

# 3 Videnskabsmandens og humanistens fødsel

I 1492 opdager Christoffer Columbus Amerika. I 1519 dør Leonardo da Vinci. Få år senere starter reformationen. I 1543 udsender Nikolaus Kopernikus et værk, der argumenterer for et heliocentrisk verdensbillede, og Andreas Vesalius publicerer samtidig et anatomisk atlas baseret på dissektioner og konkrete observationer. Der er grøde inden for den intellektuelle verden. Allerede omkring 1430-40 havde malere i Norditalien fremstillet billeder baseret på centralperspektiv, billeder der meget lidt lignede middelalderens malerkunst. På nogle bestemte områder er det helt tydeligt at se, hvad der sker i renæssancens begyndelse i midten af 1400-tallet, specielt i Italien. Man behøver blot at betragte et maleri af Andrea Mantegna eller en bygning af Filippo Brunelleschi, så vil man se et opgør med gotikken og en venden sig mod klarhed og orden.

Intellektuelt er det sværere at se en entydig udvikling. 1400-tallet er en kompliceret periode præget af konflikter og katastrofer. 1500- og store dele af 1600-tallet er også præget af strid, først og fremmest religionskrige, der både var borgerkrige og krige mellem forskellige lande. Tilsvarende finder vi mange stridende intellektuelle strømninger, måske skarpest inden for det religiøse felt. Filosofien kulminerer med de store skolastikere Thomas Aquinas, Johannes Duns Scotus og William fra Ockham, og med René Descartes i begyndelsen af 1600-tallet sker der en radikal fornyelse.

◀ Leonardo da Vincis tegning af *Den Vitruvianske Mand* (1492) analyserer den menneskelige krops proportioner i forhold til universets evige former. Den har opnået en næsten ikonisk status som symbol på renæssancens sammenknytning af kunst og videnskab.

Lige før år 1200 starter en utrolig afgørende intellektuel og kulturel proces, der består i en genopdagelse og derefter videreudvikling af den antikke arv. Især Aristoteles kommer på dagsordenen og

dominerer diskussionerne inden for videnskab og filosofi i meget lang tid. Det er faktisk først omkring begyndelsen af 1600-tallet, der sker et radikalt opgør med aristotelismen, og man kan på mange måder sige, at perioden fra omkring 1200 til 1600 er en sammenhængende periode. Ikke desto mindre sættes der ofte et skel omkring 1450-1500, hvor middelalderen siges at gå over i renæssancen.

## Det skabende menneske

Renæssancen er ikke en pludselig begivenhed. Den starter i 1300-tallet og kulminerer i begyndelsen af 1500-tallet i Italien. Det sker i Italien, bl.a. fordi der her er stor rigdom og en politisk organisering, der er ganske anderledes end i det øvrige Europa. Der er tale om en politisk struktur baseret på bystater. Disse rige, selvstyrende byer skaber en bestemt slags kultur, der baserer sig på handel, udveksling, åbenhed og tæt kontakt mellem mennesker af forskellig observans og leveform. Sammen med udbredelsen af bogtrykkerkunsten muliggør det helt nye former for intellektuelt arbejde. I løbet af 1400-tallet genopdages Platon også i sit fulde omfang, og dermed er situationen omkring år 1500 meget anderledes end omkring år 1300.

Mange intellektuelle rykker fra klostret over til hoffet og kan så småt distribuere deres synspunkter og værker på en form for marked, ligesom man selv kan erhverve sig et bibliotek med værker af Aristoteles (384-322 f.v.t.), Platon (427-347 f.v.t.), Cicero (106-43 f.v.t.), Euklid (ca. 300 f.v.t.), Ptolemaios (ca. 100-170 e.v.t.), Thomas Aquinas (ca. 1225-74) m.fl. Middelalderens typiske intellektuelle var teolog. Nogle få, som f.eks. den franske filosof og fysiker Jean Buridan (ca. 1295-1358), var alene knyttet til det filosofiske fakultet på universitetet, men det var en usædvanlig undtagelse. I middelalderens Italien var filosofi og medicin knyttet meget tæt sammen, mens filosofi og teologi på de nordeuropæiske universiteter var det naturlige par.

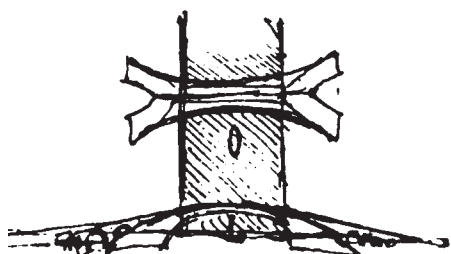
Langsomt opstod en ny type intellektuel, den type vi kalder "humanisten". En humanist var, ligesom klosterbroderen, kristen, muligvis endda præst, men var ikke afhængig af klostret eller kirken, men af en sponserende fyrste og hans hof. Formålet med humanistens studier var ikke at styrke kirken eller fremme troen, men snarere at glorificere fyrsten og selv at tjene penge. Humanisten beskæftigede sig typisk med at redigere, udgive og oversætte antikke tekster og var som sådan filolog. Han var imidlertid



Ptolemaios (ca. 100-170 e.v.t.) var en af de antikke tænkere, som oplevede stor udbredelse i renessancen. Her ses hans opfattelse af universet fra Andreas Cellarius' *Atlas Coelestis seu Harmonica Macrocosmica*, Amsterdam 1660.

ikke på nogen måde snæver i sine kvalifikationer. Ofte arbejdede han med logik, matematik, fysik, kartografi og med oversættelser, f.eks. af Platon. Han

kunne også være praktiker og f.eks. udføre malerier, foranstalte fyrværkerier eller deltage i konstruktion og bygning af forsvarsværker og nye våbentyper, ligesom han kunne være arkitekt. Af og til var han også læge med en uddannelse, der i høj grad baserede sig på naturfilosofi. Men han var ikke typisk håndværker og forstod sig ikke som en sådan, selvom han måske havde behov for håndværksmæssig kunnen. En multikunstner som Leonardo da Vinci (1452-1519) beherskede mange af disse ting, selvom vi først og fremmest kender ham som maler. Han kunne sikkert sit håndværk, men ville også meget gerne eksperimentere med nye metoder – desværre for os, idet det medførte nogle billeder, som tiden har tæret meget mere på, end hvis han havde holdt sig til at være en god håndværker.



I 1502 lavede Leonardo da Vinci en tegning (t.v.) af en 240 meter lang bro som del af et ingeniørprojekt for sultan Bayezid II. Broen skulle spænde over Det Gyldne Horn, en præhistorisk flodmunding, som forbinder to dele af det tidligere Konstantinopel (nu Istanbul). Broen blev aldrig bygget, men i 2001 blev en mindre fodgængerbro med samme design bygget nær Ås i Norge (øverst), tegnet af arkitekten Vebjørn Sand. I 2006 besluttede Tyrkiets premierminister dog at virkeliggøre da Vincis broprojekt hen over Det Gyldne Horn i dets eksakte dimensioner.

Middelalderens syn på empirisk forskning var præget af to grundlæggende forskellige naturopfattelser. Den ene så naturen som en stadig fortløbende guddommelig kreation, som mennesket kun delvist kunne fatte – fordi selve det guddommelige kun delvist kunne fattes. Som en fortløbende kreation kunne naturen kun delvist forstås som værende underkastet faste lovmæssigheder. I modsætning til denne opfattelse stod en fortolkning af Aristoteles, der var langt mindre “kristen”, men måske mere stringent. Den gik tilbage til den arabiske filosof Averroes (på arabisk: Ibn Rushd, 1126-98). Her opfattedes naturen som et lukket, “færdigt” system underkastet sine egne uforanderlige lovmæssigheder, og det var derfor muligt ved studier og analyser at finde og beskrive disse. Naturbeskrivelsen var for begge opfattelser kvalitativ, en art klassifikation eller kartografi – kortlægning. Den ene opfattelse gav plads for en skaber, der var aktiv, mens dette var sværere i den anden. Man kan sige, at de to naturopfattelser peger imod henholdsvis en organisk-vitalistisk variant og en mere mekanisk-deterministisk variant.

I 1300-tallet arbejdede nogle forskere i Paris og Oxford med deduktiv analyse af naturfænomener på basis af erfaringer og sandsynligvis også ret primitive eksperimenter. Flere af dem kom tæt på at formulere synspunkter, der var direkte i strid med aristotelismen. Man kunne f.eks. observere, at luft i en dyb brønd steg op af vandet. Men hvis luften vejede noget, skulle den sø-

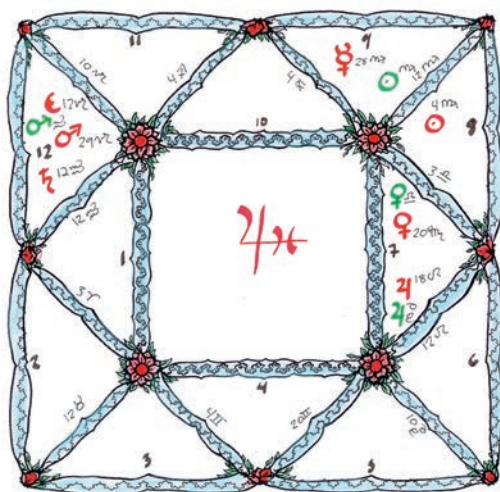


ge ind imod Jordens centrum, ligesom alt andet. Hvordan kunne den så stige til vejrs, hvad den påviseligt gjorde? Eller hvordan kunne en bold, der ramte et guly, hoppe op igen, dvs. væk fra Jordens centrum og dermed dens naturlige plads, som den hele tiden burde stræbe imod? Simple erfaringer, som det krævede megen snilde at få indpasset i en aristotelisk naturopfattelse.

I løbet af 1400-tallet fremkom i Norditalien andre opfattelser af natur og dermed af erkendelse af den omgivende verden. Dette hang sammen med fremkomsten af humanismen. Hvor 1200-tallet var præget af genopdagelsen af Aristoteles, var 1400-tallet i Italien præget af genopdagelsen af Platon. Men Platon blev forstået i en såkaldt ny-platonisk forstand. Nu opfattede flere humanister den menneskelige aktivitet og den menneskelige skaben som det afgørende i verden, og især kunsten og det kreative kom i centrum. Mennesket var blevet en skaber i sig selv, kunne gå i interaktion med verden og forme den. Faktisk var det kun igennem handlen og refleksion over handlen, at mennesket overhovedet kunne opnå erkendelse.

For 1400-tals humanisten Leon Battista Alberti, som vi senere skal vende tilbage til i forbindelse med perspektivet, var mennesket først og fremmest handlende og skabende, og som sådan næsten i konflikt med naturen, som virkede som en begrænsning for denne utæmmede udfoldelse. Det var en menneske- og naturopfattelse, der var helt anderledes end den aristoteliske. For den væsentligste humanist inden for Platon-genopdagelsen, florentineren Marsilio Ficino (1433-99), var mennesket handlende og erkendende, men på en åndelig måde. Mennesket kom i centrum af verden i kraft af

Marsilio Ficanos sammentænkning af den ydre natur og den indre sjæl havde stor betydning for humanismens og kunstens centrale plads i renaissanceen. Her ses Ficanos horoskop. Han gav det denne tolkning med på vejen: "Saturn ser ud til at have præget melankoliens segl på mig siden begyndelsen; sat som den er, næsten i midten af min ascendant Vandmanden, og påvirket af Mars, også i Vandmanden, og Månen i Stenbukken. Den er i kvadrat med Solen og Merkur i Skorpionen, som står i det niende hus. Men Venus i Vægten og Jupiter i Krebsen har måske givet en vis modstandskraft til denne melankoliske natur" · Warnock-Renaissance Astrology.



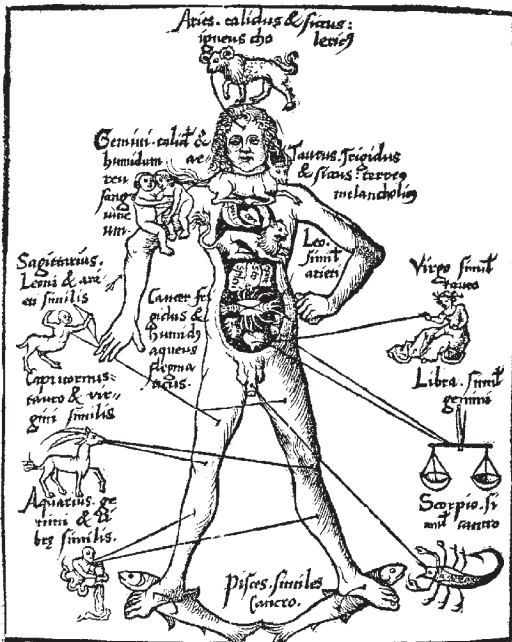
sin åndelighed, sin sjæl. På samme måde var verden besjælet, og naturen og mennesket var for så vidt to sider af samme sag. Mennesket var ikke i verden som tekniker eller håndværker, dvs. Homo faber, men som *magiker*.

Som "magiker" skal mennesket ikke gribe ind i eller forsøge at ændre verden, men skal i stedet formå at besnakke eller narre verden til at opføre sig, som mennesket ønsker det. Det er ved charme og overtalelse, at mennesket påvirker naturen, ikke ved argumenter eller ved erkendelse af årsags-sammenhænge. Man kunne sige, at menneskets forhold til naturen her næsten forstås som et retorisk forhold. Fordi verden er besjælet, er den dermed også levende. Denne magiske opfattelse fik stor indflydelse på de okkulte kunsters og videnskabers status. Astrologi, alkymi, forskellige former for tal- og symbol-magi fik stor betydning. Magi blev netop forstået som den rigtige brug af symboler til påvirkning eller overtalelse. Også kunsten med dens brug af billeder og symboler fik en magisk funktion, og naturerkendelse og kunstnerisk skaben blev knyttet tæt sammen.

En sådan opfattelse af naturen og den menneskelige erkendelse levner ikke megen mulighed for en selvstændig naturvidenskab, der skulle studere en selvberørende natur reguleret af årsagssammenhænge.

Der var imidlertid ikke tale om, at humanisternes og ny-platonikernes forståelse af natur og erkendelse var enerådende i renaissanceen. De middelalderlige

## Liber VII Trac. II



Munken Gregor Reisch (1470-1525), der bl.a. var ven af Erasmus fra Rotterdam (1469-1536), skrev den meget indflydelsesrige og rigt illustrerede encyklopædi *Margarita philosophica* i begyndelsen af 1500-tallet. Her præsenterede han al opsamlet viden siden slutningen af middelalderen. I kapitlet om astronomi finder man bl.a. denne illustration af dyrekredsmanden, hvor de enkelte kropsele relateres til deres respektive astrologiske tegn, som man mente styrede dem. Reisch var dog skeptisk over for astrologiens værdi, og han mente, at Gud kontrollerede verden, som bedst kunne forstås ved læsning af Bibelen og brug af fornuften.

aristoteliske opfattelser fandtes stadig, endda helt frem til 1600-tallet, hvor der så til gengæld opstod radikalt andre ideer. Men indtil da udvikledes de aristoteliske og ny-platoniske opfattelser sig synkront – og på mange måder kan man sige, at de i forhold til naturvidenskaben ikke adskilte sig synderligt fra hinanden. De baserede sig f.eks. begge på, at man kunne tænke eller føle sig frem til sandheden – man behøvede ikke at basere sig systematisk på observation og eksperiment, når man skulle udvikle teorier.

