

# **Konsten att vara vetenskaplig**

2003-01-24

(Endast smärre förändringar gentemot förra versionen, 2002-01-27.)

Sven Ove Hansson

Filosofienheten, KTH ([www.infra.kth.se/phil](http://www.infra.kth.se/phil))

[soh@infra.kth.se](mailto:soh@infra.kth.se)

## INNEHÅLL

|   |    |
|---|----|
| Förord .....  | 4  |
| 1. Vilken kunskap vill vi ha? .....                             | 5  |
| Vetande och handlingskunskap .....                              | 5  |
| Vetenskapsbegreppet .....                                       | 5  |
| Generell kontra speciell kunskap .....                          | 6  |
| Handlingskunskapen .....  | 7  |
| Intersubjektivitet och objektivitet .....                       | 9  |
| Faran med auktoritetstro .....                                  | 10 |
| Att utgå från den bästa tillgängliga kunskapen .....            | 11 |
| Vetenskapen är en mänsklig aktivitet .....                      | 12 |
| Det stora och det lilla tvivlet .....                           | 13 |
| Sinnen och förnuft .....  | 14 |
| Empirism och rationalism .....                                  | 14 |
| Hantverkarnas bidrag .....                                      | 15 |
| Episteme och techne närmar sig varandra igen .....              | 17 |
| 2. Att resonera förnuftigt .....                                | 18 |
| Det rationella samtalet .....                                   | 18 |
| Seminariet .....  | 19 |
| Stegvis framlagda argument .....                                | 21 |
| Mångtydighet och vaghet .....                                   | 22 |
| När behöver ord vara väldefinierade? .....                      | 23 |
| Definitioner .....  | 24 |
| Tre vägar till mer precisa begrepp .....                        | 25 |
| Värdeladdade ord .....  | 27 |
| Kreativitet och kritik .....                                    | 27 |
| Intuition .....   | 28 |
| 3. Att observera .....  | 30 |
| Sinnenas ofullkomlighet .....                                   | 30 |
| Observationer är teoriberoende .....                            | 31 |
| Tekniken hjälper sinnen .....                                   | 31 |
| Anekdotisk bevisning .....                                      | 32 |
| Fyra slags observationer .....                                  | 33 |
| När observationsidealet inte kan uppnås .....                   | 34 |
| Observatören själv .....  | 35 |
| Att vara beredd på det oväntade .....                           | 36 |
| Källkritik – att dra slutsatser från andras observationer ..... | 36 |
| Mätningar .....   | 38 |
| 4. Att experimentera .....                                      | 40 |
| Experiment finns av många slag .....                            | 40 |
| Att konstruera ett experiment .....                             | 41 |
| Att separera .....  | 42 |
| Att kontrollera variablerna .....                               | 43 |
| Att dokumentera experiment .....                                | 44 |
| Experiment ska gå att upprepa .....                             | 45 |
| Upprepning i praktiken .....                                    | 46 |
| 5. Att påvisa samband .....                                     | 48 |
| Att pröva hypoteser efter att de uppställts .....               | 48 |
| Verifiering eller falsifiering? .....                           | 49 |
| Falsifieringens problem .....                                   | 51 |
| Den nödvändiga sammanvägningen .....                            | 52 |
| Kravet om enkelhet .....  | 53 |
| Slumpens skördar .....  | 54 |
| Statistisk hypotesprövning .....                                | 55 |
| 6. Modeller .....   | 58 |
| Tre slags modeller .....  | 58 |
| Idealisering .....  | 59 |

|   |    |
|---|----|
| Om faran med modeller.....                      | 60 |
| Simulering.....                                 | 61 |
| 7. Förklaringar.....                            | 63 |
| Vetenskap utan förklaringar?.....               | 63 |
| Förklaringar och förståelse.....                | 63 |
| Förklaringsätt som har övergetts.....           | 65 |
| Reduktioner.....                                | 66 |
| 8. Orsaker.....                                 | 67 |
| Orsak som undantagslös upprepning.....          | 67 |
| Orsaksbegreppet är antropomorft.....            | 67 |
| Allt har inte en orsak.....                     | 68 |
| Att fastställa orsakssamband.....               | 69 |
| Samverkan mellan flera orsaksfaktorer.....      | 70 |
| 9. Vetenskap, värderingar och världsbilder..... | 72 |
| Vetenskapens beslutsfattande.....               | 72 |
| Att skilja mellan fakta och värderingar.....    | 73 |
| Vetenskap och världsbild.....                   | 74 |

## Förord

Vetenskapsfilosofi brukar ofta handla om de stora upptäckter som har förändrat vår världsbild. Det är en viktig filosofisk uppgift att undersöka de intellektuella och sociala processer som har ändrat vårt sätt att tänka om oss själva och vår omvärld. Därför tar de vetenskapliga revolutionerna, liksom specialfrågorna kring t ex kvantmekanik, relativitetsteori och evolutionen, upp en stor del av utrymmet i gängse framställningar av vetenskapsfilosofin.

Men de vetenskapliga revolutionerna är en mycket liten del av vetenskapen. Det är mycket få förunnat att vara delaktig i dem. Desto fler har ett yrke där man behöver kunna göra någon form av vetenskapliga bedömningar. Detta gäller inte bara forskare och utredare utan också alla dem som i sitt arbete har att ta ställning till, och kanske tillämpa, nya forskningsresultat. Denna skrift handlar om vad det innebär att ha ett vetenskapligt förhållningssätt då man själv forskar eller ska dra slutsatser ur andras forskning.

Mycket forskning syftar till att stilla vår nyfikenhet om hur världen är beskaffad. Annan forskning syftar till att vägleda våra handlingar. Till den senare kategorin hör bl a den mesta forskningen inom medicin och teknikvetenskap. Denna skrift är i första hand avsedd för blivande civilingenjörer, och ger därför större utrymme åt den teknikvetenskapliga forskningen än vad som är brukligt i vetenskapsfilosofin.

En diskussion om vetenskaplig metod kan antingen vara deskriptiv (beskrivande) eller normativ (föreskrivande). Den förra ansatsen är typisk för vetenskapssociologin, där man studerar hur vetenskaplig verksamhet i praktiken går till. Den senare är mera typisk för vetenskapsfilosofin, där man ofta diskuterar vilka metoder och förhållningssätt som är god vetenskap.

Min ansats är här den normativa, dvs det kommer att handla om vad som är god vetenskap. Det betyder självfallet att jag inte håller inne med mina egna värderingar, själva begreppet ”god vetenskap” är i högsta grad värdeladdat.

Ibland har vetenskapsfilosofin framställts som något slags överdomare över de olika specialvetenskaperna. Det är enligt min mening att överskatta dess förmåga och möjligheter. Snarare kan vetenskapsfilosofin ses som en specialvetenskapernas tjänare, som en hjälpvetenskap som studerar de grundläggande metodproblem som är gemensamma för olika vetenskaper.

Denna text kommer att genomgå ytterligare bearbetningar. Synpunkter och förslag emottages tacksamt. (soh@infra.kth.se)

# 1. Vilken kunskap vill vi ha?

Vetenskap är ett sätt att skaffa sig kunskap. Men med kunskap kan man mena många olika saker. I det här kapitlet ska vi försöka precisera vad det är för slags kunskap som vetenskapen tillhandahåller. Vi ska också inleda vår undersökning av vetenskapens kunskapsvägar.

## Vetande och handlingskunskap

Cirkusartisten som balanserar en tallrik på en käpp behöver inte kunna redogöra för de krafter som verkar på tallriken. Det räcker om han kan hålla tallriken på plats. För en fysiker gäller motsatsen. Fysikern bör kunna göra reda för de krafter som är samverkar till att hålla tallriken på plats, men behöver inte själv kunna parera dem.

Vi kan alltså skilja mellan två slags kunskap eller kunnande. Den ena kan vi kalla vetande. Den består i att kunna redogöra för olika sakförhållanden. Sitt vetande bevisar man genom att göra rätt slags uttalanden. Den andra sortens kunskap kan vi kalla handlingskunskap. Sin handlingskunskap bevisar man genom att utföra handlingar som leder till ett önskat resultat.

Denna distinktion är mycket gammal. Aristoteles (384–322 f Kr) skilde mellan faktakunskap, som han kallade *episteme*, och handlingskunskap som han kallade *techne*. Den senare beskrev han som ”en produktionsberedskap i förening med en riktig tankeplan”.

Med samhälls- och teknikutvecklingen har *techne* till stora delar ändrat karaktär. Våra dagars handlingskunskap t ex när det gäller tekniskt kunnande, är för det mesta betydligt mer teoretisk, och därmed också mera sammanvuxen med *episteme*, än cirkusartistens.

## Vetenskapsbegreppet

Det är långtifrån all kunskap som brukar betecknas som vetenskaplig. Diskussionen kompliceras av betydelseskilnader mellan å ena sidan det svenska ordet ”vetenskap” och dess motsvarighet på tyska och nordiska språk, å andra sidan engelskans ”science” med dess motsvarigheter på romanska språk, däribland franska.

Det engelska ordet ”science” hade ursprungligen en mycket vid betydelse. Det betecknade i stort sett vad som helst som man måste lära sig för att behärska det: allt från akademisk lärdom till sömnad och hästridning. Men under 1600- och 1700-talen inskränktes innebörden, och man kom med ”science” att avse systematisk kunskap. Bl a använde man ordet om den kunskap man måste ha för att kunna utöva ett bestämt hantverksyrke. På 1800-talet inskränktes innebörden ytterligare, och kom att beteckna i första hand naturvetenskaplig kunskap. Fortfarande används ”science” i huvudsak om naturvetenskap samt annan forskning som uppfattas som naturvetenskapsliknande i sitt arbetssätt. Så t ex betecknas nationalekonomi och sociologi som ”science”, men i regel inte litteraturvetenskap eller historia.

Ordet ”vetenskap” har ett liknande betydelseursprung, och betyder från början ”kunskap”. I sin akademiska användning har det från början haft en vidare innebörd än ”science”. Det innefattar alla de akademiska specialiteterna, inklusive humaniora.

Vetenskapen söker kunskap om de mest skilda ting: om naturen (naturvetenskap), om oss själva (psykologi och medicin), om våra samhällen (samhällsvetenskap och historia), om våra egna fysiska konstruktioner (teknikvetenskap) och om våra egna tankekonstruktioner (språk- och litteraturvetenskap, matematik och filosofi).

Trots denna allmängiltighet finns dock vissa konventionella begränsningar: Sådana kunskapsområden som inte funnit sin plats vid universiteten betraktas i regel inte som vetenskaper. Så t ex räknar vi numismatiken som en vetenskap, men inte filatelin. I en mera principiell diskussion (och det är en sådan vi ska föra här) bör man inte fästa vikt vid dessa konventionella begränsningar. Det är inte kunskapsområdet utan metoden och arbetssättet som bör avgöra om ett verksamhetsområde ska räknas som vetenskapligt.

Vetenskapsfilosofin har i regel fokuserat på episteme, den ”rena” forskningen, som syftar till vetande. En stor del av all forskning som bedrivs är emellertid handlingsinriktad, och syftar till techne. Med andra ord bedrivs den för att vi bättre ska kunna uppnå uppsatta praktiska mål. Två av de största forskningsområdena, medicin och teknikvetenskap, är till sin grundkaraktär handlingsinriktade. Detsamma gäller stora delar av samhällsvetenskapen.

I själva verket finns det inte någon skarp gräns mellan den forskning som syftar till vetande och den som syftar till handlingskunskap. Kemin brukar t ex räknas som en ”nyfikenhetsdriven” vetenskap, men det har med goda skäl hävdats att kemin till största delen närmast är en gren av teknikvetenskapen. Cirka två tredjedelar av alla kemister är sysselsatta med att framställa nya kemiska ämnen. Det är inom kemin svårt att dra en tydlig gräns mellan det rena vetandet och den handlingsinriktade kunskapen. I ökande utsträckning blir detta också fallet inom biokemin.

## **Generell kontra speciell kunskap**

När vi i vardagslivet söker faktakunskaper, händer det ibland att vi söker svar på frågan ”Hur är det?”. Ibland söker vi dessutom svar på frågor som ”Hur hänger det samman?” och ”Varför är det så här?”. Vi vill då ha kunskap om mera allmänna samband, och vi söker förklaringar. Dessa olika typer av frågor förekommer också i vetenskapen. Ibland intresserar man sig för speciella händelser och fenomen. Ibland intresserar man sig mera för allmängiltiga samband. De speciella fenomenen och händelserna blir då intressanta bara som exempel på mera allmänna företeelser.

Olika vetenskaper fördelar sitt intresse olika mellan det speciella och det generella. Fysiken är det tydligaste exemplet på en vetenskap som koncentrerar sig på generella. Det är karaktäristiskt för fysiken att söka mycket allmängiltiga samband, t ex de egenskaper som gäller för all materia.

Biologin har intressen både för det speciella och det generella. Att beskriva en enskild art noga, eller rentav upptäcka en ny art, har alltid ett värde i sig för biologin. Samtidigt intresserar sig biologin för allmänna samband, t ex ekologiska och genetiska mekanismer som gäller för vitt skilda arter och miljöer.

De flesta vetenskaper har ungefär samma slags inställning till det generella och det speciella som biologin. Kemin söker kunskap både om enskilda kemiska ämnen och om de allmänna samband som finns i kemiska ämnens egenskaper och reaktioner. Historievetenskapen intresserar sig både för enskilda händelser och personligheter och för de större sambanden i samhällsutvecklingen. Antropologin intresserar sig både för den enskilda kulturen och för allmänna samband som är gemensamma för olika mänskliga samhällen.

Många vetenskaper har utvecklats från en tidigare inriktning på det speciella till att mer och mer intressera sig för det generella. Kanske tydligast kan vi se detta i biologin. Biologen Peter Medawar har uttryckt saken så att ”biologin före Darwin var nästan bara fakta”. Evolutionsbiologin, molekylärbiologin och ekologin har försett biologin med nya arbetsredskap som binder samman det som tidigare var isolerade faktakunskaper till en mera enhetlig kunskap.

Liknande utvecklingar har skett inom många andra vetenskaper. Denna sammanbindning till mera generell kunskap har ofta försumrats då man beskriver vetenskapens disciplinära utveckling. Det är visserligen sant att vetenskapen splittras upp mellan allt fler specialiteter och subspecialiteter, men samtidigt ökar de inbördes sambanden och det ömsesidiga beroendet mellan alla dessa olika ämnesområden. Vetenskapen blir samtidigt både mer specialiserad och mer sammanhållen genom överbryggande kunskap.

Men samtidigt som den generella kunskapen utvecklats, har också den speciella kunskapen fått allt större omfattning. Samtidigt som biologin blivit en mera sammanbunden disciplin har antalet beskrivna arter ökat, liksom detaljkunskaperna om de redan beskrivna arterna. Det är likadant inom andra vetenskaper.

Det finns en gammal dröm om att all vetenskaplig kunskap skulle kunna härledas från ett fåtal mycket generella principer. Den idén fick uttryck redan i ett antikt vetenskapsideal enligt vilket varje vetenskapsområde skulle bygga alla sina kunskaper på ett begränsat antal axiom, ungefär som den Euklidiska geometrin. Liknande idéer har dykt upp många gånger därefter hos både naturforskare och filosofer. Men hittills har detta härledningsideal för vetenskapen aldrig varit mer än en drömbild. Detta hänger samman med komplexiteten i de fenomen som vetenskapen studerar. Man kan visserligen ibland förstå en enstaka biokemisk reaktion utifrån generella principer om kemiska bindningar, men för att förstå hur en cell fungerar måste man kombinera dessa generella principer med mycket detaljerade studier av hur cellen i praktiken är inrättad.

Vetenskapen bygger alltså på en kombination av kunskaper och kunskapssträvanden på olika nivåer av generalitet. Dessa nivåer kan inte ersätta varandra, utan understödjer varandra ömsesidigt. Den generella kunskapen har ofta vuxit fram ut en mycket omfattande massa av speciell kunskap, t ex kunskap om evolutionen ur kunskap om enskilda arter. Samtidigt ger evolutionen en begreppsapparat som kraftigt underlättar förståelsen av många enskilda fenomen.

## **Handlingskunskapen**

En forskning som syftar till handlingskompetens kan använda vetenskapen på väsentligen två sätt till detta. De två metoderna svarar åtminstone delvis mot skillnaden mellan generell och speciell kunskap. Vi kan studera dessa båda metoder dels i deras medicinska, dels i deras teknikvetenskapliga tillämpning.

Läkekonsten var länge helt dominerad av de slutsatser som läkaren drog av tämligen spekulativa teorier och av sina egna intryck och erfarenheter från behandlingar av olika patienter. Det var först under 1800-talet som medicinen blev en vetenskap i modern mening. Många försökte ”göra medicinen till vetenskap”, men det fanns två olika föreställningar om hur detta skulle åstadkommas; tidvis rådde djupa motsättningar mellan de båda riktningarna.

## Joseph Dietl

Ännu vid 1800-talets mitt ansågs det allmänt bland läkare att lunginflammation berodde på obalans mellan kroppsvätskorna. Den allmänt rekommenderade behandlingen var åderlåtning. En del läkare förordade dock ett något mindre sätt att bringa kroppsvätskorna i balans, nämligen att ge patienterna kräkmedel.

År 1849 rapporterade den österrikiske läkaren Joseph Dietl (1804–1878) en undersökning där han jämförde tre grupper av lunginflammationspatienter. En grupp hade fått åderlåtning, en grupp hade fått kräkmedel och den tredje hade fått allmän omvårdnad men ingen specifik behandling. Dödligheten bland dem som fått åderlåtning var 20,4%, bland dem som fått kräkmedel 20,7 % och bland dem som inte fått någon specifik behandling endast 7,4%.

Hur kunde de kliniska intrycken ha slagit så fel? En viktig orsak är önsketänkandet hos både terapeut och patient. De flesta sjuka människor mår ibland litet bättre, ibland litet sämre. Om patienten råkade må litet bättre efter åderlåtningen, så lade man märke till detta, medan man fäste mindre vikt vid tillfällena då det inte blev någon förbättring.

Dietls budskap togs först mycket negativt emot, och Dietl själv förlorade sitt arbete. På litet längre sikt blev han dock framgångsrik. På 1870-talet avrådde de tongivande medicinska läroböckerna mot användningen av åderlåtning vid lunginflammation.

Dietls undersökning var en av de mycket få behandlingsstudier som genomfördes under 1800-talet. Det dröjde ungefär hundra år innan kliniska undersökningar av behandlingseffekt började genomföras i större skala och bli styrande för läkekonstens utveckling i stort.

Den ena inriktningen kan vi benämna ”mekanismforskning”. Den består i att man utifrån kunskaper om hur kroppen och dess sjukdomar fungerar försöker fastlägga hur olika sjukdomar lämpligen bör behandlas. Den andra inriktningen kan benämnas ”behandlingsforskning”. Den består till största delen av kliniska prövningar, där man behandlar patienter med samma sjukdom på olika sätt för att se vilken behandlingsmetod som ger bäst resultat.

I den moderna medicinen har både mekanismforskning och behandlingsforskning centrala roller, men de används för olika ändamål. Den innovativa kraften finns i huvudsak hos mekanismforskningen. Det är till stor del genom att ta reda på hur sjukdomar fungerar som nya behandlingsmetoder kan utvecklas. (Kemisk syntes och tekniska uppfinningar har naturligtvis också viktiga roller i sammanhanget.) Men det slutliga avgörandet av vilka metoder som bör användas kan inte komma från mekanismforskningen. Kroppen är ett så komplicerat system att man aldrig utifrån mekanismkunskaper kan vara säker om att en behandling verkar så som det var tänkt. Här har de kliniska prövningarna sista ordet. Hur övertygande de biokemiska eller fysiologiska argumenten för en behandlingsmetod än är, måste den överges om det kan visas i kliniska prövningar att den inte ger det bästa resultatet.

Förhållandena är mycket likartade i teknikvetenskapen. När den moderna teknikvetenskapen växte fram på 1800-talet använde den naturvetenskapen på två olika sätt. För det första använde man naturvetenskapens resultat för att i förväg räkna ut hur olika konstruktioner skulle fungera. Med formler från mekaniken kunde man beräkna rörliga maskindelarar rörelser, och formler från elektricitetsläran gav vägledning då man konstruerade elektriska apparater. Detta svarar mot



medicinens användning av mekanismforskning. Efterhand byggdes det också upp teknikvetenskapliga discipliner, t ex hållfasthetslära, som tillhandahöll ytterligare mekanismstudier utöver dem som kom från naturvetenskapen.

För det andra gjorde man vetenskapliga studier av enskilda tekniska konstruktioner. Så t ex provade man olika sätt att konstruera en maskin och gjorde noggranna mätningar för att ta reda på vilken konstruktion som fungerade bäst. Sådana undersökningar genomförs i stor omfattning i innovationsarbete; bland de mest kända exemplen är krocktest på bilar och vindtunneltest av nya flygplan. Denna sorts undersökningar svarar mot medicinens behandlingsforskning. Dock kallas mycket av denna tekniska verksamhet inte forskning utan ”utvärdering” eller ”utvecklingsarbete”. Motsvarande arbete inom medicinsk vetenskap brukar kallas ”klinisk forskning”. Skillnaden i terminologi kan möjligen sammanhålla med att medicinens kliniska test i medicinen brukar publiceras i vetenskapliga tidskrifter, vilket i regel inte sker med motsvarande tekniska verksamhet.

I den allmänna diskussionen om t ex forskningspolitik talas det sällan om ”episteme” kontra ”techne” eller om vetande och handlingskunskap. I stället brukar man skilja mellan grundforskning och ”tillämpad forskning”. Innebörden är väl ungefär densamma, men termen ”tillämpad forskning” är inte särskilt väl vald. Som vi sett använder man i handlingsinriktad forskning, t ex medicin och teknologi, vetenskapen på två sätt. Dels använder man vetenskapliga teorier för att konstruera lösningar på sitt praktiska problem (t ex mekanismforskning i medicinen och användning av fysikaliska teorier i tekniken). Dels använder man vetenskapliga metoder för att studera hur olika lösningar på det praktiska problemet fungerar i praktiken (t ex behandlingsforskning och testning av tekniska konstruktioner). Det är bara den första av dessa båda användningar av vetenskapen som kan kallas en ”tillämpning”. Teknikhistorisk forskning har visat att det ofta är starkt missvisande att beskriva framsteg i tekniken som ”tillämpningar” av grundforskning; teknikerna har behövt göra avsevärt mer än att applicera resultat från naturvetenskapen för att nå fram till nya användbara konstruktioner.

## **Intersubjektivitet och objektivitet**

Vetenskaplig verksamhet syftar till att nå kunskap som är giltig för alla människor. Då man diskuterar t ex religion eller livsåskådning kan man ibland nöja sig med att säga: ”det där är sant för dig, men det här är sant för mig”. Så kan man inte resonera inom vetenskapen. Vi strävar där efter gemensamma (om än provisoriska) sanningar. Med vetenskapens hjälp vill vi uppnå en gemensam världsbild, eller, kanske snarare, gemensamma delar av våra världsbilder. Vetenskaplig kunskap ska vara intersubjektiv, gemensam för alla människor.

Men syftet är inte bara att uppnå en gemensam uppfattning, vilken som helst. Vetenskapen syftar t ex inte till att uppnå gemensamma fördomar. Vi försöker med vetenskapen nå kunskap om hur det verkligen är. Detta är ett krav om att kunskapen ska vara objektiv.

Kravet om objektivitet gäller både för episteme och techne, både för vetandet och handlingskunskapen. När en historiker redogör för hur andra världskriget gick till, eller en kemist för hur de kemiska bindningarna i bensen, förväntar vi oss att det de säger handlar om verkligheten, inte bara om personliga upplevelser eller förmodanden. Likadant är det när en medicinsk forskare redogör för vilka behandlingar som är effektiva vid hjärtsvikt eller en brobyggare för hur en bro ska byggas för att inte rasa. Det räcker inte med läkarens personliga upplevelser av att behandlingen hjälper eller ingenjörens känsla av att bron kommer att hålla.

Vi förväntar oss, om de gör anspråk på vetenskaplighet, att behandlingen ska hjälpa och bron stå kvar.

Objektivitet må vara svår att uppnå, och ibland kan det vara alldeles omöjligt att uppnå den annat än till en del. Därav följer dock inte att man ska ge upp strävan efter att uppnå den i så stor utsträckning som möjligt.

Vi kan också uttrycka kraven om objektivitet och intersubjektivitet så att all vetenskaplig verksamhet bygger på tre förutsättningar, som tillsammans säger att en objektiv och intersubjektiv kunskap är möjlig. De tre förutsättningarna är:

1. Det finns en verklighet oberoende av våra sinnen.
2. Denna verklighet är gemensam för oss alla.
3. Vi kan gemensamt nå – eller åtminstone närma oss – en för oss alla giltig kunskap om denna verklighet.

De båda första förutsättningarna handlar om vad som finns (ontologi). Den tredje handlar om vad man kan veta (epistemologi). Alla tre förutsättningarna är sådana som vi i vardagslivet betraktar som tämligen självklara. Det är i stort sett enbart inom filosofin som man alls reflekterar över dessa förutsättningar.

Objektivitet och intersubjektivitet är besläktade krav, men de sammanfaller inte. Vi kan enkelt konstatera att intersubjektivitet inte med logisk nödvändighet leder till objektivitet. Kunskap kan vara intersubjektiv utan att vara objektiv, t ex om alla har samma fördomar eller är drabbade av samma missförstånd.

Däremot innesluter kravet om objektivitet även intersubjektivitet. Kravet på objektivitet är nämligen detsamma för alla människor, eftersom detta krav utgår från att det är samma verklighet som vi försöker beskriva korrekt när vi försöker att vara objektiva. Av detta kan vi dra slutsatsen att objektiv kunskap är intersubjektiv (förutsatt att vi alla lever i samma sinnevärld).

Objektivitetskravet är alltså det starkaste av de två kraven. Om objektivitetskravet är uppfyllt, är också kravet på intersubjektivitet uppfyllt. Därav följer emellertid inte att intersubjektivitetskravet är ointressant. Tvärtom är det viktigt bl a därför att det är lättare att hantera än objektivitetskravet. Vi har ju ingen direkt tillgång till den faktiska verkligheten (utan bara indirekt tillgång via våra sinnen). Därför kan vi inte på något direkt och enkelt sätt kontrollera om en utsaga är objektiv. Då är det lättare att kontrollera om kunskap är intersubjektiv, dvs sådan att vem som helst kan komma fram till den och att den håller för allas prövning. Det krävs i vetenskapen att de slutsatser man drar ska hålla för andras kritiska granskning.

## **Faran med auktoritetstro**

Eftersom vetenskapen strävar efter intersubjektivitet är den oförenlig med uppfattningen att vissa människor har en speciell förmåga att nå kunskap, och att andra bara ska rätta sig efter vad de kommer fram till. Vetenskapen är med andra ord icke-auktoritär, ofta anti-auktoritär. Ett arguments värde får inte vara beroende av vem det är som yttrar argumentet. I denna jämlikhet finns ett samband mellan vetenskap och demokrati. Både vetenskap och demokrati förutsätter också, för att fungera, ett rationellt offentligt samtal där argumenten prövas mot varandra. Demokratin och den moderna vetenskapen har gemensamma filosofiska rötter i upplysningstraditionens uppror mot gamla auktoriteter.

I praktiken förekommer det emellertid ofta auktoritära mönster inom vetenskapen. Det finns en lång erfarenhet som visar att sådana mönster i längden är

till förfång för vetenskapens utveckling. Freud-fixerad psykoanalys och dogmatisk marxism är exempel på inriktningar som ofta lett sina utövare in i forskningsmässiga återvändsgränder. Även från naturvetenskaperna finns exempel på hur enskilda forskare tillskansat sig en så stark ställning att de hindrat nya idéer från att komma fram.

I praktiken kan det ofta också vara svårt att se att vetenskapen är intersubjektiv. På grund av specialiseringen kan ingen gå direkt in från gatan och kontrollera vad experterna gör. Ingen kan heller bygga sitt eget radioteleskop eller sin egen partikelaccelerator. Men detta betyder inte att intersubjektiviteten saknas. Kravet är inte att envar i praktiken ska kunna kontrollera andras utsagor, utan att man skulle kunna göra det om man fick tillgång till arbetsmaterialet och fick tid att sätta sig in i frågorna.

Situationen kan jämföras med vårt förhållningssätt till olika hantverk. Om jag vill ha min väggklocka lagad, gör jag det inte själv utan går till en urmakare. Jag tror inte att han besitter något slags speciella egenskaper som jag aldrig skulle kunna få, utan snarare tror jag att jag skulle kunna lära mig hantverket om jag tog mig den tid som krävs.

Detta är den vanliga inställningen till praktiska hantverk. Men många har en helt annan inställning till vetenskapen. De tar för givet att vetenskap är ”över deras nivå”, att det är något som bara en särskild sorts människor kan klara av. Så är det inte. Vi ska alltså rådfråga kunskapens hantverkare av samma skäl som vi rådfrågar de praktiska yrkenas hantverkare – inte därför att vi inte skulle kunna lära oss själva utan därför att det vore opraktiskt att ta all den tid i anspråk som krävs för att lära sig själv.

