



KUNGL.
VETENSKAPS-
AKADEMIEN

THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

VETENSKAPEN SÄGER

VETENSKAPEN SÄGER ★ NR 7 ★ JUNI 2025

– om vetenskap

Nästan allt i samhället vilar på forskning och vetenskap. Men den fria forskningen blir allt oftare ifrågasatt. Att granska forskningsresultat är viktigt – enskilda forskare har inte alltid rätt. Ändå finns goda skäl att lita på vetenskapen som metod. Den här skriften handlar om hur vetenskaplig forskning går till och hur den har förändrat världen.



Vetenskapen – ett ständigt sökande

Ända sedan stenåldern har vi människor skaffat oss kunskap om tillvaron. Vi har iakttagit, provat, lagt saker på minnet och undervisat varandra. Vi har byggt ny kunskap på gammal och förkastat teorier som visat sig vara felaktiga. Så ser den vetenskapliga processen ut än i dag.

Vi människor är en art bland andra och de flesta av våra egenskaper påminner om andra djurs. En sak som skiljer ut oss är att vi söker kunskap, medvetet sprider den, och lagrar den för framtiden. Det tycks vi ha gjort i många tusen år. Vad är det som driver oss att göra så?

Ofta har det handlat om att behov har behövt tillfredsställas och att problem har krävt lösningar. Med ny kunskap och nya metoder har vi blivit bättre på att utnyttja energikällor, hålla oss varma och trygga, och förse oss med mat och vård.

Vi har också sökt kunskap för att vi är nyfikna. Vi vill förstå, även om förståelsen inte är till någon praktisk nytta i ögonblicket. Så är det fortfarande med den vetenskapliga forskningen. Den bedrivs för att vi försöker lösa problem, men också för att det finns nyfikna människor som vill veta ännu lite mer om galaxer, flyttfåglar, proteiner, våldsbrott eller demokrati.

En metod för ständiga korrigeringar

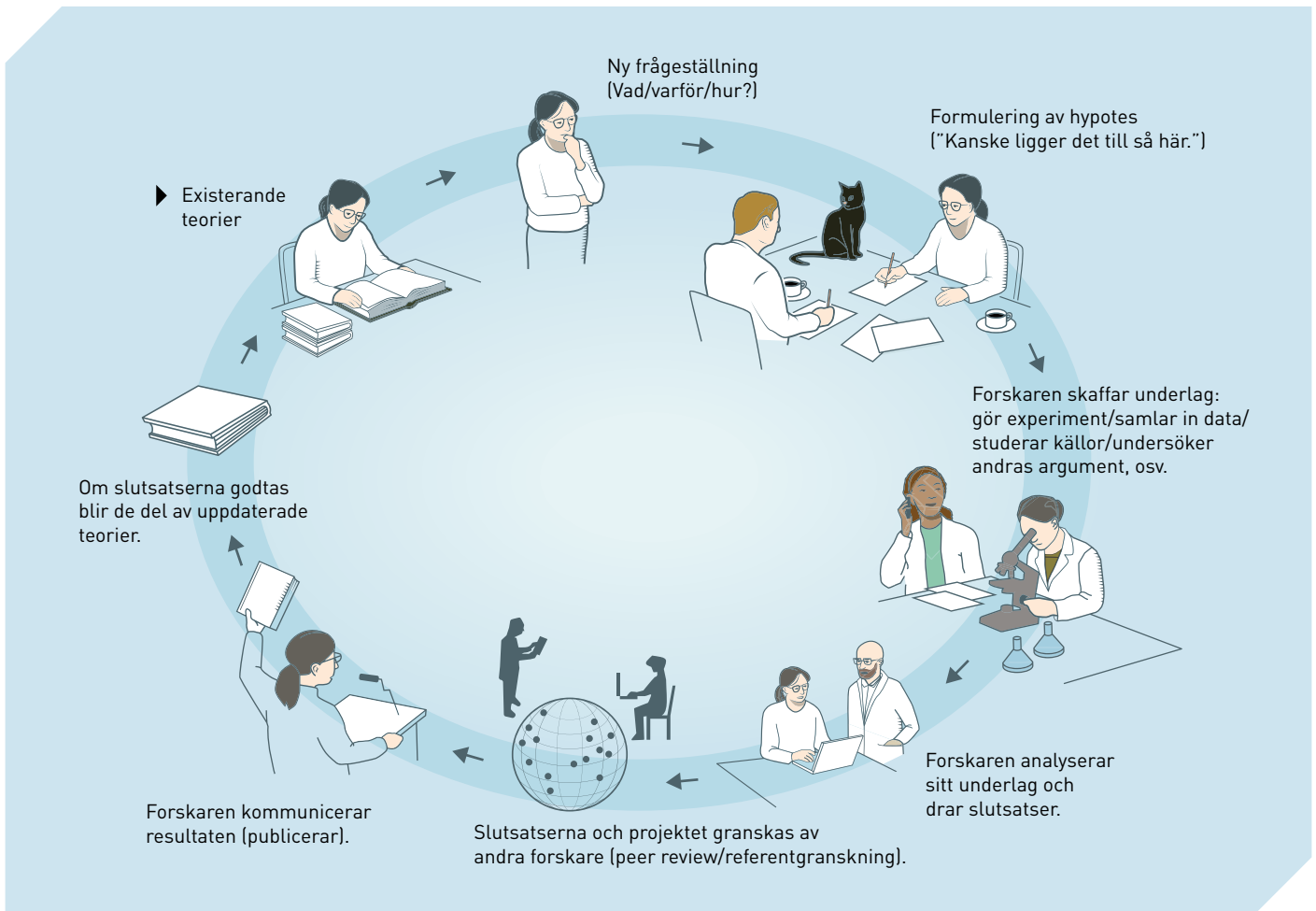
På många sätt har vetenskapens historia varit en framgångssaga, men det har också hänt åtskilliga gånger att forskare har haft fel uppfattning om något. Som att jorden skulle befinna sig i mitten av solsystemet, eller att psykisk ohälsa skulle bero på att kroppens vätskor var i obalans. Den vetenskapliga metoden hjälper oss dock att systematiskt röra oss mot ökad förståelse och kunskap.

Även om metoderna skiljer sig åt mellan olika forskningsfrågor och kunskapsområden så är några grundpelare desamma:

- Forskarens olika hypoteser och påståenden måste passa ihop på ett logiskt vis.
- Den som forskar ska kunna beskriva hur den har gjort och öppet redovisa sina källor och data.
- Andra forskare ska kunna granska resultatet, göra egna tester och söka data som skulle kunna ge andra slutsatser. En forskningsstudie ska i allmänhet kunna upprepas (replikeras) av någon annan och ge samma resultat.

Den vetenskapliga granskningen är till för att fånga upp misstag, fel i mätningar eller statistik, eller feltolkningar. Att tolka resultat kan vara komplicerat och det är inte ovanligt att forskare inom samma fält är oeniga om hur en viss studie ska tolkas. Det är inte ett tecken på att vetenskapen inte fungerar, snarare tvärtom. Oenigheten driver fram fler försök, fler studier med annorlunda upplägg. Med tiden stärks argumenten för en viss tolkning. På så vis ökar kunskapen stegvis.