I løbet af 1500-tallet optræder en række forskere og tænkere, der går et skridt videre i retning af en naturvidenskab. De begyndte at opfatte mennesket som i stand til *empirisk* at erkende processer i naturen. For en forsker som Pietro Pomponazzi (1462-1525) er naturen et lukket mekanisk system, der netop skal studeres empirisk. For lægen, teknikeren og matematikeren Geronimo Cardano (1501-76) er naturen stadig besjælet, dog på en sådan måde, at der ikke kræves magi for at omgås og forstå den, men sådan, at det er muligt at opnå lovmæssig erkendelse. Følger man Pomponazzis og Cardanos tænkemåder, er der således mulighed både for spekulativ naturfilosofi og for empirisk naturvidenskab. Det er en distinktion, der på dette tidspunkt ikke er etableret, og som først for alvor blev udfoldet i løbet af 1600-tallet.

## Det dobbelte bogholderi og centralperspektivet

Et vigtigt fænomen i renæssancens blomstrende handel var regnskaber. Regnskabet baserede sig på optælling og på simple manipulationer med tal. Handlen forudsatte også måling og samfundsmæssigt fastsatte måle-normer, som vi kender det i form af f.eks. meter, kilogram og liter. Handelsregning var derfor noget meget afgørende, og det skabte behov for nye former for uddannelse. De etablerede universiteter underviste nemlig kun i geometri – sådan som grækerne krævede det. Men måling og handel krævede arbejde med tal. Flere af renæssancens store kunstnere var både malere og undervisere i talregning – de var interesseret i korrekt repræsentation af virkeligheden både plastisk og matematisk, hvilket ofte var to sider af samme sag. To fænomener er her interessante. På den ene side det pålidelige talbaserede bogholderi, det vi kalder det dobbelte bogholderi, og på den anden side det geometriske centralperspektiv, der muliggør en korrekt afbildning af en tredimensional virkelighed i form af et fladt billede.

Det dobbelte bogholderi beskrives første gang hos regnelæreren og matematikeren Luca Pacioli (1445-1514) i en større lærebog fra 1494, *Summa de Arithmetica, Geometrica, Proportioni et Proportionalita*, hvori han opsummerer samtidens kunnen inden for matematik. Det var ikke noget originalt værk, men var karakteristisk for sin samtid ved, at det ikke var skrevet på latin, men på en toskansk dialekt, og at det blev udgivet som bogtryk og dermed blev meget udbredt.

Det dobbelte bogholderi baserer sig på den ide, at man ved at opgøre udgifter og indtægter på to forskellige måder kan opnå en højere grad af sikkerhed og korrekthed end ved blot at føre en enkelt liste over indtægter og udgifter. Enhver transaktion indføres i bøgerne to gange, som kredit og som debit. Derved kan man se, om der er balance, ud fra en ligning om at debitbevægelsernes sum skal være lig kreditbevægelsernes sum. Man kan sige, at det dobbelte bogholderi er en algoritme, der sikrer, at man til enhver tid kan få et billede af sin aktuelle økonomiske situation. Man kan både se, hvad man har til rådighed likvidt, og hvad man totalt set ejer, dvs. om de indtægter og udgifter man nu har, de fordringer man har, og den gæld man har, faktisk sikrer, at man som virksomhed kan overleve.

Alt dette hænger nøje sammen med fremkomsten af nye former for økonomisk samarbejde og nye former for risikotagning. Der opstod i renæssancen større firmaer – ofte baseret på kortvarige former for samarbejde som f.eks. finansieringen af en handelsrejse med skib – og man forsøgte at være flere om investeringerne, risikoen og udbyttet. Nogle har sagt, at det dobbelte bogholderi og den moderne kapitalisme er to sider af samme sag. Sikkert er det i hvert fald, at ideen om at drive virksomhed og forretning for vinding forudsætter, at man kan finde ud af, om man vinder eller taber. Senere opstår netop sandsynlighedsbegrebet og sandsynlighedsregningen ud fra tilsvarende spil-situationer, hvor man forsøger at finde ud af, om der er chance for gevinst eller ej.

Det dobbelte bogholderi er måske den første praktiske anvendelse af dels de nye arabertal dels ideen om en algoritme, som bliver skabt i Europa. Man havde lært at regne med tallene af araberne, og senere skulle europæerne i 1600-tallet skabe begreber om sandsynlighed og senere igen statistik – udvidelser og anvendelser af matematikken, der slet ikke forelå hos de græske og arabiske matematikere. Det dobbelte bogholderi er også det første eksempel på, at man kan have tillid til noget, der kan udtrykkes i tal, og



som er resultat af en måling. Regnskabet er en abstrakt repræsentation, der skal vise en forretnings finansielle situation. Det er i overført betydning et billede, hvorfor man stadig i dag siger, at et regnskab skal give et “retvisende billede” af situationen. Regnskabet og dets tilhørende metoder og begreber forblev – lidt ligesom bogtrykket – uændret i meget lang tid. Og essentielt er de metoder, der anvendes i dag, de samme som i renæssancens handels- og bankhuse.

Regnskabet baserer sig på tal og måling. Ud fra dets praksis kan man nemt slutte, at kun det, man kan aflægge regnskab for, er noget, man har. Dermed kan man gå videre og sige, at kun det, der er repræsenteret i regnskabet, er virkeligt. Repræsentationen skaber på en vis måde kriteriet for, hvad der er virkeligt. *Kun det målelige er virkeligt*. Det er en helt central ide for videnskab og teknologi i Europa.

Perspektivet beskrives første gang udførligt i et værk af humanisten og arkitekten Leon Battista Alberti (1404-72) fra 1435. Det er en geometrisk konstruktion, der baserer sig på visse optiske anskuelser om synsfeltet og om lyset. Derudover forudsætter det en bestemt opfattelse af, hvad et billede grundlæggende er. Før perspektivet var billeder repræsentationer af og symboler på det, der blev opfattet som virkeligt. Men de skulle ikke nødvendigvis *ligne* virkeligheden, sådan som vi ser den, dvs. der var ikke noget krav om illusion. Afbildede personers størrelse afhang således ofte af deres status i det samfundsmæssige eller religiøse hierarki, og herskeren eller Kristus kunne fremstå som de rene kæmper i forhold til menigmand.

Ligesom det dobbelte bogholderi på det talmæssige og økonomiske område satte en standard for afbildning og nøjagtighed, satte perspektivet en standard for, hvad det vil sige for et billede at gengive virkeligheden korrekt. De første perspektiv-billeder fremkommer omkring 1425. Mange kunstnere havde før da forsøgt at skabe indtryk af rumlighed. Men en egentlig geometrisk teori om, hvordan man omsætter et tredimensionalt synsindtryk til et tilsvarende todimensionalt, fremkommer først med Alberti. Ingeniøren og arkitekten Filippo Brunelleschi (1377-1446) udførte omkring 1430 et forsøg, der gik ud på at se på et motiv i et spejl og derefter male motivet sådan, at hvis man erstattede spejlet med maleriet, ville man ikke kunne se forskel. Et sådant billede ville for Brunelleschi være et “korrekt” billede.

To ting er vigtige i et perspektivisk billede: at der er et fælles forsvindingspunkt, og at horisonten og forkortningen imod horisonten er korrekt.



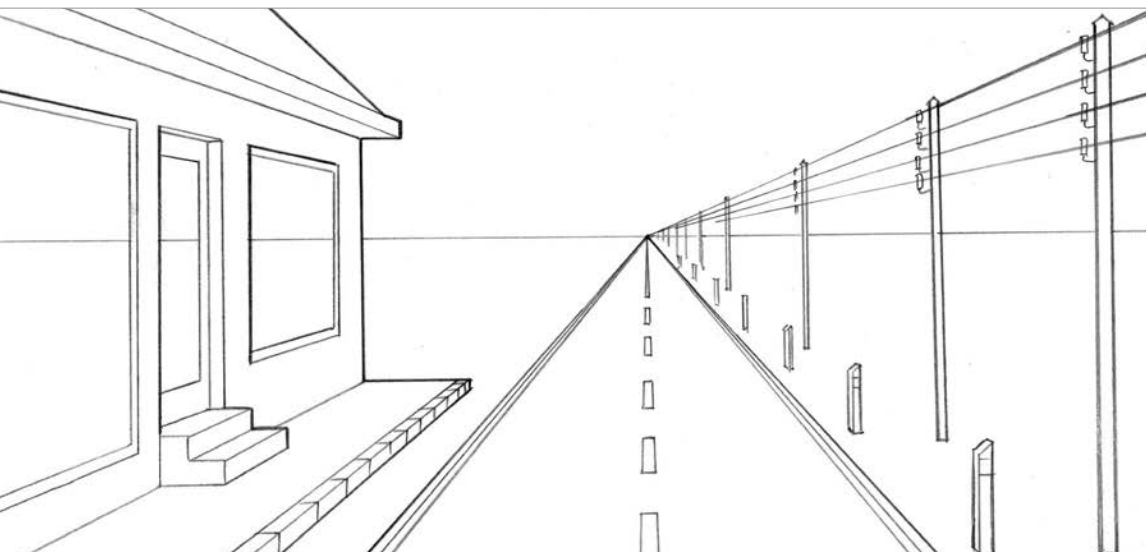
Den første korrekte brug af centralperspektivet tilskrives i dag Masolino da Panicale (1383-1440) *La Resurrezione di Tabita* fra 1424-25. Bemærk, at forsvindingspunktet er i øjenhøjde på muren af det bagvedliggende hus, hvilket giver illusionen af, at billedet ses af en betragter, som står på pladsen. Denne fuldstændige integration af alle billedets horisontale linjer kan kun opnås ved en eksplicit implementering af centralperspektivet · Cappella Brancacci, Firenze.

Ellers vil f.eks. vandrette ternede gulve ikke se vandrette ud på billedet. Perspektivet forudsætter en opfattelse af synet og lyset, der siger, at lyset kommer ind i øjet udefra, og at lyset bevæger sig i rette linjer. Derudover skal man have en forståelse af den forkortning, der sker med tingene, når de fjerner sig

fra os. Ellers vil en række master af samme højde, der står langs en lige vej, komme til at se ud som om, de har forskellig højde.

Mange har fremsat teorier om, hvordan og hvorfor perspektivet netop opstår i Firenze i første halvdel af 1400-tallet. Man ved bl.a., at der i 1428 kommer et geografisk værk af Ptolemaios om kort og kortproduktion til Firenze. Og da kortproduktion drejer sig om det samme som perspektivet – at afsætte noget tredimensionalt på et plant stykke papir – har Brunelleschi måske været inspireret af Ptolemaios' studier.

Muligvis var Brunelleschi også inspireret af den fascination af symmetri og rumlighed, som blev dyrket i renæssancens boliger, haver og byanlæg. Fyrsten eller storborgeren viste sin magt i sin evne til at ordne omgivelserne, og orden var baseret på symmetri. Det var omverdenens empiriske egenskaber, hvordan verden faktisk så ud, der interesserede. Der skulle skabes et billede, og billedet skulle ikke kun oplyse træk ved virkeligheden, men ligefrem kunne erstatte den. Man kunne således sidde i en højt placeret loggia



og se ud på byen eller landskabet, men man kunne også sidde i sin spisestue og betragte billeder af byen eller landskabet på væggene. Oplevelsen skulle være den samme.

Renæssancens billeder lavet med centralperspektiv forsøgte ofte at efterligne, hvad en person ville se, hvis vedkommende stod på det sted, hvorfra billedet er set. Denne ide forudsætter, at billedet forstås som bevidsthedsindholdet hos en person. Perspektivbilledet indeholder altså indirekte en person, nemlig den, der observerer motivet et bestemt sted fra. Denne *tilstedeværelse af et subjekt* er noget helt afgørende. Et kalkmaleri fra middelalderen er f.eks. ikke et billede i samme forstand: det afbilder en scene fra Bibelen, men scenen er ikke set et bestemt sted fra eller forsøgt gengivet, sådan som en betragter ville have oplevet den. I renæssancen ser maleren ud i verden, og verden påvirker ham via lyset, og igennem denne påvirkning opstår indholdet i malerens bevidsthed. Maleren forsøger så – igennem perspektivets regler – at gengive det, han oplever. Maleren er subjektet, der er til stede i billedet.

I renæssancen får netop subjektet og det individuelle en ny status. Ikke kun i malerkunsten, men også i filosofien, i naturen, i forståelsen af historien, i litteraturen og i livsformerne i almindelighed træder det enkelte menneske frem som et fokuspunkt, hvorfra alting kan ses.



## Den videnskabelige revolution – opgøret med Aristoteles

Fra midten af 1500-tallet og i hvert fald to hundrede år frem foregår konstante ændringer i opfattelsen af verden og ikke mindst af, hvad det overhovedet vil sige at vide noget om den. Det kaldes ofte “den videnskabelige revolution”, selvom der ikke er tale om ændringer fra det ene år til det næste, men om langstrakte forandringer. Termen er dog ikke helt ved siden af, da der rent faktisk sker en række voldsomme ændringer, som – selvom de er gradvise og længerevarende – er knyttet til få markante fænomener og centrale personer. Perioden er starten på moderniteten, og det er en periode, hvor fornuft, videnskab og rationalitet erstatter tradition, åbenbaring, religion og overtro.

Processen starter i 1543, hvor Nikolaus Kopernikus fremlægger sit verdensbillede med Solen i centrum af universet, og den kulminerer i 1684 med fremlæggelsen af Isaac Newtons (1642-1727) mekaniske fysik i værket *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (“Naturfilosofiens matematiske principper”). Den ebber ud i løbet af 1700-tallet, hvor universiteter og de dannede kredse rimelig bredt har accepteret hovedindholdet af naturvidenskabens resultater. Dermed er revolutionen så at sige forbi, og erstattet af en art permanent forandringstilstand, hvor videnskabens udvikling ses som noget normalt. Alligevel er det først i vort århundrede, at man for alvor har accepteret, at der ikke bare én gang kan ske en videnskabelig revolution, men at der principielt kan være revolution på revolution i en uendelighed – dvs. at det videnskabelige verdensbillede aldrig én gang for alle vil være etableret. Langsomt sker der også ændringer i samfundets teknologi, hvilket

Det var ikke nemt at tegne et korrekt perspektivisk billede, og derfor blev der udviklet en række hjælpemidler, bl.a. en pind foran øjet og et gitter, der skulle placeres foran objektet. Her er teknikken gengivet i et træsnit af Albrecht Dürer (1471-1528) fra 1525.

er knyttet til den større og større videnskabelige viden, og det muliggør igen ændringer i produktionssystemet. Der sker også politiske ændringer – i 1600-tallet den engelske revolution og i 1700-tallet den franske – der er tæt knyttet til en række af de forestillinger om fornuft, som er centrale i den videnskabelige revolution.