Det finns en risk för farligt okritisk tillit till vetenskapliga auktoriteter. Det finns också en risk för det motsatta misstaget, nämligen att inte respektera de insikter och erfarenheter som långvariga studier av ett ämne ger upphov till. Jag kan naturligtvis välja att inte följa urmakarens råd om hur min väggklocka ska lagas, men det vore oklokt att inta en sådan ståndpunkt utan att först noga informera sig om de argument och de erfarenheter som rådet grundas på. På motsvarande sätt är det oklokt att förkasta de vetenskapliga specialisternas uppfattning i en fråga utan att först noga sätta sig in i vad de grundar sin uppfattning på.

## **Att utgå från den bästa tillgängliga kunskapen**

Det finns världsåskådningar som erbjuder absolut och säker kunskap. Vetenskapen hör inte till dessa åskådningar. Detta är viktigt att inse, eftersom många improduktiva diskussioner har uppstått ur den felaktiga utgångspunkten att vetenskapen har anspråk om att förmedla absoluta sanningar om den fysiska världens beskaffenhet, med samma slags säkerhet som vi uppfattar oss ha om enkla aritmetiska fakta av typen  $1 + 1 = 2$ . Vetenskapens anspråk är mindre, men för den sakens skull inte särskilt blygsamma. Vetenskapen söker erbjuda dels den i dag bästa tillgängliga kunskapen, dels metoder att förbättra denna så att vi efterhand vet allt bättre.

Felbarhet och osäkerhet är inte utmärkande för just vetenskapen. All mänsklig kunskap är felbar och kan behöva omprövas. I vardagslivet tar vi ständigt saker för givna som vi i själva verket inte kan vara helt säkra om. Visar det sig att vi har fel, ändrar vi uppfattning. Det är alldeles likadant i vetenskapen.

Det är självklart men behöver ändå sägas: Att kunskapen är felbar betyder inte att den lika gärna kan ersättas av i stort sett vilka påståenden som helst. Det

faktum att många element i den moderna evolutionsbiologin kan behöva revideras i ljuset av framtida forskning är t ex inget argument för att godta kreationismen, den lära som förkastar evolutionen till förmån för bokstavstolkning av religiösa skapelseberättelser. Vi måste i varje läge söka fram den bästa möjliga kunskapen. Att den inte är lika säker som  $1 + 1 = 2$  är inget skäl för att ersätta den med sämre grundade påståenden.

Kunskapsteoretikern Isaac Levi brukar framhålla att man ska skilja mellan ”säkra” och ”orubbliga” uppfattningar. Kemisternas uppfattning att guld är ett grundämne är *säker* kunskap i den meningen att det inte *nu* råder något tvivel om saken. Den hör till det som en kemist, givet vad man nu vet, gör oklokt i att betvivla. Däremot är denna uppfattning inte *orubblig*, eftersom man (i princip) kan tänka sig empirisk bevisning som skulle leda till att den måste överges. Man kan i framtiden tvingas att revidera uppfattningar som man i dag saknar anledning att betvivla. Icke desto mindre måste vi vid varje tillfälle använda den för stunden bästa kunskapen. Eller, som filosofen John Locke uttryckte saken: ”Om vi betvivlar allt, eftersom vi inte kan veta det med säkerhet, är vi ungefär lika kloka som han som inte använde sina ben utan satt stilla och förgick eftersom han inte hade några vingar att flyga med.”

## Vetenskapen är en mänsklig aktivitet

Det enda sättet att helt gardera sig mot att ha fel är att aldrig säga någonting bestämt. Det finns faktiskt vetenskapsfilosofer som menar att forskarna borde göra just på det sättet. Bland andra Richard Jeffrey har hävdats att forskare aldrig ska göra försanthållanden, dvs aldrig hålla påståenden om verkligheten för sanna. Hon ska aldrig betrakta någonting som riktigt eller oriktigt, utan ska nöja sig med att tilldela sannolikheter till olika teorier och hypoteser. Dessa sannolikheter kan vara ganska nära 0 eller 1, men aldrig lika med 0 eller 1, eftersom ju ingenting är helt säkert.

En kemist som levde efter dessa principer skulle således inte ta för givet att guld är ett grundämne eller – för den delen – att materien består av atomer. Hon skulle betrakta detta som mycket sannolika hypoteser, men hon skulle aldrig säga ”Vi vet att det förhåller sig så” utan endast ”Vi håller det för mycket sannolikt att det är så”. Detta kan i förstone vara en lockande bild av hur forskningen ska förhålla sig. Men tyvärr: Det kommer aldrig att kunna fungera i verkligheten.

På detta sätt skulle nämligen vetenskapen bli ett oöverskådligt nät av osäkra hypoteser som var förbundna med varandra kors och tvärs medelst olika sannolikheter. Vi människor klarar inte av att hålla särskilt mycket öppet åt gången. En så här komplext osäker kunskapsmassa kan vi nog inte ens föreställa oss. Det är svårt nog att skaffa sig någorlunda överblick över ett vetenskaplig kunskapsområde så som de är organiserade idag, med försanthållanden som förenklar bilden.

Vetenskapen är en *mänsklig* aktivitet, och den är underkastad alla begränsningarna i den mänskliga fattnings- och föreställningsförmågan. Varje modell av vetenskapen som bortser från detta missar mycket av det väsentliga. För att vi människor ska kunna genomföra resonemang och dra slutsatser måste vi göra en viktiga förenklingar, däribland denna: Det mesta av det som framstår som nästan säkert behandlar vi som om vi vore helt säkra på det. Det betyder att vi accepterar och förkastar påståenden och hypoteser, vilket är något helt annat än att enbart tilldela dem höga eller låga sannolikhetsvärden.

Alla dessa försanthållanden utgör tillsammans den vetenskapliga kunskapsmassan. Denna består helt enkelt av allt det som man inom vetenskapen tar för givet till dess att man får anledning att betvivla det.

## **Det stora och det lilla tvivlet**

Vetenskapen framskrider till stor del genom att det som tidigare har tagits för givet blir ifrågasatt och betvivlat. För att bli klokare måste vi ifrågasätta det vi redan tror på. Hur ska vi organisera vårt tvivel för att det ska kunna bidra till att utveckla ny och bättre kunskap?

Det finns två huvudsakliga sätt att tvivla på det man tror sig veta. Det ena, som vi kan kalla det stora tvivlet, är att ”riva ned allt”. Man överger allt man hittills trott och försöker att från början bygga upp en ny kunskap. Det andra sättet, det lilla tvivlet, innebär att man i huvudsak fortsätter att tro på det man hittills trott på, men man betvivlar och omprövar sådana delar av kunskapsmassan som verkar att inte stämma med helheten. Genom många sådana små justeringar av olika delar kan helheten så småningom alldeles byta gestalt.

Det stora tvivlet kan också kallas ”filosofisk skepticism”. Dess kanske mest kände utövare var den franske filosofen René Descartes (1596-1650). Han konstaterade att det inte finns mycket som man kan vara helt säker på. Hur kan man veta om det man ser är en synvilla eller inte? Och hur man veta om det man upplever som verkligt bara är en dröm? Vill det sig riktigt illa så kanske världen är skapad av en gud som velat bedra oss?

Men en sak, menade Descartes, kan skeptikern vara alldeles säker på: sin egen existens. Blotta det faktum att jag tänker skeptiska tankar bevisar ju att jag finns. ”Jag tänker, alltså finns jag.” Från denna enda grundsanning försökte Descartes bygga upp en säker kunskap.

Många andra filosofer, både före och efter Descartes, har arbetat med det stora tvivlet som metod. Det är viktigt att betona att det stora tvivlet är just en metod för filosofin, ett av det filosofiska hantverkets verktyg. Det finns ingen anledning att tro att Descartes eller någon annan filosof på allvar betvivlade yttervärldens existens, eller ifrågasatte att det fanns andra levande och tänkande människor som skulle läsa deras böcker. Med det stora tvivlets hjälp kunde de påvisa vilka grundförutsättningar vår kunskap och våra föreställningar bygger på. Någon kunskap t ex om naturen eller om mänskliga samhällen uppnådde de inte på detta sätt, och det var inte heller deras syfte.

Däremot bygger vetenskapen – både naturvetenskap och t ex humaniora – på det lilla tvivlets metod. Vetenskapen har tagit sin första utgångspunkt i vardagskunskapen, som den gradvis har modifierat – ibland till oigenkännlighet. Den moderna vetenskapens utveckling hade aldrig varit möjlig om inte dess företrädare hade klarat av att både bygga vidare på vardagsföreställningarna och förhålla sig kritiskt till dem. Som exempel kan vi ta Galileis undersökningar om tyngdkraften. Han tog mycket för givet, t ex att en måttstock inte ändrar längd när man flyttar den. Men han ifrågasatte annat som många tog för nästan lika självklart, t ex att tunga föremål faller snabbare än lätta.

Att samtidigt ifrågasätta allt är ingen framgångsväg i vetenskapen. I stället gäller det att finna det som för tillfället är mest konstruktivt att ifrågasätta. Det är ungefär som att reparera en byggnad: Ska man arbeta praktiskt kan man inte ta bort alla bärande detaljer på en gång.

Det lilla tvivlet är alltså ett effektivt redskap för att förbättra vår kunskap om omvärlden. Det stora tvivlet är ett effektivt redskap för att förbättra vår förståelse för hur denna kunskap är uppbyggd.

Det händer ofta att människor tillgriper det stora tvivlet som något slags sista halmstrå i en diskussion: ”Jo, men allting är relativt”. – ”Man kan inte vara säker på någonting.” De som gör så brukar emellertid inte vara beredda att använda det stora tvivlet konsekvent till att betvivla allting. De nöjer sig med att använda det mot utvalda argument eller påståenden som de av andra skäl inte vill tro på.

Det är också vanligt att man vill tillämpa det stora tvivlet på vetenskapen utan att tillämpa det på vardagskunskap. Men detta är en ohållbar åtskillnad. Visst kan man säga att ingen vetenskaplig kunskap är säker. Men i den bemärkelse som man då använder ordet ”säker” kan man inte heller vara säker på hur många fingrar man har på sina händer eller på om livet är verkligt eller bara en dröm.

## **Sinnen och förnuft**

Om vi vill nå gemensam, intersubjektiv kunskap, har vi två kunskapsvägar att bygga på, nämligen sinnen och förnuftet. Nästan allt vetenskapligt arbete bygger på en kombination av dessa två kunskapsvägar, dvs (1) observationer med våra sinnens hjälp och (2) förnuftsargument som presenteras i sådan form att andra kan kontrollera om slutsatserna är riktiga. Det är endast matematikern och (ibland) filosofen som anser sig kunna nöja sig med den ena av dem.

De båda kunskapsvägarna – sinnen och förnuftet – är inte unika för vetenskapen. Tvärtom är de alldeles desamma som de metoder vi använder i vardagslag för att ta reda på hur verkligheten omkring oss är beskaffad och hur vi kan påverka den.

Ändå kommer vetenskapen ständigt fram till slutsatser som alldeles strider mot sunt förnuft och vardagserfarenheter. Så var det t ex med upptäckterna att jorden går runt solen i stället för tvärtom, att ett lätt föremål faller lika snabbt som ett tungt föremål av samma form etc.

En del av vetenskapens slutsatser har blivit så inarbetade i vår föreställningsvärld, att de numera räknas som sunt förnuft. Det gäller sådana uppfattningar som att jorden går runt solen, att stjärnorna är ”solar” utspridda i världsrymden på olika avstånd från oss, och att många sjukdomar sprids av osynliga små varelser (bakterier och virus). Men det finns också exempel på slutsatser från vetenskapen som (ännu) inte blivit inkorporerade i vårt vardagsmedvetande.

Kan det då verkligen vara samma kunskapsvägar som vi använder i vardagen och i vetenskapen, när de leder till så motstridiga resultat att vetenskapen ständigt måste korrigera våra vardagsuppfattningar? Jo, så är fallet, men skillnaden är att i vetenskapligt arbete används vardagslivets båda kunskapsvägar – sinnen och förnuftet – på ett mycket mer systematiskt sätt. Vetenskap är ett systematiskt sökande efter kunskap.

## **Empirism och rationalism**

Betoningen mellan de båda kunskapsvägarna kan variera. I filosofihistorien brukar man med empirism mena en riktning som fäster stor vikt vid den empiriska observationen och drar upp snäva gränser för hur långtgående slutsatser man kan dra med förnuftsargument. Med rationalism menas en riktning som mera betonar förnuftsargumentens roll. (Man måste skilja mellan ”rationalistisk” och ”rationell”,

två liknande ord med helt olika betydelse. Att vara rationell är att vara förnuftig, att vara rationalistisk är att ge förnuftsargument en stor roll.)

Äldre tiders rationalister hävdade ofta att man inte hade så stort behov av empiriska observationer. Moderna rationalister går inte så långt, men betonar att empiriska iakttagelser inte är mycket värda om de inte har utgångspunkt i en teori som talar om vilka iakttagelser som är relevanta.

Båda dessa traditioner har rötter i den antika filosofin. Platon (428–348 f Kr) företrädde den rationalistiska uppfattningen. I sin berömda grottlukelse hävdade han att våra sinnen bedrar oss. Vad vi förnimmer är bara skuggbilder av idéernas värld, som är den enda verkliga världen. Om den får vi kunskap med förnuftets, inte med sinnenas hjälp.

Platons elev Aristoteles (384–322 f Kr) kan räknas som empirist eftersom han fäste stor vikt vid sinnen som kunskapskällor. Han författade också ett flertal arbeten i empiriska vetenskaper.

Även under medeltiden var båda riktningarna företrädde, men rationalismen hade den starkaste ställningen. Den allmänna inställningen vid universiteten var – hur otroligt detta än kan verka idag – att även naturvetenskapliga frågor skulle avgöras på samma sätt som teologiska och historiska frågor, nämligen genom ett grundligt studium av äldre skrifter. Hos de boklärdade vid universiteten fanns en stark motvilja mot att experimentera. Detta innebar nämligen att man skulle arbeta med sina händer, och det ansågs inte värdigt det samhällsskikt som akademikerna tillhörde. De akademiskt utbildade läkarna utförde t ex inga operationer, utan detta överläts åt fältskärer som gällde som hantverkare och därför hade betydligt lägre social status än läkarna.

Det fanns en matematisk fysik under medeltiden. Medeltida lärda använde sig av matematiska modeller t ex av kroppars rörelser. Dock användes dessa modeller enbart för att ge ett mera precist uttryck åt det som man ansåg sig kunna resonera fram med rent förnuftsmässiga argument. Man använde inte dessa modeller till att förutsäga resultaten av mätningar, och hade därför inte det redskap som behövs för att pröva en teori mot verkligheten. Det avgörande steget, att kombinera en matematisk modell med praktiska mätningar i fysikaliska experiment, togs först av Galileo (1564–1642).

## **Hantverkarnas bidrag**

Medeltidens teknik stod inte stilla, utan utvecklades ständigt. Katedralbyggena och de astronomiska uren hör till de mest kända resultaten av denna utveckling. Antonio Stradivari (ca 1644–1737) utvecklade violinen till en sådan perfektion att de bästa violiner som tillverkas idag i allt väsentligt är trogna återbildningar av hans instrument. Det finns många exempel från andra teknikområden. Dessa framsteg och nyskapelser hade inte varit möjliga om man alltid hade nöjt sig med att använda beprövad teknik. Det fanns en tradition att söka sig fram, att experimentera med nya idéer och uppslag.

**Robert Norman**

År 1581 gav den engelske instrumentmakaren Robert Norman ut en bok om magneter, *The Newe Attractive*. Han lade där grunden för en ny förståelse av magnetismen.

Det var Robert Norman som fann på att lägga magneter på korkbitar i en vattenskål för att se hur de påverkar varandra. Han kunde konstatera att sydpol och nordpol dras mot varandra, medan två sydpoler eller två nordpoler stöter bort från varandra.

Han skaffade magnetstenar från olika håll i världen. Med deras hjälp kunde han motbevisa den då gängse uppfattningen att magneter från olika gruvor skulle peka åt olika håll. Vidare vägde han järnföremål före och efter att de magnetiserats, och konstaterade att magnetismen var viktlös.

Norman upptäckte också den magnetiska inklinationen, dvs den magnetiska kraftens lutning mot horisontalplanet. Han hängde upp en omagnetiserad järntråd i ett fäste på mitten, och balanserade den så att den hängde vägrätt. När han sedan magnetiserat järntråden, svängde den inte bara mot norr utan nordändan svängde också ned och pekade snett mot marken.

År 1600 gav hovläkaren William Gilbert ut en bok på latin om magneter. Där upprepade han mycket av det Norman skrivit men utan att redovisa sin källa. I våra dagars upplagsböcker, liksom i många vetenskapshistoriska böcker, nämns Gilbert som en av sin tids stora föregångare inom vetenskapen, men Norman nämns inte alls.

En del hantverkare började också att utföra experiment som inte hade något direkt praktiskt syfte, utan mera betingades av nyfikenhet om hur naturen fungerar.

Avgörande upptäckter om magnetismen gjordes t ex av en engelsk instrumentmakare vid namn Robert Norman. Andra hantverkare lade grunden till viktiga framsteg inom områden som optik och mekanik, anatomi och biologi.

Många av de kvalificerade hantverkare som utförde dessa experiment hade sin tids närmaste motsvarighet till våra dagars ingenjörsyrke. Men det fanns också en annan yrkesgrupp som hade en stor roll i denna utveckling, nämligen konstnärer. (Under medeltiden räknades bildkonstnärer som hantverkare och var organiserade i skrån liksom konsthantverkare.) Konstnärer som Lorenzo Ghiberti (1378-1455) och Albrecht Dürer (1471-1528) utforskade perspektivläran och kom därigenom in på optiken. Många konstnärer gjorde också noggranna undersökningar om anatomi och om människokroppens proportioner.

Under en period överflyglades alltså de boklärdas av tekniker och konstnärer när det gällde att undersöka naturen. Så småningom upptäckte de boklärdas att de måste börja experimentera. Till pionjärerna hörde anatomen Andreas Vesalius (1514-1564) som började dissekera själv, och Galileo Galilei (1564-1642), fysikern och astronomen. Galilei umgicks mycket med hantverkare för att lära av deras erfarenheter. År 1599 inrättade han i Padova världens första universitetslaboratorium och anställde instrumentmakaren Marc'Antonio Mazzoleni som världens första laboratorieassistent.

När de boklärdas på 1600-talet började experimentera, hörde optiken och mekaniken till de områden som de ägnade sig mest åt. Inom båda dessa fält hade nämligen vägen beretts åt dem av tekniker och konstnärer. Det var till stor del från dessa yrkesgrupper som akademikerna lärde sig att väga och mäta, att pröva sig fram i ett laboratorium, att göra exakta iakttagelser i naturen.

Den moderna naturvetenskapen var emellertid inte enbart en produkt av hantverkstraditionen. Galileo utvecklade t ex en matematisk teori för kroppars



rörelse och visade hur denna kunde prövas mot verkligheten genom experimentella mätningar. Detta krävde tillgång dels till en experimentell tradition från hantverkshåll, dels också till den matematiska tradition inom fysiken som han hämtade från den akademiska traditionen. Det var kombinationen av dessa båda traditioner som skapade den moderna naturvetenskapen.

Med den moderna vetenskapens utveckling har denna kombination mellan empirism och rationalism förstärkts. Det är när vi kombinerar noggranna och väl valda iakttagelser av den faktiska verkligheten med ett noga utvecklade förnuftsresonemang som kraftfull kunskap kan utvecklas.

### **Episteme och techne närmar sig varandra igen**

Även om företrädare för techne hade en avgörande betydelse för naturvetenskapens framväxt, kom de båda traditionerna inte att förenas. I stället fortsatte det praktiska livets techne och universitetens episteme att utvecklas var för sig, med undantag av att enskilda naturvetare också framträdde som uppfinnare. Den experimentella traditionen bland hantverkare levde också vidare oberoende av akademisk verksamhet; så t ex utförde kvarnbyggare under 1700- och 1800-talen avancerade experiment och mätningar, men hade mycket liten kontakt med sin tids akademiska vetenskap.

Med början under 1800-talet har episteme i allt större utsträckning ”betalt tillbaka” till techne i form av vetenskaplig kunskap som fått teknisk användning. Kemiindustrin och den elektrotekniska industrin var pionjärer i det systematiska utnyttjandet av naturvetenskap i tekniskt arbete. Viktiga nya produkter som telegrafan var resultat av upptäckter i universitetslaboratorier.

Det har blivit allt svårare att skilja mellan episteme och techne. Det mesta av vår vardagsteknologi är idag beroende av vetenskapliga upptäckter, och blir alltmer så. Samtidigt är det vetenskapliga arbetet beroende av en alltmer avancerad utveckling av teknisk utrustning. Episteme och techne är mer ouplösligt förknippade med varandra än någonsin.

## 2. Att resonera förnuftigt

I det förra kapitlet konstaterade vi att förnuftet är en av vetenskapens två huvudsakliga kunskapsvägar. I vetenskapen kommunicerar man sina slutsatser genom det offentliga, steg för steg framlagda argumentet. Men detta sätt att kommunicera är inte unikt för vetenskapen.

### Det rationella samtalet

Även i det enklaste vardagssamtal har vi krav och förväntningar om en förnuftsmässig kommunikation. Det är inte särskilt upplyftande att tala med en person som inte är beredd att förklara vad hon menar och som avfärdar andras argument utan att bemöta dem. Vi ställer vissa krav på oss själva och varandra om att tankemässigt kommunicera med varandra. Dessa krav handlar bl a om att uttrycka sig så klart och preciserat som möjligt, att ta andras argument på allvar och att acceptera ett hållbart resonemang oavsett vem som framför det.

I en del sammanhang är risken för missförstånd särskilt stor. Det gäller t ex vetenskaplig diskussion och offentlig samhällsdebatt. För att vi ska lyckas att kommunicera med varandra i sådana sammanhang måste vi skärpa de krav vi ställer på oss själva och varandra. Vi försöker då föra ett ordnat, rationellt samtal.

Rationalitetskravet i sådana samtal är alltså inte något som gör dem väsensskilda från vardagssamtal. Det handlar i stället om att vi starkt betonar en aspekt som finns med i alla vardagssamtal, nämligen att göra sig så noggrant förstådd som möjligt. Detta sker naturligtvis på bekostnad av andra egenskaper hos vardagssamtalet, t ex spontaniteten. Det rationella tänkandets former är i grunden desamma i vetenskap som i vardagstänkande. Det finns många vardagsituationer som kräver ett sätt att tänka och resonera som liknar vetenskapens, t ex när två hantverkare eller ingenjörer tillsammans försöker finna felet på en maskin.

Denna renodling av förnuftsmässiga krav på ett samtal är inte unika för den västerländska kulturkretsen. Så t ex har !Kung-folkets jägare ett mycket vetenskapsliknande sätt att tala om djurs beteenden. De skiljer noga mellan data (t ex spår man sett) och teorier, och vidare mellan observerade data och hörsägen. De är också mycket benägna att erkänna sina kunskapsluckor, och de är ofta skeptiska mot varandras påståenden. (För övrigt vet de ofta mycket mer om djurens beteenden än vad västerländska zoologer vet.)

Det rationella samtalet kräver av sina deltagare logisk och analytisk förmåga. Men detta är inte allt som krävs. De flesta av oss har iakttagit hur analytiskt högt begåvade personer visat sig oförmögna att kommunicera med varandra därför att de inte varit beredda att engagera sig tillräckligt i varandras tankemödor. Det rationella samtalet kräver också medmänsklig inlevelseförmåga.

Rationalitet är således till en viktig del en känslifråga, en fråga om känslomässig inställning till egna och andras argument och övertygelser. Rationalitet kräver närvaro av förnuft, men kräver därmed alls inte frånvaro av känslor. En känslökall rationalitet fungerar inte i de sociala sammanhang där rationaliteten är avsedd att fylla sina uppgifter.

Den emotionella komponenten i ett rationellt förhållningssätt framhölls redan i den text som brukar kallas Platons sjunde brev:

## **Seminariets historia**

Det moderna universitetsseminariet har sitt ursprung i en tysk tradition. Seminarieformen utvecklades först inom klassisk språkvetenskap. Som världens första universitetsseminarium brukar man räkna ett språkvetenskapligt seminarium som startade i Göttingen år 1737. Andra ämnen följde efter, först exegetik och historia. Under 1800-talets första hälft blev seminarier allt vanligare vid tyska universitet.

Universitetsseminariet växte fram som en vidareutveckling och sammansmältning av åtminstone tre olika traditioner inom den högre utbildningen. En av dessa var de medeltida disputationsovningarna, det offentliga försvaret av vissa i förväg uppställda teser mot en opponents attacker. En annan var den privatundervisning som många universitetslärare drygade ut lönen med, och som ofta var mindre katedral och innehöll övningar av olika slag. En tredje var de ämnesföreningar som bildats av intresserade studenter och där deltagarna träffades för att diskutera varandras uppsatser.

Seminarierna innebar ett brott mot den strikta hierarkin, eftersom det var kunskaper snarare än status som räknades i seminarierummet. Däremot var seminarierna i regel inte öppna för alla, utan enbart för särskilt förtjänta studenter. En besökare i den tyska universitetsstaden Halle skrev på 1790-talet att ”de flesta seminarister lägger sig till med speciella små manér med vilka de mycket märkbart utmärker sig; man kan på stort avstånd känna igen dem på deras klädsel och andra små detaljer.”

Seminarierna ägde ännu under sent 1800-tal oftast rum i professors vardagsrum, förmodligen främst av det enkla skälet att universitetets föreläsningssalar inte var lämpade för ändamålet. I regel följdes seminarierna av en gemensam måltid.

I Sverige infördes seminarier såvitt bekant inte förrän på 1860-talet. Förmodligen var det första svenska universitetsseminariet ett seminarium i klassiska språk i Lund som inrättades år 1865.

”Endast om de olika principerna – namn, definitioner, åskådningar och varseblivningar – prövas och nötes mot varandra under mödosamt arbete i försonlig ton och utan ovilja under samtalet, endast då strålar insikt och förnuft fram i varje fall och når den för människor högsta möjliga kraft.”

## **Seminariet**

Det finns många fora där det vetenskapliga samtalet förs. De vetenskapliga tidskrifterna innehåller ofta artiklar som kritiserar eller på olika sätt kommenterar andra forskares resultat och påståenden. Minst lika viktigt är att dessa tidskrifter normalt inte publicerar inkomna artiklar utan att dessa först granskats av specialister på det aktuella sakområdet (”peer review”). Forskningsansökningar

## **Seminarideltagarens tio budord**

*Som seminariedeltagare bör man sträva efter...*

- 1...att engagera sig i andras tankemödor: läsa deras texter, låta dem komma till tals och försöka förstå hur de tänker.*
- 2...att aldrig hänvisa till egen eller andras auktoritet. Kompetens måste bevisas vid varje enskilt tillfälle.*
- 3...att låta varje sak utredas, och aldrig stapla argument eller in-vändningar så att de inte kan penetreras eller bemötas.*
- 4...att aldrig försöka undgå kritik genom att byta samtalsämne eller ställa en besvärlig motfråga.*
- 5...att fokusera på de bästa – inte de sämsta – argumenten för ståndpunkter man söker vederlägga.*
- 6...att ta fasta på det utvecklingsbara även i en idé som man inte vill godta i dess helhet.*
- 7...att eftersträva precision, och hellre säga något precist som behö-ver korrigeras än något otydligt som inte ger hållpunkter för en fortsatt kritisk diskussion.*
- 8... att aldrig rädas att visa sin egen okunskap.*
- 9... att söka efter svagheter i sina egna ståndpunkter, och ständigt vara beredd att överge dem.*
- 10...att vara skoningslös mot alla argument och idéer och skonsam mot alla seminariedeltagare.*

genomgår i allmänhet en motsvarande granskning. Vetenskapliga konferenser ger tillfällen till offentliga samtal, inte minst genom att föredragen i allmänhet åtföljs av en kort frågestund. Dessutom finns det många mera informella fora för det vetenskapliga samtalet: personliga möten, korrespondens, och inte minst det vetenskapliga seminariet. Seminariet är ofta det forum för det vetenskapliga samtalet som studerande och unga forskare först kommer i kontakt med.

Seminariet är – eller bör i vart fall vara – en form av rationellt samtal. Därför bör seminariesamtalet också vara i en väsentlig mening opersonligt: Varje argument ska bedömas efter sitt värde, oavsett vem som lägger fram det. Samtalet syftar inte till att ta reda på *vem* som har rätt eller fel, utan *vad* som är rätt eller fel. Diskussionen handlar alltså i princip om ståndpunkter och idéer abstraherade från sina bärare. Därför bör man undvika att hamna i fastlåsta konflikter, och därför bör var och en leta efter brister i de egna ståndpunkterna och argumenten i lika hög grad som i andras.

Det kan vara belysande att jämföra seminariesamtalets opersonliga ideal med de gängse formerna för politisk debatt. I det senare fallet handlar samtalet alls inte om ståndpunkter abstraherade från personer, utan tvärtom handlar det i mycket om att söka bevisa att motståndaren har fel. Varje deltagare i ett vetenskapligt seminarium gör klokt i att vara på sin vakt, så att det inte tar den politiska debattens form.