Större kunskapssprång har ofta tagits av personer med förmåga att tänka annorlunda än människorna omkring dem. Samtidigt är det viktigt att komma ihåg att en tänkare som går på tvärs inte automatiskt har mer rätt än det övriga forskarsamhället. De nya idéerna måste utsättas för minst lika kritisk granskning som den vedertagna kunskapen redan har genomgått. Om något presenteras som ny kunskap men inte uppfyller kraven ovan, kan det i allmänhet inte kallas vetenskap. Då är det kanske tro (religiös tro, eller bara en stark övertygelse) – eller pseudovetenskap. Det innebär något som presenteras som vetenskap men inte kan testas med vetenskapliga metoder. Ett exempel är astrologi.



Motstånd mot ny kunskap

Samtidigt som vi hela tiden söker ny kunskap så har omvälvande upptäckter och insikter alltid stött på motstånd.

Ett skäl kan vara att det nya verkar orimligt. Det ser ju ut som att solen flyttar sig, varför skulle det då vara jorden som kretsar kring solen? Hur skulle jorden kunna vara ett klot som roterar runt sin egen axel, utan att vi ramlar av? Och människor som såg vattnet dra sig tillbaka lite mer från kusten varje år och trodde att det var en följd av att bibelns syndafloed fortfarande sjönk undan – de var förstås skeptiska när någon påstod att det var landmassan under dem som sakta höjde sig.

Ett annat skäl till protester kan vara att ny kunskap utmanar vårt sätt att leva eller vår grupptillhörighet. Den som alltid har ätit biff och kört bensinbil vill inte sluta med det. Då avfärdar den kanske hellre de

forskare som envisas med att presentera vetenskapliga belägg för att det bidrar till klimatförändringar.

Ny kunskap kan också hota personer med makt. Det kan vara någon som tjänar pengar på något som den nya forskningen nu avråder från (tobak, en medicinsk behandling eller fossila bränslen). Det kan också vara någon som styr samhället. Exempelvis: om jorden inte är alltings centrum är knappast påven eller kejsaren alltings mitt. Då får de svårare att motivera sin stora makt.

Konflikterna mellan forskares upptäckter och samhället omkring dem har många gånger fått praktisk betydelse. Även om vetenskap har bedrivits över hela världen har inte alla regioner varit lika starka samtidigt. Det beror inte på att påhittiga människor är ojämmt utspridda. Snarare har det med krig och fred, politik och geografi att göra. Det kan du läsa mer om på nästa uppslag.



Vetenskapens egen evolution

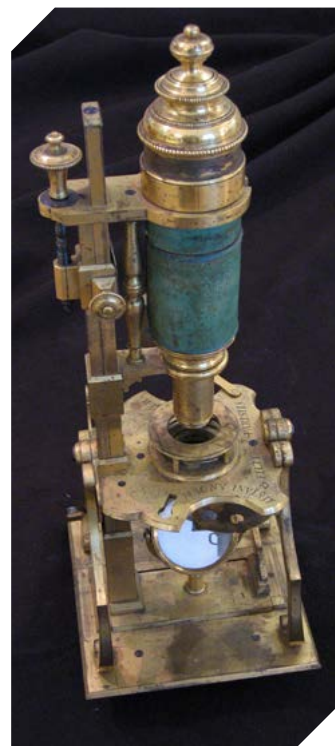
Vetenskapens historia spänner över hela världen och består av både små steg och stora språng. Genom tiderna har olika världsdelar tonat fram som ledande. Forskningen har också genomgått en evolution: från individers fria funderingar till mer systematiska experiment och granskningar. När vetenskapliga akademier grundades och universiteten blev fler och större blev forskningen friare och bättre rustad mot påtryckningar från stat, religiösa institutioner och samhället i stort.

Att vi människor upptäcker mönster och funderar över dem har alltid varit centralt i vårt kunskapssökande. Vi har sett att ebb och flod kommer regelbundet, att vissa fåglar försvinner på hösten och återkommer på våren, att somliga växter dyker upp i soliga miljöer medan andra främst finns i skuggan. Nästan tvåtusen år före vår tideräkning upptäckte babylonierna att det finns ett samband mellan längden på sidorna i en rätvinklig triangel, något som blev praktiskt användbart bland annat vid husbyggen. Det är detta som kallas *Pythagoras sats*, uppkallad efter den filosof och matematiker som mer än tusen år efter babylonierna gav ett matematiskt bevis för sambandet.

Att förklaringen presenteras flera århundraden efter att mönstret först noteras är inte ovanligt. När Isaac Newton på 1600-talet utvecklade sin teori om gravitationen kunde den förklara tidvattnets rörelser. På 1800-talet förstod forskare att stora delar av världen

genomgått en istid när enorma ismassor vuxit fram, rört sig över landskapet och sedan smält undan. De insåg att mycket av det som nu är land hade legat under vatten när isen först drog sig tillbaka. Det förklarade flera äldre iakttagelser, som att vissa typer av berghällar är avslipade på samma sida, och att fiskfossil kan hittas i marken långt från dagens hav och sjöar.

Ofta är det ny teknik och nya möjligheter till observationer som öppnar för ny kunskap. När mikroskopet utvecklades gick det att se bakterier och senare även virus, vilket gav en ny förståelse för hur sjukdomar sprids. Till och med atomerna går numera att studera direkt, långt efter att forskare gissat sig till deras existens utan att kunna observera dem.