Den videnskabelige revolution betyder en gradvis afvikling af middelalderens og renæssancens voldsomme tillid til Aristoteles. Man ønsker noget nyt, nye indsigter og modeller, og nye forestillinger om, hvad viden er, og hvad den gør godt for. Viden bliver først og fremmest knyttet til *eksperiment* og *observation*. Det er hverken åbenbaringer eller fornuften i sig selv, der giver viden, den opstår derimod i samspillet mellem en tænkende og handlende forsker og naturen. Forskeren stiller spørgsmål til naturen, som denne så besvarer i eksperimentet eller observationen, der nu typisk kan ske ved hjælp af sindrige instrumenter som kikkerter og mikroskoper, der selv bygger på videnskabelige teorier. Viden bliver lokaliseret hos forskeren, i det tænkende subjekt, men samtidig organiseres disse tænkende og diskuterende subjekter på nye måder. Der opstår den institution, vi kalder videnskaben. Den består f.eks. af videnskabelige selskaber, der offentliggør forskningsresultater i videnskabelige tidsskrifter, eller i netværk af forskere, der korresponderer og diskuterer. Disse forskere og videnskabelige selskaber begynder også at bidrage til løsning af væsentlige praktiske problemer, f.eks. kortlægning og navigation, ligesom de involverer sig med forbedring – videnskabeliggørelse – af mange praktiske aktiviteter, f.eks. landbrug og gartneri.

Videnskabelige ekspeditioner undersøger og kortlægger Jorden og bidrager til at ændre på handel og søfart. Langsomt ændres de vestlige samfunds uddannelsessystemer, så videnskabelig uddannelse bliver sideordnet, senere måske endda overordnet, den klassiske dannelse. Universiteterne afvikler langsomt den aristoteliske og antikke lærdomstradition og erstatter den med én, der er baseret på den videnskabelige revolutions idealer om erfaringsfunderet og kritisk efterprøvet viden. Laboratorier, anatomiske studiesale, observatorier med kikkerter og feltstudier bliver naturlige elementer i den studerendes liv.

Man kan måske sige, at starten på udgivelsen af Den Store Franske Encyklopædi i 1751 markerer afslutningen på den videnskabelige revolution. Efter en revolution skal resultaterne konsolideres, og det er encyklopædien

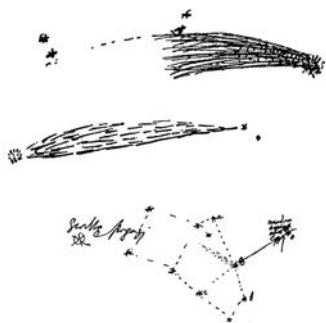


en start på. Derefter sker det ved udviklingen af et vidensproducerende system, hvor forskningsinstitutioner, læreanstalter, eksperter, industrilaboratorier osv. indgår som helt centrale elementer.

Den videnskabelige revolution ændrer på forholdet mellem filosofi og videnskab, og den etablerer en bestemt forestilling om, hvad der udgør videnskabelig viden. Den giver også elementer af en verdens- og naturopfattelse. Man siger ofte, at verdensbilledet bliver *mekanisk*. Verdensbilledet – forestillingen om, hvad der er virkeligt og væsentligt – og naturopfattelsen – forestillingen om den fysiske verdens indretning og væsen – bliver næsten sammenfaldende i ideen om, at naturen dybest set er en art særlig kompleks maskine, og at den fysiske verden – universet – dybest set er det eneste virkelige, i modsætning til et verdensbillede, hvori der f.eks. indgår engle og andre typer åndelige væsener. Det giver igen anledning til overvejelse af forholdet mellem religion og videnskab. Hvor religionen med sine åbenbarede sandheder i middelalder og renæssance havde en selvfølgelig og gudgiven autoritet, trænges den nu mere og mere tilbage af viden baseret på eksperiment og observation.

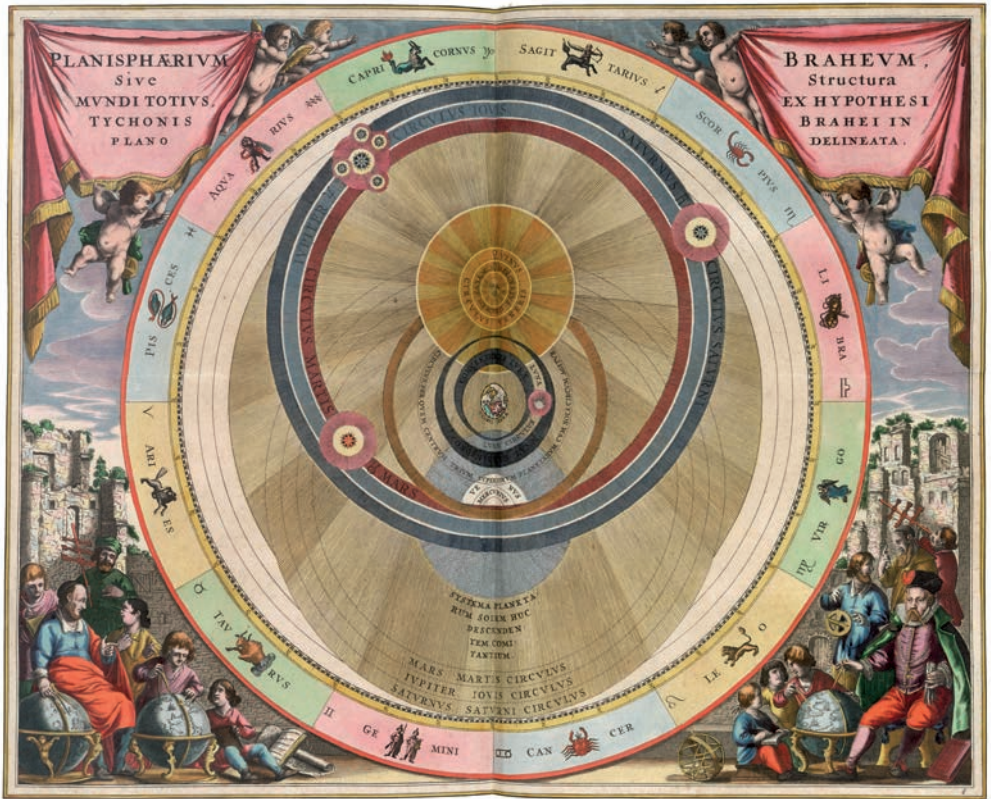
## Kortlægningen af den ydre og indre verden

Et afgørende element i den videnskabelige revolution var således opgøret med aristotelismen. Det fremstilles ofte på den måde, at de afgørende personer – Bacon, Galileo, Descartes – opgav troen på den aristoteliske autoritet og i stedet indsatte troen på egen erkende- og tænkeformåen. I virkeligheden ligger den tendens i renæssancen som sådan. Den danske astronom Tycho



Tycho Brahes skitser af den komet, han så i 1577 · Det Kongelige Bibliotek.

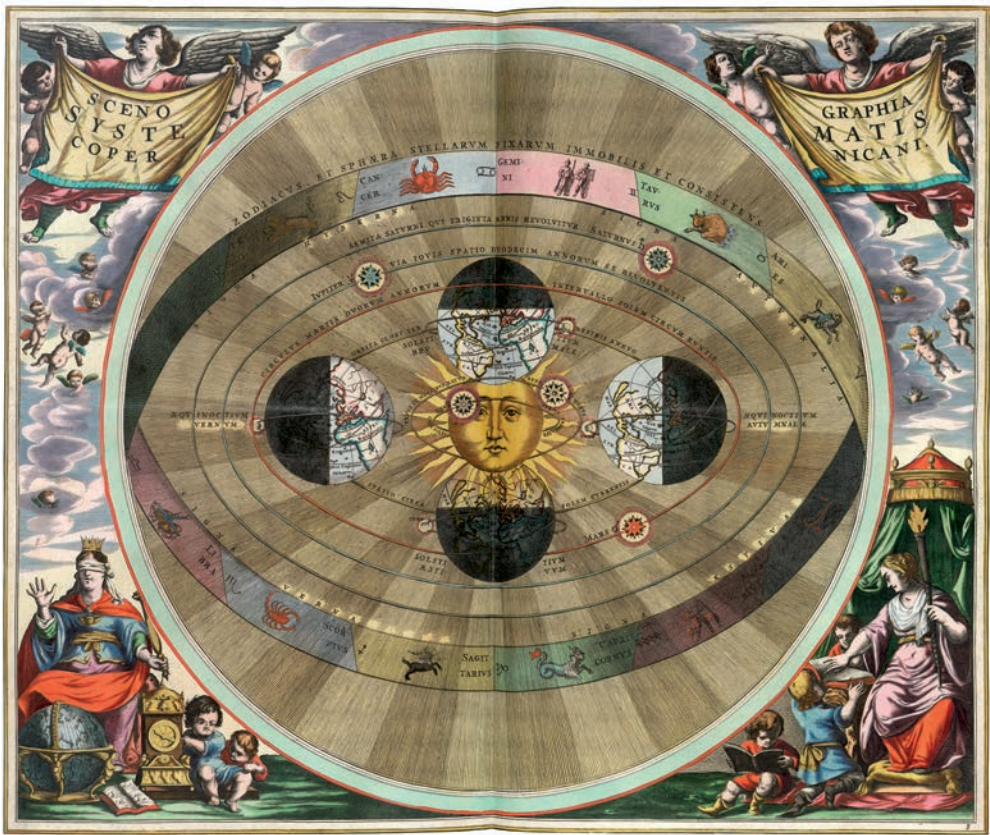
Brahe (1546-1601) er et eksempel. For en aristoteliker var den himmelske sfære en evig og uforanderlig verden, hvor stjernerne var faste, og planeterne bevægede sig omkring Jorden i baner styret af helt andre love end dem, der var gældende på Jorden. Matematik – i form af geometri – kunne beskrive disse himmelske fænomener. I året 1572 observerede Tycho Brahe en ny stjerne, hvis udvikling han fulgte frem til 1574, hvor den ikke længere kunne ses. I 1577



observerede og målte han på en komet, hvis bane var således, at den nødvendigvis måtte flyve igennem flere af de aristoteliske sfærer, som planeterne bevægede sig på (s. 37). En foranderlig stjerne og et himmelgеме, der bevægede sig på tværs af planetsfærerne, var begge fænomener, som på ingen måder passede ind i det aristoteliske verdensbillede: det foranderlige tilhørte Jorden, og planetsfærerne var en art faste kugler, som intet burde kunne passere igennem.

Brahe begyndte, som adskillige andre, at tvivle på det aristoteliske verdensbillede og den aristoteliske videnskab. Opgøret var startet i begyndelsen af 1500-tallet, da den polske læge, præst og astronom Nikolaus Kopernikus (1473-1543) arbejdede med et verdensbillede, hvor Solen, ikke Jorden, var i centrum af planetsystemet. En sådan model kunne løse ganske mange problemer. F.eks. opførte planeterne Merkur og Venus sig anderledes, end de andre planeter, fordi de cirkulerede omkring Solen i baner inden for Jordens cirkelbane, og Mars og andre planeter bevægede sig både frem og tilbage på

Tycho Brahes opfattelse af universet. Fra Andreas Cellarius' *Atlas Coelestis seu Harmonica Macrocosmica*, Amsterdam 1660.



Kopernikus havde foreslået en model af universet baseret på nogle simple antagelser, nemlig at Solen var i centrum, og at planeterne bevægede sig i cirkler udenom. Fra Andreas Cellarius' *Atlas Coelestis seu Harmonica Macrocosmica*, Amsterdam 1660.

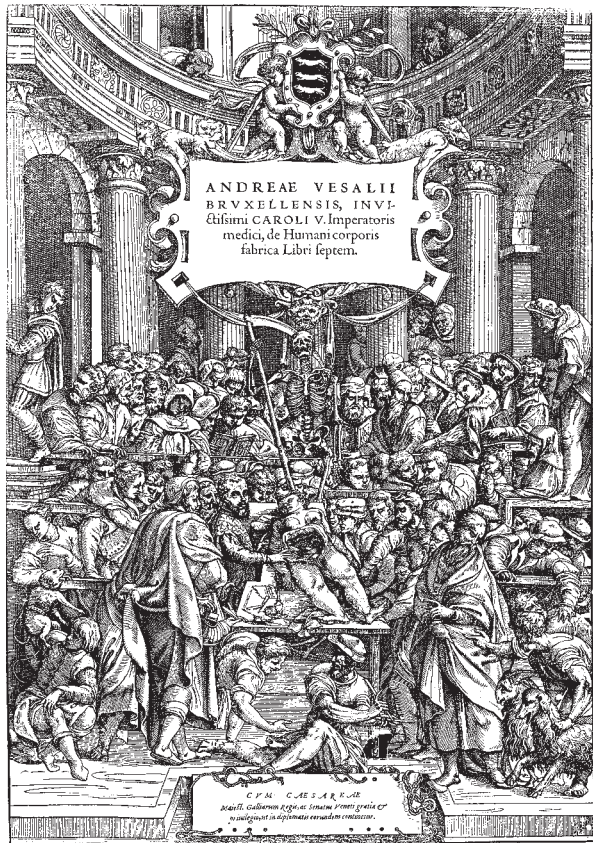
himlen. Det var nemt at forklare, hvis man antog, at de observeredes ikke fra et centrum i universet, men fra en planet, der selv cirkulerede omkring et centrum. Det betød samtidig, at man måtte antage, at Jorden selv drejede sig om sin akse én gang i døgnet, ellers kunne man ikke forklare Solens og stjernernes tilsyneladende rotation.