**Vetenskapliga tidskrifter**

Som de första vetenskapliga tidskrifterna brukar man räkna den franska *Journal des Sçavants* och den engelska *Philosophical Transactions*, som båda började ges ut år 1665. Redan under dessa tidskrifters första årtionden skaffade sig redaktörerna vanan att ta hjälp av experter inom olika områden med att granska manuskript. Detta system har sedan dess kommit att utvecklas och systematiseras, och kallas med en svåröversättlig engelsk term ”peer review”. I stort sett alla internationella vetenskapliga tidskrifter tillämpar detta system. Termen ”peer review” anger att manuskripten granskas av experter inom respektive specialområde.

När en artikel kommer in till en tidskrift skickar redaktören skickar ut den till en, två eller ibland flera referenter (olika antal för olika tidskrifter). Dessa experter, som kallas ”referees” (på svenska referenter eller lektörer) är författarens kolleger inom respektive specialitet, men behöver inte alls vara mer kunniga eller erfarna än författaren själv. Uppdraget att vara referent åt tidskrifter är obetalt och tidskrävande, men det brukar anses vara en hederssak att åta sig granskningsuppdrag av detta slag.

Referenterna ska vara anonyma för författaren (anonymous refereeing). En del tidskrifter försöker även att hålla författarens identitet dold för referenterna.

När redaktionen fått in utlåtandena, fattar redaktören sitt beslut. Detta beslut kan vara att artikeln antas utan ändringar (ovanligt), att den antas på villkor av vissa förändringar som referenten föreslagit, att författaren uppmanas skicka in en ny reviderad version för förnyad granskning eller att artikeln refuseras. Det är i allmänhet tämligen självklart att artiklar som får starkt positiva utlåtanden ska antas och att de som får starkt negativa utlåtanden ska refuseras. I gränslandet däremellan kan redaktörens tycke och smak vara utslagsgivande. Redaktören meddelar sitt beslut i ett brev till författaren. I regel bifogas referentens utlåtande.

Det är ofrånkomligt att en del artiklar blir orättvist refuserade. Detta hade varit outhärdligt om det inte vore för att systemet är pluralistiskt, så att refuserade artiklar faktiskt kan få en andra chans i en annan tidskrift. Nästan all bra forskning (och även en del dålig forskning) är publicerad antingen i internationella tidskrifter med refereesystem eller i böcker publicerade av internationella förlag som också tillämpar peer review-systemet för vetenskaplig kvalitetsgranskning.

## Stegvis framlagda argument

I ett rationellt samtal bör argumenten vara framställda tillräckligt klart och i tillräckligt små steg för att man ska kunna följa och kontrollera dem. Detta behövs för att man ska undvika logiska felslut. Det behövs också för att alla förutsättningar för slutsatserna ska framgå tillräckligt tydligt.

Behovet av en noggrann stegvis genomgång är inte unik för vetenskapen utan är också vanlig i många vardagliga resonemang. Inte minst gäller detta tekniska sammanhang. Man resonerar på ett mycket vetenskapligt sätt då man söker efter felet hos en bil som inte startar eller hos ett dataprogram som inte betar sig som man tänkt sig.

Ett samtal eller en skriftlig framställning skulle emellertid bli olidlig om alla resonemang utfördes så detaljerat att de alltid angav alla förutsättningar för sina slutsatser. I praktiken är det både tillåtet och tillrådligt att använda förkortade uttryckssätt. Rationalitetskravet innebär att detta förkortade uttryckssätt ska vara just en förkortning, av ett längre resonemang som man vid behov kan redovisa. Man kan då utesluta okontroversiella eller självklara förutsättningar och tankeled.

Däremot måste man undvika att dölja oklarheter eller kontroversiella förutsättningar genom sådana nedkortningar.

## Mångtydighet och vaghet

Ett av kraven på ett rationellt samtal är att de för sammanhanget viktiga orden ska vara så väldefinierade som möjligt. Ofta är det oklart vad ett ord eller uttryck betyder. Oklarheten kan vara av två principiellt olika slag.

För det första kan ordet eller uttrycket ha två eller flera helt skilda betydelser. Detta kallas mångtydighet (ambiguitet). Så t ex betyder ”Varför har du lagt filen i papperskorgen?” helt olika saker framför datorn och i en verkstad. ”Egentligen behöver jag en bättre sax” betyder helt olika saker i en orkester och i en sömnadsverkstad.

Låt oss se närmare på två exempel på mångtydighet som båda har praktisk betydelse inom medicinen, nämligen den hos orden ”normal” och ”ärfilig”.

Vad betyder det t ex att ett blodtryck är normalt? Det finns två klart urskiljbara tydningar:

- (1) Inom gränserna för det som är vanligt.
- (2) Inom gränserna för det som är oskadligt.

Båda dessa betydelser förekommer när vi använder ordet ”normal” i vardagsbruk. Ofta används ordet utan att man klart har reda för sig vilken av betydelserna man avser. Sådana oklarheter har fått konsekvenser i medicinsk praxis. Man har t ex behandlat det som är oskadligt men ovanligt, eller avstått från att behandla det som är både skadligt och vanligt.

Skillnaden mellan de båda betydelserna av ordet ”normalt” har också stor betydelse då man diskuterar förhållanden i miljön. Vad betyder det t ex att halterna av kvicksilver i en sjö, eller av kadmium i en åker, är normala? Man måste i sådana sammanhang bestämma sig för om man jämför t ex med vilka halterna är i andra sjöar och åkrar, med hur halterna skulle ha varit utan mänsklig påverkan eller med gränsvärden för skadlig inverkan.

Även vårt andra exempel, ”ärfilig”, har två tydligt urskiljbara tolkningar. Att en egenskap är ärfilig kan betyda:

- (1) Egenskapen förekommer endast hos personer som har vissa arvsanlag.
- (2) Hos personer med vissa arvsanlag är egenskapen oundviklig.

Det finns gott om exempel på sjukdomar som är ärftliga i den första bemärkelsen men inte i den andra, dvs de kan botas. Det har ofta tagits för givet att om man kan påvisa att en viss psykisk egenskap (till en del) är orsakad av arv, kan den (i motsvarande mån) inte påverkas av miljön. Detta är en förväxling av de två bemärkelsen av ordet ”ärfilig”. Ett beteendemönster (t ex aggressivitet eller könsrolls beteende) kan likaväl som en fysisk sjukdom ha genetiska orsaker men ändå vara starkt påverkligt genom miljöpåverkan.

Den andra formen av oklarhet är vaghet, dvs att ett ord täcker ett helt spektrum av närstående betydelser. Ordet ”skallig” kan t ex användas om en person som helt saknar huvudhår, men också om en person som har några få huvudhår. Det finns inte någon skarp gräns, som framgår av följande uppräknig:

Den som har 0 huvudhår är skallig

Den som har 1 huvudhår är skallig  
Den som har 2 huvudhår är skallig  
Den som har 3 huvudhår är skallig ...

Det verkar som om det skulle gå att fortsätta denna uppräknings, steg för steg, hur länge som helst. I så fall vore vi alla skalliga. Men i själva verket finns det en gräns, om än suddig, för när ordet kan användas. Ordet är vagt i sin betydelse.

På motsvarande sätt är det oklart var gränsen går mellan kulle och berg, mellan sand och grus, mellan tung och lätt trafik, mellan tryckning och kopiering, mellan bredband och lågkapacitetskabel, mellan reklam och information. I själva verket är de flesta ord vaga i större eller mindre omfattning. Det är nästan bara särskilt definierade facktermer som har en preciserad och avgränsad betydelse.

### **När behöver ord vara väldefinierade?**

Inställningen till mångtydighet och vaghet är olika i olika språkliga sammanhang. I en tidningsrubrik stod det: ”Åtta unga skottar åt fyrtio gamla.” Av sammanhanget förstod man att det handlade om snöskottning och inte om kannibalism i Skottland, men rubriken blev citerad på en annan tidnings skämtsida. Många skämt och de allra flesta vitsar bygger på mångtydigheten hos ord.

Poesin är ett annat språkligt sammanhang där mångtydighet har en positiv användning. I diplomati och i förhandlingar av olika slag används både vagheter och mångtydigheter för att finna formuleringar som parter med olika ståndpunkter kan enas kring.

Skämt, poesi och diplomati är en brokig skara språkliga situationer, men de har det gemensamt att det inte är en dygd att de viktiga orden ska vara väldefinierade. Tvärtom kan mångtydighet och vaghet här vara värdefull och rentav oundgänglig.

Mera diskutabel är nyttan av mångtydighet i politiken. Det kan säkert hävdas att den här fyller samma funktion som i diplomatin. Ett mångtydigt uttrycksätt kan ena stridande grupper som har ett intresse av att hålla sams. Men mångtydighet kan också användas för att ge besked som olika väljargrupper uppfattar olika.

I vetenskapen finns det starka skäl att undvika mångtydighet och vaghet. Annars kan man nämligen inte uppnå en verkligt intersubjektiv kommunikation om sina resultat och teorier. Behovet av precision är minst lika stort i de flesta praktisk-tekniska verksamheter. Det räcker inte att ange att ett tryckkärl tål ”hög tryck”, utan trycket måste specificeras i mätbara termer.

Alldeles uppenbart sker denna precisering, denna utrotning av vaghet och mångtydighet ur det vetenskapliga och tekniska språket, på bekostnad av språkets poetiska kvaliteter. Sådana kvaliteter är nog så viktiga, men får komma till sitt fulla uttryck på annat håll.

**Definitioners struktur**

En definition har som huvudbeståndsdelar *definiendum* (det som ska definieras) och *definiens* (det varmed man definierar). De är förbundna med en utbytbarhetsrelation på t ex följande sätt:

*Exempel 1:*

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| En jon...                                | <i>definiendum</i>          |
| är...                                    | <i>utbytbarhetsrelation</i> |
| en elektriskt laddad atom eller molekyl. | <i>definiens</i>            |

*Exempel 2:*

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| En kemisk reaktion är...   |                             |
| reversibel...  | <i>definiendum</i>          |
| om och endast om...  | <i>utbytbarhetsrelation</i> |
| den kan fås att byta riktning genom en godtyckligt liten förändring av en av de faktorer som påverkar jämvikten (t ex tryck, temperatur, koncentration). | <i>definiens</i>            |

Terminologin kompliceras av att ordet ”definition” har två bemärkelser. Dels kan det (som ovan) beteckna hela komplexet av *definiendum*, *utbytbarhetsrelation* och *definiens*. Dels används det ofta om själva *definiens*, t ex när man säger att ”elektriskt laddad atom eller molekyl” är en definition av ”jon”.

## Definitioner

Inom varje vetenskapsgren finns en lång rad facktermer vars innebörd man måste vara klar över för att kunna kommunicera om de vetenskapliga frågeställningarna. Det är då angeläget att komma överens om definitioner av termerna i fråga. Sätten att göra detta varierar; i många fall vinner en definition insteg genom samma slags öppna konkurrens som mellan vetenskapliga hypoteser. Inom en del områden finns terminologi-kommitté eller en standardiseringskommitté som tar sig an terminologiska frågor. Inom kemin finns t ex ett väl utvecklat kommittéarbete för att göra namnen på kemiska ämnen entydiga och samordnade. Däremot fastställs flertalet andra kemiska termer, t ex namn på kemiska reaktioner, i regel inte genom kommittéer. Teknikvetenskaperna har, på grund av det omfattande tekniska standardiseringsarbetet, många termer vars definitioner är fastställa i kommittéarbete.

Man brukar skilja mellan två typer av definitioner, lexikala och stipulativa definitioner. I princip är skillnaden dem emellan mycket enkel: En lexikal definition rapporterar det befintliga språkbruket. En stipulativ definition anger hur



man själv avser att använda ordet (och förmodligen rekommenderar andra att använda det).

I ett arbete med lexikala definitioner har man ofta stor nytta av ordböcker och lexika. Särskilt gäller detta stora språkvetenskapliga ordböcker av typen *Svenska Akademiens Ordbok* och *New Oxford English Dictionary*. Sådana ordböcker brukar tämligen noggrant identifiera och karaktärisera de snarlika men åtskiljbara innebörder som ett ord eller uttryck har i befintligt språkbruk.

En lexikal definition ska redovisa och tydliggöra det gängse språkbrukets oklarheter och tvetydigheter. Om ett ord har flera olika innebörder bör de särskiljas och räknas upp. En lexikal definition har fördelen att den inte kräver någon språklig anpassning, utan tillåter att ordet används som hittills. Den har emellertid den ofta avgörande nackdelen att den inte tillför mera precision än vad som från början finns i det allmänna språkbruket. Vill man åstadkomma detta, krävs en stipulativ definition.

### Tre vägar till mer precisa begrepp

När man utarbetar en stipulativ definition som ska råda bot på språkliga oklarheter har man tre olika sätt att välja den term som ska definieras. Man kan för det första hålla fast vid det befintliga ordet (och omdefiniera det), för det andra förse ordet med en bestämning innan man definierar det, och för det tredje införa en helt ny term som man definierar. Skillnaden illustreras av följande exempel:

- (1) motstånd = kvoten mellan den spänning som läggs över en krets och den ström som då flyter genom densamma
- (2) elektriskt motstånd = kvoten mellan den spänning som läggs över en krets och den ström som då flyter genom densamma
- (3) resistans = kvoten mellan den spänning som läggs över en krets och den ström som då flyter genom densamma

(Exemplet är avsevärt förenklat vad gäller det som står till höger om likhetstecknen.)

Den första metoden, *omdefinition*, innebär att man fortsätter att använda en befintlig term, ofta ett vardagsord, men i det vetenskapliga sammanhanget ge det en mer preciserad innebörd. Exempel på ord som omdefinierats på detta sätt är kraft, tyngd, vikt, täthet, sur, risk, och intelligens.

I många fall består omdefinitionen i att man för tekniska och vetenskapliga ändamål kringgår ett ords vaghet genom att fastställa en (i grunden tämligen godtycklig) precisering. Det finns t ex definitioner för vad som ska menas med "tung motorcykel", "lera", "svagström", "storm" och t o m "övervikt".

Omdefinitioner av vardagsord leder alltså till att samma ord kan ha dels en vardaglig, dels en vetenskaplig och mera preciserad betydelse. Den situationen kan också uppstå genom att vetenskapliga ord tas upp i vardagsspråket och då får en mindre precis innebörd (t ex energi).

Många vetenskapliga preciseringar har efter längre eller kortare tid blivit accepterade i vardagsspråket. Det gäller t ex ordet "stjärna". Vi räknar numera solen som en stjärna, men inte Venus. För några generationer sedan gjorde man tvärtom. ("Irrstjärna", ett äldre ord för planet, togs bort ur Svenska Akademiens ordlista i 1923 års upplaga.) Detsamma gäller orden "fisk" och "orm". Vi räknar inte längre valen som en fisk eller kopparödlan som en orm. (Ordet "valfisk", en äldre synonym till "val", finns kvar i akademiens ordlista, men är försett med

beteckningen ”ålderdomlig” sedan 1986 års upplaga. Ordet ”kopparorm” finns fortfarande kvar, men den mera vetenskapliga synonymen ”kopparödla” finns också med sedan 1973 upplaga.)

Ett annat exempel är orden ”varm” och ”kall”. Som bekant känns badrumsmattan varmare under fötterna än badrumsgolvet. Fysiken lär oss emellertid att de båda föremålen har samma temperatur. Eftersom golvet leder över mera värme från fötterna kyls dessa mera av golvet än av mattan. Ursprungligen användes orden ”varm” och ”kall” för att beteckna hur olika föremål kändes. Numera har de flesta av oss accepterat att dessa ord i stället ska syfta på föremålets temperatur. Antag t ex att det känns kallare idag än igår, medan termometern visar högre temperatur än igår. (Det kan bero på att det blåser mera idag.) De flesta skulle nog i det läget låta termometern falla utslaget och anse att det är varmare idag än igår.

Metoden att omdefiniera vardagsord har fördelen att enkla välkända ord kan användas, men det är ofta en tämligen bedräglig form av enkelhet som uppnås på detta sätt. För den som läser en vetenskaplig text är det lätt att missförstå termer som man känner från andra sammanhang och därför oreflekterat tror sig förstå. Det kan också uppstå onödiga konflikter om språkbruket. Orden ”tyngd”, ”vikt” och ”kraft” har t ex en mera inskränkt innebörd inom fysiken än i allmänt språkbruk. En del fysiker är angelägna att man alltid ska använda dessa ord på samma sätt som inom fysiken (och inte som de har använts sedan långt innan fysiken gav dem en ny innebörd). Det är emellertid inte självklart att vardagsspråket i alla lägen måste acceptera de preciseringar som fackspråket fäst vid ord det har tagit över från vardagsspråket. I många fall måste man nog acceptera att vardagsspråket kan klara sig utan fackspråkets preciseringar.

Den andra metoden att åstadkomma precision är att förse den ursprungliga termen med en *bestämning* eller precisering innan man definierar den. Exempel är det redan nämnda ”elektriskt motstånd”, liksom ”specifik vikt” och ”fysisk pendel”. Denna metod har fördelen att ge upphov till mindre missförstånd än rena omdefinitioner. Å andra sidan blir de facktermer som åstadkoms på detta sätt ofta språkligt otympliga, vilket kan vara en orsak till att denna metod inte är särskilt ofta utnyttjad.

Den tredje metoden är att införa ett för sammanhanget *nytt ord*, en preciserad fackterm att användas i stället för den oklara termen i vardagsspråket. Exempel är resistans (motstånd), friktion (motstånd), ulcus ventriculi (magsår) och anemi (blodbrist). Denna metod är mycket vanlig. Den har nackdelen att den resulterar i ett fackspråk som låter svårt och främmande, men fördelen att läsaren inte glider förbi fackorden i den falska övertygelsen att hon har förstått dem.

Det finns inget enkelt recept för hur man ska bära sig åt för att precisera innebörden eller innebörderna hos ord, utan detta är något av en konststart. En bra arbetsmetod är att pröva sina preliminära definitioner på olika exempel för att se om gränsdragningen blir den man avsåg.

I ett lexikon definierar man svåra ord med hjälp av enklare ord. Strävan att ge precision åt den vetenskapliga terminologin kan inte, generellt sett, gå till på det sättet. De enklare, vanligare orden i språket är minst lika mångtydiga och vaga som de mera ovanliga orden. Det finns också många distinktioner som inte kan uttryckas då man begränsar sig till språkets vanligaste ord. Att försöka återföra språkets olika begrepp till ett fåtal grundläggande ord vore i detta sammanhang en återvändsgränd. Tvärtom behöver vi ofta rikedom hos språkets övriga ord för att analysera innebörden hos ett ord som vi vill ha klarlagt.

## Värdeladdade ord

Många ord är starkt värdeladdade. Inom samhällsvetenskapen opererar man hela tiden med ord som har en stark värdekomponent, t ex ”rättvisa” och ”välfärd”. I naturvetenskapen har de allra flesta orden ingen tydlig värdekomponent. Teknikvetenskapen får något oftare än naturvetenskapen, men inte alls lika ofta som samhällsvetenskapen, befatta sig med värdeladdade ord. I frågor som gäller teknikens praktiska användning används ofta ord som ”risk”, ”katastrof”, ”användarvänlig”, ”miljöanpassad”, ”naturlig” etc, som har en stark värdeladdning.

Värdeladdningen hos ett ord kan vara antingen positiv (”miljövänlig”) eller negativ (”onaturlig”). I båda fallen är värdeladdningen i regel starkt förknippad med ordet och närmast omöjlig att tvätta bort. Detta måste observeras i både lexikalt och stipulativt definitionsarbete.

När man lexikalt definierar en värdeladdad term bör man inte försöka ”definiera bort” värdeladdningen. Om definitionen ska vara rättvisande, måste den ju också utvisa värdeladdningen. En värdeneutral definition av ord som ”katastrof” eller ”svek” skulle bli missvisande.

Många värdeladdade ord, särskilt inom politikens och religionens område, är svåra eller omöjliga att definiera lexikalt på ett okontroversiellt sätt eftersom olika personer har olika åsikter om hur dessa ord rätteligen bör användas. Sådana ord är *till sin natur omtvistbara (essentially contested)*. Exempel är konst, demokrati, social rättvisa och frihet. En bra utgångspunkt i definitionsarbetet kan då vara att söka efter dels en betydelsekärna, som är gemensam för alla bruk av ordet, dels de olika mer precisa men därmed också mer kontroversiella versioner som förekommer. Ett exempel är ordet ”rättvisa”, vars betydelsekärna kan uttydas som att ”det finns godtagbara skäl för de skillnader som föreligger mellan de omständigheter och villkor som människor utsätts för”. Olika varianter av rättvisbegreppet skiljer sig åt i fråga om vad man anser vara ”godtagbara skäl”, t ex om vilka skäl till löneskillnader som kan accepteras.

Då man arbetar med stipulativa definitioner är ett helt annat förhållningssätt till värdeladdade ord och begrepp möjligt. Man kan då försöka att ”skala bort” värdeladdningen. I sådana fall är det i regel klokt, ibland nödvändigt, att välja ett nytt ord för det värdebefriade begreppet. Annars kommer värdeladdningen att ”sitta kvar” i det definierade ordet. Så t ex är det närmast lönlöst att försöka införa en värdeneutral definition av ordet ”byråkrati”. Hur man än försöker ändra dess innebörd kommer ordet ändå att uppfattas som nedsättande. Då är det klokt att i stället använda ett annat ord (kanske ”administration”) för det värdebefriade begreppet.

## Kreativitet och kritik

I forskningsprocessen gäller det att komma på nya idéer. Den kreativa processen redovisas i regel inte i forskningsrapporterna, helt enkelt därför att den inte ska påverka andras bedömning av slutsatsernas giltighet. Matematikern redovisar bara sitt bevis för den sats hon presenterar. Vilka specialfall hon först prövade sig fram med, vilka bilder och analogier hon använde för att komma fram till beviset ska inte påverka hur andra bedömer hennes slutsats. Det enda som ska påverka är om beviset är korrekt eller inte. Av motsvarande skäl redovisar historikern inte vilka förmodanden som fick henne att börja läsa just det källmaterial som hon har använt. Experimentalisten redovisar i regel inte de vaga känslor som fick henne att välja en viss försöksupplägning, utan det är försöksresultaten som gäller. Denna stramhet i

redovisningen ger ofta intrycket att vägen fram till forskningsresultaten har varit betydligt mera direkta och rätlinjiga än vad de i själva verket var.

När man först kommer på nya idéer har man i regel inte tillräckliga skäl för att veta om de stämmer eller inte. Det är ett normalt – och oundgängligt – inslag i forskningsprocessen att forskare kommer på en mängd idéer som de sedan förkastar. De obevisade idéerna brukar kallas hypoteser. De måste utsättas för en kritisk granskning. Denna granskning kan ibland vara rent teoretisk, men ofta tar den formen av experiment eller andra observationer där man prövar idéernas hållbarhet. En empirisk prövning av vetenskapliga hypoteser brukar kallas hypotesprövning.

Forskningen fortskrider alltså genom en kombination av kreativa och kritiska processer. Till viss del kan det förekomma en uppdelning av dessa processer mellan olika personer. Somliga forskare är mycket kreativa och får ”vilda idéer” som de behöver hjälp av andra att sortera bland. Andra är inte lika innovativa, men desto skickligare på att kritisera andras idéer.

Dock kan en sådan arbetsfördelning inte drivas särskilt långt utan förfång för forskningen. Det behövs en snabb återkoppling från kreativitet till kritik, så att kreativiteten hela tiden leds in i rätta banor. Därför måste forskaren vara kapabel att kritisera och sortera bland sina egna idéer. I hennes inre måste det pågå ”en dialog mellan två röster, en fantasifull och en kritisk”. Denna inre dialog måste sedan kombineras med en yttre dialog, som till stor del består i att forskare kritiskt granskar varandras idéer. Framgången för nya idéer består just i att de klarar denna granskning och därmed blir allmänt accepterade bland andra forskare.

## **Intuition**

Kreativiteten kan inte bygga enbart på logiska slutsatser, utan kräver en process där intuitionen spelar en stor roll. Intuition är ett ganska undflyende begrepp, som har använts på många olika sätt. För våra ändamål kan det vara tillräckligt att definiera intuition som en övertygelse som man inte kan underbygga med intersubjektivt hållbara skäl. Om jag har en allmän känsla av att en 10×10 cm furubjälke räcker för att uppbära en byggnadskonstruktion, men inte kan motivera detta, är denna övertygelse en intuition. Om jag däremot kan underbygga mitt påstående med systematiskt hopsamlade iakttagelser, eller med en beräkningsmetod som bygger på sådana iakttagelser, rör det sig inte (enbart) om en intuition utan om en underbyggd ståndpunkt. Om en matematiker har en allmän känsla av att en viss sats är sann, men inte kan prestera ett fullständigt bevis, är det en intuition hon har. Endast ett bevis gäller bland matematiker som intersubjektivt hållbart argument.

Många vetenskapliga insikter har börjat som vaga intuitioner. Därför skulle det inte vara fel att beskriva intuitionen som en ytterligare vetenskaplig kunskapskälla, utöver sinnena och förnuftet. Dock skiljer den sig på en avgörande punkt från de båda senare: Intuitionen förser oss bara med hypoteser att pröva, inte med intersubjektivt hållbara skäl för vetenskapliga ståndpunkter. Därför framstår intuitionen inte som en kunskapskälla av samma dignitet som sinnena och förnuftet.

Artonhundratalets romantiker odlade myten om intuitionens tillräcklighet i konsten, om den omedelbara inspirationen, romanen eller symfonin som skrevs på

**Forskning i drömmen?**

Det mest kända exemplet på forskningsidéer som sägs ha kommit fram i drömmen gäller den tyske kemisten Friedrich August Kekulé von Stradonitz (1829-1896). Han har själv berättat hur han kom på att aromatiska föreningar som bensen skulle kunna vara uppbyggda med sex kolatomer i en ring.

”Jag vände stolen mot elden och slumrade till. Återigen skuttade atomerna runt inför mina ögon, denna gång höll sig de mindre grupperna blygsamt i bakgrunden. Mitt mentala öga, som blivit mera skarpsynt av upprepade syner av detta slag, kunde nu urskilja större strukturer av mångfaldig sammansättning: långa rader, ibland mer nära sammanförda, som alla slingrade sig som ormar. Men titta! Vad var det? En av ormarna hade gripit tag i sin egen svans, och formen virvlade retsamt runt framför mina ögon. Jag vaknade som av en blix, och denna gång tillbringade jag resten av natten med att utarbeta konsekvenserna av min hypotes.”

Det finns dock en hake: Så småningom har det kommit fram att en österrikisk ingenjör och kemilärare vid namn Josef Loschmidt hade föreslagit den ringformade strukturen flera år före Kekulé. Av ett brev framgår att Kekulé bevisligen hade läst Loschmidts skrift i ämnet. Kekulés dröm var således inte källan till hans insikt. Hans berättelse framstår som ett led i en romantisk mytbildningen om den geniale vetenskapsmannen.

några få dagar. I praktiken är detta ytterst sällsynta undantag. Konst, liksom vetenskap, kräver åtskillig möda utöver inspirationen. Det förekommer också en liknande idealisering av den ensamme, geniale forskarens outgrundliga intuitioner. I vetenskapshistoriska och populärvetenskapliga böcker framhålls ofta hur banbrytande forskningsidéer har kommit fram i drömmar eller genom andra ingivelser som har föga att skaffa med rationell analys.

En del av dessa skildringar förefaller överdrivna. Dessutom måste det observeras att inte bara bra utan också dåliga idéer kan komma fram i drömmar. Därför kan drömmar och ingivelser aldrig leda ända fram till vetenskaplig kunskap. De kan ge oss impulser till sådant som bör prövas, men det är bara vad som består den rationella analysens prövning som kan räknas som kunskap i vetenskaplig mening.

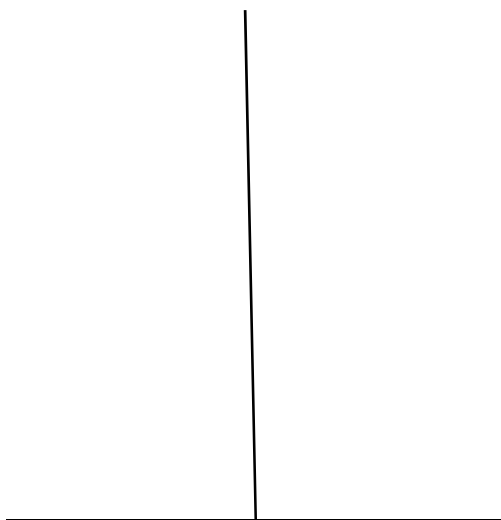
I praktiken brukar kreativa idéer och plötsliga insikter inte komma som en blix från en klar himmel utan som resultatet av hårt intellektuellt arbete. Både kreativa och kritiska processer inom modern vetenskapen är dessutom till stor del kollektiva. Undersökningar av framgångsrik forskning tyder starkt på att vetenskapliga upptäckter numera normalt inte framkommer ur den ensamma forskarens isolerade insatser utan ur den kreativt arbetande gruppens dynamik.

### 3. Att observera

Att vetenskapen är empirisk betyder bl a att vi bygger vår uppfattning om verkligheten på observationer som vi gör med våra sinnen. Ibland kan vi mycket direkt observera det vi vill studera, t ex då en etolog studerar djurs beteenden eller då en statsvetare följer en beslutsprocess samtidigt som den pågår. Ibland blir observationen mycket indirekt. Den kan vara indirekt på olika sätt. Studiet av historiska källskrifter ger endast mycket indirekt kunskap om gångna tiders förhållanden. Spåren av partiklar i en bubbelkammare ger mycket indirekt kunskap om mikrovärlden.

