, gør man det da heller ikke kun for at

Underbestemthedstesen

Underbestemthedstesen siger, at al vores viden, inklusive vores videnskabelige viden, er organiseret i et sammenhængende netværk af formodninger. Nogle af formodningerne handler om ting, vi direkte kan observere; men langt de fleste udgøres af teorier og hypoteser, der generaliserer og systematiserer vores observationer. Vores observationer udgør dermed en form for randbetingelse for vores netværk af formodninger, mens det indre af netværket – herunder vores videnskabelige teorier – er underbestemt af randbetingelserne i den forstand, at observationer ikke entydigt kan afgøre hvilke teorier, vi skal have. Der kan være flere forskellige teorier, der forklarer de samme observationer, og tilsvarende kan en enkelt observation ikke forkaste en bestemt teori, idet man altid vil kunne redde teorien ved at lave ændringer andre steder i sit netværk af formodninger.

tjekke, om et resultat holder, men i lige så høj grad for at undersøge og præcisere de omstændigheder, der skal til, for at en bestemt effekt opstår og på den måde indpasse eksperiment og resultat i det netværk, som videnskabelige teorier udgør.

Observationers usikkerhed

Hvis vi vender tilbage til den hypotetisk-deduktive metode, er det slående, at metoden betragter observationer og eksperimenter som helt uproblematisk: Hvis en empirisk test siger, vi skal forkaste en hypotese, så skal vi forkaste den; og hvis en test er i overensstemmelse med hypotesen, er alt godt.

Som vi har set, stemmer den del af metoden dog dårligt overens med praksis. Observationer og eksperimenter kan gå (og går) galt på utallige måder, og termodynamikkens fjerde hovedlov kan til enhver tid slå til. Tidligere betvivlede man især den menneskelige faktor i betjening af eksperimenter og registrering af data, og man søgte at eliminere den ved udførlige protokoller og statistisk behandling. Men mere principielt kan der være fejl i apparaturet (som OPERA-eksperimentets defekte ur), og målinger kan altid være påvirket af ukendte faktorer (som Parkes Observatoriets mikrobølgeovn). Når en observation eller et eksperiment ikke stemmer overens

med en hypotese, er der derfor altid to muligheder: Enten må man forkaste hypotesen, som den hypotetisk-deduktive metoder foreskriver, eller også må man forkaste eksperimentet eller observationen, og finde ud af, hvad der er gået galt. Og der findes ikke nogen opskrift eller simpel metode til at træffe det valg.

Fordi der ikke findes nogen alment gyldig måde at træffe denne beslutning, kommer ikke-videnskabelige faktorer som centrale eksperteres mavefornemmelse og den enkelte forskers status og anseelse til at udgøre det grundlag, det videnskabelige samfund vælger ud fra. I hvert fald på den korte bane. For på længere sigt vil nye eksperimenter jo kunne udjævne lokale fejlagtige valg – hvis de nye eksperimenter ellers bliver udført. Og heri ligger reproducerbarhedskrisens måske største udfordring: Termodynamikkens fjerde lov siger måske, at eksperimenter altid går galt første gang, men så kan vi jo bare gentage dem, ikke sandt? Men nogle eksperimenter er for dyre at gentage, andre gange er skaden allerede sket i form af, at resultatet har "forurennet" litteraturen, og med videnskabens eksplosive vækst har vi simpelthen ikke ressourcer og interesse i at efterprøve *alle* eksperimentelle påstande. Så hvordan vi vælger at reagere på termodynamikkens fjerde lov forbliver et ekstra-videnskabeligt spørgsmål. ■

Videre læsning

Collins, H., & Pinch, Trevor J. (1998). *The golem. What you should know about science* (2. ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

Waller, J. (2002). *Fabulous science, fact and fiction in the history of scientific discovery*. Oxford: Oxford University Press.

Andersen, H., Emmeche, C., Norup, M., & Sandøe, P. (2007). *Videnskabsteori for de biologiske fag*. Frederiksberg: Biofolia.