Men få fænomener syntes at understøtte en påstand om, at mennesket stod på en jordoverflade, der bevægede sig rundt i voldsom fart, som en art karrusel. Og hvis Jorden bevægede sig i en stor cirkel omkring Solen, burde sigtevinklerne til stjernerne ændre sig året igennem. Det var også svært, med datidens instrumenter umuligt, at observere. Så det var en dristig hypotese, og den stred imod religionens dogmer. I 1543, samme år som han døde, offentliggjorde Kopernikus sine teorier i værket *De Revolutionibus Orbium Coelestium*. En udgiver skrev et forord til værket, hvori det blev fremstillet





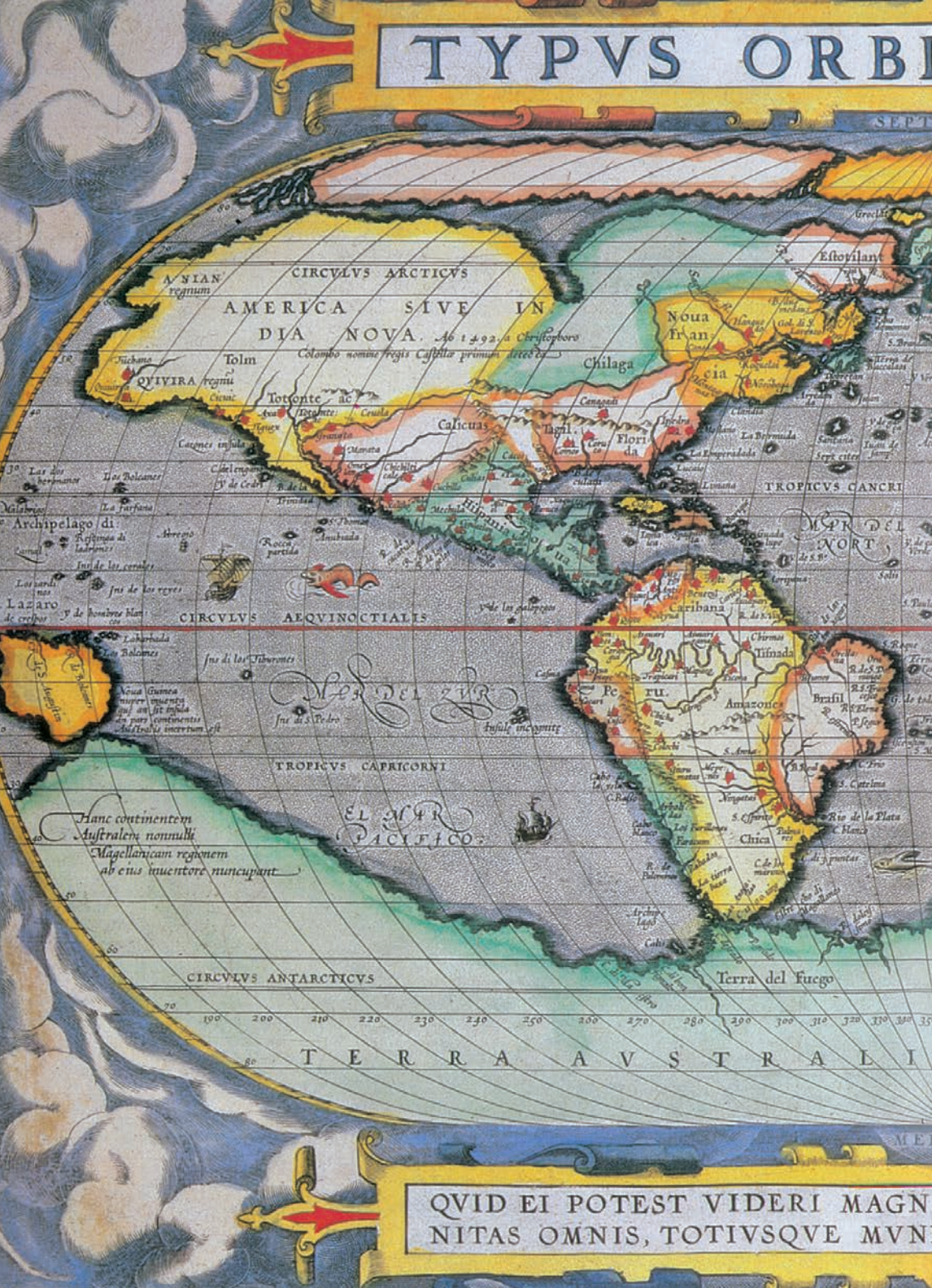
Frontispice og indhold fra Andreas Vesalius' *De humani corporis fabrica*, 1543.



mere som en for beregninger praktisk hypotetisk model, end som en faktisk beskrivelse af, hvordan verden var indrettet. Mange læsere tog det dog bogstaveligt. Alligevel troede Kopernikus stadig på planetsfærer, dem, som Brahes teori om kometer satte spørgsmålstejn ved. Så det var ikke alt, der blev kuldkastet med ét. Men en proces var sat i gang.

Samme år som Kopernikus' bog blev offentliggjort, kom der en anden betydningsfuld og fremragende bog: Andreas Vesalius' (1514-64) *De humani corporis fabrica*. Vesalius var anatom ved universitetet i Padova, født i Bruxelles. Han var utilfreds med den overleverede anatomi, der stammede fra den romerske læge Galen (ca. 129-199), og gav sig til selv at studere legemet. Det var noget, samtidens kunstnere opfordrede til og ofte selv gjorde – mest kendt er Leonardo da Vincis anatomiske studier. Vesalius opdagede, at flere overleverede anskuelser var forkerte. Man troede f.eks., at mænd havde flere ribben end kvinder. Vesalius viste, at det var forkert. Han tvivlede også på den aristoteliske teori om, at hjertet var sæde for følelserne, og pege-





Dette første verdensatlas *Theatrum Orbis Terrarum* (Verdensteatret) fra 1570 blev lavet af Abraham Ortelius af Antwerpen (1527-98) efter opfordring fra hans gode ven Mercator.



# S TERRARVM.



S NON DV M COGNITA.

DIES

IN REBVS HVMANIS, CVI AETER- NI NOTA SIT MAGNITVDO. CICERO:

Atlasset blev solgt i mange eksemplarer både på latin, flamsk, fransk og tysk. Læg mærke til den meget forkerte form af Sydamerika, hvilket blev rettet i den franske udgave i 1587.

de på, at det nok snarere var hjernen. Vesalius' bog var banebrydende både ved at skabe grundlaget for en videnskabelig og på observation baseret anatomi, og ved at være en uhørt velillustreret lærebog, der satte standarden for videnskabelige bøger i de følgende århundreder.

Næsten samtidig arbejdede geografen og kartografen Gerardus Mercator (1512-94) i Flandern med at fremstille ikke et anatomisk atlas, men et atlas over Jorden. Det blev offentliggjort i 1578. Han fremlagde også kort i en bestemt projektion, "Mercators projektion", der var af afgørende betydning for søfarten – nutidens søkort er stadig i denne projektion. Den har den afgørende egenskab, at den er vinkelbevarende. Med et sådant kort og et kompas kan man navigere meget effektivt med, idet kompasset netop viser vinklen mellem retningen til Nord og den vinkel, man bevæger sig efter. Mercator lagde typisk vægt på, at hans arbejde ikke bare var noget, der gav viden, men at denne viden også kunne anvendes i praksis.

Kopernikus, Vesalius og Mercator kunne fremlægge deres ideer og resultater i trykte bøger, der kunne sælges på et stort set frit marked. Og de kunne supplere teksten med billeder fremstillet ved gravering, hvilket muliggjorde en hidtil uset illustrationskvalitet. For anatomi og kartografi var det selvsagt revolutionerende. Først med fotografiets fremkomst sker der igen en væsentlig ændring.

## Lad kendsgerningerne tale

Omkring 1600 begyndte en ny fase. I dette år fik den katolske inkquisition den mystisk inspirerede munk Giordano Bruno (1548-1600) brændt for nogle kontroversielle anskuelser om verdens indretning. De var inspireret af Kopernikus' ideer, sammentænkte Gud og naturen, og indeholdt et opgør med det aristoteliske verdensbillede. Samtidig med denne kætterbrænding blev der flere steder startet nyt, afgørende arbejde. I England formulerede embedsmanden og filosofen Francis Bacon (1561-1626) et nyt anti-aristotelisk forskningsprogram i en række værker. Der skulle en ny begyndelse til, noget Bacon klart antydede i sine valg af titler: *Novum Organum* ("Nyt Værktøj") og *Great Instauration* ("Den store Genopbygning"). I Prag arbejdede astronomen Johannes Kepler (1571-1630) med en revidering af Kopernikus' beskrivelse af solsystemet på basis af Tycho Brahes omhyggelige og for samtiden uhyre nøjagtige observationer af planeter og andre him-



melfænomener. Og endelig i Pisa og senere Padova begyndte Galileo Galilei (1564-1642) at studere bevægelsesfænomener uden på forhånd at antage, at Aristoteles' teori om bevægelse var korrekt.

Kepler var i begyndelsen aristoteliker, men på et tidspunkt – formodentlig omkring 1605 – afsvor han sig disse anskuelser og ville starte på en frisk. Det skulle ske med nye instrumenter, først og fremmest kikkerten. Men som altid er det svært at være nyskabende på alle områder. Det var således en lang og træg proces, snarere end en pludselig revolution. Men det centrale var, at han ville foretage observationer og eksperimenter. Kepler og andre forskere opdagede dog hurtigt, at det er vanskeligt at forstå og fortolke observationer og eksperimenter, uden at man har nogle hypoteser og teorier at gøre det ud fra. Man kan sågar afvise relevansen af f.eks. observationer og eksperimenter – dengang kunne man f.eks. opleve forskere, der nægtede at godtage observationer foretaget med kikkert, fordi man her ikke så genstanden direkte, men igennem et rør og igennem glas. Hvordan kunne man vide, at kikkerten gav et korrekt billede af virkeligheden? Selvfølgelig kun ved at acceptere en teori om, hvordan kikkerten virker, dvs. optik. Og denne optiks gyldighed kunne der også være stor uenighed omkring. Man manglede ganske simpelt et fælles, anerkendt fundament at arbejde ud fra.

Men grundlæggende var den nye videnskabelige attitude, at man skulle basere sig på observation, på det man kunne se med egne øjne. Det blev tolket som at “læse i naturens bog”, snarere end i andre forfatteres bøger. Alle de, der skabte den moderne videnskab – Bacon, Galileo, Boyle, Newton m.fl. – fokuserer på det helt afgørende i, at man holder sig til, hvad man *selv* kan se, og ikke til hvad andre fortæller. Det bliver til begrebet om “kendsgerningerne” og deres tale. Det måske mest kendte eksempel, på hvad egen observation kan medføre, er Galileis oplevelser med kikkerten. I begyndelsen af 1600-tallet var kikkerten opfundet, og Galilei fik et eksemplar. I årene 1608-9 rettede han så denne kikkert imod himlen. Og det, han så, stred klart imod, hvad han efter autoriteterne burde se. Der var mange flere stjerner på himlen end de, man kunne se med det blotte øje. Månen havde noget, der lignede bjerge, den var ikke en glat kugle. Venus havde faser ligesom Månen, og der var måner omkring Jupiter. Verden var helt anderledes indrettet, end den ifølge de gældende bøger burde være.

Galilei publicerede sine observationer i bogen *Siderius Nuncius* (“Stjernerbudbringeren”) i 1610. Denne bog skabte sensation og gjorde Galilei



Den romersk-katolske kirke ville som bekendt ikke selv se efter i kikkerten, hvilket førte til en af de mest berømte retssager i verdenshistorien. På baggrund af sin bog *Dialogerne om de to verdenssystemer* blev Galileo Galilei i 1633 sat i husarrest. Først i 1992, 350 år efter Galileis død, indrømmede paven, at kirken havde behandlet sagen uheldigt, dog uden at indrømme, at kirken havde gjort en fejl ved at dømme Galilei for kætteri på basis af hans tro på, at Jorden drejer rundt om Solen. Her ses Galileis kikkerter, der i 1620 allerede kunne forstørre 30 gange.

berømt. Han havde med egne øjne – godt nok igennem en kikkert – set, at den aristoteliske videnskabs dogmer ikke passede med kendsgerningerne, med hvad man selv kunne se.

I enhver forskning er der imidlertid også tale om et intrikat samspil imellem fornuften og kendsgerningernes tale. Man kan tænke sig til en række ting, hvis man bare starter fra de rigtige udgangspunkter. Disse må være selvindlysende i den betydning, at de ikke baserer sig på nogen særlig autoritet eller overlevering, som ikke direkte kan efterprøves. Euklids geometri kan accepteres, mens aristoteliske påstande om, at alt søger imod Jordens centrum, fordi det er tingenes naturlige plads, ikke kan accepteres. Vi kan følge Euklids tanker, hvorimod Aristoteles' faktisk udelukker mange fænomener, som kan observeres i hverdagen.

Man stod altså på denne tid i et skisma: hvordan tænke over verdens fænomener, hvis det ikke skulle ske aristotelisk? Den nye måde blev den matematiske, som bl.a. Kepler, Galileo og Descartes tilsluttede sig. Tanken var, at det måtte være muligt at anvende matematisk tænkning på naturen, og at sammenknytningen skulle ske via målinger. Men måling resulterer i tal, og den overleverede matematik var geometrisk funderet. Det var derfor et afgørende problem at få skabt en matematik, der muliggjorde sammenknytning af observation, eksperiment og teori.

Den centrale skikkelse, der skabte sammenhængen mellem måling og beregning, var René Descartes (1596-1650). Med sit arbejde inden for matematikken viste han, hvordan det er muligt at udtrykke geometriske sammenhænge med en aritmetisk – dvs. talbaseret – matematik. Koordinatsystemer og ligninger blev den centrale måde at udtrykke viden og naturlove på. Linjer, parabler, cirkler og ellipser kunne beskrives aritmetisk, og det er muligt at omsætte tal til kurver og kurver til tal. Det kaldes den analytiske geometri.

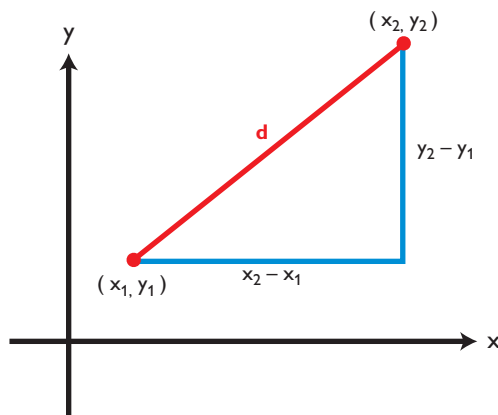
Man mente, at viden om naturen var matematisk, fordi naturens bog var skrevet i matematikkens sprog. Men matematikkens sprog ændrede sig lang-

somt til at være *tallenes* tale – den gik fra at være geometrisk til at blive aritmetisk. Det var en proces, der var fuldt gennemført efter midten af 1600-tallet. Tycho Brahe spillede en væsentlig rolle i denne udvikling med sine målinger i slutningen af 1500-tallet, der blev foretaget med stadig større nøjagtighed. Han samlede tusindvis af astronomiske observationer og arbejdede målrettet med at udvikle måleinstrumenter. I løbet af 1600-tallet udvikledes mange andre måleinstrumenter. Nøjagtigere ure, der kunne måle ikke kun tid som klokkeslæt, men netop tidsintervaller, dvs. hvor lang tid en bestemt proces tager. Termometre til måling af temperatur, barometre til måling af tryk, vægte til måling af masse osv. Udvikling af måleinstrumenter krævede også fastlæggelse af måleskalaer og måleprocedurer. Og det krævede teorier om, hvad det egentlig var, man målte – og teoretiske begrundelser for, at man faktisk kunne måle et bestemt fænomen med en bestemt metode.