#### Sinnenas ofullkomlighet

Att vi använder sinnen som kunskapskälla betyder inte att vi använder dem på något okritiskt sätt. Titta t ex på de här två linjerna:



De flesta människor tycker inte att dessa linjer är lika långa, men med en linjal övertygar vi oss om att så är fallet. Vad är det då som gör att vi känner oss mer övertygade av en mätning med linjal än av det direkta synintrycket? Uppenbarligen utgår vi från att våra sinnen är ofullkomliga, men att det finns något objektivt som ligger bakom vår subjektiva upplevelse av längd. Om vi i stället strikt litar på våra sinnen som ofelbara, skulle vi tro att de båda linjerna är olika långa och att linjalen ändrar längd när man vrider den.

Ett liknande fenomen kan iaktas om vi besöker lustiga huset. Vi skulle där lita mer på ett lod eller ett vattenpass än på ögats uppfattning av lodrätt och vägrätt. Man kan uttrycka detta så att vi redan i vardagslivet, utifrån den regelbundenhet vi kan iaktta i naturen, antar att det finns ännu mer regelbundenhet. Genom erfarenhet vet vi att denna tolkningsmodell är effektiv och ger bättre förutsägelser än att lita på sinnen som ofelbara.

Ett annat och litet mer komplicerat exempel är temperaturbegreppet. Vi har temperatursinnen som ger oss subjektiva upplevelser av att en del föremål är varma i olika hög grad, medan andra är kalla. Men det är lätt att upptäcka att temperatursinnet inte ger en bild av någon särskilt regelbundet ordnad omvärld.

Ett klassiskt sinnesfysiologiskt experiment kan illustrera detta. Placera den ena handen i iskallt vatten och den andra i hett vatten. Lyft upp dem efter en stund

och placera dem båda i samma skål med ljummet vatten. Då känns det kallt om den hand som varit i hett vatten och varmt om den andra handen. Om vi blint trodde på våra sinnen skulle vi då tvingas konstatera att de båda händerna inte befann sig i en omgivning av samma temperatur. Det skulle vara svårt att få en sammanhängande beskrivning av omvärlden från en sådan utgångspunkt.

Lösningen är i stället att vi antar att det finns en objektiv temperatur, som vårt temperatursinne bara ungefärligt kan uppfatta, men som kan mätas t ex genom utvidgningen hos en kvicksilverpelare. Det finns en god överensstämmelse mellan sådana temperaturmätningar och vår subjektiva temperaturupplevelse.

Temperaturbegreppet har utvunnits ur våra sinnen genom en mera abstrakt process än längdbegreppet. Andra begrepp, som kraft och energi, har utvunnits genom liknande, men ännu mer abstrakta processer.

## **Observationer är teoriberoende**

Bakom de allra flesta vetenskapliga observationer ligger således teorier om hur sammanhangen i världen är beskaffade. Det skulle inte ha funnits någon anledning för oss att så ofta läsa av mätskalor invid kvicksilverpelare, om vi inte trodde att det verkligen finns en objektiv temperatur att mäta. Mera generellt är våra observationer till största delen *teoriberoende* i den meningen att de utgår från våra föreställningar om vilka slags empiriska beskrivningar som ger den enklaste bilden av naturens regelbundenheter. Dessa föreställningar är emellertid i sin tur inte ”rent teoretiska”, utan bygger på tidigare gjorda empiriska iakttagelser.

Det vore alltså fel att säga att observationerna generellt sett kommer före teorierna i det vetenskapliga arbetet. Lika fel vore det emellertid att säga att teorierna ska komma före observationerna, ty utan observationer finns det inget underlag att uppställa teorier. Förhållandet mellan teorier och observationer kan väl jämföras med det mellan hönan och ägget, det är ingen mening att tvista om vad som kom först.

Ibland har observationer blivit ifrågasatta därför att det inte funnits någon tillräckligt välunderbyggd teori att bedöma dem efter. När Galileo i sitt teleskop iakttog fyra månar runt Jupiter fanns det t ex inte någon optisk teori som förklarade teleskopets funktion. I bildens kant såg man konstiga färger, som Galileo (med rätta) tolkade som instrumentfel. Hur kunde man då veta att de fyra månarna inte var ett instrumentfel? Observationen som sådan var inte tillräcklig, utan det behövdes en teori som förklarade dess värde. Den skepsis som en del av hans samtida uppvisade gentemot teleskopet var inte alls så orimlig som den kan förefalla idag när teleskopen dels ger mycket bättre bilder, dels också bygger på en väletablerad optisk teori.

Genom naturvetenskapens utveckling har alltmer komplexa och teoriberoende operationer kommit att räknas som observationer. Så t ex är solens inre, i vardagsbemärkelsen av ordet ”observera”, något som inte kan observeras. Inom astrofysiken har man en annan inställning till detta. Ända sedan mitten av 1960-talet har astrofysiker detekterat neutriner som har sitt ursprung i solens inre. På detta sätt anser man sig kunna observera solens inre. Observationsbegreppet förändras alltså i takt med utvecklingen av teorier och teknologi.

## **Tekniken hjälper sinnen**

Utan mätinstrument vore inte naturvetenskapen långt kommen. En stor del av alla upptäckter har gjorts tack vare en med tiden alltmer avancerad teknologi för

vetenskapliga observationer. I detta avseende är alltså episteme starkt beroende av techne. Två tekniska framsteg hade särskilt stor betydelse för den moderna vetenskapens framsteg. Den ena är den mekaniska tidmätningen, den andra glasteknologin som gjorde både teleskopet och mikroskopet möjliga.

Med hjälp av ett mätinstrument kan vi reducera användningen av våra sinnen till något som vi lärt oss att vi kan göra exaktare – t ex att läsa av en termometer i stället för att avgöra med det egna temperatursinnet hur varmt det är. Mätinstrument används också för att observera sådant som vi annars inte alls kan iaktta. Med hjälp av mätinstrument kan vi studera mycket små och mycket avlägsna föremål. Vi kan iaktta våglängder av ljus och ljud som kroppen inte själv kan uppfatta. Med kemisk analys gör vi en mängd olika slags iakttagelser som inte kan göras av kroppen. På dessa och många andra sätt har våra möjligheter att observera den värld vi lever i mångfaldigats genom tekniska framsteg.

Det är inte bara sinnen utan även minnets begränsningar som tekniken kunnat avhjälpa. Det mänskliga minnet fungerar inte som en återuppspelning på en bandspelar, utan är snarare en rekonstruktion gjord i efterhand från fragmentariska delar. På alldeles samma sätt som vi förlitar oss på linjaler hellre än på ögonmått bör vi därför lita mer på t ex fotografier och samtida minnesanteckningar än på vårt eget minne. Mekanisk registrering genom t ex mätinstrument, skrivare, fotografering, film och bandinspelning kan i den praktiska forskningen användas som botemedel mot minnets ofullkomlighet.

### **Anekdotisk bevisning**

Det görs alla möjliga slags observationer som man begär att vetenskapen ska ta hänsyn till. Människor som sett ufon eller spöken brukar ofta begära att deras berättelser ska tas som bevis för att det de sett är verkligt. Ett berömt exempel finner vi hos Sir Arthur Conan Doyle, författare bl a till Sherlock Holmes-berättelserna. Doyle samlade på berättelser från människor som ansåg sig ha sett feer och älvor. Syftet var inte, som man kanske kunde ha förväntat sig, folkloristiskt, utan Doyle försökte leda i bevis att dessa varelser verkligen finns. De många berättelserna var den bevisning han ansåg sig behöva. Han skrev:

”Det måste emellertid framhållas att dessa mångtaliga vittnesbörd kommer från människor som är mycket stabila och praktiska och framgångsrika i livet. En är en framstående författare, en annan är en auktoritet på ögonsjukdomar, en tredje är en framgångsrik yrkesman, en fjärde är en kvinna engagerad i offentliga angelägenheter, osv. Att lägga undan bevis som härrör från sådana människor därför att de inte stämmer med vår egen erfarenhet är en arrogant handling som ingen vis man kommer att begå.”

Det kan verka sympatiskt att ta människors berättelser om älvor – eller för den delen spöken, ufon eller andra märkliga fenomen – som säkra källor, men erfarenheten visar att ett sådant förhållningssätt mycket ofta leder till ohållbara slutsatser. Det är av detta skäl – och inte på grund av den arrogans som Doyle talade om – som man i vetenskapligt arbete tolkar denna typ av observationer med mycket större försiktighet än den som Doyle utövade. Dessa observationer har svagheten att vara spontana och oplanerade, och följaktligen gjorda på ett osystematiskt sätt och utan stöd av mekanisk registrering. (De foton som Conan Doyle förevisade var förfalskningar som han blivit pådyvlad.) Det finns en lång erfarenhet – och många vittnespsykologiska experiment – som visar att vi är dåliga



på att observera något vi inte är beredda på, t ex en olyckshändelse eller ett okänt föremål på himlen.

I vetenskapen arbetar man alltså inte med vilka observationer som helst. Det ställs krav på att observationerna ska vara så tillförlitliga som möjligt. Detta kräver att de planeras och görs på ett systematiskt sätt och med så goda hjälpmedel som möjligt.

## Fyra slags observationer

Observationsidealet skiljer mellan olika vetenskaper bl a beroende på hur de fördelar sitt intresse mellan det speciella och det generella. Om man söker kunskap om ett speciellt fenomen, är idealet att kunna iaktta just detta fenomen så direkt och i så ostört skick som möjligt. Nutidshistorikern skulle t ex i många fall vilja sitta med och lyssna när besluten fattas.

Om man däremot söker kunskap om något generellt, gäller det att hitta en observationsmetod som ger kunskap som är giltig mer än för de(t) enstaka fall man observerar. För att nå sådan, generaliserbar kunskap har man i regel anledning att på olika sätt manipulera sitt studieobjekt för att kunna påvisa hur det reagerar under olika omständigheter. För att nå generaliserbar kunskap har man alltså anledning att göra experiment.

Ett experiment är en observation för vilken man själv i huvuddrag kontrollerar villkoren. Om jag råkar se att det fräser när två kemiska ämnen blandas, är detta en observation men inte något experiment. Om jag noga kontrollerar vilka ämnena är, mäter upp bestämda mängder, blandar dem på ett planerat sätt, och sedan noga observerar vad som händer har jag gjort ett experiment. I det senare fallet har jag nämligen kontrollerat omständigheterna för min observation.

Efter graden av kontroll kan observationer delas in i fyra grader:

1. *Experiment*. En planerad observation där man dels kan påverka och variera de relevanta variablerna, dels kan registrera (mäta) dem.
2. *Kontrollerad observation*. En planerad observation där man visserligen kan registrera (mäta) de relevanta variablerna, men inte kan påverka dem för att se vad som händer om man ändrar dem. Exempel: Vi sitter i ett torn invid ett örnäste och för anteckningar om örnarnas beteende, efter i förväg uppgjorda regler för vad vi ska anteckna och hur.
3. *Okontrollerad observation*. En (ofta spontan) observation, där man inte har reda på de variabler som kan ha påverkat det man observerar.
4. *Rykten*, dvs observationer som man inte gjort själv och inte vet vem som har gjort.

Det finns ingen skarp gräns mellan de fyra slagens observationer, utan i praktiken finns det en glidande skala. Ibland är det svårt att avgöra om en observation t ex ska räknas som experiment eller som kontrollerad observation. Termen ”naturligt experiment” brukar användas om kontrollerade observationer där de relevanta variablerna varieras genom en naturlig process på ett sätt som liknar hur försöksledaren själv skulle ha varierat dem om detta hade varit möjligt. Antag t ex att vi skulle vilja veta hur rävar påverkas av två olika varianter av rävsjuka. Vi vill inte själva sprida sjukdomen, men vi hittar två isolerade öar. Den ena sjukdomsvarianten har just fått fäste på den ena ön medan den andra varianten börjat spridas på den andra. Då har naturen själv genomfört ett ”experiment”, och

det återstår för oss att genomföra jämförbara observationer av hur rävpopulationerna påverkas på de båda öarna.

Då vi söker generell kunskap är experimentet den önskvärda observationsformen. Den kontrollerade observationen är sämre, den okontrollerade ännu sämre, och ryktet naturligtvis den sämsta tänkbara.

Då vi söker speciell kunskap är experimentet ofta inte aktuellt som arbetsmetod. I stället är det här i första hand kontrollerade observationer, i andra hand okontrollerade observationer som vi föredrar. Rykten kommer förstås även här i sista hand.

Som exempel på icke-experimentella observationer inom områden där experiment inte är önskvärda kan nämnas anatomiska dissektioner, botaniska inventeringar, geologiska inventeringar och samhällsvetenskapliga studier av befolkningsutvecklingen. Gemensamt för dessa exempel är att de handlar om speciell kunskap. Det är för att nå generell kunskap man behöver manipulerande metoder.

## **När observationsidealet inte kan uppnås**

Kravet på vetenskaplighet innefattar att man ska använda så välkontrollerade observationer som möjligt. Men många intressanta vetenskapliga frågor handlar om sådant som vi inte kan studera på ett särskilt välkontrollerat sätt. Det är naturligtvis inte ovetenskapligt att ägna sig åt sådana studier. Ovetenskapligt är det däremot att nöja sig med mindre kontrollerade observationer än vad man kan uppnå, eller att dra mer vittgående slutsatser ur okontrollerade observationer än vad de medger.

Det kan finnas olika skäl till att observationer inte kan utföras på det sätt som vore idealiskt för det vetenskapliga syftet. Dels kan välkontrollerade observationer vara praktiskt omöjliga, dels kan de vara oetiska. Båda dessa skäl kan inverka inom såväl humaniora och samhällsvetenskap som naturvetenskap. Det är omöjligt att experimentellt studera stjärnors uppkomst eller att lyssna på hur talspråket lät på medeltiden. Det är oetiskt att experimentellt studera smittvägar och giftverkan på människor eller effekten av totalitär propaganda. Det är också oetiskt att göra närgångna observationer av folk som inte vet att de är observerade.

Vad som är omöjligt eller uppfattas som oetiskt är inte givet en gång för alla, utan i högsta grad något som varierar med tiden. På 1930-talet var det inte möjligt att experimentellt studera elementarpartiklar med hög energi. I stället skickade fysikerna upp ballonger med fotografiplåtar för att fånga upp kosmisk strålning. Numera används partikelacceleratorer, dvs man har kunnat gå över till experimentell metod. Uppfattningarna i forskningsetiska frågor har också förskjutits. De etiska kraven i medicinska experiment på människor är t ex betydligt strängare nu än för ett femtiotal år sedan.

Det råder alltså inte någon principiell skillnad mellan humaniora, samhällsvetenskap och natur- och teknikvetenskap i detta avseende. Inom all slags vetenskap tvingas man ofta nöja sig med en sämre observationssituation än vad man skulle kunna önska. Historiska vetenskaper är ofta sämst ute, eftersom det aldrig går att direkt observera vad som hände för länge sedan. Detta gäller både historiska humanvetenskaper (t ex allmän historievetenskap eller språkhistoria) och historiska naturvetenskaper (t ex paleontologi som studerar tidigare livsformer och kosmologi som studerar universums utveckling).

När man inte kan observera det man vill studera på ett välkontrollerat sätt finns det två huvudvägar att gå. Dels kan man göra mindre välkontrollerade observationer av sitt studieobjekt. Dels kan man på ett välkontrollerat sätt studera

fenomen som liknar det man är intresserad av, och som man har anledning att tro är så närbesläktade att de kan ge vägledning.

I regel går man parallellt fram på båda dessa vägar. Eftersom vi (av etiska skäl) inte kan studera effekten av giftiga ämnen genom experiment på människor, gör vi i stället dels icke-experimentella observationer på människor som ändå har blivit utsatta för ämnena, dels experimentella observationer på djur, som det anses etiskt försvarbart att förgifta i detta syfte. Eftersom det inte går att experimentellt studera stjärnornas uppkomst, gör man dels experimentella studier av närbesläktade fenomen (bl i partikelacceleratorer), dels mindre kontrollerade observationer genom teleskop.

## Observatören själv

En av faktorerna i en observation är alltid observatören själv. Observatörens närvaro är problematisk på åtminstone två sätt: dels genom hennes påverkan på det hon studerar, dels genom hennes tolkningar av det.

*Påverkansproblemet* är ofta det mest svårhanterliga av de båda problemen. I många fall är det oundvikligt att observatören påverkar det hon observerar på ett okontrollerat sätt. Socialantropologen som besöker en avlägsen by får inte se hur bylivet normalt gestaltar sig, utan hur det gestaltar sig då man får en exotisk och spännande besökare. En försöksperson som fyller i ett frågeformulär påverkas av det sätt frågorna är formulerade på. Biologen som studerar djurs beteende riskerar att hennes egen närvaro får dem att bete sig annorlunda än annars.

Vid alla naturvetenskapliga och tekniska mätningar påverkas det mätta av mätinstrumentet. Termometern värmer eller kylvet det föremål vars temperatur man mäter, hastighetsmätaren bromsar fordonet, amperemetern "stjäl ström" etc. Genom kvantmekaniken vet vi att alla sådana inverkningar av en mätning inte kan undanröjas samtidigt. I de flesta fall spelar dock andra osäkerheter än de kvantmekaniskt oundvikliga huvudrollen.

Normalt är observatörens påverkan på det undersökta en oönskad effekt. Det finns inget allmänt recept för att komma ifrån denna påverkan, utan detta är ett metodproblem som varje vetenskap måste angripa utifrån sina egna förutsättningar. En stor del av metoddiskussionen i olika vetenskaper handlar också om hur man ska kunna undvika att onödigtvis påverka det man observerar.

*Tolkningsproblemet* består i att observatören tolkar sina observationer på ett sätt som gör dem mindre tillförlitliga. Om en läkare t ex ska undersöka effekten av en behandlingsmetod på en grupp patienter, är det i praktiken omöjligt för henne att inte påverkas i sin bedömning av vad hon i förväg tror om behandlingen.

I en intressant undersökning fick studenter i uppgift att utföra inläringsexperiment på råttor. Studenterna fick två grupper av råttor, som de skulle jämföra med varandra. De fick beskedet att den ena gruppen tillhörde en särskilt inlärningsbenägen stam. Detta besked var helt felaktigt, men icke desto mindre rapporterade studenterna att dessa råttor lärde sig mycket snabbare.

I motsats till påverkansproblemet går tolkningsproblemet ofta att åtgärda. Vad som behövs är "blinda" bedömningar. Om man t ex ska leta efter samband mellan egenskapen A och egenskapen B hos olika individer, ska den som bedömer om en individ har egenskapen A inte ha någon information avseende egenskapen B, och vice versa. I exemplet med råttorna borde studenterna ha delat upp sig så att de som bedömde råttornas inlärningsförmåga inte fick veta vilka råttor som tillhörde vilken grupp.

Kliniska test brukar utformas som dubbel-blind-test, där varken läkaren eller patienterna vet vem som har fått sockerpiller och vem som har fått det medel som ska prövas. Motsvarande rutiner för ”blind” bedömning kan också användas t ex i naturvetenskaplig och teknikvetenskaplig forskning för att förhindra att forskarnas förväntningar påverkar bedömningarna. Tyvärr är sådana arrangemang ovanliga inom de flesta forskningsområden, trots att de ofta varken är särskilt dyra eller besvärliga att genomföra.

### **Att vara beredd på det oväntade**

Även om vetenskapliga undersökningar måste vara välplanerade, händer det inte så sällan att man får resultat som är överraskande. Många viktiga upptäckter har rentav gjorts helt oväntat i undersökningar som syftat till att ta reda på helt andra saker. Så t ex upptäckte Röntgen röntgenstrålningen när han sökte efter helt andra fenomen, och Fleming upptäckte penicillin när mögelvekt störde hans bakteriedlingar. Att magsår är en bakteriesjukdom upptäcktes år 1979 av en patolog som utförde rutinundersökningar, alltså inte forskning, i ett sjukhuslaboratorium.

Dessa är ganska drastiska exempel. Många flera oväntade resultat kommer fram på ett mindre dramatiskt sätt, t ex genom att en undersökning ger motsatt resultat mot det man väntade sig. I en stor forskningssociologisk studie framkom att ungefär hälften av forskarnas resultat var oväntade.

De oväntade resultatens roll i vetenskapen missförstås ofta. De talas ofta om som ”upptäckt av en slump”. Detta uttryck är missvisande, eftersom det avgörande är forskarens förmåga att byta spår och dra rätt slutsatser av det oväntade. Minst en forskare före Röntgen hade sett spår av röntgenstrålning, men bara uppfattat den som något slags oidentifierad felkälla som han blev störd av. Flera forskare före Fleming hade sett den inverkan av mögelsvampar på bakterier som ledde till upptäckten av penicillin, men de hade bara blivit irriterade av denna felkälla i sitt experiment, och inte sett de möjligheter den öppnade.

Forskningens vardag bjuder ständigt på överraskningar och öppnar ständigt nya möjligheter till sidospår. Det är en svår konst att samtidigt vara tillräckligt uthållig och tillräckligt öppen för de mest lovande sidospåren.

### **Källkritik – att dra slutsatser från andras observationer**

Inom de experimentella vetenskaperna har man utvecklat metoder för att göra observationer så välkontrollerade som möjligt. Det är framförallt de humanhistoriska vetenskaperna som har utvecklat metoder för att bedriva vetenskap när det bara finns dåliga observationer – andrahandsuppgifter och rykten – att tillgå. Denna metodik kallas källkritik.

Källkritik kommer också till användning i en del natur- och teknikvetenskapliga sammanhang. Astronomer har ofta intresse för iakttagelser på himlavalvet som gjorts för länge sedan. Det gäller t ex kometrapporter och rapporter om supernovor (exploderande stjärnor). Biologer kan ha intresse av gamla rapporter om djurs och växter utbredning och om djurarter som dött ut under historisk tid. Den som vill veta hur giftiga substanser smakar kan med fördel söka i litteratur från 1700-talet, då kemi handlade mer om att smaka och lukta än om att väga och mäta. Detta kräver en kritisk bedömning av de gamla källorna. Yrkesmedicinare och yrkeshygieniker som utreder hälsoeffekter av skadliga exponeringar behöver reda ut vilken exponering olika personer hade för ett eller

flera decennier sedan. Därtill kommer att man inom alla vetenskapliga områden läser andras forskningsrapporter och försöker avgöra deras hållbarhet. Även för detta ändamål kan källkritisk kompetens vara högst värdefull.

Historiska källor brukar bedömas efter i huvudsak fyra kriterier, nämligen äkthet, beroende, tidsavstånd och tendens. Till dessa har vi i vetenskapliga sammanhang anledning att lägga ett femte kriterium, nämligen källans kompetens.

*Äkthet.* Den första fråga man måste ställa om en text är: Är den äkta? Är den skriven av den person och vid den tidpunkt som uppges? Antag t ex att vi får del av en ögonvittnesskildring från Etnas stora utbrott år 1169. Vi måste fråga oss om texten verkligen är så gammal som den utges för att vara, eller om den är en efterhandskonstruktion. För den sortens bedömning krävs språk- och historievetenskaplig expertis.

När det gäller moderna vetenskapliga texter kan en annan sorts äkthetsbedömning bli aktuell: Är forskningsrapporten äkta i bemärkelsen att den ärligt beskriver de iakttagelser man gjort, eller är den ett falsarium? Fusk i forskning är ofta svårt att upptäcka, och kan ställa till med allvarliga problem både för forskningen och för det omgivande samhället. För att klarlägga om fusk föreligger krävs ingående studier av de ifrågasatta forskningsrapporterna, och dessutom ofta platsundersökningar och försök att upprepa de undersökningar som man misstänker har rapporterats felaktigt.

*Beroende.* En källas trovärdighet är större ju mer oberoende den är av andra källor. Kravet om oberoende kan indelas i två delar. För det första är en bra källa *direkt*, dvs utan mellanled. I fråga om händelser innebär detta att man föredrar ögonvittnesskildringar framför redovisningar av andras iakttagelser. Man brukar skilja mellan primärkällor och sekundära källor, där primärkällorna är de som uppfyller direktkravet. En person som såg Etnas utbrott år 1169 är en primärkälla, medan en person som satt på krogen i Palermo och hörde ditresta ögonvittnens berättelser är en sekundärkälla.

För det andra är en bra källa *ojämkad*, dvs rapportören har inte justerat sin skildring efter andras minnesbild. Vid polisförhör om t ex en olycka är det en fördel om ögonvittnena inte har ”pratad sig samman”. Då får överensstämmelser mellan deras berättelser större bevisvärde. Alldeles samma princip gäller vid bedömningen av historiska källor.

*Tidsavstånd.* Minnesbilder kompletteras och förändras snabbt. Därför är tidsavståndet ett viktigt kriterium då man bedömer källors värde. Minnen som skrivs ned långt i efterhand (t ex i memoarer) är mycket mindre värda än minnen som nedtecknas omedelbart (t ex i brev och dagböcker). Om en gammal person berättar om ett lämmeltåg hon såg i sin ungdom har denna berättelse mycket mindre värde än om hon kan ta fram t ex ett brev där hon beskrev vad hon såg medan minnet ännu var färskt.

Det är just för att minska tidsavståndet som det är angeläget vid allt laborativt arbete att föra en laborativedagbok, där man antecknar sina åtgärder och resultat i omedelbar anslutning till att de inträffar.

*Tendens.* Varje källa måste också bedömas efter författarens syfte. Har personen som påstår sig ha sett Loch Ness-odjuret möjligen något att vinna på att monstret haussas upp? (Lokala hotell- och restaurangägare har varit mycket aktiva i en del sådana fall.) Hade de småländska bönder som berättade om vargens framfart något särskilt syfte, t ex att få ersättning för förluster av husdjur eller att få tillstånd att jaga varg? Vilka bindningar har experten som skrev en rapport om kärnkraftsolyckan till kraftindustrin, alternativt till politiska grupperingar med starka ståndpunkter om kärnkraften?

*Kompetens.* Vissa typer av iakttagelser kräver en särskild träning eller kompetens för att kunna göras på ett tillförlitligt sätt. Om en person säger sig ha sett en styltlöpare i Skåne (där denna art bara iakttagits ett fåtal gånger) blir det avgörande om vederbörandes ornitologiska kompetens är tillräcklig för att skilja en styltlöpare från en skärfläcka.

Ibland är den kompetens som behövs för att göra en iakttagelse av icke-akademiskt slag. Så t ex framträder det då och då personer som använder trolleriteknik för att åstadkomma fenomen som de framställer som ”övernaturliga” (tankeläsning m m). De som kunnat göra de bästa iakttagelserna av sådana föreställningar, och därmed avslöja bedrägeriet, har i allmänhet varit trollkonstnärer, inte forskare.

## Mätningar

Många observationer görs på ett sådant sätt att det är ändamålsenligt att sammanfatta resultatet av varje enskild observation med ett siffervärde. Med *mätning* brukar man avse en observation vars resultat uttrycks som siffervärden. Efter mätskalornas egenskaper indelar man mätningar i tre huvudtyper: mätningar med ordinal-, intervall- och kvotskalor.

En *ordinalskala* (även kallad rangordning) är så beskaffad att *ett högre tal svarar mot en högre grad av en viss given egenskap*. Vi kan t ex mäta människors subjektiva upplevelse av värme och kyla utomhus genom att placera in klimatet vid olika tidpunkter på följande skala:

1. Outhärdligt kallt
2. Obekvämt kallt
3. Kallt
4. Svalt och skönt
5. Varmt och skönt
6. Alltför varmt
7. Outhärdligt varmt

En ordinalskala som denna ger ingen annan information än ordningsföljden. Skillnader i siffervärde kan inte tillmätas någon betydelse. Det vore i vårt exempel helt fel att t ex säga att ”skillnaden mellan ’kallt’ och ’varmt och skönt’ är två enheter, och därför större än skillnaden mellan ’alltför varmt’ och ’outhärdligt varmt’, som är bara en enhet”. Det finns helt enkelt inga enheter i en ordinalskala. Man mäter, men utan måttenhet. Ordinalskalor används oftast just för att sammanfatta subjektiva bedömningar för vilka det saknas måttenheter. Som exempel kan nämnas mätning av smärta och av arbetstillfredsställelse.

En *intervallskala* är en mätskala med *en konstant måttenhet*. Som exempel kan vi ta temperaturmätning på Celsiusskalan. Det är fullt rimligt att säga att ”skillnaden mellan 19 °C och 21 °C är två grader, och därför större än skillnaden mellan 24 °C och 25 °C, som är bara en grad”. Varje grads skillnad svarar, enligt den ursprungliga definitionen, mot en lika stor ökning av volymen hos den vätska som används i termometern.

Man kan alltså subtrahera värden på en intervallskala. Däremot är det inte meningsfullt att dividera sådana värden med varandra. 20 °C är inte ”dubbelt så varmt” som 10 °C, och inte heller är 2 °C ”dubbelt så varmt” som 1 °C. Orsaken är att Celsiusskalans nollpunkt inte svarar mot total avsaknad av den uppmätta egenskapen. Det finns som bekant temperaturer under 0 °C.