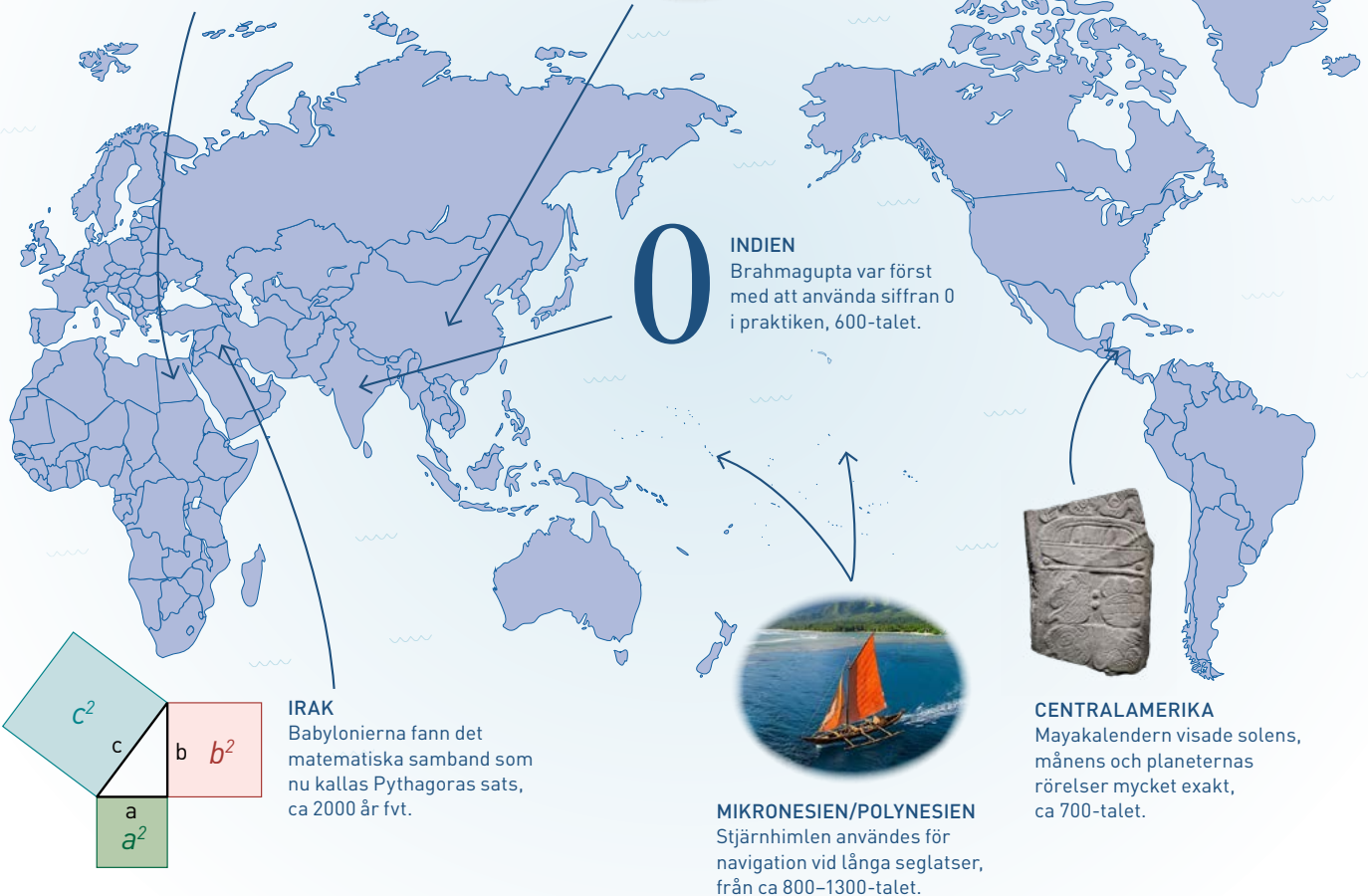
ÖVRE BILD: Planetmodell, tillverkare William Jones, London. cirka 1794–1831.
Foto: Anders Kronborg | UNDRE BILD: Entomologen Charles De Geers mikroskop från 1752, tillverkare Alexis Magny, Paris. Foto: Centrum för vetenskapshistoria

**EGYPTEN**

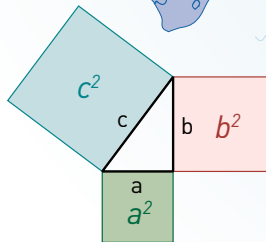
Nabta Playa, tecken på astronomiska studier 3000–5000 år fvt.

**KINA**

Smittkoppsvaccination, 500 år sedan – troligen betydligt tidigare. Torra pulvriserade koppor blåstes in i näsan.

**0****INDIEN**

Brahmagupta var först med att använda siffran 0 i praktiken, 600-talet.

**IRAK**

Babylonierna fann det matematiska samband som nu kallas Pythagoras sats, ca 2000 år fvt.

**MIKRONESIEN/POLYNESIEN**

Stjärnhimlen användes för navigation vid långa seglatser, från ca 800–1300-talet.

**CENTRALAMERIKA**

Mayakalendern visade solens, månens och planeternas rörelser mycket exakt, ca 700-talet.

Kraften i politik och geografi

I långa perioder var Mellanöstern en vetenskapligt ledande region, inte minst inom historieforskningen. I Kina började man med vaccination mot smittkoppor redan för femhundra år sedan och i Indien infördes siffran noll långt innan den exporterades till Europa och förnyade matematiken. Men från 1600-talet fick Europa en alltmer ledande roll inom vetenskapen. Möjligen berodde det på att obekväma forskare kunde flytta runt bland kontinentens många länder för att få vara ifred med sitt arbete. Forskarna i de stora imperierna hade inte på samma sätt någonstans att ta vägen med sina utmanande tankar.

När den politiska utvecklingen i Europa från 1930-talet blev alltmer auktoritär fick det viktiga effekter på forskarsamhället, vars tyngdpunkt försköts igen. Många förföljda forskare flydde från Europa till USA som blev en ny vetenskaplig stormakt. Den positionen har landet behållit i nästan ett sekel. Nu, vid mitten av 2020-talet, sätter auktoritära krafter forskare och institutioner under press igen och framtiden är oklar. (Se s. 15).

Revolutionen i Europa

”Den vetenskapliga revolutionen”, så kallas den omvälvning i synen på vetenskap som skedde i 1600-talets Europa, efter medeltidens slut. Här hade forskarnas arbete länge inspirerats av två källor: den grekiska antikens filosofer och kyrkans läror. Inte minst många av filosofen Aristoteles uppfattningar hade setts som sanningar och de låg till grund för flera teorier. Dit hörde uppfattningen att ett tyngre föremål faller snabbare än ett lätt i fritt fall (något som motbevisades experimentellt omkring år 1590 av Galileo Galilei).

Under hela medeltiden präglades det vetenskapliga tänkandet också av kristendomen. Forskningen drevs under långa perioder av en strävan att bekräfta gamla uppfattningar om hur världen och människan hade skapats och styrdes av gud.

Det var först mot slutet av 1500-talet som forskare allt oftare började göra experimentella studier av olika fenomen i naturen, och ibland även i samhället. De upptäckte fördelarna med att göra direkta observationer snarare än att främst teoretisera och spekulera. Den här omorienteringen av vetenskapen gav en så stark kunskapsutveckling att den kan kallas revolutionerande.

Att vetenskapen frigjorde sig alltmer från kyrkan gjorde det möjligt att sluta se världen som statisk och oföränderlig. Nya upptäckter visade att universum inte var stillastående med jorden i centrum, att naturen och arterna förändrades och att jorden var betydligt äldre än den bibliska berättelsen sagt. Under 1700-talet växte idéer fram om att inte heller samhället var låst i en och samma form utan kunde utvecklas och förändras, ekonomiskt och socialt.

Bredare och djupare kunskap

Sekulariseringen av vetenskapen fortsatte även efter 1600-talet. Fortfarande finns förstås många religiösa forskare, men även de förklarar en allt större del av tillvaron med principer från olika vetenskapliga discipliner, snarare än med en högre makts ingripanden.