Et berømt eksempel er lufttrykkets ændring, når man stiger op ad et bjerg. Dette problem hang nøje sammen med diskussionen om muligheden for det tomme rum, og forståelsen af hvad luft og lufttryk egentlig er. Hvis trykket faldt, når man steg opad, ville det bidrage til at bekræfte en teori om, at der var et lufttryk, og at det skyldtes vægten af den luftsøjle, der befandt sig over en. Hvis man steg op, ville denne vægt blive mindre, fordi luftsøjlen “blev kortere”, og en måling af trykket skulle kunne vise dette. Et barometer kunne altså være en art højdemåler. Men målingen krævede målemetoder med rimelig stor nøjagtighed og en brugbar måleskala. Matematikeren og filosofen Blaise Pascal (1623-62) var involveret i netop disse problemer omkring teorier for tryk, og hans bror steg i 1648 op på et bjerg i Midtfrankrig og viste, at trykket vitterligt faldt, når man steg opad.

Galilei arbejdede med det frie fald og med en kugles bevægelse ned ad et skråplan. Det involverede også måling, nemlig af tid og af længde. Tidsmåling var

Descartes' analytiske geometri gjorde, at man kunne beskrive geometriske kurver på en algebraisk form ved at bruge det cartesianske koordinatsystem. F.eks. ville man kunne finde afstanden  $d$  mellem hvilke som helst punkter  $(x_1, y_1)$  og  $(x_2, y_2)$  i det cartesianske koordinatsystem ved at bruge Pythagoras' sætning, dvs.  $d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ .







især et problem. Galilei havde allerede som ung observeret, at et pendul svingede med konstant svingningstid. Det blev en central faktor i udviklingen af nøjagtigere ure. Aristoteliske fysikere hævdede, at en genstand, der bevæger sig, har en hastighed, der er proportional med den kraft, der påvirker genstanden. Ville man forsøge at vise, at det var tilfældet, skulle man altså kunne måle både kraft og hastighed. Men man manglede ganske simpelt en brugbar teori om kraft. Galileo begyndte arbejdet med at udvikle en teori om bevægelse, og han opdagede, at den aristoteliske teori var forkert. I stedet beskrev han lovene for en jævnt accelererende bevægelse, sådan som han kunne observere dem.

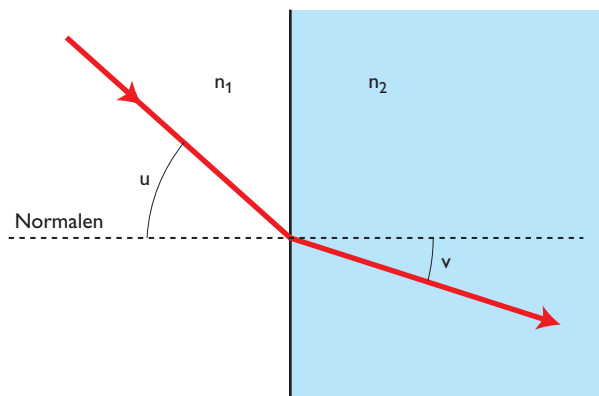
Galilei udviklede også en geometrisk model for et legeme i frit fald, som så kunne sammenknyttes med det observerede. Ud fra denne kunne han drage en hel række af væsentlige slutninger. Først og fremmest den, at under et frit fald er det accelerationen, der er konstant, og ikke hastigheden. Ved jævn hastighed, eller ved hvile, er der ikke nogen påvirkning. Dynamisk set er jævn bevægelse eller ingen bevægelse ikke til at skelne fra hinanden. Man kan altså ikke umiddelbart skelne mellem, om man befinder sig på en Jord, der er i hvile i universets centrum, eller en Jord, der med jævn hastighed bevæger sig rundt om

Galileo Galilei opdagede bl.a., at tætheden af en væske ændrer sig alt efter temperaturen. Uden at vide hvorfor det forholdt sig sådan, brugte han opdagelsen til at udvikle et tidligt termometer, det såkaldte termoskop, der indeholder små glaskugler med forskellig vægt, og som stiger op og synker ned alt efter temperaturen i rummet. Den aktuelle temperatur vises af den midterste glaskugle, som hverken flyder eller synker, men er i ligevægt med vandets massefylde. Her ses en moderne rekonstruktion.

Solen; og heller ikke, om Jorden står stille eller roterer omkring sin egen akse med en jævn rotationshastighed. Hvad der betyder noget, er derimod acceleration. Galilei gjorde også op med forestillingen om, at accelerationen var afhængig af et legemes masse, dvs. at tunge legemer ville falde hurtigere til jorden end lette. At dette ikke kunne være tilfældet, kunne nemt indsnes, hvis man f.eks. foretog et tankeeksperiment, hvor man bandt en lille og en stor kugle sammen. Hvis de to kugler hver for sig faldt med forskellig hastighed, den lille langsommere end den store, så måtte det betyde, at det sammenbundne objekt faldt langsommere, end den store kugle ville falde af sig selv, idet den lille kugle ville holde igen på den store. Men det sammenbundne objekt var jo tungere end den store kugle, og dét måtte ud fra samme regler medføre, at det faldt hurtigere end den tunge kugle. Det var en modstrid. Kun hvis de to kugler faldt lige hurtigt, kunne man undgå dette paradoks. Galilei arbejdede således ikke kun med konkrete fysiske eksperimenter og observationer, han søgte også at finde frem til, hvordan ting var, eller især ikke var, igennem tankeeksperimenter, og dermed afsløre logiske brist i tidligere teorier.

Galilei udtrykte sig stadig i et geometrisk sprog, men som nævnt arbejdede andre med at muliggøre, at natursammenhænge kunne udtrykkes i ligninger. Et af de første eksempler er loven om lysbrydning ved en lysstråles passage fra et medium til et andet, f.eks. når en lige pind, der stikkes ned i vand, opleves som knækket ved vandoverfladen. Descartes formulerede i 1637 denne lov som  $\frac{\sin(u)}{\sin(v)} = k$ , hvor  $u$  og  $v$  er vinklen mellem lysstrålen og en linje vinkelret på grænsefladen mellem de to medier, som lysstrålen passerer igennem.

Descartes brugte sin ligning til at forklare visse fænomener knyttet til regnbuer, ud fra en tese om at regnbuer opstår, når sollys brydes i vanddråberne i luften ved regnvejr. Descartes kunne så forudsige forskellige forhold og ved målinger vise, at de passede med det faktisk forekommende. Det blev ligesom Galileis arbejder med det frie fald og skråplanet meget indflydelsesrige eksempler på, hvordan man som videnskabsmand burde arbejde ud fra eksperiment og observation. Ydermere kunne man ud fra eksperimenter også drage tekniske og andre praktiske konklusioner. Galilei studerede således både kanonkuglers bevægelse og bygningers strukturelle egenskaber, primært knyttet til studier af bjælkens styrkeforhold. Det var studier, der resulterede i teorier af enorm praktisk betydning, ligesom de matematiske



Descartes' lov, også kaldet Snells lov (efter den hollandske matematiker Willebrord Snel (1580-1636), som fandt den uafhængigt af Descartes), bruges til at beregne brydningsindekset  $k$  mellem to lysbærende medier. Den siger, at forholdet mellem de to vinkler  $u$  og  $v$ , vinkelret til grænsefladen (kaldet normalen), er det samme som forholdet mellem de to mediers brydningsindeks  $n_1$  og  $n_2$ :  $\frac{\sin(u)}{\sin(v)} = \frac{n_2}{n_1} = k$ . Som tommelfingerregel vil lyset brydes i retning af normalen i et tættere medie som f.eks. vand, glas, krystaller osv., som det ses her.

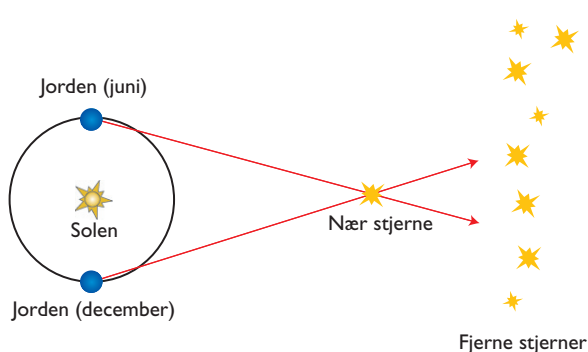
studier af lyset og dets bevægelse i linser fik enorm betydning for udviklingen af nye instrumenter, såsom mikroskop og kikkert, og for forbedring af bl.a. briller.

## Naturlove som norm

Kopernikus havde foreslået en model af universet, hvor Solen var i centrum, og planeterne bevægede sig i cirkler udenom. Men skulle dette passe med det observerede, gav det problemer. Hans system måtte modificeres, så det blev lige så komplekst som Ptolemaios' geocentriske system. Derudover var der et væsentligt problem med fænomenet parallaxse, dvs. det at sigtevinklen til en stjerne ændrer sig i løbet af året, fordi Jordens position i forhold til stjernerne ikke er konstant. Men man kunne ikke måle denne forskel, som burde være der. Kopernikus' system forklarede dog, hvordan det kunne være, at en planet som Mars tilsyneladende vandrede frem og tilbage på himlen. Der var også begrebslige problemer med Kopernikus' system, for hvis Jorden bevægede sig om Solen med stor hastighed, så burde ting opføre sig anderledes, end man oplevede – en sten kastet ud fra et tårn burde f.eks. lande et stykke væk fra tårnets fod. Hvis Jorden drejer én gang på 24 timer og har en omkreds på mere end 40.000 km, burde det endda være en ret stor afstand – over 400 m, hvis faldet varede i ét sekund. For at få tingene til at hænge sammen krævedes der en helt ny forståelse af bevægelse, af de mekaniske love. Det var det, Galilei gik i gang med i begyndelsen af 1600-tallet, og som Newton fuldførte nogle årtier senere.

På basis af en meget stor mængde observationer af planeterne formule-

Parallakse er den tilsyneladende ændring af et observeret objekts position, der skyldes betragterens egen bevægelse. Fordi Jorden bevæger sig i en bane rundt om Solen, ser vi hele tiden himlen fra en ny position. Derfor skulle man forvente at se en årlig parallakseeffekt, der fik især de nærmeste objekter til at bevæge sig frem og tilbage som følge af Jordens bevægelse om Solen. Dette finder faktisk sted, men selv de nærmeste objekter i universet befinder sig alligevel så langt væk, at der skal omhyggelige målinger udført med et teleskop til for at registrere dem.

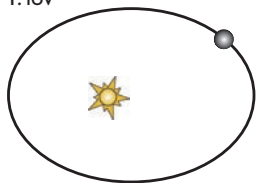


rede Kepler i begyndelsen af 1600-tallet en modifikation af Kopernikus' system, der løste en lang række problemer. Han hævdede, at planeterne ikke bevægede sig i cirkler omkring Solen, men i ellipser, og at Solen befandt sig i et af ellipsens to brændpunkter. Endvidere mente Kepler, at en planets hastighed i banen ændres, og at der er en simpel sammenhæng imellem ellipsebevægelsen, hastigheden og afstanden til Solen, sådan at i lige store tidsrum vil en linje fra Solen til planeten afstryge lige store arealer.

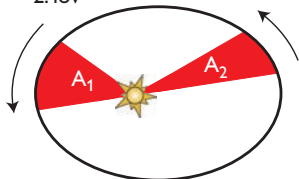
Keplers love passede med observationerne, men gjorde også op med forestillingen om, at alle bevægelser i universet var simple cirkelbevægelser. Kepler forstod i første omgang planeternes bevægelse som udtryk for universets beåndethed og tænkte dem ind i en stor matematisk og mystisk sammenhæng. Senere kom han til at se planeternes bevægelse omkring Solen som udtryk for resultatet af en kraft mellem Solen og planeterne. Det var en teori, som Newton senere skulle fuldføre. For Kepler var lovene udtryk for universets harmoni, og han forsøgte at forklare samspillet mellem Solen og planeterne som udtryk for en fysisk krafts virkning. Den kraft, han specielt tænkte på, var den magnetiske tiltrækning, som den engelske forsker William Gilbert (1544-1603) havde beskæftiget sig med, og som måtte spille en rolle for planeterne, da Jorden ifølge Gilbert fungerede som en stor magnet.

Det blev Newton, der i 1687 formulerede en samlet mekanisk fysik, der kunne give en beskrivelse af både de jordiske fænomener, som Galilei havde beskrevet, og af de astronomiske fænomener, som Kepler havde opdaget. Vejen hertil var dog langt fra ligetil. Galilei havde bidraget kraftigt til, at man kunne acceptere et kopernikansk verdensbillede og havde skabt basis for

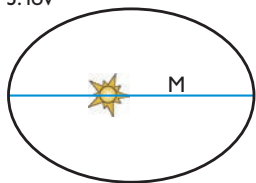
1. lov



2. lov



3. lov



Keplers modifikation af Kopernikus' system fra begyndelsen af 1600-tallet. Hans første lov siger, at planeterne bevæger sig ikke i cirkler omkring Solen, men i ellipser, og at Solen befinder sig i et af ellipsens to brændpunkter. Anden lov siger, at en planets hastighed i banen ændres, og at der er en simpel sammenhæng imellem ellipsebevægelsen, hastigheden og afstanden til Solen, sådan at i lige store tidsrum vil en linje fra Solen til planeten afstryge lige store arealer, så  $A_1 = A_2$ . Kepler tilføjede nogle år senere en tredje lov, der sagde noget om sammenhængen mellem planeternes omløbstid om Solen og deres (middel)afstand til Solen. Den siger, at  $P^2/M^3$  er den samme for alle planeter (hvor  $P$  er varigheden af en fuld cyklus, og  $M$  er længden af ellipsens hovedakse).

en eksperimentel forståelse af bevægelse. Kepler havde modificeret det kopernikanske system, så det blev simpelt og beskriveligt med få matematiske love. Men det store spørgsmålet lød på, om de jordiske kræfter, som f.eks. opererede, når kugler trillede ned ad skråplaner, var de samme kræfter, der var gældende i solsystemet? Gjaldt lovene for bevægelse på Jorden også for planeternes bevægelser – og dermed for bevægelse overalt?