En *kvotskala* är en intervallskala med en *nollpunkt* som svarar mot att det inte finns någonting alls av den egenskap man mäter. Det finns en kvotskala för temperatur, nämligen Kelvinskalan vars nollpunkt är lika med den absoluta nollpunkten, dvs den lägsta temperatur som är möjlig. Det är helt korrekt att säga att 400 K (dvs 127 °C) är en dubbelt så hög temperatur som 200 K (dvs -73 °C).

De flesta naturvetenskapliga mätningar görs med kvotskalor. Det gäller t ex längd, ljusstyrka, energi, massa, fältstyrka och impulsmoment. Ett föremål med längden 0 m har ingen utsträckning. Om ljusstyrkan är 0 cd är det mörkt, etc.

Vid alla mätningar kan det förekomma mätfel. Om mätningen görs med intervallskala (eller kvotskala) kan man uttrycka felets storlek i den måttenhet som används. Ett fel i en (enskild) temperaturmätning kan t ex uttryckas så att temperaturen uppmättes 0,15 °C för högt.

Om felet går åt samma håll vid flertalet mätningar, dvs utfallet i regel blir för högt eller i regel för lågt, har man att göra med ett systematiskt fel. Detta kan korrigeras genom att instrumentet *kalibreras*. När ett instrument är välkalibrerat visar det *i genomsnitt* rätt värde. Om vi upprepade gånger väger ett föremål om 2 gram på en välkalibrerad laborievåg, ska genomsnittsvärdet närma sig 2 gram efterhand som vi upprepar vägningen.

Även på ett välkalibrerat instrument återstår ett mätfel, som fördelar sig slumpvis mellan för höga och för låga mätvärden. Det återstående, slumpmässigt fördelade felet hos ett välkalibrerat instrument brukar uttryckas som ett intervall inom vilket felet förväntas ligga (konfidensintervall). Att en våg har noggrannheten  $\pm 0,05$  mg betyder att det verkliga värdet förväntas vara högst 0,05 mg högre eller lägre än det uppmätta värdet.

Moderna vetenskapliga mätinstrument har ofta mycket hög noggrannhet. Det betyder dock inte att de undersökningar som genomförs med hjälp av dessa instrument har samma höga noggrannhet. Ofta är felkällorna mycket större i prepareringen av det som ska mätas än i själva användningen av instrumentet. Vid alla vetenskapliga observationer – såväl mätningar som observationer av annat slag – måste man söka, bedöma och minimera felkällor i hela den process som leder fram till undersökningsresultatet.

## 4. Att experimentera

Vi konstaterade i det förra kapitlet att man för många, men långtifrån alla, vetenskapliga ändamål bör eftersträva att göra observationer i det kontrollerade experimentets form. I detta kapitel ska vi se närmare på hur experiment lämpligen bör utformas för att ge den information man efterfrågar.

### Experiment finns av många slag

Om man säger ”experiment” kommer nog de flesta att tänka på arbete som utförs i laboratorier av människor i vita rockar. Förmodligen görs de flesta experiment i olika slags laboratorier, men det är inte platsen som avgör om en observation ska anses ske under experimentella omständigheter. Det avgörande är i stället att betingelserna för det som observeras är tillräckligt väl kontrollerade.

Ibland är det en stor fördel att göra sitt experiment utanför laboratoriet. Antag t ex att vi vill undersöka hur örnar reagerar inför olika slags föda. Då skulle vi kunna stänga in en örn i en bur, ge dem olika slags föda och studera hur de beter sig. Det är emellertid mycket bättre att vi stänger in oss själva i en bur invid ett örnäste, lägger ut olika slags föda och studerar örnarnas beteende. Då får vi veta hur örnarna beter sig i sin naturliga omgivning. Studiet av djurs beteende hämmades under lång tid av att man i alltför stor utsträckning förlade sina experiment till laboratorier.

En del vetenskaper bygger till så stor del på experiment att de kallas för ”experimentella vetenskaper”. Det gäller framförallt naturvetenskaper och psykologi. Men experiment förekommer också inom andra vetenskaper. Så t ex är experimentell arkeologi en egen vetenskapsgren. Det bästa sättet att utröna hur stenåldersmänniskor kan ha tillverkat och använt sina verktyg är att själv pröva. Ett besläktat område är experimentell teknikhistoria, där man genom praktiska försök tar reda på hur äldre tiders maskiner och övriga tekniska utrustning kan ha fungerat i praktiken. Inom den experimentella ekonomin undersöker man t ex hur människor agerar på marknader med olika betingelser. Experiment förekommer också inom t ex språkvetenskap och musikvetenskap. De grundläggande principerna och problemen för experimentellt arbete är gemensamma för alla vetenskaper där experiment förekommer.

Som nämndes i kapitel 1 förekommer experiment också i andra traditioner än de västerländska akademiska. Det finns en experimentell tradition bland hantverkare som är äldre än den moderna naturvetenskapen. Dessutom förekommer experimentella traditioner hos många naturfolk. Så t ex har Mende-folket i Sierra Leone ett särskilt ord, ”hungoo”, för experiment. En ”hungoo” kan bestå i att man planterar två grödor vid sidan av varandra och sedan mäter skördens storlek för att bedöma vilken gröda som är bäst. Mycket tyder på att detta är ett ursprungligt skick, inte ditfört av besökande européer. Sådana experiment har också påvisats förekomma hos många andra folkslag.

Både hantverkare och jordbrukare har huvudsakligen experimenterat i syfte att lösa praktiska problem. Samma fokusering på techne finns fortfarande i den moderna akademiska teknikvetenskapen och jordbruksforskningen. Man prövar t ex nya tekniska konstruktioner och nya grödor för att se om de fungerar bättre än sina alternativ. Likadant är det i den kliniska medicinen: Nya behandlingsmetoder prövas i experiment för att man ska utröna om de fungerar bättre eller sämre än de gamla metoderna.



I den ”rena” vetenskapen, dvs den som är inriktad på episteme, används experiment i ett annat syfte, nämligen för att ta reda på hur världen är beskaffad. Det finns stora likheter, men också skillnader, mellan experiment som är inriktade på episteme och på techne. I de föreståelseinriktade experimenten genomför man ofta förenklingar för att kunna bortse från faktorer som man anser vara mindre viktiga. Så t ex kan man utföra ett fysikexperiment i vakuum för att slippa behöva ta hänsyn till luftmotståndet. I ett tekniskt experiment som syftar till att pröva en ny konstruktion är denna förenkling otillåten, såvida man inte antingen utvecklar teknik som ska användas i vakuum eller har anledning att tro att luftmotståndet saknar inverkan i det aktuella fallet.

## Att konstruera ett experiment

Innan man kan utföra ett experiment måste man bygga en försöksuppställning och få denna att fungera i praktiken. Arbetet med detta är ofta mycket mer tidskrävande än själva observationerna. Detta är till mycket stor del en teknisk verksamhet. Många vetenskapliga framsteg har åstadkommit tack vare en uppfinning eller teknikutveckling som gjort en ny sorts experiment möjlig. Det vore därför inte fel att räkna detta slags tekniska arbete som en av vetenskapens kunskapskällor. Eftersom denna verksamhet ”enbart” kommer till nytta som förberedelse för observationer som vi gör med våra sinnen, behandlas den här ändå inte som en grundläggande kunskapskälla av samma dignitet som sinnena och förnuftet.

Teknikens roll i den experimentella vetenskapen är så stor att det t o m har hävdats att man ska se naturvetenskap som tillämpad teknologi, snarare än teknologi som tillämpad naturvetenskap. Det verkar dock mer konstruktivt att se förhållandet mellan vetenskap och teknik som en växelverkan. Ett tydligt exempel på denna växelverkan kan hämtas från elektroteknikens och den fysikaliska elektricitetslärans utveckling; där gav nya maskiner förutsättningar för nya upptäckter som i sin tur gav förutsättningar för nya maskiner, etc.

Det är inte möjligt att ge något allmänt recept för hur en försöksuppställning ska konstrueras. Detta är i högsta grad en kreativ process, och de problem som ska hanteras är av vitt skild karaktär inom olika forskningsområden. Rent allmänt kan dock sägas att en försöksuppställning ska lösa fyra uppgifter:

- (1) *realisera*: få det fenomen att uppträda som man vill studera
- (2) *separera*: undanröja störande faktorer, så att fenomenet framträder så tydligt som möjligt
- (3) *kontrollera*: bringa de faktorer under kontroll som kan påverka fenomenet
- (4) *observera*: åstadkomma så exakta observationer som möjligt.

Som exempel kan vi ta ett experiment där man vill undersöka den framdrivande kraften hos fartygspropellrar med olika konstruktion. Att *realisera* fenomenet, dvs den framdrivande kraften, är här ganska enkelt: man monterar propellern på en axel som drivs runt av en motor, och placerar den under vatten. Det som fenomenet i detta fall behöver *separeras* från är i första hand vattenrörelser som inte beror på propellern. Det problemet löser vi genom att utföra försöket i en försöksbassäng i stället för öppet vatten. Den faktor vi ska *kontrollera* är i första hand motorns effekt. Detta kan vi göra antingen genom att använda en motor som har konstant effekt eller genom att anbringa en apparat med vars hjälp vi kan ställa in motorn på olika effekter. Slutligen måste vi finna ett sätt att *observera* den framdrivande effekt som propellern åstadkommer.

Ytterligare ett exempel kan nämnas, nämligen ett experiment som syftar till att ta reda på om ett kemiska ämne ger upphov till leverskador hos fisk. För att *realisera* fenomenet måste vi hitta ett sätt att exponera fiskar för ämnet, t ex genom att tillsätta det till den mat vi ger akvariefiskar. Att *separera* fenomenet betyder här framförallt att skilja mellan ämnets effekter och andra leverförändringar, t ex normala åldersförändringar. Det gör vi i det här fallet genom att också ha en kontrollgrupp som inte exponeras för kemikalien men som i övrigt behandlas likadant som försöksgruppen. Den faktor som framförallt behöver *kontrolleras* är dosen (vilket är ganska svårt vid matning av fiskar). Slutligen behöver vi en metod för att *observera* eventuellt uppkommande skador. I det här fallet blir det fråga om mikroskopering och eventuellt kemiska analys av levern både hos de exponerade fiskarna och fiskarna i kontrollgruppen.

Av de fyra momenten ska vi se närmare på två, nämligen de som handlar om att separera och att kontrollera.

## Att separera

Det är ofta svårt att skilja ut det fenomen som man vill studera från andra fenomen som kan ge samma eller liknande effekter. Vi ska se närmare på två exempel som visar på olika sätt att göra detta. Båda handlar om litet udda fenomen, men även sådana kan undersökas på ett vetenskapligt oantastligt sätt.

Det första exemplet är användningen av pendlar som ett slags ”mätinstrument”. Pendlar har använts för spådomskonster sedan långt tillbaka i tiden, i både Kina och Europa. Hos de gamla romarna framställdes spådomar genom att man höll en pendel över en bräda med alfabetet. På senare tid har det blivit brukligt att hålla en pendel över en karta för att få anvisningar om var man kan finna olja, fornlämningar eller borttappade föremål.

Kemisten Michel Eugene Chevreul gjorde på 1830-talet iakttagelser som till en början övertygade honom att det fanns en kraft i själva pendeln. När han höll en pendel med en järnring över kvicksilver, gjorde den tydligt utslag. När han sedan satte en glasskiva mellan järnringen och kvicksilvret, upphörde utslaget. Det verkade alltså som om pendeln styrdes av ett kraftfält eller något annat liknande, som glasskivan avskärmade.

Men Chevreul var inte helt övertygad. Kunde det hela möjligen vara vad man idag skulle kalla ett psykologiskt fenomen? Kanske var det hans egna förväntningar som styrde pendeln? För att undersöka detta måste han genomföra ett försök där han kunde separera en eventuell okänd fysikalisk kraft från en eventuell förväntanseffekt. Detta gjorde han genom att eliminera förväntanseffekten. Han upprepade försöket med förbundna ögon, och lät en assistent föra in glasskivan. Om det enbart var förväntanseffekten som styrde pendeln, borde effekten nu upphöra, annars borde den finnas kvar.

Det visade sig att när Chevreul (som alltså själv höll i pendeln) inte visste att järnet var avskärmat, hade avskärmningen ingen effekt. Chevreul drog av detta den korrekta slutsatsen att det var hans egna förväntningar, förmedlade genom små omedvetna muskelrörelser, som styrde pendeln. Han berättade om sitt försök i ett brev till Ampère år 1833. Sedan dess har otaliga försök, både med pendel och slagruta, bekräftat att detta fenomen kan förklaras fullt ut med förväntanseffekten.

Det andra exemplet är bordsdans (även kallad bordslevitation), som var en mycket populär verksamhet vid mitten av 1800-talet. Bordsdans går till så att några personer sätter sig runt ett lätt, runt bord. Alla håller händerna runt bordskanten och väntar på att bordet ska börja röra sig. Efter en kortare eller längre väntan – allt

mellan ett par minuter och flera timmar – lyfts bordet från golvet trots att ingen tycker sig alls bidra till att lyfta det. Ibland kan det börja snurra runt med sådan fart att deltagarna måste resa sig upp för att hinna springa runt i kapp med bordet.

Det fanns två förklaringar till detta. Den ena var att bordet styrdes av något slags mystisk kraft som den vanliga fysiken inte kunde förklara. Den andra var att seansdeltagarna – kanske utan att veta om det – tillsammans utövade tillräcklig kraft på bordet för att det skulle lyftas.

Fysikern Michael Faraday, en av sin tids främsta experimentalister, bestämde sig för att ta reda på vilken av dessa förklaringar som var den riktiga. I detta syfte täckte han seansbordet med ett papper, fastsatt med en mjuk massa. Om seansdeltagarnas egen upplevelse, att de höll emot när bordet snurrade, var riktig, så skulle papperet släpa efter när bordet snurrade. Om de däremot (troligen omedvetet) drev på bordet med egen muskelkraft, så skulle papperet vara förskjutet i förhållande till bordet i motsatt riktning.

Försöken visade entydigt att det senare var fallet. Faraday publicerade år 1853 en artikel där han redovisade sina experiment och drog slutsatsen att bordsdansen berodde på de deltagandes omedvetna muskelrörelser.

Både Chevreuls och Faradays experiment var mycket väl utförda, men de använde olika metoder för att separera fenomen från varandra. Chevreul separerade två fenomen från varandra genom att helt enkelt eliminera det ena av dem. Faraday kunde inte på ett enkelt sätt göra detta, men fann i stället en möjlighet att mäta skillnaden mellan dem.

## **Att kontrollera variablerna**

Det finns ofta många variabler som kan påverka det fenomen som man studerar i sitt experiment. Ett exempel på detta är den mångfald av variabler som kan påverka utfallet av en kemisk reaktion. Särskilt om man vill optimera utfallet av en sådan reaktion är man intresserad av att veta hur reaktionshastigheten påverkas av olika variabler som insatskemikaliernas proportioner, temperatur, tryck, närvaron av katalysatorer etc.

Det första steget till att kontrollera variablerna är alltid att identifiera de variabler som man har att ta hänsyn till. Då man arbetar inom ett etablerat experimentellt område finns det i regel bakgrundskunskap som gör att man ganska väl vet vilka faktorer som behöver kontrolleras. Kemiska reaktioner är ett av dessa områden. Inom nya områden saknas däremot ofta sådan bakgrundskunskap. Många vetenskapliga pionjärer har missat viktiga faktorer, som deras efterföljare har upptäckt att man behöver kontrollera.

Ett exempel på detta är ett växtfysiologiskt experiment som utfördes på 1600-talet av belgaren Johannes Baptista von Helmont (1577-1644). I en kruka med torkad och vägd jord planterades en vägd sälplantan. Den vattnades med regnvatten. Efter fem år torkades och vägdes jorden och sälplantan igen. Det visade sig att plantan hade ökat avsevärt i vikt, medan jorden bara hade minskat obetydligt i vikt. Eftersom bara vatten hade tillförts drog von Helmont slutsatsen att växtmassan hade bildats enbart av vatten. Först senare insåg man att luften kunde bidra med materia till växten.

Om man inte vet vilka faktorer som har betydelse kan det vara en god idé att göra inledande försök där man testar extremvärden av de faktorer som man misstänker kan ha ett inflytande. Antag t ex att vi undrar om variationer i belysning, rumstemperatur och luftfuktighet påverkar ett instrument. Vi kan då genomföra försöket i mörker och under mycket kraftig belysning, vid avsevärt lägre

och högre temperatur än vad som normalt förekommer i laboratoriet, och med och utan en luftfuktare riktad mot instrumentet. De faktorer som har inflytande i dessa kraftiga ”doser” väljs ut för att kontrolleras i de fortsatta försöken.

När man väl har konstaterat att en faktor måste kontrolleras i ett experiment, finns det två sätt att genomföra detta. Antingen kan man hålla den konstant eller också kan man variera den och se hur den påverkar resultatet. Vill vi t ex mäta pulsen hos en grupp försökspersoner, måste vi kontrollera graden av kroppsanspänning. Det kan vi göra genom att hålla graden av kroppsanspänning konstant; enklast mäter vi då vilopulsen. Vi kan också göra det genom att variera kroppsanspänningen med hjälp av t ex en testcykel, och se hur pulsen påverkas. Vilken av dessa båda metoder vi väljer beror på vad det är vi vill ta reda på. Vad vi i vart fall inte får göra är att strunta i graden av kroppsanspänning. Det är en faktor som i högsta grad kan påverka resultatet. I ett experiment måste den därför kontrolleras på endera sättet.

Hur ska man välja mellan de två metoderna att kontrollera faktorer, mellan konstanthållning och kontrollerad variation? Det beror som sagt på vad man vill veta. Ofta syftar experimentet till att undersöka effekten av en enda variabel, t ex verkningarna av ett läkemedel. Då strävar man efter att hålla alla andra faktorer konstanta, och bara variera den enda variabel vars effekt man vill undersöka, nämligen läkemedelsdosen. En stor del av den praktiska experimentkonsten handlar om att hålla de faktorer konstanta som man vill kunna bortse från i tolkningen av experimentet.

Vill man t ex ta reda på biverkningarna av ett läkemedel på försöksdjur, använder man sig av dels en kontrollgrupp, dels en försöksgrupp. De båda grupperna består av djur som är varandra så genetiskt lika som möjligt, och de får exakt samma omständigheter vad gäller mathållning, skötsel, yttertemperatur, burarnas utformning etc. Den enda skillnaden är att försöksgruppen får läkemedlet, vilket kontrollgruppen inte får.

I ett kliniskt försök, där läkemedlet provas på patienter, kan man naturligtvis inte konstanthålla genetiken eller mathållningen. I stället fördelar man patienter slumpvis mellan de olika grupperna. Om antalet patienter är tillräckligt stort leder detta till att olika bakgrundsfaktorer blir någorlunda jämnt fördelade mellan grupperna. Effekten av detta är i stort densamma som av konstanthållning, dvs att dessa faktorer inte nämnvärt ska kunna påverka resultatet.

Ofta vill man veta hur de olika faktorer samverkar som kan förväntas påverka utfallet av ett experiment. I princip skulle man då vilja pröva alla tänkbara kombinationer av dessa faktorer. Man skulle t ex vilja ta reda på hur en kemiska reaktion fortskrider vid alla tänkbara kombinationer av tryck, temperatur m fl faktorer som kan förväntas påverka reaktionen. Om antalet faktorer är stort blir det tyvärr alldeles ogörligt att göra på det sättet. Man bör då (med statistisk metod) välja ut ett antal olika kombinationer av de olika faktorerna, så uträknade att de ger god information om effekterna av de olika variablerna och av samspelet mellan dem.

## **Att dokumentera experiment**

Det etablerade sättet att dokumentera experiment är att föra en laboratedagbok med utförliga anteckningar om varje experiment och dess utfall. Liksom läkarjournaler ska den föras efter bestämda regler, och ingenting får suddas ut eller göras oläsligt. Det rekommenderas därför att laboratedagboken förs i en inbunden skrivbok (inte lösbladssystem) med nummerade sidor. Alla anteckningar

ska göras med bläck, och ändringar görs genom att man stryker över det felaktiga och skriver korrigeringen invid. Alla noteringar i boken (även ändringar) ska vara daterade och signerade.

De flesta experimentalister brukar noga anteckna dels de variabler de har förändrat i försöket, dels vilket utfall de fick. Däremot missar många att notera försöksuppställning och bakgrundsvariabler tillräckligt noggrant. Genom att anteckna även detta gör man det mycket lättare att i efterhand bedöma försöket i relation till andra liknande försök som man har genomfört.

Det är t ex tillrådligt att anteckna leverantör och leveransnummer på kemikalier, liksom tillverkningsnummer på mätinstrument. Kopplingsscheman, flödesscheman och liknande bör ritas in i boken så att man i efterhand kan se vad man har gjort. I många fall är det klokt att föra anteckningar om rumstemperatur, luftfuktighet och andra yttre omständigheter som möjligen kan påverka experimentet. Rent generellt bör försöket dokumenteras så noga att man i efterhand kan leta efter felkällor om försöket visa sig inte stämma med utfallet av andra undersökningar.

## **Experiment ska gå att upprepa**

Ett experiment syftar till att klarlägga generella mönster, dvs mönster som gäller under många olika omständigheter. Experimentet ska därför vara en observation under omständigheter som man har under så god kontroll att man kan återskapa dem och därvid få väsentligen samma resultat. En enstaka unik händelse som inte kan upprepas kan inte fylla experimentets funktion i vetenskapen. Därför är det ett huvudkrav på en rapport om ett vetenskapligt experiment att det ger oss tillräcklig information för att kunna upprepa experimentet.

Kravet om instruktioner som medger upprepbarhet är inte unikt för vetenskapliga försöksrapporter, utan förekommer också i mera vardagliga sammanhang. Vi ställer t ex samma krav på kokböcker och på tekniska instruktionsböcker.

Antag att denna skrift innehöll ett recept på en ny sorts muffins. Du och andra läsare följde noga anvisningarna, men fick ändå bara ut klibbiga mjöklumpar ur ugnen. Så småningom hörde ni av er och bad mig korrigera receptet. Ni skulle förmodligen bli föga imponerade om jag svarade att ”det här receptet fungerade den 17 april 2000, och därmed är det slutgiltigt bevisat att det fungerar”. Med ett recept menar vi nämligen en anvisning som andra kan följa för att nå väsentligen samma resultat. Alldeles likadant är det med instruktionerna i en teknisk instruktionsbok. Om det inte går att montera den nya förgasaren på bilen när man noga följer anvisningarna räcker det inte om någon svarar ”Ja, men den här beskrivningen ger en korrekt bild av hur det gick till när jag gjorde det.” En instruktion är inte en beskrivning av en händelse som inträffat vid ett enstaka tillfälle.

Antag nu i stället att vi försöker utföra ett kemiskt försök, som vi fått beskrivet för oss. Resultatet av försöket skulle bli en vackert klarblå vätska. När vi följde anvisningarna, fick vi i stället en grumlig, smutsbrun vätska. Inte heller i detta fall skulle det räcka med en hänvisning till att beskrivningen korrekt talar om vad som gjorts med lyckat resultat vid något annat tillfälle. En vetenskaplig försöksbeskrivning ska, liksom ett recept och en teknisk instruktion, ge tillräcklig information för att andra ska kunna få samma resultat om de noga följer anvisningarna.

Kokböcker och instruktionsböcker för professionellt bruk kan vara svåra att följa för den oinvigde eftersom de förutsätter avsevärda förkunskaper. Detsamma

gäller många vetenskapliga försöksbeskrivningar. I samtliga dessa fall förekommer det förkortade skrivsätt, men ur dessa måste det alltid gå att utläsa hur man ska göra i praktiken.

Det finns en språklig skillnad mellan å ena sidan matrecept och instruktionsböcker, å andra sidan vetenskapliga försöksbeskrivningar, en skillnad som delvis döljer likheten i de krav vi ställer på dem. I kokboken används imperativformen: "Låt sjuda i tjugo minuter". I instruktionsboken står det på samma sätt: "Låt ligga 20 minuter i kokande vatten". I metodavsnitten i vetenskapliga artiklar används i stället imperfektformen: "Föremålet nedsänktes i vatten, 100 °C, under 1200 sekunder." Men trots imperfektformen är försöksbeskrivningen, liksom receptet, avsedd att beskriva en generell metod som andra kan använda och nå väsentligen samma resultat.

## Upprepning i praktiken

Det har ibland hävdats att upprepbarhetskravet inte tillämpas i praktiken, eftersom endast få vetenskapliga experiment och observationer verkligen blir upprepade av andra. Det är inte heller någon populär sysselsättning att kopiera undersökningar som tidigare utförts av andra. Normalt sett vill ju forskaren eller forskargruppen komma fram till nya resultat som man är först om. Därför är exakta upprepningar av försök ett undantag. I regel gör man om andras försök endast om man misstänker att något inte stämmer, t ex att det förekommit någon okontrollerad variabel, slarv eller rentav fusk. De flesta försök blir därför inte exakt kopierade av andra.

Det skulle då kunna verka som om upprepbarhetskravet inte tillämpas i praktiken. Men det finns åtminstone fyra skäl till att det kan sägas bli tillämpat i betydligt större utsträckning än vad som framgår av antalet publicerade upprepningar av experiment.

För det första innebär upprepbarhetskravet strikt taget inte att experiment verkligen ska upprepas, utan enbart att de ska vara möjliga att upprepa med väsentligen samma resultat. Kompetenta experimenter undersöker alltid själva noga vilka omständigheter som behövs för att man ska få det resultat de beskriver. Graden av upprepbarhet (och därmed intersubjektivitet) blir större genom att de arbetar med detta krav för ögonen.

För det andra återfinns en hel del upprepningar bland de många experiment som aldrig blir publicerade. Skulle en upprepning ge ett annat resultat än sin förebild är det troligare att den blir publicerad.

För det tredje prövas experimentella resultat i stor utsträckning indirekt genom att man gör nya experiment som bygger vidare på gamla experiment som andra har genomfört. Så t ex kan det hända att en kemist använder en syntesmetod som en kollega har beskrivit, men modifierar den för att i stället framställa en annan, snarlik molekyl. Misslyckas detta, kanske hon övergår till att göra om det ursprungliga försöket, och kan då upptäcka eventuella fel i försöksbeskrivningen. Överhuvudtaget är det mycket vanligt att experiment upprepas i en förbättrad version snarare än i den exakta ursprungliga versionen.

För det fjärde upprepas vissa typer av experiment i praktiken åtskilliga gånger. Detta gäller t ex behandlingsstudier inom medicinen. Man är i regel obenägen att godta en ny behandlingsmetod bara därför att den fått gynnsamt utfall i en enstaka undersökning. Det brukar behövas flera väl genomförda kliniska studier innan metoden anses etablerad. Inom alla områden av vetenskapen är det brukligt att experiment som bedöms vara mycket betydelsefulla blir föremål för

publicerade upprepningar. Ett exempel från fysiken är Aspects experiment som gav ett avgörande besked om kvantmekanikens giltighet.

Därmed är inte sagt att allt är gott och väl. Risken för övertro på enstaka experiment finns inom alla experimentella vetenskaper. När en försöksrapport bekräftar vad vi redan tror, är vi nog alla benägna att ta alltför lätt på upprepningskravet. Tyvärr bör vi nog räkna med att andelen felaktiga (dvs icke upprepbara) experiment, även i de bästa av vetenskapliga tidskrifter, är mycket högre än andelen otjänliga (dvs icke upprepbara) recept i våra vanliga kokböcker.

## 5. Att påvisa samband

Som framhölls i det förra kapitlet syftar experiment och andra observationer som man gör i forskningen inte enbart till att registrera enstaka händelser. Syftet är i stället att komma underfund med vilka mer allmänna samband som råder.

Det talas ibland om en föreställning om vetenskapen enligt vilken denna skulle utgå från ”rena”, helt teori-oberoende iakttagelser, som sedan generaliseras. Sina teorier, dvs sina utsagor om samband, skulle man komma fram till genom att registrera det ena enstaka fenomenet efter det andra, och så småningom konstatera ett samband efter principen ”I alla de fall som jag har iakttagit är det så här, alltså är det så här i alla fall överhuvudtaget.” Det är dock svårt att finna någon riktigt tydlig företrädare för en sådan, hypoteslös, vetenskap. Framgångsrika forskare gör inte sina observationer ”i blindo”, utan efter en noggrann planering av vad man ska leta efter. De flesta som teoretiserat kring vetenskapens natur har också varit väl medvetna om detta.

Den gängse metoden för att söka efter samband är i stället hypotesprövning. Det betyder att man ställer upp hypoteser på grundval av det man redan vet, och sedan utför experiment och andra observationer som kan bekräfta eller motsäga dessa hypoteser. Så länge det har funnits en experimentell forskning har man, mer eller mindre medvetet, arbetat på detta sätt. Immanuel Kant (1724–1804) hörde till de filosofer som tydligt förespråkade denna metod. William Whewell utvecklade den i detalj i en bok som kom ut år 1840. Arbetssättet brukar kallas den ”hypotetisk-deduktiva metoden” eftersom man härleder (deducerar) konsekvenser ur hypoteserna, och sedan prövar dessa konsekvenser.