Något annat som har förändrats är den enskilda utforskarens bredd och djup. En stor del av de tidiga forskarna ägnade sig åt flera kunskapsområden på en gång. Många arbetade helt utifrån egen lust och

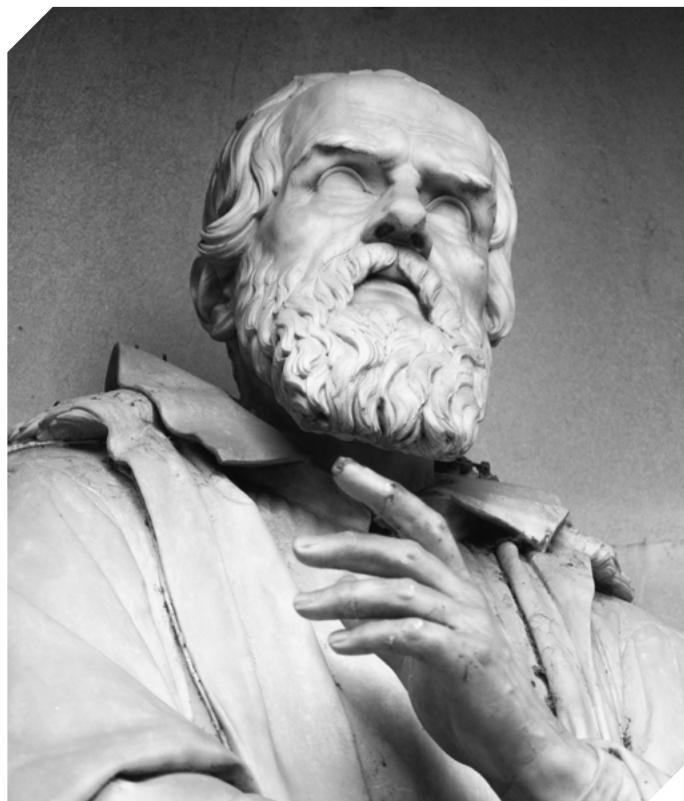


FOTO: BLACKMAC/ADOBE STOCK

Galileo Galilei var en italiensk astronom, fysiker och ingenjör som hade en nyckelroll i det man brukar kalla för den vetenskapliga revolutionen.

nyfikenhet, medan andra var i tjänst hos furstehus och kungar. Ofta var deras arbete beroende av att de själva kom från rika familjer, eller att de hade en ”sponsor” som var rik nog att anställa dem för att utforska världen. Båda de sakerna har förändrats över tid. Mängden kunskap har vuxit enormt, vissa discipliner har delats upp i flera underämnen och helt nya ämnen har uppstått. Om man läser om en forskare för några hundra år sedan kan denna mycket väl presenteras som ”astronom, ingenjör, naturfilosof, matematiker” eller som ”geolog, teolog, filosof, konsthistoriker”. I dag är det nödvändigt för forskare att avgränsa och specialisera sig. Det är vanligt med samarbeten med kollegor inom andra discipliner för att bygga bred kunskap i komplicerade frågor.

Genom seklerna har allt fler vetenskapliga institutioner och akademier vuxit fram. Där har metoder för resultatgranskning och systematiskt kunskapsbyggande kunnat utvecklas, vilket har stabiliserat vetenskapen. Institutionerna har också gjort det lättare för forskningen att stå mer fri och självständig från politik och samhällsrörelser än vad enskilda forskare gjorde.

Vetenskapens metoder

Det finns många typer av vetenskaplig forskning och därför många metoder. En metod kan bestå av flera delar: teoretiska begrepp, modeller och tekniker.

Oavsett typ av forskning så ska målet alltid vara att ställa frågor som inte redan är besvarade, som verkar möjliga att besvara, och där svaret inte är givet. Det kan låta självklart men det är viktiga regler. Att hålla sig till frågor som inte är (tillräckligt) besvarade är ett sätt att hushålla med resurserna; varje projekt ska tillföra något nytt. Att svaret inte får vara givet innebär att forskaren måste garantera att undersökningen inte är riggad så att den bara kan ge de önskade resultaten.

Att frågan måste vara möjlig att besvara betyder att forskaren behöver formulera sin hypotes så att den går att bekräfta eller vederlägga (slå fast att den är felaktig). Hypotesen måste också vara väldefinierad, så att forskaren inte under projektets gång på ett orimligt sätt kan ändra vad som räknas som att bekräfta eller vederlägga den.

Varje forskare bör också vara transparent med sin metod, alltså visa tydligt hur den har gått till väga i projektet och hur varje inslag i arbetet definieras. Det är nödvändigt för att andra forskare ska kunna granska projektet och försöka upprepa (*replikera*) det.

Replikationer är dock inte möjliga inom alla fält. Inom till exempel astronomi eller historievetenskap kan ju forskarna ofta inte göra experiment eller studera något medan det pågår. På andra områden kan det finnas möjlighet att studera något i realtid, men vara omöjligt att isolera enskilda faktorer, till exempel inom antropologi. Om forskarna tydligt beskriver hur de har gjort sin undersökning kan det ändå vara möjligt för andra att upprepa studierna och testa om slutsatserna verkar riktiga.

Att beskriva verkligheten med hjälp av modeller är vanligt inom forskningen. Ett fenomen kan vara svårt eller omöjligt att studera i praktiken för att det är mycket litet som delar av atomer, mycket stort som avlägsna galaxer, abstrakt som en ekonomi – eller av någon anledning anses oetiskt att studera direkt. Då är modeller användbara. I dem gör man ofta vissa förenklingar och idealiseringar, men inte mer än att

modellen kan användas för att dra slutsatser som blir tillräckligt korrekta. Inom medicinen är det vanligt med djurmodeller, det vill säga djur med egenskaper som är så lika människans att man kan prova exempelvis en ny behandling. Inom fysiken finns modeller för hur atomer och andra partiklar ”ser ut” (se s. 12) och i en ekonomisk modell antar man vanligtvis att människor är rationella beslutsfattare som alltid väljer det alternativ som ger högst förväntad nytta. I verkligheten betar sig förstås inte alla så, men modellen kan vara tillräckligt korrekt för att användas när man vill studera möjliga scenarion, som hur människor reagerar på olika ekonomiska åtgärder vid en lågkonjunktur.

BEVIS. Kan betyda flera saker, men ett *formellt bevis* existerar bara inom vissa vetenskapsgrenar, som matematik eller logik. Där kan en tes slutgiltigt bevisas så att man vet att den aldrig kan kullkastas.

EMPIRI. Observationer av verkligheten som sammantaget bygger kunskap. En empirisk teori kan inte bekräftas med ett *formellt bevis* (se ovan), men kan ändå ge kunskap. Om flera personer gör samma direkta observation flera gånger kan det till exempel vara rimligt att säga att man har kunskap.

KVALITATIV OCH KVANTITATIV FORSKNING

Kvalitativ forskning präglas av djup snarare än mängd. Exempel är djupintervjuer eller att tillbringa mycket tid i en miljö med att iakttä och tolka det som sker. Data kan bestå av text eller forskarnas observationer.

Kvantitativ forskning bygger på större mängder data men ofta mindre detaljerad information. Ett exempel är registerdata som visar hur många pappor som tagit ut föräldraledighet olika år. Kvantitativ data kan mätas och studeras med statistik.

Det finns mängder av exempel på hur vetenskapliga metoder har hjälpt oss till ny kunskap. Ett litet urval följer på de närmaste sidorna.

Genetikens utveckling

Arv och genetik har alltid förbryllat och fascinerat människan. Från 1800-talets tålamodsprovande experiment till moderna tiders tekniska genombrott har helt nya möjligheter vuxit fram med betydelse för medicin, jordbruk och industri.