Engang i 1680'ernes begyndelse spurgte en af Newtons venner ham om, hvordan sammenhængen mellem Keplers love og kraften mellem Sol og planeter var. Newton svarede, at hvis kraften var omvendt proportional med kvadratet på afstanden, ville planeterne bevæge sig i ellipser omkring Solen. Vennen bad om at få en redegørelse. Det blev til Newtons hovedværk *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* ("Naturfilosofiens matematiske principper"). I dette værk fremlægger Newton en samlet fremstilling af de lovmæssigheder, der gælder for bevægelse, og viser, at disse kan forklare, hvordan solsystemet er bygget op. Dermed viser han også, at det er de samme principper, der gælder for bevægelse på Jorden og i universet som helhed. Når man ser Solens og Månens op- og nedgange, og når man kaster en sten eller sparker til en bold, er det således de samme kræfter, der er på spil. Descartes havde allerede tidligere hævdet, at naturen var én natur, indeholdt i et uendeligt rum og med de samme lovmæssigheder gældende overalt. Ved et tankeeksperiment viste Newton f.eks., at hvis man kaster en sten ud fra en bjergtop, er det teoretisk set muligt at kaste den så hurtigt, at den vil blive til en lille måne, sådan som det sker med satellitter.

Månen holdes i sin bane omkring Jorden af samme kræfter og efter samme lovmæssigheder som en sten, der falder til Jorden. Newton kunne, ud fra tre simple love for bevægelse samt en tese om, at der mellem

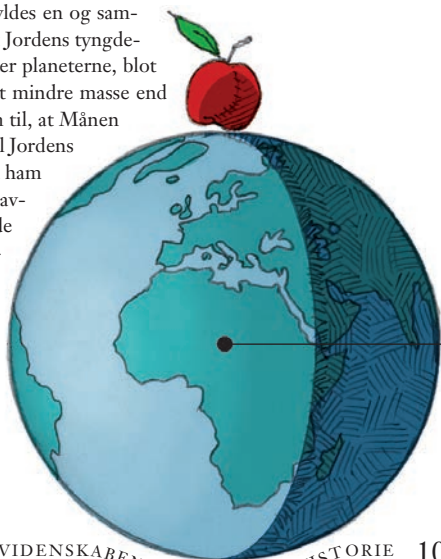


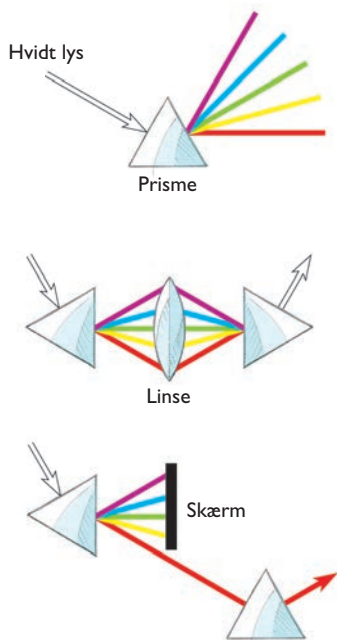
alle legemer var en tiltrækning – tyngdekraften – der afhang alene af massen af legemerne og deres afstand, forklare stort set alle kendte bevægelsesfænomener. Han kunne vise, at under de givne forudsætninger måtte planeter og kometer bevæge sig i ellipser. Han kunne forklare tidevandet og en lang række andres ret uforståelige fænomener. Han gav disse forklaringer ud fra en matematisk analyse og syntese, dvs. han fremlagde løsninger på problemer i en form, hvor man ud fra en række antagelser demonstrerede løsningen matematisk. Han gav sig ikke af med overvejelser af mere naturfilosofisk art, dvs. overvejelser over, *hvorfor* tingene var, som de var. Han ville udelukkende redegøre for de observerede fænomener på basis af en række simple lovmæssigheder og definitioner. Det var den klassiske euklidiske metode.



Med sine værker etablerede Newton en norm for, hvad viden og viden-skab var. Det var i høj grad ham, der viste, at det var muligt igennem eksperimenter at løse en lang række problemer, herunder også at frembringe nye instrumenter og redskaber på basis af denne viden. Newton konstruerede således en ny slags kikkert baseret ikke kun på linser, men også på et forstørrende spejl. Det var også muligt at fremlægge fysiske og astronomiske teorier i matematisk form – hos Newton endnu geometrisk – på en måde, så man ud fra definitioner og fundamentale love og aksiomer kunne aflede såkaldte teoremer, der beskrev det observerede. Med Newtons begreber kunne man

Newton kom ifølge en (givetvis usand) anekdote frem til sin banebrydende ide, mens han lå under et æbletræ og så et æble falde mod Jorden. Kunne det være sådan, tænkte han, at Solen trækker i Jorden, og Jorden trækker i Månen, på samme måde som Jorden trækker i æblet? Kunne det være, at alle disse tiltrækninger og hele solsystemets udformning skyldes en og samme type kraft? Hvis hypotesen var sand, ville man forvente, at Jordens tyngdekraft ville følge den samme regel, efter hvilken Solen tiltrækker planeterne, blot med en anden styrke, der var proportional med Jordens langt mindre masse end Solens. Ved at bruge Keplers 3. lov kunne Newton finde frem til, at Månen måtte have en acceleration, der var kvadrateret på dens afstand til Jordens centrum mindre end accelerationen af det faldende æble foran ham (dvs.  $60^2$  gange mindre). Tyngdekraften på Jordens overflade havde man målt til at være  $9,8 \text{ m/s}^2$ , og Hipparkos havde allerede 2000 år tidligere beregnet, at Månens afstand til Jorden måtte være ca. 60 gange Jordens radius, og derfor burde Månens acceleration omkring Jorden være ca.  $60^2 = 3600$  gange mindre end æblets  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Da Månens acceleration nemt kan beregnes på en anden måde, nemlig via Newtons egen 2. lov om at  $a=v^2/r$ , og resultatet rigtig nok er 3600 gange mindre end  $9,8 \text{ m/s}^2$ , følte Newton sig sikker på at have forstået årsagen til den mystiske kraft, som holder måner og planeter fast i deres baner omkring Solen.





I 1704 fremlagde Newton yderligere et meget væsentligt værk, hans *Optik*. I dette værk studerede han først og fremmest lyset. Han fremsatte en teori om, at lys var en partikelbevægelse, og at hvidt lys – sollys og dagslys – var sammensat af lys med forskellige farver, som vi ser det i spektret. Opfattelsen af lyset som en partikelstrøm var en dristig hypotese – andre hævdede, at lyset var et bølgefænomen – men Newton havde stærke eksperimentelle grunde til at mene, at hvidt lys var sammensat. Newton studerede selvfølgelig mange andre fænomener, og han diskuterede en lang række hypoteser om lysets natur, f.eks. også Descartes' ide om, at lys var en art trykfænomen.

Robert Boyles luftpumpe. Fra ► *New Experiments Physico-Mechanical*, 1660 · History of Science Collections, University of Oklahoma Libraries.

også løse fysiske problemer på samme måde, som man siden i hvert fald Euklid havde løst geometriske problemer. Det var således ikke kun den himmelske sfære, der var matematisk, hele naturbeskrivelsen kunne være det, inklusive den, der drejede sig om jordiske fænomener.

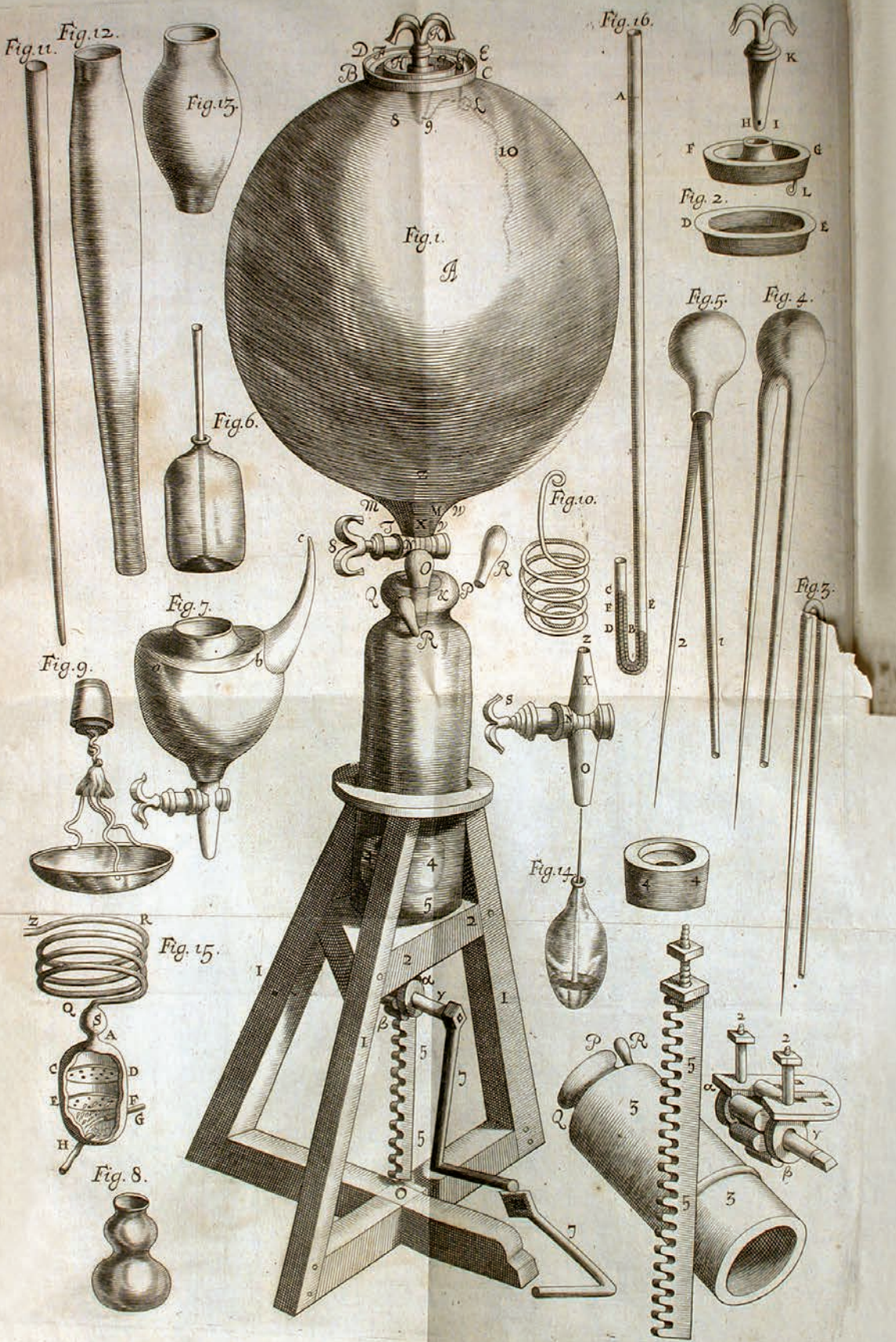
## En mekanisk og deterministisk verdensorden

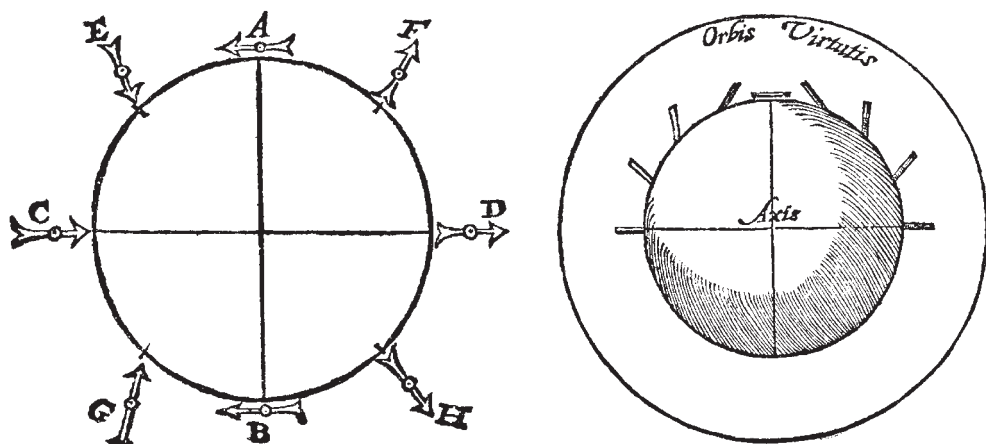
I løbet af 1600-tallet blev der etableret en høj grad af konsensus om, hvordan viden blev produceret, og hvad viden var. Det skete bestemt ikke uden diskussion og kontrovers. Afgørende var imidlertid, at der opstod en videnskabelig institution, f.eks. i form af videnskabelige selskaber, hvor en gruppe af mennesker fik magt og mulighed for at fastslå, hvad der var kendsgerninger, og hvad der ikke var. Kendsgerninger var noget, der var objektivt påviseligt, og med objektivitet mentes, at flere mennesker kunne opleve fænomenet, og at det kunne gentages under forskellige omstændigheder.

Den engelske videnskabsmand Robert Boyle (1627-91) arbejdede i mange år med luften, dens tryk og egenskaber, og med spørgsmålet om det tomme rums eksistens. Han fik konstrueret en luftpumpe, og med den kunne han frembringe et vakuum. Han kunne udforske luftens egenskaber og fremlægge en teori, der støttedes af eksperimenter.

Det videnskabelige samfund var i slutningen af 1600-tallet endegyldigt blevet den instans, der afgjorde, hvad der var viden, og hvad der ikke var. Observation og eksperiment, efterprøvning og gentagelse var afgørende kriterier. Det var ikke ved disputationer eller filosofiske analyser, at man kom frem til kendsgerningerne, men ved at lade dem "tale selv", og det skete først og fremmest i eksperimen-







tet. En redegørelse for viden var således både en teoretisk præsentation, f.eks. i form af en matematisk teori, men også en redegørelse for, hvilke observationer og eksperimenter, der var blevet udført.

Der opstod med andre ord en institution baseret på en bestemt ide om, hvad viden og videnskab var. Videnskabsmændene mødtes i deres selskaber, diskuterede og gennemførte eksperimenter, og sikrede derved objektiviteten. De publicerede deres observationer og resultater i tidsskrifter, så alle i det videnskabelige samfund kunne være orienterede og havde mulighed for at efterprøve og kontrollere. Når medlemmerne var enige om udfaldet af et eksperiment eller resultatet af en observation, og om hvordan tingene passede sammen rent teoretisk, så var der etableret ny viden.

I året 1600 havde William Gilbert som nævnt offentliggjort en bog om magneter, hvori han omhyggeligt på basis af eksperimenter fremlagde en lang række undersøgelser og resultater om magneter. Her kom han også med den hypotese, at selve Jorden var en stor magnet. Selvom han er en tidlig repræsentant for den nye videnskab, var hans forståelse af magnetismen indlejret i en magisk forståelse af naturen, en forståelse som anså naturen for hjemsted for okkulte kræfter, der kun kunne beherskes eller benyttes igennem magi, igennem overtalelse og sammensværgelse. Gilberts model af forskeren var stadig en model, der lignede Faust.