### Att pröva hypoteser efter att de uppställts

Det är lätt att vara efterklok. Betrakta följande två exempel:

*Fall 1:* Andres och Beata åker ut till sommarstugan och tar med sig sin katt. Katten börjar bete sig helt annorlunda än i stan, den blir vildare och jagar mycket mer. Efter en vecka i sommarstugan säger Andres till Beata: ”Detta är inte förvånande. Förklaringen är enkel. Katters jaktinstinkt försvagas när de anpassar sig till människor, men den försvagningen gäller bara på den plats där anpassningen har skett.”

*Fall 2:* Redan innan Andres och Beata åker till sommarstugan med katten säger Andres. ”Katten kommer säkert att börja jaga mer. Katters jaktinstinkt försvagas nämligen när de anpassar sig till människor, men den försvagningen gäller bara på den plats där anpassningen har skett.” När de väl kommer till sommarstugan blir katten vildare och jagare mycket mer än vad den gjorde tidigare.

I fall 1, när Andres var efterklok, hade hans generella utsaga om katters jaktinstinkt betydligt mindre trovärdighet än i fall 2 när han förutsade vad som skulle hända. (Självfallet behöver för den sakens skull förklaringen inte vara riktig i fall 2. Det finns alternativa förklaringar, t ex att omgivningarna runt sommarstugan gav fler tillfällen till jakt.)



Det är likadant inom vetenskapen. Hypotesprövning handlar om att utsätta hypoteser för prövningar vars utfall man inte kände då man uppsatte hypotesen. Ett klassiskt exempel på detta är Einsteins allmänna relativitetsteori. Med hjälp av denna kunde man förutsäga att en stjärnas skenbara läge kommer att förändras då ljuset från den passerar nära solen. Vid en solförmörkelse år 1919 gjordes mätningar som stämde överens med förutsägelsen. Detta sågs allmänt som en stark bekräftelse av teorin. Förmodligen skulle man ha sett annorlunda på saken om Einstein hade lagt fram sin teori först efter att dessa mätningar hade gjorts. Teorin skulle då ha kunnat anklagas för att vara "ad hoc", dvs särskilt anpassad för att stämma med de gjorda iakttagelserna.

Einstein förutsåg inte bara att stjärnljus skulle böjas av, utan också hur mycket (nämligen 1,745"). Mätningarna stämde med denna förutsägelse. Bekräftelsen av den allmänna relativitetsteorin ansågs starkare därigenom att det var en så pass exakt förutsägelse som blev bekräftad.

Vid nya solförmörkelser har man gjort samma slags iakttagelser som man gjorde år 1919. Detta har i viss mån förstärkt bekräftelsen av den allmänna relativitetsteorin, men det anses inte som en särskilt betydelsefull förstärkning. Ur Einsteins teori har också utvunnits andra förutsägelse, som har gällt helt andra naturfenomen än stjärnljusets avböjning, och som också har kunnat bekräftas. Detta anses innebära betydligt starkare bekräftelser, eftersom de olika prövningarna är oberoende av varandra i den bemärkelsen att de avser olika slags naturfenomen.

Av detta framgår två allmänt omfattade principer för hur man ska bedöma bekräftelser av en teori eller hypotes:

1. Bekräftelsen är starkare ju exaktare den bekräftade förutsägelsen är.
2. Om det finns flera bekräftelser är deras samlade styrka större ju mer oberoende de är av varandra.

En smärre reservation bör kanske göras om kravet att prövningar ska ske först efter att en hypotes har ställts upp. Ibland händer det att en teori kan förklara fenomen inom ett helt annat område än det där teorin uppstod. Detta brukar anses tala starkt för teorin i fråga. Ibland jämföras sådana bekräftelser från ett annat område med bekräftelser i efterhand. Även detta kan illustreras med den allmänna relativitetsteorin. Planeten Merkurius har smärre oregelbundenheter i sin bana som var kända sedan tidigare men som kunde förklaras först med Einsteins relativitetsteori. Ibland har man velat se detta som en bekräftelse av i stort sett samma slag som om Einstein hade räknat ut ban-avvikelse innan astronomerna såg dem. Ett argument som kan anföras för detta synsätt är att Einstein uppenbarligen hade helt andra saker än Merkurius bana i tankarna då han utvecklade sin teori, och inte alls anpassade den för att stämma överens med tidigare gjorda planetobservationer.

Fall som detta är dock ovanliga. De allra flesta vetenskapliga hypoteser och teorier har ett begränsat verkningsområde, som deras upphovskvinnor eller -män kände till och kunde ta hänsyn till. Då kan en i förväg känd överensstämmelse inte likställas med en i efterhand bestådd prövning.

## **Verifiering eller falsifiering?**

När en hypotes prövas kan utfallet bli att den verifieras (visas vara sann) eller falsifieras (visas vara falsk). För att en hypotes ska vara vetenskapligt användbar

## Positivism

Begreppet positivism förknippas ursprungligen med den franske filosofen och sociologen Auguste Comte (1798–1857). Han hävdade att kunskap och vetenskap ska utgå från ”det positiva”, dvs det som ges av erfarenheten.

Med logisk positivism (logisk empirism) avses en filosofisk riktning som uppstod i den s k Wienkretsen på 1920-talet. En grundtanke inom denna riktning var att endast satser vars innehåll kan prövas med sinneserfarenheter kan utsäga någonting om världen.

Positivism är idag ett i högsta grad mångtydigt begrepp. Positivism kan sägas innefatta följande fyra uppfattningar, som långtifrån alltid följs åt:

1. Scientism, eller anti-metafysik. Vetenskapen är den enda acceptabla formen av mänsklig kunskap.
2. Att vetenskapen enbart ska syssla med observabler. Alla teoretiska begrepp ska refererera direkt eller indirekt till observabler.
3. Vetenskapen ska ge politiska direktiv, politiska frågor kan och bör avgöras vetenskapligt.
4. Vetenskapens värdefrihet.

ska den vara prövbar, dvs man ska kunna verifiera och/eller falsifiera den. Men vilket är viktigast, verifiering eller falsifiering? Under 1900-talet framträdde två riktningar inom vetenskapsfilosofin som hävdade att det är enbart verifiering respektive enbart falsifiering som ska gälla inom vetenskapen.

Den ena av dessa riktningar var 1920-talets logiska empirism, även kallad (logisk) positivism eller Wienskolan. Dess företrädare menade att en utsaga om verkligheten ska kunna verifieras för att överhuvudtaget vara meningsfull. Detta uttrycktes så att en utsagas innebörd är detsamma som metoden att verifiera den. (”The meaning of a proposition is the method of its verification.”) Vetenskapen skulle enbart syssla med observabler, dvs med sådant som kan observeras. Alla teoretiska termer måste då referera – direkt eller indirekt – till observabler. Man skulle kunna härleda sina teorier logiskt (deduktivt) ur empirin (därav beteckningen logisk empirism), och denna härledning – i kombination med de empiriska iakttagelserna – utgjorde verifieringen.

De logiska empiristerna gjorde stora och bestående insatser genom sin kritik av andra vetenskapsfilosofiska inriktningar. De rensade bort överflödiga metafysik och skärpte stringenskraven. Men deras problem var att visa hur deras egna krav på vetenskapliga teorier skulle kunna förverkligas i vetenskapligt arbete. De lyckades inte visa hur man praktiskt skulle kunna verifiera teorier genom logiska slutsatser från empiriska observationer.

Ett radikalt förslag för att komma bort från detta problem kom från Karl Popper (1902–1994). Han menade att vi helt enkelt ska sluta att försöka verifiera teorier eller hypoteser. Som grund för detta framhöll han att vetenskapen ska handla om allmängiltiga utsagor. Sådana, menade han, går inte att verifiera. Låt oss som exempel ta hypotesen ”alla svanar är vita”. Den går inte att bekräfta (i logisk mening). Hur många vita svanar vi än ser, har vi aldrig sett dem alla. Däremot kan denna hypotes falsifieras, dvs motbevisas. Det räcker att dokumentera en enda svan av annan färg för att motbevisa hypotesen att alla svanar är vita. Därför ska

## Falsifiering i praktiken?

Under år 2000 publicerades 70 vetenskapliga artiklar som ”artiklar” i tidskriften *Nature*. Detta är en av de mest prestigefyllda publiceringar som förekommer inom vetenskapen. (De flesta artiklar i *Nature* publiceras som ”brev”, vilket är en något mindre prestigefylld publicering.)

Endast i 17 av dessa 70 artiklar rapporterade författarna hur de hade testat en vetenskaplig hypotes. Flertalet av de övriga artiklarna handlade om explorativ empirisk forskning, dvs forskning där man undersöker hur verkligheten är beskaffad utan att testa en i förväg uppsatt hypotes. Många av dessa artiklar handlade om hur man fastställt gensekvenser, molekylstrukturer och biokemiska reaktionsmekanismer.

Av dessa 17 artiklar resulterade 13 i att hypotesen verifierades och 3 i att den falsifierades, medan resultatet var svårtolkat (inkonklusivt) i 1 av artiklarna.

Denna undersökning kan anses motsäga föreställningen att god forskning i allmänhet går ut på att falsifiera hypoteser.

vetenskaplig verksamhet organiseras så att man försöker falsifiera hypoteser, inte så att man försöker verifiera dem.

För ordningens skull bör kanske nämnas att Popper hade en föregångare som han förmodligen inte var medveten om. År 1868 skrev zoologen August Weismann att ”en vetenskaplig hypotes låter sig visserligen aldrig bevisas, men om den är falsk kan den vederläggas.” Popper var dock först om att utveckla denna tanke till en mera fullständig vetenskapsfilosofisk teori.

Poppers recept rymmer den viktiga insikten att en teori som ska användas i ett framåtskridande vetenskapligt arbete måste kunna motbevisas om den är felaktig. Det är inte mycket nytta med en teori som ”kan förklara allting” i den meningen att oavsett vilka observationer man än skulle göra, så skulle de stämma med teorin. En sådan teori skulle från forskningssynpunkt vara innehållslös. (Ett exempel är astrologin, vars personlighetsbeskrivningar är så allmängiltiga att ett horoskop nästan alltid verkar att stämma.) Teorier med inbyggda undanflykter kan rensas bort med Poppers kriterium.

## **Falsifieringens problem**

Icke desto mindre är det ganska lätt att finna vetenskapliga hypoteser som inte stämmer med Poppers kriterium utan som tvärtom är lättare att verifiera än att falsifiera. Som exempel kan nämnas den toxikologiska hypotesen ”Nitrometan är cancerframkallande”. (Detta kan mera precist uttolkas: ”Det finns en dos och en tillförselväg vid vilka nitrometan ökar frekvensen av cancer”). Enligt Popper borde det vara omöjligt att visa att nitrometan är cancerframkallande (om detta är sant). Däremot borde det vara fullt möjligt att motbevisa samma påstående (om det är falskt). I själva verket är det precis tvärtom.

Man kan nämligen aldrig genom empiriska undersökningar visa att ett ämne inte ger cancer. Det går inte att utesluta att en exponering ger upphov till en ökning av cancerfrekvensen som inte kan skiljas från naturliga eller slumpmässiga variationer. Däremot kan en hypotes av det här slaget i praktiken ofta verifieras. För detta krävs att man finner en dos och en tillförselväg vid vilken cancer uppstår, och bekräftar detta i ett antal av varandra oberoende experiment.

Detta kan också uttryckas i mer generella termer. En vetenskaplig frågeställning handlar ofta om att välja mellan två utsagor som är varandras negation. (I detta fall: ”Nitrometan är cancerframkallande” och ”Nitrometan är inte cancerframkallande”). Att verifiera den ena av dessa båda utsagor är detsamma som

att falsifiera den andra. Ofta men inte alltid finns det vad vi kan kalla en *verifieringsasymmetri*, dvs den ena av de båda utsagorna går (av praktiska eller principiella skäl) lättare att verifiera än den andra. Det finns också ofta vad vi kan kalla en *individueringasymmetri*. Med detta menas att den ena utsagan mera naturligt än den andra uppfattas som – och benämnes – vetenskaplig hypotes. Det är t ex, enligt de konventioner som råder, mera rimligt att beteckna utsagan ”Nitrometan är cancerframkallande” som en vetenskaplig hypotes än att ge dess negation ”Nitrometan är inte cancerframkallande” en motsvarande roll.

Poppers synsätt innebär med denna terminologi att tre villkor förutsätts vara uppfyllda:

- (1) att verifieringsasymmetrin alltid är mycket stor,
- (2) att det alltid finns en individueringasymmetri, och
- (3) att de båda asymmetrierna alltid står i samma förhållande till varandra, nämligen så att det som vi räknar som hypotesen är svårare att verifiera än dess negation.

Det är lätt att visa att inget av dessa tre villkor stämmer på den praktiska vetenskapen. Antag t ex att man har funnit en ny fiskart i en afrikansk sjö, och vill ta reda på om den är ungfödande eller inte. Här finns ingen nämnvärd verifieringsasymmetri, eftersom det är ungefär lika lätt att verifiera att en fiskart är ungfödande som att den är äggläggande.

Samma exempel kan användas som motexempel mot individueringasymmetri. Utifrån vad som hittills sagts om exemplet kan vilken som helst av de båda utsagorna ”fisken är ungfödande” och ”fisken är äggläggande” betraktas som den hypotes som ska prövas. Dock kan det mycket väl hända att det teoretiska sammanhanget medför att den ena av de båda utsagorna får karaktären av hypotes. Så skulle t ex vara fallet om vi hos fiskarten i fråga har upptäckt ett anatomiskt drag som hittills bara iakttagits hos ungfödande arter, och därför uppställde hypotesen att även denna fisk är ungfödande. (Vad som är hypotesen respektive dess negation kan således inte avgöras enbart utifrån utsagornas språkliga form. Det beror i hög grad på vad man hittills vet och vad man för tillfället är sysselsatt med att undersöka.)

Vi har redan sett ett exempel där det tredje villkoret inte var uppfyllt. I fallet ”Nitrometan är cancerframkallande” finns visserligen både verifieringsasymmetri och individueringasymmetri, men de båda asymmetrierna är kopplade till varandra på rakt motsatt sätt mot vad Popper angav. Det finns alltså inget enkelt samband mellan de båda asymmetrierna. En del vetenskapliga hypoteser är ungefär lika tillgängliga för verifiering som för falsifiering, andra är mera tillgängliga för verifiering och åter andra är mera tillgängliga för falsifiering.

## **Den nödvändiga sammanvägningen**

Det går alltså inte att inskränka den empiriska prövningen av hypoteser till att enbart handla om falsifiering. Lika otillräckligt vore det att låta den handla enbart om verifiering. I praktisk vetenskap måste man leta efter evidens både för och emot de hypoteser man arbetar med, dvs man måste försöka både att verifiera och att falsifiera dem. I sin bedömning av en hypotes eller av en vetenskaplig utsaga måste man väga samman de skäl som talar för den med de skäl som talar mot den.

Att göra annorlunda vore lika orimligt inom vetenskapen som det vore inom domstolsväsendet att bara ta hänsyn till de argument som talar *för* den åtalade

(alternativt att bara ta hänsyn till de argument som talar *mot* henne). Ingen domare skulle göra något så dumt. Det gör ingen forskare heller, även om det förekommer att forskare som studerat vetenskapsteori tror att de borde göra det.

Till detta kommer en ytterligare komplikation: När en empirisk observation ger resultat som strider mot en teori, behöver det inte vara teorin som det är fel på. En annan möjlighet är att observationen är felaktigt utförd, eller feltolkad.

I vetenskapshistorisk litteratur finns det gott om exempel på experiment som har kullkastat hävdvunna teorier. Många av de viktigaste experimenten har varit av just detta slag. Men det vore fel att tro att detta är vad som normalt händer när teori och empiri inte stämmer överens. Det händer minst lika ofta att man, efter en sådan motsägelse, kan konstatera ett fel på experimentet eller på dess tolkning. Två exempel kan illustrera detta.

År 1906 rapporterade den kände experimentalisten W Kaufman att han hade funnit ett experimentellt bevis för att den speciella relativitetsteorin var felaktig. Först tio år senare visade det sig att hans experiment var felaktigt; det var en läcka i vakuumsystemet som lett till att det gav missvisande resultat. I detta fall var alltså experimentet felaktigt utfört.

Det andra exemplet är ännu äldre. Tycho Brahe förutsåg att om Copernicus hade rätt, och jorden snurrade runt solen, så borde den vinkel i vilken man såg stjärnorna påverkas av jordens rörelse runt solen. Han gjorde också mätningar för att pröva hypotesen, men fann ingen sådan effekt. Detta ansåg han tala emot Copernicus teori. I själva verket berodde hans resultat på att stjärnorna befinner sig på alltför stort avstånd för att vinkeleffekten skulle kunna upptäckas med de instrument han hade tillgång till. I detta fall var alltså både teori och experiment korrekta, men en skenbar motsättning mellan dem uppstod på grund av felaktiga bakgrundsantaganden.

Det är endast mycket sällan som ett enskilda experiment räcker för att motbevisa (eller bevisa) en teori eller hypotes. Det finns ingen genväg förbi den svåra uppgiften att söka efter evidens i båda riktningarna och att väga samman all bevisning som finns tillgänglig. Oftast är det först långt i efterhand som man kan konstatera att ett enskilt experiment var avgörande för valet av vetenskaplig teori.

## **Kravet om enkelhet**

Ofta finns det flera hypoteser eller teorier som stämmer överens med den empiriska evidens som är tillgänglig. Ofta är det också angeläget att välja en av dessa hypoteser eller teorier, åtminstone provisoriskt tills det kommer fram empiriska data med vars hjälp de kan åtskiljas. Det finns ingen regel med vars hjälp alla sådana avgöranden kan göras, men däremot en maxim som ofta är till stor hjälp: Välj den enklaste av de teorier eller hypoteser som stämmer bäst med empirin.

Ett hypotetiskt exempel kan illustrera detta: Man skulle mycket väl kunna ersätta teorin om gravitationskraften med en teori där det finns två krafter, en attraherande och en repellerande. Det är inte svårt att ge en sådan teori en sådan matematisk utformning att den förutsäger exakt samma mekaniska förhållanden som den gängse teorin. Men en sådan teori skulle inte anses motiverad om det inte gick att isolera de båda krafterna från varandra och visa att de "finns" oberoende av varandra. Denna tvåkraftsteori skulle förkastas därför att den innehåller fler teoretiska begrepp än vad som behövs.

Enkelhetskravet brukar historiskt anknytas till William Occam (d. 1349), som bidrog väsentligt till dess formulering. Det kallas ofta för "Occams rakkniv", och dess klassiska form är sentensen "Man bör inte i onödan mångfaldiga

entiteterna. ” (På latin: E'ntia prae'ter necessita'tem non e'sse multiplica'nda.) Redan av denna klassiska formulering framgår att den enkelhet det här handlar om inte har särskilt mycket med begriplighet att göra. Vad som krävs är inte att hypoteser ska vara lätta att förstå utan att de inte ska innehålla några avvarbara teoretiska element.

Enkelhetskravet kan också formuleras så att man eftersträvar att med så litet teori som möjligt göra reda för så mycket empiri som möjligt. Vi ska inte införa några element i teorin förrän empirin visar att de behövs. En viktig del av styrkan hos Newtons gravitationsteori var att den minskade det antal teoretiska grundbegrepp som behövdes för att förklara kroppars rörelse. Före Newton hade det funnits dels vissa rörelselagar för kroppar vid jordytan (den terresta mekaniken), dels andra rörelselagar för himlakropparna (den celesta mekaniken). Newton lyckades skapa en enhetlig teori för dessa till synes helt olika former av rörelse. Mer empiri kunde förklaras med färre teoretiska grundbegrepp.

Enkelhetskravet kan återföras på kravet att vetenskapen ska ge intersubjektiv, gemensam kunskap. Teoretiska antaganden som inte tvingas fram av fakta kan väljas på olika sätt av olika personer. Den rimligaste vägen till ett gemensamt, intersubjektivt val av sådana antaganden är att eftersträva att endast göra de antaganden som inte kan undvikas. Denna strävan är också en spärr mot att bäras iväg av sin egen fantasi och bygga upp teorier som har bräckligt underlag i verkligheten. Ofta är det också lättare att hitta komplexiteten om man utgår från det enkla än att göra tvärtom.

Enkelhetskravet är alltså en forskningsstrategi. Det är inte ett postulat om verkligheten, och får inte tolkas så att vi ska utgå från att verkligheten måste vara enkel. En sådan förutsättning saknar vi underlag för. Det är bara mellan teorier som beskriver verkligheten lika bra som Occams rakkniv bör komma till användning.

Det finns många exempel på att vetenskapens utveckling har lett till mer komplicerade i stället för till enklare teorier. Boyles lag för gasers tryck, temperatur och volym ( $PV = RT$ ) ersattes av en annan som var mer komplicerad ( $(P+a/V^2)(V-b) = RT$ ). Einsteins gravitationsteori är mer komplicerad än Newtons, etc. Det handlar emellertid här om komplikationer som tvingats fram av observationer, och att införa sådana komplikationer strider inte alls mot enkelhetskravet.

Självfallet kan kravet om enkelhet aldrig ersätta observationer och experiment. Då man har att välja mellan två hypoteser eller teorier kommer man inte långt genom att tvista om vilken som är enklast. Den avgörande frågan är i praktiken alltid om och i så fall hur man kan konstruera experiment eller göra observationer som kan skilja de rivaliserande hypoteserna åt.

## Slumpens skördar

Vid hypotesprövning uppstår ofta frågan: Är de mönster vi finner i våra iakttagelser ”bara” slumpmässiga, eller avslöjar de något mindre tillfälligt samband? Att avgöra detta är ofta svårt, och vi kan i regel inte förlita oss på våra rent intuitiva bedömningar. Våra intuitioner om slumpen är nämligen mycket otillförlitliga; i allmänhet är vi benägna att underskatta slumpens verkningar.

Ett klassiskt exempel på detta är den s k födelsedagsparadoxen. Antag att 15 personer berättar för varandra vilken dag de fyller år, och det visar sig att två av dem fyller år på samma dag. Detta skulle vi i allmänhet uppfatta som osannolikt och som en egendomlig slump, men i själva verket är sannolikheten så hög som 1 på 4. Om antalet personer var 23 skulle sannolikheten att minst två hade samma födelsedag vara strax över 1 på 2.

Ett annat exempel är de olika s k rätlinjefenomen som kommer fram när man studerar punkter på en karta. Vid början av 1900-talet blev brittiska amatörarkeologer förvånade över hur ofta tre, fyra eller fler fornlämningar visade sig ligga på samma räta linje på en karta. En av dessa amatörarkeologer, Alfred Watkins, gav år 1925 ut en bok om saken. Fransmannen Aimé Michel gav år 1958 ut en bok där han hävdade att platser för UFO-iakttagelser är placerade på kartan längs räta linjer.

På kartor med fornlämningar eller UFO-ställen inritade kan antalet räta linjer mellan punkterna ofta verka imponerande stort, men man kan inte dra några vetenskapliga slutsatser av detta om man inte rimligen kan utesluta att det rör sig om slumpfenomen (eller skeva urval). Det uppstår nämligen betydligt fler räta linjer i slumpmässigt utplacerade punkter än vad man kanske först skulle föreställa sig. På ett kartblad som innehåller 330 fornlämningar kan man t ex förvänta sig att finna cirka 1100 räta linjer som går genom minst fyra av dessa fornlämningar. (Självfallet var gamla tiders bosättningar och andra anläggningar inte slumpmässigt utplacerade, utan påverkades av terrängförhållanden, vattenförekomst m m. Sannolikheten för räta linjer mellan fornlämningar torde inte minska av detta.)

Fenomen som dessa gör det angeläget att vara noga på sin vakt mot övertolkning av slumpmässigt uppkomna mönster. Det bästa hjälpmedlet för denna vakthållning är statistisk hypotesprövning.

## Statistisk hypotesprövning

Låt oss anta att en biltillverkare överväger att genomföra en smärre ändring av en bilmodell. Man vill montera den inre backspegeln på vindrutan i stället för som tidigare i taket. Några av de företagets ingenjörer befarar att den nya konstruktionen kommer att göra vindrutan mera känslig för slag. Man vill pröva denna hypotes empiriskt, och genomför därför ett försök där man utsätter dels 30 vindrutor utan backspegel (kontrollgruppen), dels 30 vindrutor med påmonterad backspegel (försöksgruppen), för ett kraftigt (standardiserat) slag som svarar mot påfrestningarna vid en krock. Det visar sig att 7 av vindrutorna med backspegel går sönder, mot 5 av vindrutorna utan backspegel.

Ett sådant resultat ger inte stöd för hypotesen att backspegeln försämrar vindrutans slagåtlighet. Skillnaden är ju så liten att den lika gärna kan bero på slumpen. Om å andra sidan 20 av vindrutorna med backspegel hade gått sönder mot endast 5 i den andra serien, hade försöket stött hypotesen att backspegeln försämrar slagåtligheten. Det förefaller uppenbart.

Men hur skulle man ha resonerat om 10 av de backspegelförsedda rutorna hade gått sönder? Eller 15? Uppenbarligen räcker inte vår intuition här. Det behövs någon form av regler, någon metod för att avgöra om slumpfel är en rimlig förklaring till de skillnader man upptäcker mellan kontrollgrupp och försöksgrupp. Endast om slumpfel inte är en rimlig förklaring till skillnaden, kan försöket anses ha bekräftat den hypotes som man utförde försöket för att pröva.

För att pröva detta uppställer man en s k noll-hypotes (noll-antagande). Därmed avses hypotesen att skillnaden mellan betingelserna för de båda grupperna (här: backspegeln) inte har någon betydelse för det man mäter (här: frekvensen krossade rutor). Man räknar sedan ut hur stor sannolikheten skulle vara att på grund av slumpen få minst så stora skillnader mellan grupperna som dem man iakttagit, om nollhypotesen vore sann.

I vårt exempel med de två grupperna om 30 vindrutor är sannolikheten förutsatt noll-hypotesen (dvs förutsatt att backspegeln inte har någon effekt), 37

procent att få minst en sådan skillnad som mellan 5 och 7. Sannolikheten är 12 procent att få minst en sådan skillnad som mellan 5 och 10. Den är 1 procent att få minst en sådan skillnad som mellan 5 och 15, och 0,01 procent att få minst en sådan skillnad som mellan 5 och 20.

Det återstår att bestämma hur liten sannolikheten att en effekt skulle ha uppkommit av en slump ska vara för att vi ska anse att försöket ger en tydlig indikation om att annat än slumpen har spelat in. Här finns en fast rotad tradition som är gemensam för de mest skiftande vetenskapliga discipliner och forskningsområden: Man sätter denna gräns vid 5%, och kallar de resultat som ”klarar” gränsen *statistiskt signifikanta*. Signifikansen anger alltså sannolikheten för att en skillnad minst så stor som den iakttagna skulle uppstå av ren slump, dvs mellan två kontrollgrupper. Skulle den skillnad mellan försöksgrupp och kontrollgrupp som man iakttagit ha uppstått av ren slump i minst 1 fall av 20 i en (hypotetisk) jämförelse mellan två kontrollgrupper, så fäster man ingen vikt vid försöksresultatet. (Observera att signifikansmättet inte direkt säger något om hur sannolikt det är att effekten beror på slumpen.)

I vårt fall innebär detta att ett resultat om 7 eller 10 krossade rutor i försöksgruppen inte är signifikant, medan 15 eller 20 skulle vara ett signifikant resultat.

Gränsen 5 procent är självfallet tämligen godtycklig. Det är viktigt att inte förväxla statistisk signifikans med vetenskaplig trovärdighet. Ett statistiskt signifikant resultat har föga värde om undersökningen är dåligt utförd, så att det ligger nära till hands att det signifikanta resultatet kan bero på metodfel. Självfallet kan inte heller ett aldrig så höggradigt signifikant resultat undanröja behovet av att väga in information från andra observationer. Om man i ett enstaka experiment får signifikanta resultat som strider mot tyngdlagen, räcker inte detta för att kullkasta tyngdlagen, eftersom så mycket annan, tidigare insamlad bevisning har bekräftat tyngdlagen.

Det är viktigt att observera att de gängse statistiska testmetoderna är avsedda för att pröva *i förväg uppställda* hypoteser. Man riskerar att hamna helt snett om man i stället använder dessa testmetoder för att leta med ljus och lykta efter ”statistiskt signifikanta” resultat. Om man genomför ett stort antal statistiska test på ett stort material är det nästan säkert att man kommer att finna statistiska ”samband” som uppkommit av en ren slump. Riskerna för övertolkningar av sådana samband är ett stort problem i allt vetenskapligt arbete som utgår från komplexa datamaterial.

Ett ovanligt tydligt exempel på detta är den statistiska bearbetning som musiksociologen Lomax gjorde av stora tabeller där han samlat omfattande information om musik och samhälle i många olika kulturer. År 1972 publicerade han i tidskriften *Science* en artikel där han påstod att det fanns samband mellan hög mjölkproduktion och utsmyckad sång. Han skrev att ”denna extra proteinkälla förklarar många fall av energisk sång”. I själva verket hade han letat efter så många olika samband att det inte behövs någon annan förklaring än slumpen till att han hittade några få samband som detta.

Detta fenomen brukar kallas masskorrelation. I Lomax fall var det lätt att upptäcka eftersom han redovisade vilka korrelationer han hade räknat ut. Det kan vara svårare att uppdaga masskorrelation om forskaren endast publicerar de delar av sina undersökningar som gav signifikanta resultat.