Mitten av 1800-talet



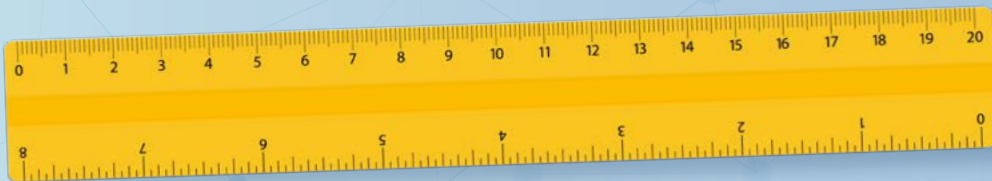
Ärtblomma

Gregor Mendel gör **EXPERIMENT**: korsar ärtplanter med olika utseende. Han visar att fördelningen av egenskaper hos en generation kan förklaras med något som förs vidare från vardera "förälder". Det sker i avgränsade enheter som inte förändras och som fördelas slumpmässigt till avkomman. Idag kallar vi det gener.



Darwinfink

Efter en mängd **OBSERVATIONSTUDIER** presenterar Alfred Wallace och Charles Darwin idén att nya arter kan uppstå genom gradvis evolution. Den drivs av det naturliga urvalet av egenskaper.



Francis Galton använder sig av **BIOMETRI**, alltså matematiska och statistiska metoder. Han mäter egenskaper hos föräldrar och barn och visar med

statistiska beräkningar att arv verkar förmedlas av något som blandas mellan föräldrar och blir till något nytt i nästa generation.

Tidigt 1900-tal



Resultaten av de olika metoderna uppfattas först som motstridiga och diskussionerna är intensiva: om gener som förmedlar egenskaper inte förändras, hur kan något nytt uppstå i nästa generation? Så småningom förstår man att det är olika sidor av samma fenomen. Med tillräckligt många gener och små effekter av varje blir variationsmöjligheterna mycket stora. Föreningen av de skilda synsätten kallas för **DEN MODERNA SYNTESSEN**.

Andra halvan av 1900-talet

Steg för steg upptäcks arvets mekanismer: DNA, den genetiska koden, överföringen av information till proteiner. Nya tekniska framsteg gör genetiken till en molekylär vetenskap med nya experimentella metoder.

DNA-SEKVENSERING: avläsning av DNA-kedjan med generna

GENREDIGERING: förändringar i DNA-kedjan med hjälp av enzymer

REKOMBINANT DNA-TEKNIK: ärftligt material från olika organismer klipps ihop

MODELLSYSTEM: med genetiskt förändrade celler eller försöksdjur kan biologiska mekanismer studeras



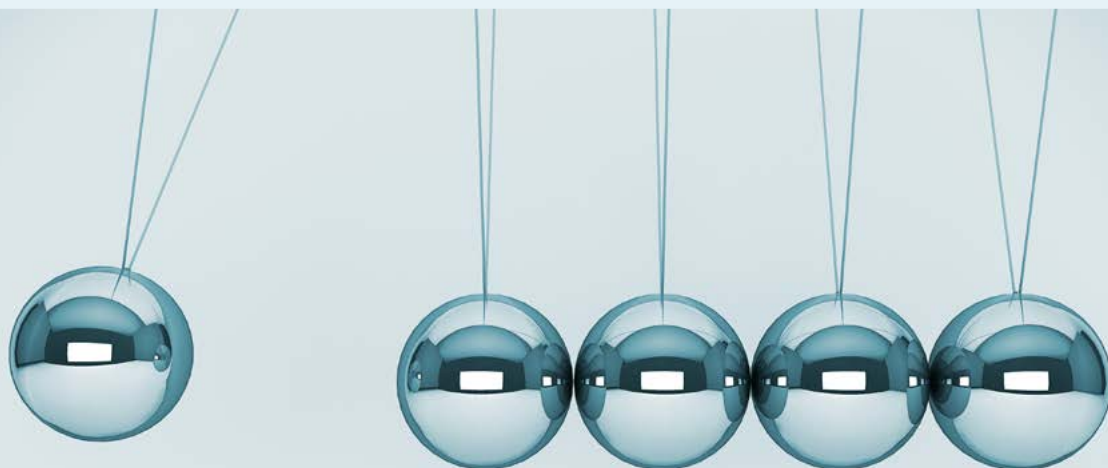
2000-talet



Tekniksprången ger genetiken en ny karaktär. Organismers hela arvsmassa kan snabbt och billigt läsas av, halten av proteiner och andra viktiga molekyler kan mätas mycket exakt, datorkraften ökar och AI introduceras. Det går att förutsättningslöst söka mönster i stora datamängder och undersöka komplexa biologiska samspel. Detta kallas **SYSTEMBIOLOGI**.

För hundra år sedan visade sig biometri, experiment och observationer komplettera varandra, inte motsäga varandra. Likadant är det i dag – teoretiska samband från systembiologins beräkningar behöver valideras (bekräftas) med klassiska experimentella metoder. Olika sätt att bedriva vetenskap stärker varandra.





Modell fogas till modell – fysikens bygge pågår

Fysiken handlar till stor del om att formulera matematiska modeller som på enklast möjliga vis beskriver och förklarar fenomen. Ibland har en ny modell tyckts oförenlig med en gammal, men nya upptäckter har fogat samman dem.

På 1600-talet lades grunden till dagens fysik. Galileo Galilei experimenterade med föremål i rörelse och utvecklade matematiska modeller för att beskriva det han såg. Johannes Kepler arbetade med resultaten av Tycho Brahes mätningar av planetrörelser, och konstruerade matematiska lagar som beskrev det som syntes på himlen. Vid slutet av århundradet ledde allt detta fram till ett nytt kunskapsområde: mekaniken. Isaac Newton visade att Galileis och Keplers modeller kunde sammanfattas i några grundläggande lagar. Med dem blev det möjligt att räkna ut när kometer skulle passera, att upptäcka nya planeter, och att utveckla teknik som grundlade den industriella revolutionen.

Även modellerna för elektricitet och magnetism utvecklades med separata observationer som blev en gemensam modell. 1820 upptäckte Hans Christian Ørsted att elektrisk ström kan ge upphov till magnetiska fält. Senare såg Michael Faraday det omvända, att varierande magnetfält kan ge upphov till elektrisk ström. James Clerk Maxwell visade att detta är två delar av en helhet: det elektromagnetiska fältet. Då kunde han också förklara ljus, som en elektromagnetisk vågrörelse. Fenomen som tycktes helt olika fick en gemensam förklaring.

Historien upprepades vid 1900-talets början. Albert Einstein konstaterade att elektromagnetismen och Newtons mekanik verkade motsäga varandra.

Svårigheten låg i att ljusets hastighet är konstant. Einstein kom på att man behövde överge idén att tiden och rummet är absoluta. I *den speciella relativitetsteorin* fogade Einstein samman mekanik och elektromagnetism, och lät tid och rum bilda rumtiden. Han fortsatte med *den allmänna relativitetsteorin*, där han visade att rumtiden kröks nära tunga föremål. Tiden går långsammare nära jordytan än ute i rymden, bara lite, men tillräckligt för att förklara det som Newton kallade tyngdkraften.