Hvor renæssancen ofte havde opfattet naturen som en art levende organisme, så fremkom der snart en ny opfattelse, der så naturen som en kompleks mekanisme, en art maskine, der kunne minde om f.eks. et meget avanceret ur. Det betød, at naturen dybest set var død, bestod af livløse elemen-



◀ William Gilbert argumenterede for, at Jorden selv er en stor magnet. Bl.a. understregede han ligheden mellem de følgende to fænomener. Til venstreses en kompasnåls hældning på forskellige breddegrader. (Bemærk, at Nordpolen befinder sig ved C.) Til højre ses ligevægtsstillingen af et lille stykke jerntråd i forhold til en rund magnet. History of Science Collections, University of Oklahoma Libraries.

ter eller dele, der i særlige sammenhænge kunne fremvise egenskaber, som kunne opfattes som levende. Selv mennesket var en avanceret maskine, blot udstyret med et særligt element, der kunne styre maskinen – nemlig sjælen med dens vilje og fornuft. Om denne sjæl selv var en art maskine eller noget helt andet, kunne man så diskutere.

Et af de væsentligste elementer i den nye naturopfattelse var, at man fremsatte den tese, at de afgørende lovmæssigheder i universet var de samme overalt. Dernæst, at alting hang sammen gennem årsagssammenhænge, der forløb med nødvendighed, og hvor én begivenhed altid forårsagede en anden begivenhed, der lå senere i forløbet. Man forstod netop disse årsagssammenhænge ud fra konstruktion og benyttelse af maskiner. Naturen som sådan havde ikke selv nogen vilje, indsigt eller beslutningsevne. Den var på ingen måde hverken levende eller handlende.

Descartes' forestilling om naturen var netop, at den var en mekanisme, der skulle forstås med mekaniske modeller. Hvilke disse skulle være, kunne man så strides om. Descartes opfattede naturen som noget, der først og fremmest var udstrakt, idet materiens centrale egenskab netop var udstrækning. Derfor kunne den beskrives geometrisk, og via analytisk geometri derfor også med ligninger. I modsætning hertil opfattede den franske forsker Pierre Gassendi (1592-1655) naturen som bestående af mindste dele – atomer – sådan som også de antikke atomister havde gjort. Boyle og senere Newton havde også en "korpuskulær" – dvs. atomar – opfattelse af naturen, der var i modstrid med Descartes'.

De var dog alle enige om, at naturen skulle forstås som et mekanisk system. Gud havde ganske vist skabt dette system, ingen tvivl om det, men efter at det var blevet skabt, kunne det så at sige klare sig selv og følge sine egne ubøjelige love. Det skyldtes først og fremmest, at al bevægelse og forandring i virkeligheden ikke var ændring. De involverede størrelser forblev totalt set uændrede; bevægelsesmængden før og efter en forandring var altid ens. Bevægelse i sig selv krævede heller ikke en årsag – andet end den oprindelige årsag. Den oprindelige årsag var Guds skabelse af verden, der havde sat en bestemt mængde bevægelse (vi ville måske i dag sige en bestemt mængde energi) ind i verden. Denne var konstant, men kunne være fordelt

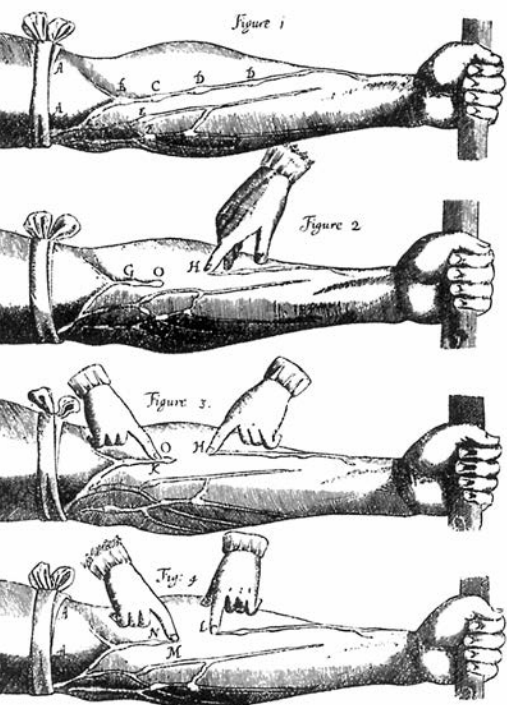


på et utal af forskellige måder. Det var altså ikke bevægelse som sådan, der skulle forklares og analyseres, men *forandring* i bevægelse.

Et uendeligt univers bestående af en vis mængde materie i en bestemt bevægelsestilstand underkastet nødvendige lovmæssigheder – det var, hvad der egentligt eksisterede. Derudover var der selvsagt bevidsthedens fænomener – tanker, oplevelser og følelser – men de var knyttet til noget ganske andet end materien og bevægelsen: de var psykologiske og havde at gøre med sjælen eller psyken. Renæssancens besjælede natur, hvor bevidsthed, følelse, krop og natur var i en art sammenvævet enhed, blev således erstattet af en skarp spaltning imellem den natur, som naturvidenskaben beskrev udefra, og den slags fænomener, som *oplevelsen af og tankningen over* en sådan natur var. Naturvidenskabens beskrivelse af naturen var matematisk og anvendte så få ikke-matematiske begreber som muligt, f.eks. begreber som masse eller kraft, der dog var egenskaber ved genstande eller tilstande, som kunne måles og dermed gives et matematisk udtryk. Det betød samtidig, at en lang række af de egenskaber ved naturen, som vi normalt opfatter som væsentlige,

faktisk ikke blev forstået som egenskaber ved naturen, men snarere ved vores opfattelse af den. Det gjaldt f.eks. farver og lugte, som ikke var objektive fænomener, men subjektive. Den faktisk eksisterende natur, virkeligheden som videnskabsmanden måtte beskrive den, var altså meget anderledes end den, man umiddelbart oplevede gennem sine sanser.

Denne mekaniske opfattelse af naturen fik også stor betydning for udviklingen inden for kemi og biologi. Kemiske og biologiske processer, der netop var blevet betragtet som udslag af “naturens luner”, blev nu betragtet som



William Harveys udforskning af blodårerne i armene førte til hans opdagelse af korrelationen mellem hjertet og blodets cirkulation i kroppen. Her ses planche fra hovedværket *Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus* fra 1628.

af samme art som fysiske processer. Et væsentligt eksempel herpå var f.eks. den engelske læge William Harveys (1578-1657) nye teorier om hjertet og blodets cirkulation fra 1628.

Tidligere anatomer havde haft problemer med at finde de elementer i kroppen, som burde være der, hvis Aristoteles' og Galens teorier om blodet og hjertet var korrekte. Ifølge disse var leveren det afgørende organ, og organismen fungerede ved en række transformationsprocesser mellem føde, blod og diverse former for "ånde", der flød imellem tarm, blodkar, lunger og nerver (se s. 50). Disse sagde også, at der passerede blod imellem hjertets to kamre, og at hjertets funktion var knyttet til diastolen, dvs. til hjertets udvidelse, snarere end dets sammentrækning. Man mente desuden, at blodet flød flere veje i årerne, idet der ikke var nogen klar adskillelse mellem arterier og vener.

Harvey undersøgte alle disse påstande, men kunne ikke ved empiriske undersøgelser (foretaget på halvdøde hunde) finde nogen former for bekræftelse af dem. Han fremlagde derimod en alternativ teori, der opfattede hjertet som en pumpe, hvor sammentrækningen var det centrale – hjertet var altså en muskel – og hvor blodet cirkulerede i kroppen, ud i arterierne og tilbage i venerne. Han havde selvfølgelig problemer med at redegøre for, hvordan blodet kom fra arterier til vener – noget man senere kunne redegøre for, da man via mikroskopet kunne påvise eksistensen af hårkarene. Men ved ret simple målinger og beregninger kunne Harvey imidlertid argumentere for, at blodet nødvendigvis måtte cirkulere: i løbet af ret kort tid pumpede hjertet nemlig mere blod ud, end hele kroppen indeholdt. Hvor skulle dette blod blive af og komme fra, hvis ikke der var cirkulation? Harvey var – ligesom magnetismens udforsker Gilbert – ikke mekanist rent filosofisk. Han troede f.eks., at blodet ikke kun var en fysisk væske, men også hjemsted for åndelige kræfter, der sikrede liv. Descartes derimod så i Harveys teori om hjertet og blodet et klart eksempel på, at man kunne redegøre for også biologiske fænomener rent mekanisk.

## **Om at erkende verden – den moderne filosofi**

Ved renæssancens afslutning og indledningen til den videnskabelige revolution fandtes flere grundlæggende indstillinger til erkendelse og filosofi. Der var fortsat en levedygtig aristotelisme og skolastik, der i flere sammenhæn-

ge var tæt knyttet til væsentlige samfundsinstitutioner, som f.eks. den katolske kirke. Der var også en genoplivning af den antikke skepticisme, der kunne antage relativistiske træk.

Den nye erkendelse, der var knyttet til den nye brug af matematik, eksperiment og observation, skabte også nye holdninger. En af disse understregede, at det var muligt for mennesket igennem brug af fornuften at nå til erkendelse. Matematisk ræsonneren var her modellen: når den matematiske erkendelse kunne knyttes til f.eks. fysiske fænomener, kunne en medfødt fornuft nå frem til erkendelse om virkeligheden. Galilei og Descartes hyldede dette synspunkt. Eksperimenter kunne være nødvendige for at afgøre en situation, hvor fornuften førte frem til flere mulige teorier, der var indbyrdes uforenelige. Og de kunne være nødvendige for at overbevise andre, når argumenter ikke var tilstrækkelige. Men basalt set indeholdt den menneskelige fornuft alt, hvad der var nødvendigt for at erkende verden. Der kunne observeres, tælles og eksperimenteres, og dermed skabes ny viden, ligesom der kunne skabes nye begreber og ideer. Fornuften kunne på den måde også være videnskabskabende. Dog forudsatte det alt sammen de "medfødte ideer", som mennesket som fornuftsvæsen besad. Filosofi og videnskab skulle efter denne fornuftsopfattelse – rationalismen – udfolde mulighederne i disse ideer, ved anvendelse af metodiske regler opstillet i filosofien. Filosofien skulle således fungere som en art tænkningens og erkendelsens grammatik.

Samtidig indeholdt den videnskabelige aktivitet en insisteren på, at erkendelse og viden kun kunne fremkomme igennem interaktion med naturen og dens genstande. Det var erfaringen, der var afgørende – erfaring forstået som sansning, som det sker i ren observation, eller omgang med naturen, som det sker i eksperimenter. Filosofien og lægen John Locke (1632-1704) fremlagde her et synspunkt, der fik afgørende betydning, og som i høj grad har været med til at danne vor tids forståelse af viden og erkendelse. Descartes mente, at viden fremkom ved, at man ud fra nogle generelle begreber og metoder ræsonnerede sig frem. Locke, derimod, mente snarere, at man ud fra konkrete erfaringer – f.eks. ud fra oplevelsen af omverdenen og menneskets sproglige evner – dannede sig generelle og mere abstrakte begreber og metoder. For Locke var den nye naturvidenskab ikke egentlig erkendelse. Ved observation og eksperiment kunne man få nye overbevisninger og meninger, ligesom man kunne finde løsninger på praktiske problemer. Men

selvom Locke anerkendte, at alle naturvidenskabens begreber var dannet ud fra erfaring, bestod *egentlig* erkendelse i at studere relationerne mellem disse begreber. Det var et studium, der kunne udføres alene ved fornuftens hjælp. Geometri var et eksempel på dette. Hvor aristotelikere mente, at erkendelse af naturens genstande bestod i indsigt i disses egentlige essens, så mente Locke, at en sådan indsigt var umulig. Vi kunne kun erfare noget om den af os uafhængigt eksisterende verden igennem sansning og brug af de begreber, som vi gennem sansningen har erhvervet. Men det ville aldrig give os en uafhængig, direkte indsigt i tingene. Al erkendelse og erfaring, sikker eller mindre sikker, måtte formidles via begreber og i en social situation gennem sproget.

Locke var, hvad man kalder empirist, men lagde stadig utrolig megen vægt på fornuftens evne til at ræsonnere, når der skulle frembringes erkendelse. Han var også bevidst om fornuftens begrænsninger, og som sådan en art skeptiker. Lockes praktiske erfaringer fra lægeverdenen og den lægevidenskabelige forskning og hans kontakt med Boyle har tydeligvis præget ham: når man forsøger at erhverve sig viden og opstille teorier ud fra direkte omgang med naturen, ved brug af instrumenter og redskaber, så tænker og ræsonnerer man helt anderledes end teoretikeren og matematikeren. Det betyder ikke, at man ikke bruger fornuften, men dens brug er knyttet til ens konkrete erfaringer og handlinger. For rationalisten, derimod, er sådanne erfaringer ikke i sig selv nogen kilde til erkendelse og viden, men fungerer alene som en art "dommer" i situationer, hvor man er tvunget til at vælge mellem alternative teorier og forklaringer.

For den skolastisk og aristotelisk skolede filosof var verden indrettet med fastlagte kasser og kategorier, og al erkendelse modsvarede disse. Erkendelse var indsigt i tingenes essentielle træk og nødvendige egenskaber. Som sådan var virkeligheden logisk, og da erkendelsen foregik med menneskets fornuft, der også var logisk, var der ingen problemer i forholdet mellem det objektivt eksisterende og den subjektive oplevelse. I det hele taget ville en aristoteliker givetvis slet ikke kunne forstå en sådan distinktion. Der var selvklaart forskel på et bjerg ude i verden og det, der foregik af følelser eller tanker inde i ens hoved – men det var ikke en fuldstændig eller total forskel. Følelser, tanker, måner og bjerge havde alle form og materie og en essens, der kunne erkendes.

Med fremvæksten af den ny videnskabstype ændrede dette sig fuld-

stændigt. Det var dog en lang og sej kamp, da de gamle verdensforståelser stadig dominerede overalt. I lang tid skulle den nye videnskab ikke alene kunne fremlægge resultater og begrunde sig selv filosofisk, den skulle også kunne indpasses i en verdensforståelse, hvor kristendommen var en given og nødvendig forudsætning. Der måtte være plads til en Gud, til Skabelsen og til Treenigheden. Mange filosoffer forsøgte at fremlægge en sammenhængende forståelse af verden, hvor der var mulighed for en matematisk og eksperimentel naturvidenskab og en kristen verdensforståelse på samme tid. Det kunne medføre, at man måtte ændre gudsbegrebet, som f.eks. filosofen Baruch Spinoza (1632-77) gjorde, eller direkte betvivle Treenighedslæren, som f.eks. Newton gjorde.