Botemedlet mot denna typ av problem är i princip enkelt, men kräver god forskningsplanering för att genomföras. Botemedlet är nämligen att alltid besluta om metoden för statistisk analys innan man samlar in de data som den ska tillämpas



på. Detta förfarande har också den fördelen att man kan försäkra sig om att försöksuppläggningsen är lämpad för den avsedda statistiska bearbetningen.

## 6. Modeller

I det förra kapitlet studerade vi hur man kan pröva om de samband råder som postuleras i vetenskapliga teorier och hypoteser. Vi ska nu se närmare på innehållet i sådana teorier och hypoteser. I detta kapitel ska vi undersöka vad som menas med en vetenskaplig modell och hur modeller kan användas. I de båda följande kapitlen behandlas vetenskapliga förklaringar och respektive orsaker.

### Tre slags modeller

Teorier och hypoteser har ofta formen av modeller, dvs fysiska eller mentala system som man anser återspegla väsentliga egenskaper hos de fenomen som man studerar. Den avgörande relationen mellan en modell och det som den representerar är strukturlikhet. Olika delar av modellen ska svara mot olika delar av det representerade avsnittet av verkligheten.

Man brukar skilja mellan tre slags modeller, i vilka strukturlikheten har olika karaktär. Den enklaste formen är *ikoniska modeller* (avbildningar), som är förstörade eller förminskade återgivningar eller projektioner av sitt föremål. Exempel på detta är kartor, anatomiska modeller, molekylmodeller, byggnadsmodeller m m. Strukturlikheten mellan en ikonisk modell och dess förebild är konkret och rumslig och handlar bl a om geometrisk form.

Ikoniska modeller används ofta i forskningen för att vinna överskådlighet. Det gäller t ex molekylmodeller (såväl fysiska som i datorn). Dessutom används ikoniska modeller för liknande syften i olika former av praktisk verksamhet. Både ingenjörer och arkitekter arbetar ständigt med ritningar och ofta med tredimensionella avbildningar.

En viktig variant av ikoniska modeller är skalmodeller, dvs modeller som utgör ungefärliga förminskningar eller förstoringar av det man vill studera. Skalmodeller har stor användning i tekniska tillämpningar. För att undersöka ett flygplans aerodynamiska egenskaper placerar man t ex en förminskad modell av planet i en vindtunnel där det utsätts för vind med olika hastighet och riktning. Tolkningen av dessa försök bygger på antagandet att fenomen som luftströmmar och luftmotstånd är väsentligen desamma om de skalas upp eller ned. På motsvarande sätt har skalmodeller av fartyg använts sedan länge för att prova olika konstruktioners sjövärdighet.

*Analoga modeller* har en gemensam struktur med sin förebild, men utan att vara egentliga avbildningar. Strukturlikheten är alltså här inte primärt rumslig som den är hos ikoniska modeller. Även analoga modeller har stor användning såväl inom vetenskapen som i olika praktiska verksamheter. Några exempel: Hydrauliska system kan användas som modeller av elektriska system. Vid mitten av 1950-talet byggdes flera hydrauliska modeller av ekonomin, där vätskeflöden representerade penningflöden. Atomer kan beskrivas som ett slags planetsystem på mikronivå. Ljus kan liknas vid vågrörelser av det slag vi känner t ex från vågor på en vattenyta. Programmeraren kan beskriva dataprogrammets funktion med hjälp av ett flödesdiagram.

I *symboliska modeller* är olika fenomen representerade av symboler. Symbolerna på bilens kontrollpanel utgör ett exempel på symbolisk modellering. De symboliska modeller som används inom vetenskapen är dock nästan uteslutande av ett helt annat slag: de är matematiska modeller. Variablerna i den matematiska modellens formler svarar mot olika kvantiteter i det system i verkligheten som

modellen representerar, och relationen mellan olika fenomen uttrycks i matematiska ekvationer.

Matematiska modeller är sedan länge universellt närvarande inom fysik, kemi och teknikvetenskap. Inom biologin får de ökad betydelse bl a genom ekologins och populationsgenetikens inverkan. Stora delar av den ekonomiska vetenskapen har matematiserats under 1900-talet, och även i övrigt gör matematiken – sakta och odramatiskt – inbrott i allt fler vetenskapsområden.

Matematiska modeller är i allmänhet mer flexibla än analoga modeller, och har större uttrycksstyrka. De medger exaktare förutsägelser, och därmed starkare prövningar av modellen. Detta är en viktig förklaring till såväl matematikens som mätningarnas betydelse i vetenskapen. Genom att utveckla sin teori i form av en matematisk modell, vars variabler svarar mot mätbara storheter, ger man förutsättningar för verkningsfulla empiriska prövningar. Det matematiska formelspråket gör det dessutom möjligt att utforska strukturer som vi inte kan bilda oss en uppfattning av med hjälp av någon tillgänglig analog modell. Matematiken blir därmed ett oundgängligt hjälpmedel särskilt i de vetenskaper som rör sig längst bort från det som vi har erfarenheter av från vardagen.

Å andra sidan är analoga modeller i regel mer överskådliga och lättbegripliga än matematiska modeller. De kan i regel inte ersättas av matematiska modeller, eftersom de används för andra ändamål. Dessutom används ofta analoga modeller som utgångspunkt för konstruktion av symboliska modeller.

## **Idealisering**

I sin skildring av Gullivers resor berättar Jonathan Swift om en grupp kartmakare som var så angelägna om att inte missa något väsentligt att de gjorde en karta över sitt land i skala 1:1. Den resulterande kartan blev i själva verket ett nytt land att bosätta sig i.

Så går det inte till i den verkliga världen. De ikoniska modeller som vi gör i form av kartor och tredimensionella konstruktioner innebär alltid förenklingar; det som vi uppfattar som mindre väsentligt tas inte med. Alldeles likadant är det med analoga och symboliska modeller. De är alltid idealiseringar i bemärkelsen att ”avsiktligt förenkla något komplicerat (en situation, ett begrepp, etc) med syftet att uppnå en åtminstone delvis förståelse av det. En idealisering kan innefatta en förvrängning av sitt objekt eller kan helt enkelt innebära att man lämnar åt sidan några av komponenterna i ett komplex i syfte att bättre kunna fokusera på de återstående komponenterna”.

Ett exempel på idealisering är att man i mekaniken ofta behandlar kroppar som om de inte hade någon utsträckning, utan hade all sin massa koncentrerad i en punkt. Ett annat exempel är att man i ekonomisk teori ofta utgår från att alla aktörer på en marknad är välinformerade och strikt egennyttiga. Som bekant finns det varken föremål utan utsträckning eller människor som är fullständigt välinformerade och egennyttiga. Icke desto mindre har dessa idealiseringar visat sig framgångsrika. De gör det lättare att utföra beräkningar inom mekaniken respektive ekonomin. Det viktiga är givetvis att hålla reda på idealiseringarna och att när så behövs införa ytterligare komplikationer i modellen.

Särskilt framgångsrika blir idealiseringar när man lyckas att konstruera experiment där man separerar bort just de faktorer som är bortidealiserade i teorin. Ett exempel på detta är att man i den teoretiska kemin, då man beskriver en kemisk reaktion mellan två molekyler, vill bortse från inverkan från andra närbelägna molekyler. Man arbetar alltså med en idealiserad två-molekylermodell trots att den

faktiska reaktionen påverkas av omgivande molekyler. I en del fall försvåras då jämförelsen mellan teorin och de experimentella resultaten av att omgivande molekyler haft inverkan i experimenten. I många fall kan detta problem undanröjas genom att man utför experiment i gasfas, där reaktionen i allt väsentligt kommer att äga rum utan inverkan av andra molekyler än de båda som deltar i den. Sådana gasfas-experiment ger avsevärt förbättrade möjligheter att pröva de (idealiserade) teoretiska modellerna mot verkligheten. (Tyvärr kan dock de flesta kemiska reaktioner inte studeras experimentellt i gasfas.)

Som framhölls redan i ett tidigare kapitel är utrymmet för idealiseringar mindre i teknikvetenskapen än i den ”rena” naturvetenskapen. Fysikern kan nöja sig med en teori för elektromagnetismen som inte tar hänsyn till gravitationen. Ingenjören som konstruerar en maskin byggd på elektromagnetismen kan inte kosta på sig att idealisera bort gravitationen. Försåvitt hon inte arbetar åt ett rymdbolag ska nämligen maskinen fungera i jordens gravitationsfält. På motsvarande sätt vore det ur den teoretiska mekanikens synvinkel helt i sin ordning att bortse från vindens inverkan när man beräknar hållfastheten hos en hängbro. En brobyggare som gjorde samma idealisering skulle begå ett svårt misstag. Det som inte kan elimineras i praktiken kan inte heller idealiseras bort i de tekniska överbägandena. Verklighetens komplikationer tränger sig därför på mera obevekligt inom teknikvetenskapen än inom naturvetenskapen. (Å andra sidan bekymrar sig ingenjören till skillnad från naturvetaren sällan om att ha en matematiskt exakt lösning på sitt problem. En tillräckligt noggrann approximation duger lika gott för tekniska ändamål.)

## Om faran med modeller

Modeller och idealiseringar är nödvändiga inom vetenskapen, men de kan också vara farliga om man glömmer bort att verkligheten trots allt är mer komplicerad än modellerna. Två exempel kan illustrera detta problem.

Alltsedan Faraday har man inom fysiken ritat bilder av kraftfält där dessa representeras av fältlinjer, dvs linjer definierade av ett vektorfält så att vektorn i varje punkt är tangent till linjen. Fältlinjernas täthet väljs godtyckligt i något område för att skapa en illustrativ bild. I andra områden kommer de då att ligga tätare eller glesare beroende på om fältet är starkare eller svagare. Självfallet ska dessa diagram inte tolkas så att kraftfälten är koncentrerade till de utritade linjerna. Att tro detta är en lika absurd uppfattning som om man skulle tro att lufttrycket vore koncentrerat till de isobarer som meteorologerna ritat ut på sina kartor. Icke desto mindre har fältlinjerna blivit missförstådda på just detta sätt. Personer som letat med slagruta efter nya slags fält menar sig få utslag längs parallella linjer (”Currylinjer” m fl) som på kartan breder ut sig likt gängse fältdiagram. De har missförstått linjernas innebörd i diagrammen. (Slagrutans utslag beror på rutgångarens förväntningar, och några belegg för att dessa linjer skulle existera finns ej.)

Kvantmekaniken erbjuder ett annat exempel. Detta är en fysikalisk teori i form av en jämförelsevis komplicerad matematisk modell, som ger mycket exakta förutsägelser om ett brett spektrum av experimentella situationer. Det verkar tyvärr inte finnas någon analog modell som på ett bra sätt redogör för kvantmekaniken. I stället använder man i regel två analoga modeller. Enligt den ena betar sig t ex elektroner och ljus som partiklar; man kan föreställa sig dem som små klot. Enligt den andra analoga modellen betar de sig som vågrörelser; man kan tänka på dem som vågor på en vattenyta. Ingen av dessa analoga modeller räcker för att beskriva

alla experiment som kvantmekaniken (i sin matematiska form) kan hantera, men de flesta sådana experiment kan beskrivas ungefärligt med någon av de båda modellerna. Det är bara i den matematiska formuleringen som kvantmekaniken kunnat utvecklas på ett enhetligt och sammanhängande sätt. I populariseringar har detta ofta uttryckts så att t ex ljus på något mystiskt sätt skulle vara "samtidigt en partikel och en vågrörelse". Den är i själva verket ingendera, utan något tredje som det är svårt att skaffa sig en konkret föreställning om .

## Simulering

En av de stora fördelarna med matematiska modeller är att de kan användas för simuleringar i datorer. Matematiska modeller av luftförelser m m används t ex av meteorologer för att förutsäga vädret. Simuleringar är också användbara i många andra sammanhang. Man kan t ex utveckla en matematisk modell av hur en bil deformeras vid kraftiga påfrestningar, och använda denna modell för att simulera olika slags krockar. Detta är i längden billigare än experimentella krocktester och ger därför möjlighet att pröva betydligt fler olyckstyper.

De dataprogram som används i simuleringar bygger i allmänhet på att en och samma beräkningstyp upprepas ett stort antal gånger i en iterativ (upprepad) process. Det finns i huvudsak två slags iterativa processer som används i simuleringar. Den ena är processer där varje steg svarar mot en tidsperiod. Denna metod används t ex då man räknar fram väderprognoser. I varje steg räknar maskinen ut hur vädret kommer att förändras under en kort tidsperiod. Utfallet av denna beräkning används som ingångsvärde för nästa beräkning, etc. Samma metod används i andra simuleringar av tidsförlopp.

Den andra användningen av iterativa processer är att gradvis approximera sig fram till en lösning. Man börjar då med en mycket grov approximation. I varje steg förbättras approximationen, och den förbättrade versionen används som ingångsvärde i nästa beräkningssteg. Beräkningen pågår tills approximationen blivit "stabil", dvs inte ändras nämnvärt med ytterligare beräkningssteg. Denna metod används regelmässigt i simuleringar som kräver lösning av mycket komplicerade ekvationssystem.

Många av de system som man studerar genom detta slags approximationer skulle vara mycket svårare att angripa med exakta metoder. Simuleringar ger då möjlighet att studera betydligt mer komplicerade fall än vad som skulle vara möjligt med exakta matematiska metoder, och gör det därigenom också möjligt att minska graden av idealisering. Kvantkemin, som tillämpar kvantmekaniken på kemiska problem, är ett utmärkt exempel på detta (även om man i vanligt språkbruk inte brukar använda ordet "simulering" om kvantkemiska beräkningar). Om man ska lösa kvantkemiska ekvationssystem exakt med papper och penna kan man inte hantera stort mer komplicerade system än en vätemolekyl. Med approximationsmetoder och datorkraft är det möjligt att studera t o m komplexa biokemiska molekyler med kvantkemiska metoder.

Många simuleringar efterliknar slumpvisa processer genom att en slumpgenerator producerar värden på olika variabler som används i beräkningarna ("Monte Carlo-metod"). Antag t ex att man i en trafiksimulering ska studera trafikflöden i en korsning där en femtedel av bilarna svänger till vänster och de övriga till höger. Då kan man låta en slumpgenerator fördela fordonen mellan de båda riktningarna, och så att i genomsnitt var femte bil kör till vänster.

I nästan alla simuleringar är det viktigt att undersöka hur robusta resultaten är mot små förändringar av ingångsvärdena. En del system är så beskaffade att

godtyckligt små förändringar av ingångsvärdena kan leda till mycket stora förändringar i utfallet. Sådana system kallas *kaotiska*. Vädret är ett exempel på detta. Om man i en matematisk modell av hela jordens väder inför en liten ändring på en ort vilken som helst kan detta leda till stora förändringar i hela jordens klimat några veckor senare. Å andra sidan finns det också modeller som är så stabila att tämligen stora förändringar i ingångsvärdena kan gå spårlöst förbi. I sådana fall kan man få rätt resultat med fel ingångsvärden. Den gamla regeln ”skräp in – skräp ut” stämmer då inte, eftersom dåliga värden i sådana fall kan ge goda resultat.

I somliga fall kan simuleringar i viss mån ersätta experiment. Man kan t ex använda simuleringar för att studera snabba förlopp som man inte kan observera experimentellt. Självfallet krävs alltid att simuleringen stämmer överens med experiment eller observationer i de fall där sådana finns tillgängliga. Det är viktigt att observera att simulering alltid, trots att den ofta till det yttre har en experimentell karaktär, är en teoretisk verksamhet. Simuleringar ger oss kraftfullare teorier, men även en kraftfull teori måste underkastas empirisk prövning.

## 7. Förklaringar

När man inom vetenskapen utvecklar teorier och modeller, sker detta med syftet att de ska hjälpa oss att förstå den verklighet vi lever i. Med andra ord syftar vetenskapen, så som vi vanligtvis uppfattar den, till att förklara sina studieobjekt.

### Vetenskap utan förklaringar?

En del vetenskapsfilosofer har dock hävdats att detta är en brist hos den faktiska vetenskapen. De menar att man bör eliminera förklaringar från vetenskapen, och inskränka dess uppgift till att beskriva och förutsäga fenomen.

Denna inställning har mycket gamla anor, särskilt inom astronomin. Den babyloniska astronomin verkar att ha varit helt inställd på att göra förutsägelser om himlakropparnas rörelser, utan att uttala sig om annat än vad man kunde se från jorden. De grekiska astronomerna försökte däremot att förklara vad som syntes på himlavalvet bl a med teorier om roterande sfärer som antogs omge jorden. En inställning liknande den babyloniska återkom i 1500-talets astronomi. Det verkade omöjligt att genom iakttagelser från jorden komma till någon säker slutsats i den tidens stora stridsfrågor, t ex om jorden gick runt solen eller tvärtom. Många hävdade då att astronomin skulle nöja sig med att beskriva och förutsäga himlakropparnas rörelser. Det var inte dess uppgift att ytterligare förklara dem.

En av de mest inflytelserika teoretiker som velat rensa ut förklaringar från vetenskapen var fysikern och filosofen Ernst Mach (1838-1916). Han ansåg att de enda slutsatser man fick lov att dra från experiment var sådana slutsatser som kunde uttryckas i form av förkortade beskrivningar av experimenten. Det betyder att ”bara relationerna mellan fakta är av värde – och detta uttömmes av beskrivningar”. Några förklaringar i egentlig mening skulle inte behövas. Hans brittiske efterföljare Pearson hävdade att ”ingen tror nu att vetenskap förklarar något; vi ser på den som en stenografisk beskrivning, en tankeekonomi.” Denna föreställning hade också stort inflytande bland 1920-talets logiska empirister.

Dock är detta en form av ”tankeekonomi” som ”ekonomiserar bort” en stor del av det som brukar räknas till det viktigaste inom vetenskapen. Det är svårt att se hur man skulle kunna forska utan att försöka förstå. Vetenskap är en mänsklig aktivitet, och syftar till mänsklig förståelse. Möjligen skulle en samling robotar som programmerats till att bedriva vetenskap kunna åstadkomma en ”förklaringsfri” vetenskap, men detta är inte den vetenskap som vi utvecklar för att komma till insikt om vår omvärld, oss själva och våra handlingsmöjligheter.

### Förklaringar och förståelse

I vardagslivet händer det ständigt att vi förklarar olika företeelser. Svaret på frågan ”varför” är i allmänhet en förklaring. Några exempel:

”Varför slog han igen dörren så hårt?” – ”Han blev arg när du talade illa om hans bror.”

”Varför gick vasen sönder?” – ”En sten föll ned på den.”

”Varför utvidgas en gas när den uppvärms?” – ”Molekylerna rör sig snabbare vid högre temperatur, och det uppstår fler och kraftigare kollisioner som driver dem bort från varandra.”

Förklaringar innebär att man visar hur det oförklarade hänger samman med, oftast följer ur, något som vi anser oss förstå bättre. Betrakta t ex det första exemplet ovan. Vi förstår sedan tidigare att människor kan bli arga då deras vänner förtalas och att människor kan slamra i dörrar då de blir arga. Inte minst förstår vi detta därför att vi åtminstone i någon mån känner igen beteendemönstret från oss själva. Förklaringar av mänskligt beteende förutsätter i allmänhet att man sätter sig in i hur andra personer tänker och känner, något som har beskrivits som att använda sig själv som en modell för att förstå andra personer. Det är i regel så vi gör då vi försöker förstå historiska gestalters bevekelsegrunder, eller en poets känslouttryck.

En annan viktig förklaringsprincip kan beskrivas så att man förstår ”genom att göra” eller genom att tänka sig att göra. Många vardagsförklaringar handlar om detta. Det bästa sättet att förstå en trollerikonst är t ex att få hjälp att antingen själv utföra den eller tänka igenom hur man skulle genomföra den. Många förklaringar av naturfenomen handlar om att jämföra dem med något som människor kan, eller skulle kunna, tillverka. Naturen, människokroppen och t o m det mänskliga intellektet brukar förklaras genom att de sägs fungera som maskiner (i det senare fallet datorer). Vi tycker oss ofta förstå naturfenomen och samhällsfenomen när vi känner en ”mekanism”. Begreppet mekanism är svårfångat, men det har en tydlig anknytning till maskiner där olika element griper tag i varandra på ett planerat sätt så att maskinen som helhet åstadkommer det avsedda resultatet.

I det tredje exemplet ovan hämtas förklaringen från en vetenskaplig modell (den kinetiska gasmodellen). Detta är en vanlig användning av vetenskapliga modeller, men det är inte alla vetenskapliga modeller som bistår oss med förklaringar. En del modeller ger goda beskrivningar utan att för den sakens skull öka vår förståelse. Ett exempel är Keplers s k tredje lag, enligt vilken planeternas omloppstid står i proportion till  $3/2$ -potensen av deras avstånd från solen. Denna matematiska modell sammanfattar data på ett utmärkt sätt, men ökar inte förståelsen av planetrörelser. Däremot ökades denna förståelse när man kunde härleda Keplers tredje lag ur den Newtonska mekaniken.

Vilka förklaringsprinciper som godtas i vetenskapen är inte givet en gång för alla, utan har ändrats genom vetenskapens utveckling. I den äldsta naturvetenskapen använde man i allt väsentligt förklaringsprinciper hämtade från vardagstänkandet. Efterhand som naturvetenskapen utvecklats har man emellertid tvingats överge och komplettera dessa förklaringsprinciper, eftersom de inte har räckt för att formulera teorier som ger goda beskrivningar av verkligheten. Gradvis har naturvetenskapen kommit att godta förklaringsprinciper som avviker alltmer från dem som tillämpas för vardagsförklaringar.

Ett tydligt exempel på detta är inställningen inom fysiken till verkan på avstånd. Fysikerna försökte länge upprätthålla principen att kroppar bara kan påverka varandra genom omedelbar beröring. Denna princip har stöd i våra vardagserfarenheter. Icke desto mindre visade den sig så småningom vara alltför begränsande för att kunna medge en mera allmängiltig beskrivning av den värld vi lever i. Studiet av magneter gav upphov till begreppet fält (först antytt av Robert Norman), och så småningom tog Newton det stora steget att införa verkan på avstånd (tyngdkraften) som centralt element i mekaniken.

Sett i ett längre perspektiv har vetenskapens val av förklaringsprinciper ändrats avsevärt med tiden. Av detta skulle man kunna frestas till slutsatsen att



valet av förklaringsprinciper är godtyckligt. Men då har man försummat att de olika förklaringsprinciperna inte har ersatt varandra på ett godtyckligt sätt eller efter modeväxlingar. I stället har förklaringsprinciper inom vetenskapen förkastats eller antagits efter sin förmåga att ge oss sammanhang i omvärlden. Vardagsföreställningar har varit utgångspunkten, men de har justerats efterhand som detta visat sig nödvändigt.

På grund av denna utveckling inom vetenskapen kan vetenskaplig förklaring inte sägas bestå i att göra reda för fenomen i termer av det (i vanlig mening) välbekanta, utan snarare i att göra reda för dem i termer av det som är vetenskapligt välbelagt.

## **Förklaringsätt som har övergetts**

Två viktiga exempel på förklaringsprinciper som övergetts är funktionella förklaringar och ödesförklaringar.

I vardagstillvaron, när vi talar om ting som skapats av människor, kan vi ofta förklara deras egenskaper genom att ange vilka syften de tjänar:

”Varför har den här skeden så långt skaft?” – ”För att man ska nå ner i djupa syltburkar med den.”

Denna typ av förklaringar brukar kallas funktionella, därför att de hänvisar till företeelsernas funktion. Många förvetenskapliga förklaringar var funktionella trots att de inte handlade om ting som skapats av människor. Frågan ”Varför finns solen?” kunde besvaras med att människorna behövde dess ljus och värme. Denna sorts förklaringar verkar förutsätta att det finns någon utomstående intelligens som gör tingen ändamålsenliga för oss.

I sin ursprungliga form har funktionella förklaringar till största delen rensats ut ur vetenskapen. Dock finns det fall då de har kunnat behållas i rekonstruerad form. Ibland kan nämligen en förklaring uttryckas som om den vore funktionell, men det funktionella uttrycksättet är bara en omskrivning för en annan, underliggande, typ av förklaring. Det mest typiska exemplet på sådana förklaringar i funktionell form är förklaringar som hänsyftar på evolutionen. På frågan ”Varför har giraffen lång hals?” är det rimligt att svara: ”För att den ska kunna nå upp till akacietrådets blad.” Men detta är en omskrivning av en icke-funktionell förklaring, nämligen: ”Därför att det naturliga urvalet har gynnat individer som kunnat nå upp till akacietrådets blad. Dessa individer har haft bättre överlevnad och därför har anlaget till lång hals blivit överrepresenterat hos avkomman.”

Den andra typen av förklaringar som vetenskapen har röjt undan är de som hänvisar till det personliga ödet. Den ödestroende kunde söka förklaringar till i princip allt väsentligt som hände i människors liv. Om just mitt hus drabbades av ett åsknedslag, måste det finnas en särskild förklaring till att det var jag som drabbades. Varje människa hade ett föreskrivet öde som hon inte kunde betvinga, eller som Sofokles uttryckte saken:

Mot ödets makt är allt förgäves:  
ej rikedom, ej fästningstorn,  
ej vapen kunna fly den  
och inga havsombrusade snabba skepp.

I regel låg ett mytologiskt eller religiöst tankemönster till grund för ödes-tänkandet. Ibland förekommer dock ett liknande tänkande, än i dag, utan att ha en tydlig religiös grund. Den som vunnit på lotteri vill ofta tro att det finns en speciell förklaring till att just hon vann.

Ödesförklaringar har i modern vetenskap till stor del ersatts av hänvisningar till slumpen. Om en lös tegelpanna ramlar ner just när jag passerar ett hus, och skadar mig, är den ödestroende benägen att ge en förklaring, t ex genom att hänvisa till en förbannelse som åvilar mig. En företrädare för den moderna vetenskapen kan däremot inte göra mycket mer än att hänvisa till slumpen i ett fall som detta. Att just jag fick tegelpannan i skallen är, enligt detta synsätt, inget som alls behöver förklaras.

Samtidigt som naturvetenskapen har utvecklat nya förklaringsprinciper har den alltså ändrat våra föreställningar om vad det är som vi alls ska försöka förklara. Äldre tiders forskare sökte ofta efter förklaringar till sådant som vi idag betraktar som tillfälligheter som inte behöver förklaras. Kepler lade t ex ned åtskillig möda på att försöka förklara varför (de då kända) planeternas antal var just sex. Numera hör inte planeternas antal till det som astronomerna alls försöker förklara. Det är en viktig insikt i modern naturvetenskap att allt inte behöver eller ens kan förklaras.

## Reduktioner

Vetenskapliga förklaringar tar ofta formen att man förklarar sammansatta fenomen genom att visa hur de följer ur enklare fenomen som de består av. En sådan förklaring kan kallas reduktion.

Under 1800- och 1900-talen har ett stort antal betydelsefulla reduktioner lagts fram och blivit allmänt accepterade. Den kinetiska gasteorin förklarar gasers egenskaper utifrån partiklarnas mekaniska rörelser. Optikens lagar har kunnat återföras till vågteorin för ljus, och sedermera till kvantmekaniken. Många kemiska fenomen har kunnat återföras till fysikaliska förklaringsprinciper. Kemiska upptäckter, framförallt DNAs struktur (1953) har gjort det möjligt att förstå allt mer av biologin utifrån kemiska principer. Sammantaget har en lång rad framgångsrika reduktioner fört med sig att naturvetenskaperna, fysik, kemi, geovetenskap och biologi hänger mycket närmare samman med varandra än för bara ett halvsekel sedan. Det finns också tendenser, om än mindre entydiga, till att återföra psykologi och samhällsvetenskap till biologi. Sammantaget betyder detta att vetenskapen som helhet utgör en mycket mer integrerad kunskapsmassa än tidigare.

Det finns en gammal dröm om att kunna reducera all vetenskap till fysik. Samhällsvetenskapen skulle reduceras till psykologi, psykologin till biologi, biologin till kemi och kemin till fysik. Är vi nu på väg dit?

Nej, av allt att döma inte. Redan reduktionen från kemi till fysik har nämligen klara begränsningar. Vi kan visserligen utgå från att fysikens redogörelse för de basala interaktionerna mellan olika partiklar är fullt ut giltig även i kemin. Men därav följer inte att fysikens förklaringsprinciper är tillräckliga för att vi ska förstå även kemin. Inom kemin förekommer nämligen åtskilliga begrepp som inte kan definieras i fysikens termer. Det gäller t ex begreppet substitution, som är kraftfullt ur förståelse-synpunkt, men som inte kan definieras på något rimligt sätt i fysikaliska termer. På motsvarande sätt förekommer inom biologin åtskilliga begrepp som är centrala för vår förståelse men som inte på något rimligt sätt kan reduceras till kemi. Om man tar fasta på att vetenskap är en mänsklig aktivitet blir det alldeles uppenbart att drömmen en alltings reduktion till fysik är utsiktslös.

## 8. Orsaker

Inom de flesta vetenskapsområden söker man efter orsaker och orsakssamband. Trots att 'orsak' är ett centralt begrepp i vetenskapen, är det mycket svårfångat. Försök att definiera det i termer av enklare begrepp har misslyckats. Många har uppfattat orsaksbegreppet som ogripbart, nästan mystiskt.