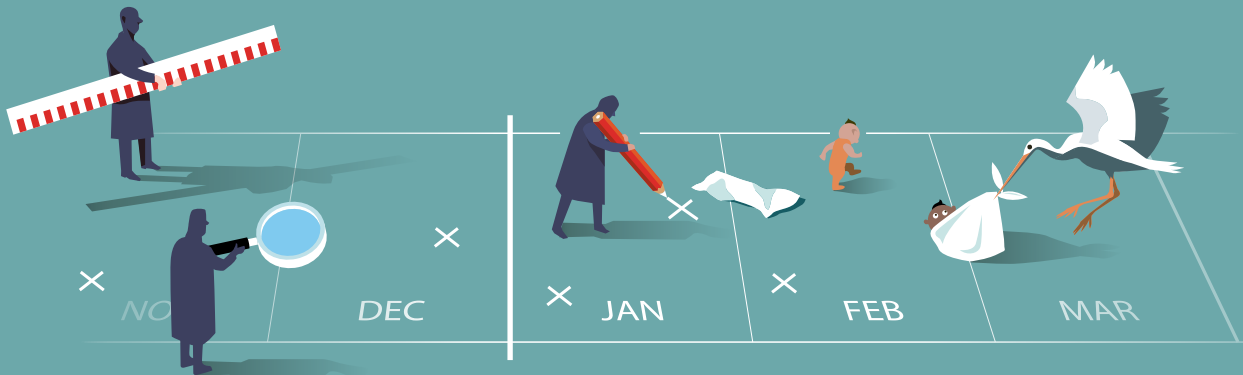
Mekaniken, elektromagnetismen och relativitetsteorierna är bärande delar i den *klassiska fysiken*. Snart stod det dock klart att den inte räcker. Studier visade att ljus bara kan skickas och tas emot i form av små "energipaket", fotoner, och att elektroner bara kan röra sig i vissa banor kring atomkärnan. Det gick emot den klassiska fysiken. Vissa tidiga upptäckter gjorde Einstein, andra gjordes av Niels Bohr och Max Planck. Erwin Schrödinger och Werner Heisenberg löste det hela med en ny förklaringsmodell: *kvantmekaniken*. Tillsammans med den speciella relativitetsteorin ledde detta vidare till *kvantfältteorin*.

Men fortfarande passar den *allmänna* relativitetsteorin inte samman med de nya upptäckterna. Det återstår att se när någon ska kliva fram och presentera den nya, eleganta modell som än en gång fogar samman två delar som tyckts oförenliga.

Naturliga experiment

Många forskningsfrågor är svåra att studera med randomiserade studier. En alternativ metod är *naturliga experiment*. Inom samhällsvetenskap används termen för experimentliknande situationer som uppstår genom slumpmässiga variationer (som att människor råkar vara födda olika tider på året, eller kommer in på olika utbildningar). Situationerna gör det möjligt att samla kunskap och dra slutsatser om orsak och verkan.

2021 gick Ekonomipriset (till Alfred Nobels minne) till tre forskare som utvecklat metoden och visat hur den kan användas för att bland annat studera kopplingen mellan utbildning och inkomst.



Randomisering

En vanlig metod i vetenskapen är *randomiserade studier*.

Individer delas slumpmässigt in i grupper som exempelvis får olika medicinska behandlingar. 1747 gjordes den första kända randomiserade studien. Läkaren James Lind delade upp tolv sjömän i olika grupper. Alla hade symtom på skörbjugg (som vi nu vet beror på

C-vitaminbrist). Grupperna fick olika kosttillskott, som vinäger, utspädd svavelsyra eller havsvatten. Den grupp som fick två apelsiner och en citron per dag var i stort sett frisk på en vecka. Man kände redan till att citrusfrukter var bra mot skörbjugg, men studien visade tydligt den stora effekten jämfört med andra "behandlingar".

2019 gick Ekonomipriset (till Alfred Nobels minne) till tre forskare som använt randomiserade studier för att jämföra åtgärder för att bekämpa fattigdom i utvecklingsländer.



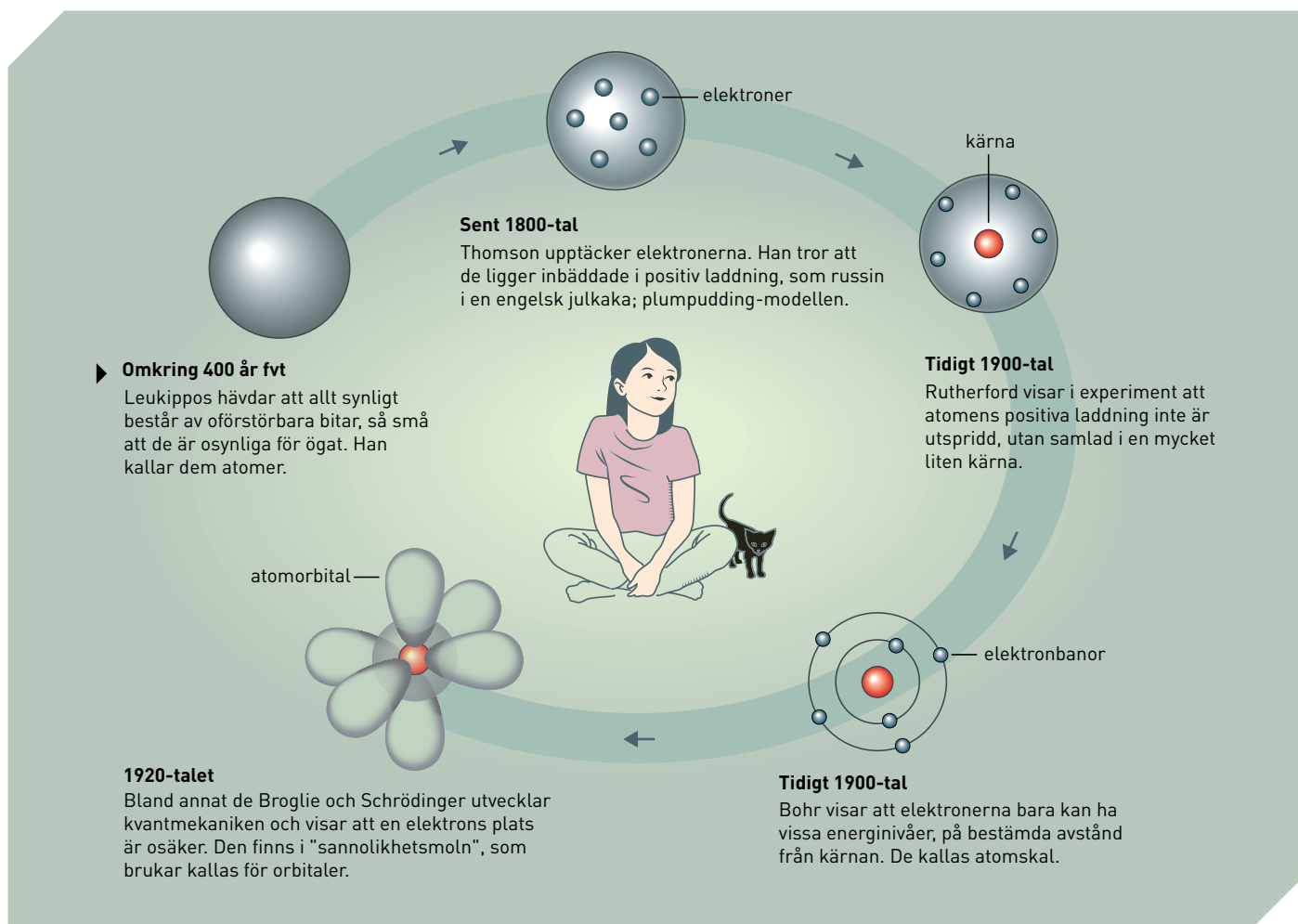
Validitet och reliabilitet

Validitet innebär att en forskare valt rätt metod för att ge svar på forskningsfrågan. *Reliabilitet* innebär att undersökningen eller mätningen är tillförlitlig.