### Orsak som undantagslös upprepning

Radikala empirister har velat göra sig kvitt komplikationerna i orsaksbegreppet. De har menat att man i vetenskapen måste ha ett precist och väldefinierat orsaksbegrepp, och då blir det nödvändigt att avvika från traditionella föreställningar. Den mest kände företrädaren för denna ståndpunkt var David Hume (1711–1776). Han betraktade orsakssamband som rent mentala konstruktioner. Att *A* orsakar *B* betyder enligt honom att *A* på ett regelbundet sätt föregår *B*. När vi upplevt serien först–*A*–sedan–*B* många gånger, skapar vi oss en mental vana av att se dem som förbundna med varandra. Detta är, enligt Hume och andra empirister, allt som bör ingå i ett vetenskapligt orsaksbegrepp. ”*A* orsakar *B*” betyder alltså enligt denna uppfattning varken mer eller mindre än ”om *A* så alltid *B*”. I Humes efterföljd hävdade Auguste Comte (1798–1857) att man inte skulle söka orsaker i traditionell mening utan ”deras effektiva lagar, dvs deras orubbliga relationer av efterföljd och likhet”. En annan empirist, Hans Reichenbach (1891–1953), har definierat orsak som ”undantagslös upprepning” av en följd av två händelser.

Det är lätt konstaterat att denna definition för oss mycket långt bort från vad vi normalt menar med orsak. Strax efter att min väckarklocka ringer på vardagarna åker grannen iväg i sin bil. Av detta följer inte att min väckarklocka har förorsakat hans avfärd.

Många försök har gjorts att komplettera begreppet om ”undantagslös upprepning”, t ex med olika kombinationer av villkor om att orsaker ska vara nödvändiga och tillräckliga villkor för sin verkan. Dessa ansatser har dock inte åstadkommit någon definition som någorlunda svarar mot orsaksbegreppet, så som vi vanligtvis uppfattar det.

En viktig slutsats kan dock dras från dessa definitionssträvanden: En orsak kan inte inträffa efter sin verkan. Antingen kommer orsaken först, eller så är orsak och verkan samtidigt. Som exempel på det förra kan nämnas att en svår hungersnöd i Östra Afrika nyligen orsakade många människors död. Hungersnöden kom före dödsfallen. Som exempel på det senare kan nämnas att den brunaktiga färgen på ett järnföremål förorsakas av rost. Färgförändringen kommer här samtidigt med rosten som den förorsakas av.

### Orsaksbegreppet är antropomorft

En viktig ledtråd till att förstå orsaksbegreppet kan vi få genom att betrakta dess tillämpning på mänskligt handlande. I sin dagliga tillvaro utför en människa ständigt handlingar som förorsakar olika skeenden utanför hennes kropp. Genom att röra sina händer på ett visst sätt kan man t ex bryta av en kvist. Handrörelserna frambringar då ett resultat, en förändring i omgivningen. I enkla exempel som detta framstår orsaksbegreppet som okomplicerat. Kroppsrörelserna är den *orsak* som åstadkommer en förändring, *verkan*, i omvärlden.

De begrepp med vilka vi människor beskriver världen är starkt präglade av våra egna erfarenheter av interaktion med omvärlden. Därför är det rimligt att se vår förståelse av hur vårt eget handlande påverkar omvärlden som själva urtypen för orsaksbegreppet. Detta begrepp är med andra ord antropomorft (format efter människan). När vi beskriver samband i naturen i termer av orsak och verkan inordnar vi dem i ett mönster som är präglat av erfarenheten av våra egna interaktioner med omvärlden.

Ett enkelt exempel kan belysa detta. Vi kan säga att ett stycke järn blir glödande därför att det har en temperatur över 550 °C? Varför säger vi inte tvärtom att föremålet får hög temperatur därför att det blivit glödande? Eftersom de båda förändringarna hos materialet är samtidigt kan vi inte här skilja mellan orsaken och verkan med hjälp av en tidsföljd. Skillnaden kan emellertid förstås mot bakgrund av att orsaksbegreppet är format efter våra erfarenheter av att med egna handlingar åstadkomma förändringar i vår omvärld. Vi kan upphetta ett järnstycke, och på det sättet göra det glödande. Däremot finns det inget förfarande som kan beskrivas som att göra ett järnstycke varmt genom att glödga det. Om detta hade gått, hade vi kanske sett annorlunda på vad som är orsak och vad som är verkan. Låt oss göra ett tankeexperiment.

I ett dataspel kommer vi in i en värld där fysikens lagar är annorlunda än i vår egen värld. I denna värld finns en sorts strålar som kallas G-strålar. De flesta material antar en rödaktig färg, s k glödfärg, om de bestrålas med G-strålar. Att bestråla ett föremål med G-strålar kallas att "glödga" det.

I denna värld har att nästan alla föremål samma temperatur. Det finns bara ett fåtal material som kan ändra temperatur. Ett av dem är järn. Järn blir, i motsats till andra material, varmt om man bestrålar det med G-strålar.

Följande samtal utspelas mellan två personer som spelar dataspellet:

"Varför blev järnstången röd?"

"Därför att den blev glödgd. Järn blir varmt då det blir glödgd."

I denna virtuella värld är det rimligt att säga att glödging kan förorsaka hög temperatur, men inte tvärtom.

Att orsaksbegreppet är antropomorft betyder inte att alla orsaker skulle ha kunnat åstadkommas genom mänskligt handlande. I överförd bemärkelse används begreppet "orsak" om många händelsesamband som inte hade kunnat styras av mänsklig hand. Vi talar t ex om orsaksförlopp som ägde rum långt innan det fanns människor, och vi tvekar inte att tala om orsaker i samband med såväl elementarpartiklar som galaxer. I de båda senare fallen, när vi kommit långt bort från den mänskliga erfarenhetssfären, blir dock orsaksbegreppets tillämpning ofta mera osäker.

Det är belysande att jämföra den antropomorfa analysen av orsaksbegreppet med Humes orsaksbegrepp. Enligt båda uppfattningarna bör våra begrepp om orsaker bygga på empiriska erfarenheter. Enligt Hume ska de bygga på de erfarenheter vi kan göra som passiva iakttagare av yttre förlopp. Enligt den antropomorfa analysen bygger de, och bör också bygga, på våra erfarenheter som aktiva människor som interagerar med omvärlden.

## **Allt har inte en orsak**

När vi ska beskriva samband som vi kan iaktta (både i naturen och i mänskliga samhällen) har vi en stark benägenhet att göra detta genom att ange orsaker. Människor har sedan mycket länge sett sambandet mellan orsak och verkan som en allmängiltig beskrivningsmodell: Man har tänkt sig att allt har en orsak. Redan i indiska religiösa urkunder som är mer än två och ett halvt årtusende gamla (Upanisad) hävdas att alla händelser ingår i orsakskedjor som leder tillbaka till en enda icke orsakad Första orsak.

För den moderna vetenskapen är detta synsätt inte giltigt. Vi vet nu att det finns många samband i naturen som svårligen eller inte alls kan beskrivas i orsakstermer. Det är t ex i många fall mera rättvisande att tala om en växelverkan (interaktion) där två fenomen samtidigt påverkar varandra. Man kan förklara himlakroppars rörelser i termer av deras (gravitatoriska) växelverkan, men i en sådan analys är det inte särskilt upplysande att peka ut den ena himlakroppens läge och rörelse som orsak till den andras.

Orsaksbegreppets funktion är ofta att göra de studerade sambanden begripliga. Särskilt inom fysiken har orsaksbegreppet sin plats främst i de intuitiva beskrivningarna av sambanden i naturen. I de mera exakta och preciserade beskrivningar som görs med matematikens hjälp har orsaksbegreppet i regel ingen plats. Därav följer dock inte att orsaksbegreppet skulle vara överflödigt. Det förefaller vara oundgängligt av samma skäl som förklaringar är en oundgänglig del av vetenskapen.

## Att fastställa orsakssamband

Den säkraste metoden att fastställa orsakssamband är i allmänhet experiment som genomförs dels med, dels utan den orsaksfaktor man vill undersöka. Vill man veta om en viss kemikalie orsakar sprickor i plaströr, gör man ett experiment där man utsätter plaströr för kemikalien och jämför dem, avseende förekomsten av sprickor, med andra rör som inte utsatts för kemikalien.

Men som vi såg i kapitel 3 är det i många fall inte möjligt att genomföra sådana experiment. Vill vi veta om samma kemikalie orsakar hjärtinfarkt hos människor bör vi lämpligen avstå från experiment på människor. Om människor redan har blivit utsatta för ämnet kan vi i stället söka upp exponerade personer och jämföra deras hälsotillstånd med oexponerade personers. I detta fall uppstår emellertid svår bemästrade felkällor. Vi kan inte veta om det finns andra faktorer än själva kemikalien som skiljer exponerade och oexponerade människor åt. Kanske finns det en underliggande faktor som förorsakar både exponering och sjukdom?

Just detta är vad som hände i början av 1980-talet då man upptäckte att många AIDS-patienter hade använt drogen amylnitrat. Både forskare och regeringstjänstemän trodde att drogen kunde bidra till sjukdomens uppkomst. Det visade sig emellertid att sambandet inte var av detta slag, utan berodde på en gemensam, underliggande faktor. Personer med vidlyftiga sexualvanor använde ofta denna drog, och dessa personer löpte också kraftigt ökad risk för AIDS.

Ett annat exempel är en undersökning där det visades att människor i Storbritannien som var födda i vissa stjärntecken var överrepresenterade i intellektuella yrken. En närmare analys av undersökningen visade att resultatet berodde på att det var så kallt på vintern i engelska hus att människor som planerade barnafödslar i regel undvek att föda barn på vintern. I övre samhällsklasser klarade man oftare av att planera födslar, och där var det också vanligare att barnen fick intellektuella yrken.

### **Post hoc-misstaget**

Redan Aristoteles påtalade att vi människor är benägna att alltför lättvindigt placera in våra iakttagelser i facket ”orsak–verkan”. Han varnade för ett felsslut som han kallade *post hoc ergo propter hoc*, ”efter detta, således på grund av detta”. Felslutet består i att man tror att det faktum att B följer efter A innebär att B är förorsakad av A.

Veckopressens medicinska reportage innehåller åtskilliga exempel på detta felsslut. Där kan man ofta läsa om hur en enskild person har blivit frisk efter någon viss behandling. Från en sådan berättelse kan man emellertid inte dra någon slutsats om behandlingens effektivitet. ”Efter” är nämligen inte detsamma som ”på grund av”. Om man ger tillräckligt många patienter en behandling som inte hjälper mot deras sjukdom, kommer en del av dem att bli friskare av andra orsaker än behandlingen. Detta gäller t o m om behandlingen i flertalet fall förvärrar sjukdomen.

Det är viktigt att observera att styrkan hos ett statistiskt samband inte har någon betydelse för om det ska anses vara ett orsakssamband eller inte. Det finns t ex ett starkt statistiskt samband mellan viskositeten hos asfalt (dvs dess egenskap att vara trögflytande) och förekomsten av polio. Ju mer lättflytande asfalten är i ett område, desto fler nya fall av polio uppkommer i trakten. Detta betyder dock inte att polio förorsakas av mjuk asfalt. I stället finns här en gemensam underliggande orsak till båda fenomenen: Vid högre temperatur blir asfalten mjukare och poliofallen vanligare.

Det är i praktiken ofta mycket svårt att skilja mellan samband som beror på direkt orsak–verkan och samband som beror på gemensamma underliggande faktorer. Två grundregler bör tillämpas i all orsaksanalys. För det första: Leta alltid aktivt efter gemensamma underliggande faktorer som kan vara ett alternativ till direkta orsakssamband. För det andra: Var misstänksam mot orsakssamband som inte fortgår med mekanismer som är välbelagda från tidigare undersökningar.

### **Samverkan mellan flera orsaksfaktorer**

Vi har hittills ägnat oss åt ”läroboksexempel” där det bara finns en orsaksfaktor som leder fram till en verkan. I de flesta vetenskapliga sammanhang har man att göra med betydligt mer komplicerade samband, där olika orsaksfaktorer i samspel ger upphov till en verkan.

Ett exempel på detta är att en rad olika faktorer samverkar till att en person får hjärtinfarkt. Orsakssambandet är komplext redan för den enskilda händelsen, och det är dessa komplexa samband som måste sammanställas för att man ska få en bild av händelsetypen (dvs hjärtinfarkter) i allmänhet.

Vill vi veta hur stor del av hjärtinfarkterna som beror på t ex övervikt, kan vi jämföra förekomsten av hjärtinfarkter dels hos befolkningen i allmänhet, dels hos en grupp av personer som inte är överviktiga men i övrigt har samma fördelning av relevanta egenskaper som befolkningen i allmänhet. Antag att den senare gruppen har 15 % lägre förekomst av hjärtinfarkt än den förra. I så fall kan vi dra slutsatsen att 15 % av hjärtinfarkterna inte skulle ha uppkommit om det inte vore för

### **Tiden som underliggande faktor**

År 1940 publicerades en artikel där man påvisade ett starkt statistiskt samband mellan bomullspriser och lynchningar i södra USA. Artikeln byggde på statistik för åren 1882 till 1930. De år då bomullspriserna var låga var också (genomsnittligt) år med många lynchningar. Resultaten tyddes som en bekräftelse på hypotesen att lynkningarna berodde på frustrationer som följde av ekonomiska svårigheter. En närmare analys visade emellertid att hela förklaringen var att bomullspriserna hade stigit med åren, samtidigt som antalet lynchningar hade minskat.

Det är alltid mycket riskabelt att bortse från tidsinformation. En tidsserie får inte behandlas som en uppsättning inbördes oberoende data.

övervikten. Man kan då säga att 15 % av hjärtinfarkterna är hänförliga till övervikt.

Eftersom sjukdomars hänförlighet till orsaksfaktorer brukar anges som procent skulle man kunna tro att varje sjukdom ska ha en uppsättning orsaksfaktorer, vars procentsumma blir 100. Så är dock inte fallet. Ibland kan flera olika faktorer behöva samverka för att en skadeverkan ska uppstå, och då är var och en av dem tillräcklig att ta bort för att sjukdomen ska utebli. Som ett resultat av detta kan procentsumman bli större än 100.

Detta kan också visas med ett exempel från ett annat område, nämligen trafiksäkerhet. Låt oss anta att vi mycket noga har undersökt orsakerna till dödsfall på en farlig väg genom att jämföra med andra vägar där olika säkerhetshöjande åtgärder har genomförts. Som ett resultat av sådana undersökningar skulle man kunna konstatera att det går att undvika 20 % av dödsfallen genom att förbättra vägbanan och 40 % genom att sänka hastighetsgränserna. Det vore då frestande att säga att dödsfallen till 20 % beror på vägbanan, till 40 % på för höga hastigheter och till 40 % på andra faktorer. Detta är dock fel. Man skulle inte få bort 60 % av dödsfallen genom att både förbättra vägbanan och sänka hastigheterna, helt enkelt därför att en del av dödsfallen skulle förhindras med vilken som helst av de båda åtgärderna.

Detta blir än tydligare när vi beaktar fler faktorer. I exemplet, kan vi anta, går 50 % av olyckorna att eliminera genom att införa fler trafikljus, 90 % genom att införa farthinder i vägbanan, 98 % genom att tilldela varje bilist en personlig polislots, etc. Summan av procentalen kan alltså bli långt högre än 100. Det finns inget entydigt sätt att reducera den komplexa samverkan mellan olika orsaksfaktorer till en procentuell fördelning av orsakandet mellan dem.

Av motsvarande skäl är det inte möjligt att ange hur stor del av människors intelligens som är medfödd respektive miljöbetingad. Genom att jämföra enäggstvillingar (som har samma arvs massa) som växt upp på olika håll kan man ta reda på hur stora skillnader som uppstår på grund av de miljöskillnader som förekom i undersökningen. Om man i stället hade kunnat jämföra enäggstvillingar som utsatts för mycket större skillnader i graden av intellektuell stimulans hade resultaten (med samma felaktiga tolkning) inneburit att intelligensen är i högre grad miljöbetingad och därmed i lägre grad ärftlig.

Det är inte hållbart att försöka procentfördela "orsakandet" mellan arv och miljö. I stället bör vi försöka förstå den komplicerade samverkan mellan genetik och omgivning som påverkar våra mentala kapaciteter. Det bör inte tas för givet att dessa processer alltid bäst beskrivs med orsaksbegreppets hjälp.

## 9. Vetenskap, värderingar och världsbilder

Värderingar kommer in i det vetenskapliga arbetet på många sätt, t ex i valet av forskningsområden och i bedömningen av vilken forskning som är etiskt försvarbar. Vi ska här endast upprätthålla oss vid två aspekter på det stora området vetenskap och värderingar. Den ena handlar om hur värderingar påverkar vetenskapen, närmare bestämt om värderingarnas roll i bedömningen av vilka vetenskapliga hypoteser som ska godtas respektive förkastas. Den andra handlar om hur vetenskapen påverkar värderingarna, närmare bestämt om dess roll i formandet av en förändrad världsbild och av en ny syn på människans plats i tillvaron.

### Vetenskapens beslutsfattande

I all forskning ingår att fatta beslut, inte bara om vilka problem man ska angripa och hur, utan också om vilka hypoteser man ska godta eller förkasta. I den senare typen av beslut riskerar man att begå två slags misstag: Man kan godta en felaktig hypotes eller förkasta en korrekt hypotes. Om man i ett enskilt fall anser det ena eller andra av dessa fel vara allvarligare än det andra, kan detta få betydelse för beslutet.

Beslutsfattandet om hypoteser uppmärksammades av vetenskapsfilosofen Richard Rudner i en artikel publicerad 1953. Han argumenterade där mot den då gängse uppfattningen att man kan göra en strikt uppdelning mellan fakta och värderingar, och därigenom hålla vetenskapen värdefri. Hans huvudargument var att ett beslut om att acceptera eller förkasta en vetenskaplig hypotes måste ta hänsyn inte bara till den tillgängliga empiriska bevisningen utan också till en bedömning av allvarlighetsgraden hos de två typerna av misstag: att acceptera en felaktig hypotes och att förkasta en korrekt hypotes.

”Men i så fall står det klart att forskaren som forskare gör värdeomdömen. Ingen vetenskaplig hypotes blir någonsin fullständigt verifierad. Forskaren som accepterar en hypotes måste fatta beslutet att evidensen är *tillräckligt* stark eller att sannolikheten är *tillräckligt* hög för att motivera att hypotesen accepteras. Uppenbarligen blir vårt beslut om evidensen och huruvida den är ’tillräckligt stark’ en funktion av hur *viktigt*, i ordets typiskt etiska bemärkelse, det är om man av misstag accepterar eller förkastar hypotesen... *Hur säkra vi behöver vara innan vi accepterar en hypotes kommer att bero på hur allvarligt ett misstag skulle vara.*”

Många vetenskapliga hypoteser, t ex de om verkningar och biverkningar hos vacciner och läkemedel, har stor praktisk betydelse. I sådana fall, menade Rudner, var det särskilt oundvikligt att rent etiska, utomvetenskapliga, värderingar får betydelse för hur man bedömer allvarligheten hos de båda slagens fel.

I en kommentar till Rudners artikel försökte Carl Hempel (1905–1997) nyansera bilden av de vetenskapliga beslutens värdeberoende. Hempel medgav att valet mellan att acceptera eller inte acceptera en hypotes beror på värden. Men det var inte vilka värden som helst, utan en speciell typ som han kallade epistemiskt eller vetenskapligt värde (epistemic utility, scientific utility). Sådana värden ”reflekterar det positiva eller negativa värde som de olika utfallen har från den rena vetenskapliga forskningens synpunkt, snarare än de praktiska för- eller nackdelar



som kan följa av att man tillämpar en accepterad hypotes, beroende på om den är sann eller falsk.” Epistemiska värden reflekterar enligt Hempel nyttan av sanningsenlighet, enkelhet, förklaringskraft och andra önskvärda egenskaper hos vetenskapliga teorier. Med en parafras av Rudner hävdade han att ”*forskaren som forskare gör förvisso värdeomdömen*. Dessa är dock inte av ett *moraliskt* slag, utan de reflekterar snarare värdet för grundforskningen av att konstruera sunda och informationsrika redogörelser för världen, och detta är vad jag skulle vilja kalla *epistemiska värden*.”

Idén om epistemiska värden har fått betydande genomslag, och har utvecklats vidare av andra forskare. Många har dock uttryckt tvivel om att det *endast* skulle vara epistemiska och icke-moraliska värden som spelar en roll i vetenskaplig hypotesprövning. De flesta forskare skulle förmodligen kräva starkare bevis för en hypotes som understödjer könsfördomar än för en som verkar i motsatt riktning. Man kan också misstänka att beviskraven i praktiken blir annorlunda om t ex stora ekonomiska intressen eller miljöintressen står på spel. Många forskare hävdar dock att de inte tar några sådana hänsyn och att de icke-epistemiska värdenas eventuella intrång i forskningen endast är beklagansvärda undantag. Hur det i själva verket förhåller sig med den saken är en (väsentligen outredd) empirisk fråga.

När forskningsresultat ska tillämpas i praktiken ställs frågan om bevisbörda i ny belysning. Inom miljöpolitiken råder numera stor enighet om att man ibland måste ingripa mot misstänkta miljöfaror trots att man inte har den grad av bevisning som krävs inom vetenskapen. Man kan t ex besluta att en kemikalie ska hanteras särskilt försiktigt därför att det finns vetenskapliga misstankar om att den är hälsofarlig. Detta kan man alltså göra trots att den bevisning som gav upphov till misstankarna inte räcker för att betrakta ämnets farlighet som vetenskapligt bevisad. Idén att beviskraven kan vara lägre för praktiskt handlande än för vetenskaplig bevisning går under namnet försiktighetsprincipen.

## **Att skilja mellan fakta och värderingar**

Det har ibland hävdats att fakta och (utomvetenskapliga) värderingar är så sammanvävda, åtminstone i vissa grenar av vetenskapen, att det är ogörligt att skilja dem åt. Det måste dock framhållas att även om man inte kan separera fakta och värderingar fullständigt från varandra, kan det vara önskvärt att skilja dem åt så långt det är möjligt. Detta har betydelse framför allt om man eftersträvar ett rationellt samtal i kontroversiella frågor.

En strävan att skilja mellan fakta och värderingar behöver inte innebära att man anser att fakta och värderingar skulle existera som två slags storheter, som man åtminstone i princip fullständigt kan skilja åt. Varken fakta eller värderingar ”finns” i verkligheten. Däremot finns det både faktaaspekter och värderingsaspekter i de utsagor vi gör om verkligheten. I många sammanhang, också i vardagslivet, är det praktiskt att renodla dessa båda aspekter av våra språkliga uttrycksmedel, dvs försöka skilja mellan faktaaspekter och värderingsaspekter.

Alla former av (utomvetenskapliga) värderingar i vetenskapen är dock inte lika viktiga att skilja från fakta. I de medicinska vetenskapsgrenarna finns det starkt inarbetade värderingar om att sjuka människor ska hjälpas till att bli friska. Det förefaller knappast värt besväret att försöka särredovisa och tydliggöra denna värdering överallt där den förekommer, helt enkelt därför att den är okontroversiell. I samhällsvetenskaperna är det ofta annorlunda. Nationalekonomer utgår t ex i

regel från vissa värderelaterade premisser, om att en ökad varu- och tjänstekonsumtion är till fördel för individen. Dessa premisser har ibland ifrågasatts på moraliska grunder. Det förefaller därför rimligt att försöka få dem så tydligt redovisade som möjligt och att om möjligt utröna hur stor betydelse de har för forskningsresultaten.

En god allmän regel är att om värdeomdömen som påverkar forskningen är – eller förväntas kunna bli – kontroversiella, bör man söka precisera vilka de är och vilken betydelse de har för forskningen.

## Vetenskap och världsbild

”Förgäves skilde den vise guden olika delar av jorden från varandra med den fientliga oceanen, på det att inte ogudaktiga farkoster måtte segla över de okränkbara vågorna. Den mänskliga rasen, som vågar göra allt, begick genast den förbjudna handlingen.”

Denna klagan över teknikens – i detta fall skeppsbyggnadskonstens – framsteg är skriven av Horatius (65–8 f Kr). Den är ett tidigt inlägg i en debatt som pågått i mer än tvåtusen år, om nyttan och skadan av de nya redskap som vetenskap och teknik satt i människornas händer. Vetenskapen har försett oss med boktryckarkonsten och krutet, med vaccin och biologiska stridsmedel, med läkemedel och miljögifter, med internet och stridsledningscentraler. Hur vi ställer oss till denna lika dramatiska som tveeggade utveckling av mänsklighetens förmågor är i grunden en fråga om optimism eller pessimism, inte så mycket om tekniken som sådan utan om människorna.

Denna diskussion har i regel handlat om teknologi och om vetenskapens tillämpningar. Men det finns också fall då kunskapen *i sig* har påverkat vår världsbild, utan förmedling av praktiska tillämpningar. Vetenskapen har, i det längre perspektivet, kraftfullt medverkat till att underminera gamla värderingar och därmed bidragit till att nya värderingar utbildats.

Detta behöver inte innebära att vetenskapen i sig själv innehåller de värderingar som den bidrar till att driva fram i samhället. Den samhällliga eller etiska innebörden av en vetenskaplig föreställning blir beroende av den ideologiska omgivning där den tas emot och används för skilda syften. Den heliocentriska astronomin skulle förmodligen inte ha fått alls samma innebörd för världsbilden om den inte kommit fram i ett samhälle där kyrkans hegemoni i världsåskådningsfrågor stod på spel. Effekterna av Darwins utvecklingslära, av relativitetsteorin etc berodde på motsvarande sätt på den samhällliga omgivning där de togs emot.

Vetenskapens effekter på vår världsbild är oförutsägbara, eftersom de beror av oförutsägbara vetenskapliga resultat. Men det finns en generell trend i vetenskapens hittillsvarande effekter på världsbilden, nämligen att den skjuter undan människan från hennes tidigare så centrala plats i våra föreställningar om den värld vi lever i.

Den förvetenskapliga världsbilden gav människan en synnerligen unik roll och plats i universum. Detta synsätt brukar kallas antropocentrism. Några yttringar av detta synsätt kan nämnas från den medeltida teologin. Kyrkofadern Augustinus (354–430) förklarade att de vilda djuren hade skapats för människans skull – för att straffa, pröva och instruera oss. Den inflytelserike teologen Petrus Lombardus (ca 1100–1160) skrev:

”Alldeles som människan gjorts för Guds skull, dvs för att tjäna Honom, så har universum gjorts för människans skull, dvs för att tjäna henne. Därför är människan placerad vid universums mittpunkt, så att hon kan både tjäna och bli tjänad.”

En lång rad vetenskapliga upptäckter har gjort den gamla antropocentrismen ohållbar. Solen kretsar inte kring jorden, utan tvärtom. Solen har i sin tur visat sig vara en av ca 500 000 miljoner stjärnor i Vintergatan, som i sin tur är en av åtminstone 1000 miljoner galaxer. Den biologiska utvecklingsläran har i viss mening tagit från människan hennes särställning bland varelserna på jorden.

Till yttermera visso har människan själv blivit föremål för samma slags förklaringar som världen omkring henne. Vetenskapen har efterhand erbjudit allt fler förklaringar av mänskliga lidelser och mänskliga värderingar. Inom etologi och psykologi har man velat förklara våra värderingar som följer av biologiska principer. Även om de förklaringar som framkommit ofta varit kontroversiella, uppstår problemet: Hur absoluta blir våra värderingar, med vilken kraft kan de upprätthållas, om de går att förklara på samma sätt som vi kan förklara molekylernas uppbyggnad eller myrornas stackbyggande?

Filosofen Friedrich Nietzsche (1844–1900) uttryckte vetenskapens effekt på världsbilden så här:

”Fortskrider inte människans förringande av sig själv, hennes vilja att förringa sig själv, oupphörligt alltsedan Copernicus? Ack, borta är tron på hennes egen värdighet, oförliknelighet och oersättlighet i väsendenas rangordning – ett djur har hon blivit, bokstavligen, oförminskat och utan förbehåll ett djur, hon som i sin tidigare tro nästan var Gud... All vetenskap är idag sysselsatt med att försöka frånta människan hennes aktning för sig själv.”

Innan man förkastar vetenskapen därför att den inte är antropocentrisk måste man emellertid skilja mellan beskrivande och etisk antropocentrism. Det är den förstnämnda som vi hittills har talat om. Den sätter människan i centrum för sin beskrivning av hur världen är beskaffad, och ger henne en särroll i universum. Den etiska antropocentrismen, å andra sidan, sätter människan i centrum för sin uppfattning om hur världen *borde* vara beskaffad, och bygger upp etiken med utgångspunkt från mänsklig välfärd och mänsklig strävan. Detta kan även kallas humanism. Det finns inget nödvändigt samband mellan beskrivande och etisk antropocentrism. Ytterst kan nämligen ingen moraluppfattning härledas från några beskrivningar eller förklaringar av hur världen är beskaffad.

Att den beskrivande antropocentrismen trängts tillbaka beror ytterst på människans unika förmåga till kunskapsökande, till reflektion och självdistans. Vetenskapen bygger på dessa förmågor och är i högsta grad ett *mänskligt* projekt. Vi kan tillåta oss att betrakta det som ett av mänsklighetens mest storslagna gemensamma projekt.

---

129130