Svante Pääbo började på 1980-talet studera DNA från en tvåtusenårig mumie. När analysmetoderna blev bättre kom Pääbo fram till att många studier

av äldre DNA, även hans egen, var missvisande. Den gamla arvmassan hade varit förorenad av DNA från forskarna själva. Validiteten i studierna hade alltså varit hög, men reliabiliteten låg. Pääbo utvecklade med tiden metoder för att undvika detta och lyckades kartlägga hela arvmassan från våra utdöda släktingar neandertalarna. 2022 fick han Nobelpris för sitt arbete.





Vetenskap om sanning och verklighet

Vetenskapsfilosofi kallas det kunskapsfält där man studerar fundamentala frågor om vetenskap. Hur förhåller sig vetenskapliga teorier till verkligheten? Är de vetenskapliga förklaringarna sanna? Hur kan vi uppnå kunskap?

Syftet med en vetenskaplig teori är att den ska beskriva en del av verkligheten. Om teorin är sann, är verkligheten så som teorin beskriver den. När vi lyckas *verifiera* en teori, alltså visa att den är sann, så utökas vår kunskap om verkligheten. När vi lyckas *falsifiera* (eller *vederlägga*) en teori så ökar också kunskapen. Då har vi ju kunnat konstatera att verkligheten inte är så som teorin har beskrivit den.

Inom vissa vetenskapliga fält, till exempel inom matematik och logik, är det möjligt att slutgiltigt verifiera teorier. Ibland dröjer det många år, till och med århundraden, innan någon presenterar ett *formellt bevis* för en matematisk sats. När det väl har gjorts så vet den som förstår beviset att satsen är sann.

De flesta teorier är dock inte av det slaget. I *empiriska teorier* bygger kunskapen på observationer av verkligheten. Teorin kan i strikt vetenskapsfilosofisk

ILLUSTRATION: Atommodellens utveckling. Liksom andra modeller ska den beskriva en del av verkligheten. Enligt en *vetenskaplig realist* gäller att om en teori är sann om en modell, så kan den också vara sann om den verklighet som modelleras. *Anti-realisten* håller inte med.

mening inte bevisas eller motbevisas. Trots det kan man säga att vi når kunskap, exempelvis om flera personer har gjort direkta observationer av ett fenomen – då kan vi anse att vi har kunskap om det. Vi kan till exempel veta att en solförmörkelse har ägt rum.

Mer komplicerat är det när det handlar om en empirisk teori som är en så kallad *all-utsaga*, till exempel Newtons första lag: ”För alla objekt gäller att varje förändring av objektets rörelse orsakas av en kraft”. Även om det görs en mängd observationer som stämmer med utsagan, de *konfirmerar* teorin, så kan man inte utesluta att ett nytt exempel visar motsatsen. Inom filosofi kallas det här för *induktionsproblemet* (induktion betyder att dra slutsatser från observerade händelser om andra ännu inte observerade händelser), och det är känt sedan antiken. Det är inte helt självklart att säga att man kan uppnå kunskap om fenomenet som vi gör all-utsagan om. Men så länge varje ny likadan observation konfirmerar teorin i allt högre grad, så får vi en allt starkare *evidens* för att den stämmer.

Teorier om det icke-observerbara

Många teorier rör fenomen som inte är möjliga att observera direkt, till exempel kvarkar, kraftfält eller andra människors mentala tillstånd. Vad gäller sådana teorier finns två helt olika vetenskapsteoretiska synsätt.

Vetenskaplig realism innebär att man anser att satser som ”elektroner har negativ elektrisk laddning” är sanna eller falska, även om det de beskriver inte går att direkt observera. Synsättet har två delar: *ontologisk realism*, vilket innebär att det finns en fysisk verklighet som är oberoende av oss människor och som vetenskapen kan undersöka, och *semantisk realism*, som innebär att de vetenskapliga termerna står för verkliga (och inte bara teoretiska) storheter, som objekt, krafter eller energier.

ONTOLOGI är läran om det varande. Beskriver grundläggande kategorier av det som utgör verkligheten.

SEMANTIK är läran om ords och uttrycks betydelse.

Ett sätt att se på teorier är att koppla dem till modeller. En modell motsvarar någon del av verkligheten, exempelvis människors beteenden eller gasmolekylers rörelser, men den gör vissa förenklingar och generaliseringar. Med en väl fungerande modell går det trots förenklingarna att dra slutsatser om den verklighet som modellen representerar. I dag är till exempel komplexa modeller för klimatsystem centrala i klimatvetenskapen. De gör det möjligt att utföra datorsimuleringar av klimatförändringar och med hjälp av simuleringarna dra slutsatser om sannolikheten för olika verkliga förändringar.

En modell kan likna verkligheten strukturellt, på så vis att olika delar av modellen står i samma relation till varandra som motsvarande delar gör i verkligheten. Om den likheten finns, och det också finns en vetenskaplig teori som är sann vad gäller modellen och som är *empiriskt adekvat* (se nedan), så kan teorin enligt den vetenskapliga realismen anses vara sann även för verkligheten med dess icke-observerbara delar.

Anti-realismen säger istället att vetenskapliga satser om icke-observerbara fenomen inte kan sägas vara sanna eller falska. Den avgörande frågan är om en teori är framgångsrik. Det är den om den är *empiriskt adekvat* – ger en korrekt beskrivning av det som kan upplevas. Då kan man med hjälp av teorin göra förutsägelser om något som faktiskt går att observera. En variant av anti-realism kallas *instrumentalism*. Instrumentalisten menar att vetenskapliga satser med teoretiska termer inte beskriver verkligheten, utan bara fungerar som medel för att härleda empiriska förutsägelser.

Vi kan ta ”lufttryck” som exempel. Enligt anti-realisten förstår vi termen genom olika principer som kopplar den till observerbara förhållanden, som mätarställningen på en barometer. Vi förstår den också genom påståenden som kopplar den till observerbara fenomen, som att det finns empiriska samband mellan lufttryck, nederbörd och vind. Och vi förstår den genom teoretiska samband mellan lufttrycket och teorier om gaser. Sammantaget förstår vi teorin genom att känna till hur vi från den kan härleda empiriska förutsägelser.

Vetenskap i dag och i framtiden



Vetenskaplig forskning kan bidra till att lösa vår tids största problem. Samtidigt är vetenskapen satt under press. Vi behöver tänka på hur vi kan värna den teknik, kreativitet och frihet som har varit avgörande för framstegen hittills.

Vi människor har ständigt utvecklat nya metoder och tekniker för att samla in information, analysera, lagra och sprida den. Skrivkonsten gjorde det möjligt att lagra mer kunskap än vi kan hålla i minnet. Matematiken gjorde att vi kunde hantera större tal än vi kan visualisera, och göra komplexa förutsägelser om alltifrån hållfasthet till tid och rörelse. Med boktryckarkonsten kunde vi sprida information till fler, och med internet ökade den möjligheten explosionsartat. Att skapa ny teknik har varit en del i vårt upptäckande, men tekniken har också bidragit till att driva vetenskapen framåt.

Nu tar utvecklingen ett nytt språng genom användandet av AI. Extrem datorkraft kombineras med statistiska inlärningsmetoder på ett sätt som gör det möjligt att upptäcka mönster i enorma datamängder, och generera ny data utifrån gammal. 2024 gick två Nobelpris till upptäckter kopplade till AI. Kemipriset gick till tre forskare som använt AI för att förutsäga formerna av och skapa nya proteiner. Fysikpriset gick till två

forskare vars arbete lagt grunden till maskininlärning med artificiella neuronätverk, en central teknik på AI-fältet. Maskininlärning är redan etablerat på vissa forskningsområden, bland annat för att hantera stora datamängder inom partikelfysiken.

Potentialen i AI är enorm. AI ökar tempot och effektiviteten i analyser och finner mönster vi aldrig skulle sett annars. Det ger ny kunskap om alltifrån cancersjukdomar till biologisk mångfald och extremväder. Det blir också möjligt att använda data på nya sätt, till exempel analysera och kategorisera text så att innehållet blir mätbart och jämförbart.

Men användningen av AI är inte enbart till hjälp för vetenskapen. Eftersom AI så övertygande kan kopiera och härma det människor gör, är den ett effektivt verktyg för att fuska. Det går att på minuter producera något som är så likt en äkta vetenskaplig artikel att det kan vilseleda andra forskare och forskningsfinansiärer. Detta kan också förstöra en bärande del av den vetenskapliga processen: expertgranskningen. Om systemet översvämmas av låtsasartiklar blir det omöjligt att hinna med granskningen av riktiga vetenskapliga arbeten. Nu behövs nya rutiner och förbättrad teknik för att skilja falskt från äkta.

Tekniken påverkar oss

Tekniken kan även utmana vetenskap och lärande på ett helt annat sätt – om den påverkar vår analysförmåga och kreativitet. Att människor kan ta in information, reflektera över den och dra helt nya slutsatser har varit avgörande för vetenskapens utveckling. Vad händer med de här förmågorna nu?

På vissa sätt är möjligheterna att bedriva vetenskap oöverträffade. Fler människor än någonsin får utbildning. Fler får kontakt med varandra och har tillgång till andras tankar, texter, bilder och filmer. Så har världen aldrig sett ut tidigare. Många utbildningar är också betydligt mer avancerade än förr, och våra intellekt verkar ha utvecklats över tid. Om man till det lägger mängder av digitala hjälpmedel och AI-verktyg borde vi ha större möjligheter än någonsin att bygga ny kunskap.

Mycket tyder dock på att utvecklingen kan gå åt ett helt annat håll. I många utvecklade länder rapporteras att både vuxna och barn ägnar mer tid åt rörliga bilder och korta texter, och betydligt mindre tid åt längre texter. Många vittnar om att ovanan vid att läsa långt gör det svårare att fokusera. Allt fler universitetsstudenter rapporteras använda AI för att göra urval av information, analysera texter och skriva sammanfattningar. Vad händer då med vår egen förmåga till läsning, koncentration, analys och nyskapande? Skärps den, för att vi med de nya teknikerna vinner tid till att fördjupa oss i det viktigaste, eller försämras förmågan eftersom vi inte tränar den? Utbildning handlar inte bara om att ta in information, utan också om att öva upp tankeförmågor.



Akademisk frihet

Det talas ofta om att det är viktigt med *akademisk frihet*. Begreppet syftar på flera saker: lärosätenas självständighet, studenternas frihet att välja utbildning, lärarnas frihet att välja undervisningsmetod och innehåll, forskarnas frihet att välja frågeställning, metod och att kommunicera sina resultat. Akademisk frihet bidrar till att vetenskapligt grundad kunskap sprids i samhället.

Den akademiska friheten har varierat över tid och mellan länder, men i Europa och Nordamerika har den generellt vuxit de senaste århundradena (med undantag för bland annat perioder med nazistiskt och kommunistiskt styre). Detta har i allmänhet varit del av utvecklingen mot liberal demokrati, med bland annat oberoende domstolar, yttrande-, press- och religionsfrihet. Den akademiska friheten har starkt bidragit till de stora vetenskapliga och tekniska framstegen under samma tid.

De senaste 25 åren har dock utvecklingen gått åt motsatt håll. Vetenskapen kan sägas ha blivit mer demokratisk; det finns en större öppenhet kring metoder och data, forskare delar information med varandra och samarbetar i större grupper. Men politiskt är demokratin på tillbakagång. Allt fler länder har starka ledare som styr genom att trycka ner motståndare och begränsa friheten för domstolar, media och forskare. USA är det senaste exemplet, där presidenten efter maktskiftet 2025 inledde en omfattande kampanj med nedskärningar av forskningsanslag och studentstöd, uppsägningar av forskare och åtgärder för att ta kontroll över universiteten, och över vad som ska räknas som godtagbar forskning.

Vi lever i en tid med stora globala problem som klimatförändringar, minskad biologisk mångfald, flyktingströmmar, och risker för nya pandemier och matbrist. Då krävs mer kunskap, kreativitet och samarbete mellan olika forskningsfält. Vetenskapen måste utvecklas och stärkas, inte begränsas eller göras trubbigare. Det är inte bara en fråga för forskare utan för oss alla. Vi kan bidra genom att öppet diskutera vetenskapens roll i samhället, och göra vad som krävs för att den ska kunna hjälpa oss och vår värld på bästa sätt.





En expertgrupp bestående av ledamöter av Vetenskapsakademien har tagit fram materialet till denna skrift. Skriften speglar expertgruppens uppfattning och ska inte ses som ett uttalande eller ställningstagande av Kungl. Vetenskapsakademien.

ULF DANIELSSON, professor i teoretisk fysik, Uppsala universitet

ANNA DREBER ALMENBERG, professor i nationalekonomi, Handelshögskolan i Stockholm

ARNE JARRICK, professor i historia, Stockholms universitet

PETER PAGIN, professor i teoretisk filosofi, Stockholms universitet

ANNA WEDELL, professor i medicinsk genetik, Karolinska Institutet

Tack till Richard Dawid, Sören Häggqvist och James Nguyen för kommentarer under arbetets gång.

VETENSKAPEN SÄGER är en serie populärvetenskapliga skrifter från Kungl. Vetenskapsakademien. Målsättningen är att sprida vetenskapsbaserad information om viktiga och aktuella ämnen till allmänheten.

Beställ tryckta exemplar av Vetenskapen säger från vetenskapsager@kva.se eller ladda ned i pdf-format på www.kva.se/vetenskapsager.



©Kungl. Vetenskapsakademien, 2025

Vetenskapsredaktör: Lisa Kirsebom
och expertgruppen för *Vetenskapen
säger – om vetenskap*
www.kva.se

ISSN 2004-9056

Omslagsfoto:
Pawel Michalowski/Adobe Stock

Illustrationer:
©Johan Jarnestad/
Kungl. Vetenskapsakademien
Grafisk form: ©Fräulein Design



Vetenskapen säger – om vetenskap
produceras och distribueras med
stöd från Stiftelsen Natur & Kultur.