Et afgørende træk ved alle disse forsøg var, at det enkelte individ og dets muligheder for at opnå erkendelse kom i centrum. Sammenslutninger af pålidelige individer kunne etablere erkendelse, men det skete altid igennem deres individuelle rapporter om, hvad de oplevede eller så. Hvis naturen var en død mekanisme, og mennesket var levende og erkendende, var der en næsten total forskel mellem menneskets erkendelse og det, der blev erkendt. Derudover kom, at hvis menneskets erkendelse dybest set var knyttet til begreber i dets bevidsthed, opstod spørgsmålet om, hvordan disse begreber forholdt sig til det, de var begreber om. Man havde jo oplevet, at hvis man ændrede sine begreber, muliggjorde det nye erkendelser og nye problemløsninger. Det betød, at man ikke på forhånd kunne antage, at der var en simpel sammenhæng mellem verdens indretning og bevidsthedens begreber. Hvis man skal have sikker viden, så er det eneste sikre det, man selv oplever. Men inden for det mekaniske verdensbillede er hovedparten af det, man oplever, subjektivt.

Både Descartes og Locke var enige om, at bevidstheden erkender via begreber – kaldet “ideer” – som både kan være abstrakte og mere direkte være sanseoplevelser. Relationen mellem disse ideer og det, som de er ideer om, bliver et afgørende problem. Descartes og flere andre filosoffer ser her en afgørende rolle – en ny filosofisk baseret rolle – for Gud, nemlig at være garant for denne relation. Gud er med andre ord den instans, der hele tiden garanterer, at f.eks. vores oplevelse af verden ikke er en illusion, men at vores sansning rent faktisk giver os et retvisende billede af verden.

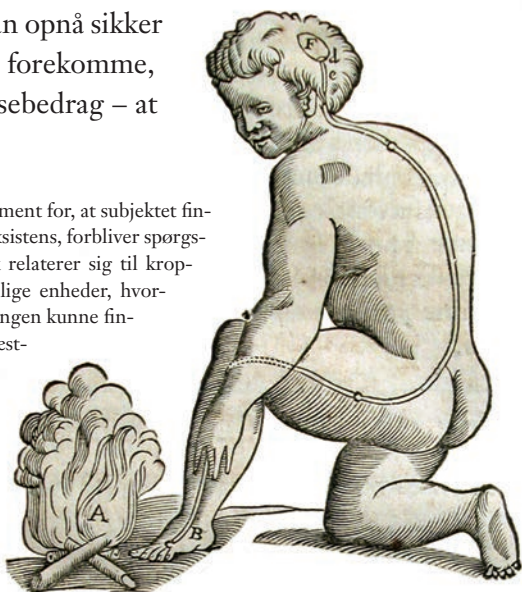
Descartes' måske vigtigste filosofiske bedrift var hans løsning på problemet om, hvad man i grunden kan være sikker på. Den kom han frem til ved



at undersøge, hvad det egentlig vil sige at tvivle eller være usikker på noget. Hvis man er tvivlende eller usikker, så kan man ikke samtidig være tvivlende eller usikker på, *om* man tvivler eller er usikker. Antag, at jeg tvivler på *alting*. Det må jo også betyde, at jeg tvivler på, om jeg tvivler på alting. Men det forekommer umuligt, for den tvivl kunne jo kun være begrundet, hvis jeg var sikker – for at tvivle på at jeg tvivler, ville jo betyde, at jeg var sikker. Men det er jo netop det, jeg tvivler på. Det går altså ikke. Jeg kan tvivle på meget, men ikke på alting, i hvert fald ikke på selve det faktum, *at* jeg tvivler. Derfra slutter Descartes så videre, at tvivl er en art tænkning, og at der derfor tænkes, hvis der tvivles. Men hvis der tænkes, så må der være noget eller nogen, der tænker. Dette noget eller nogen er for Descartes det tænkende subjekt. Subjektets eksistens, min egen eksistens, er altså sikker, hvis jeg starter med at tvivle. Og de klare, entydige og distinkte begreber, som subjektet besidder i sin bevidsthed, er også ubetvivlelige.

Det for Descartes vigtigste af disse er begrebet om et fuldkomment væsen, om fuldkommenheden. Noget kan være dårligt eller mindre dårligt, ergo må noget kunne være godt, og hvis noget er godt, må der også være noget, der er bedst – mener Descartes. Det begreb, vi har om en fuldkomment eksisterende entitet, må nødvendigvis også eksistere. For et begreb om noget fuldkomment, der ikke eksisterer, er en modsigelse. Dette fuldkomne er Gud. Men hvis Gud er fuldkommen, er Gud også algod, og som sådan kan Gud ikke være ansvarlig for at have skabt et væsen som mennesket, der ikke kan opnå sikker erkendelse. Sansbedrag kan altså forekomme, men muligheden af, at alting er sansbedrag – at

Selv hvis man accepterer Descartes' teologiske argument for, at subjektet findes, og at man kan have tiltro til den ydre verdens eksistens, forbliver spørgsmålet åbent om, hvordan vores bevidsthed faktisk relaterer sig til kroppen og hjernen. Hvis hjerne og ånd er to forskellige enheder, hvordan kommunikerer de så? Descartes mente, at løsningen kunne findes i koglekirtlen, som er en lille kirtel, der er fæstnet til bagsiden af den tredje hjerneventrikel. Det er dette "tredje øje", som laver den kausale forbindelse mellem bevidstheden og kroppen. Descartes viser her, hvordan sansepåvirkninger bliver ført hen til koglekirtlen (F), der virker på bevidstheden, og som kan give instruktioner tilbage til kroppen · History of Science Collections, University of Oklahoma Libraries.



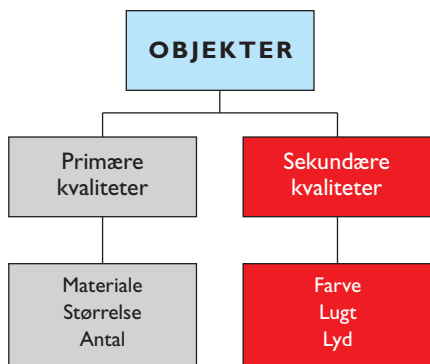
vi som mennesker lever under én stor illusion – det er ikke muligt. Dét garanterer Guds eksistens.

Locke søgte at redegøre for muligheden for troværdig erfaring på en anden måde, der helt enkelt baserede sig på, at menneskets sanseoplevelser forårsages af de ting, der sanses. Hvis der findes genstande, som eksisterer uafhængigt af os og vores erkendelse af dem, så påvirker de vores sanseapparat, og derved fremkommer oplevelsen af dem. Da Locke mente, at denne påvirkning var lovmæssig, var det muligt at få information om det, der påvirker os, ud fra erkendelse af påvirkningens resultat, dvs. vores oplevelse. Locke mente, at man derfor måtte inddele objekter i deres primære og sekundære egenskaber. Primære egenskaber er de ting, som objekter har uafhængigt af, hvordan mennesket sanser dem, f.eks. deres materielle beskaffenhed, deres form og antal. Sekundæregenskaberne er nogle yderligere – subjektive – oplevelser, som man får ved at observere dem, f.eks. deres farve, lugt og lyd.

Fremkomsten af den nye naturvidenskab betød overordnet set, at filosofien måtte koncentrere sig om spørgsmål knyttet til erkendelsens væsen og mulighed, snarere end om at fremlægge teorier om, hvordan verden er indrettet. Descartes var stadig både naturforsker, naturfilosof og erkendelsesteoretiker. Men allerede med Locke ser man, at det overlades til empirisk orienterede forskere at fremlægge teorier om verdens indretning. Filosofien må så i stedet overveje, hvordan man kan have viden, og hvad det vil sige. Dermed var filosofien blevet forvandlet fra at være en gennemgribende metafysik, der kunne redegøre for verdens og tilværelsens indretning, til at være en disciplin, hvor erkendelsesteori var central. Det skabte en række af de “klassiske” filosofiske problemer om forholdet mellem den subjektive er-

kendelse og den “ydre” verdens eksistens, problemet om forholdet mellem sjæl og krop, og om hvordan vi overhovedet kan vide, at andre legemer, kroppe, også har subjektive – private – oplevelser.

Derudover skabtes også en “rivalisering” mellem erkendelsesformer, idet de naturvidenskabelige teorier og hypoteser skulle passes ind i forhold til andre, ikke strengt videnskabelige diskussions- og



erkendelsesområder. Descartes havde dette problem meget tæt på i forhold til kristendommen. Men også filosofiske synspunkter kunne komme i konflikt med naturvidenskabens erkendelser. F.eks. var der stærke argumenter for, at det tomme rum ikke kunne findes, selvom eksperimenter tydeligt viste det modsatte. Hvem skulle afgøre sådanne stridigheder om ikke filosoferne? På den anden side fik naturvidenskaben efterhånden autoritet og evne til at skabe konsensus, og derfor også krav på at være den eneste disciplin, der for alvor kunne levere viden. Ved 1600-tallets slutning var der ikke længere mulighed for at antage en art enhedsviden. Kunstnere, teologer, filosoffer og naturvidenskabsmænd lavede forskellige ting, på hver deres måde og ofte i helt forskellige institutionelle sammenhænge.

## Formler for det uendelige og det tilfældige

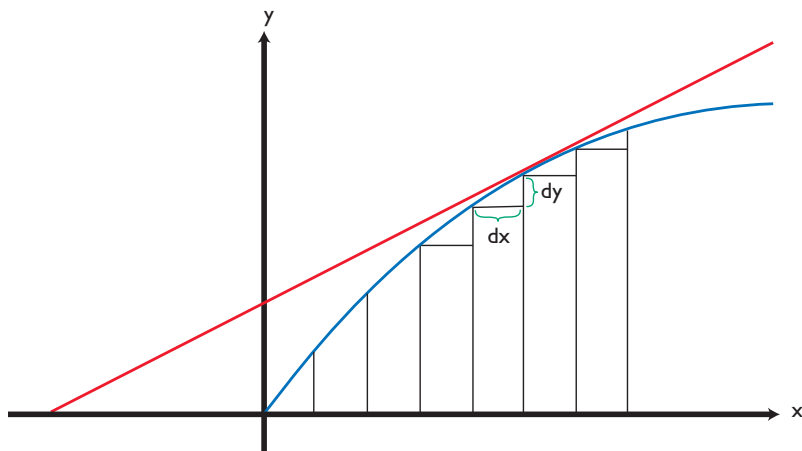
Den videnskabelige revolution baserede sig i høj grad på nye instrumenter og redskaber: kikkert, mikroskop, termometer og barometer. Men der udvikledes også nye abstrakte teknikker – f.eks. Descartes' arbejde med at omsætte geometrisk viden til aritmetisk, altså talbaseret, viden. Men der var flere væsentlige fysiske fænomener, man havde svært ved at give tal. Det krævede udvikling af nye former for matematik, nye måder at regne på, og resulterede i det, man kalder “analysen” – nemlig differential- og integral-regning. De to afgørende skabere af denne var Newton og Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716). De gik til problemet på hver deres måde: den ene mest som fysiker, den anden som matematiker.

Differential- og integralregningen var nødvendig for at håndtere væsentlige fysiske problemstillinger knyttet til f.eks. bevægelse. Det var simpelt at måle den tid, det tog at bevæge sig en bestemt distance, og med jævn bevægelse – dvs. uden acceleration- at angive hastigheden. Men al interessant bevægelse har med acceleration at gøre. Acceleration betyder, at hastigheden skifter over tid. Problemet var så, om man kunne danne et begreb om hastighed knyttet til et bestemt tidspunkt? Et argument imod dette er, at hvis et tidspunkt netop er et punkt, så har det ingen udstrækning, og der er således ingen afstand, noget bevæger sig på, eller noget tidsrum, bevægelsen sker i. Hvis man bevæger sig 144 km på to timer med jævn bevægelse, så er hastigheden hele tiden 72 km/t. Men hvad er den på et givet tidspunkt? Også 72 km/t? Men på nul sekunder bevæger man sig vel nul meter, så her skul-

le hastigheden være  $\frac{0}{0}$  m/s – eller hvad? Newton udviklede en række begreber til at håndtere den slags problemer, ligesom han udviklede en måde at regne med sådanne størrelser på. Fordi disse fænomener var knyttet til bevægelse og forandring, altså til noget, der på sin vis er flydende, kaldte Newton sin opdagelse for “fluxioner”.

Samtidig med Newton arbejdede Leibniz med en helt anden slags problemer knyttet til studier af talrækker. Han udviklede også en række begreber knyttet til de fænomener, som Newton havde studeret, nemlig forandringer, der kunne beskrives som kurver i et cartesiansk koordinatsystem. Begge betragtede fænomenerne som knyttet til en art regning med uendeligt små størrelser, såkaldte infinitesimaler, og de udviklede begge en forståelse af, hvad man i dag kalder differentiering og integrering, eksemplificeret ved forholdet mellem et legemes bevægelse og dets hastighed. De indså også disse operationers indbyrdes forhold, at den ene var det omvendte af den anden, ligesom de begge udviklede metoder til at analysere sådanne fænomener, f.eks. deres maksima og minima, altså hvornår hastigheden var størst eller mindst. Og endelig udviklede de begge notationer baseret på deres begreber, hvoraf man i dag hovedsageligt benytter Leibniz’. Men vigtigst af alt: ved hjælp af disse nye begreber kunne de løse problemer, som hidtil havde været uløselige. Det var en udvikling af nye matematiske begreber og metoder, som ikke var set siden middelalderens indførelse af decimaltal. Pludselig blev en række komplekse fænomener beskrivelige og analyserbare

Her ses en moderne forklaring af Leibniz’ infinitesimalregning. Princippet er, at forholdet  $dy/dx$  svarer til tangenthældningen, når  $dy$  og  $dx$  går mod 0, dvs. vælges “uendeligt små”.



med matematiske begreber, og de kunne gøres håndterlige med tal. Måling blev derved endnu mere væsentligt, og endnu mere kunne beregnes.

Samtidig var disse nye begreber og operationer ikke meningsfulde set med strengt logiske øjne. Flere filosoffer kritiserede således metoderne som meningsløse, bl.a. fordi de typisk involverede, at man måtte give mening til at dividere med 0 – men ikke desto mindre virkede de. I de følgende par hundrede år arbejdede man med at forstå og redegøre for denne situation. Det krævede forståelse af helt fundamentale egenskaber ved matematisk erkendelse og de matematiske grundbegreber – f.eks. hvad tal egentlig er, hvad en kontinuerlig bevægelse rent matematisk er osv. – problemer, der først begyndte at få deres løsning et par hundrede år senere.

Infinitesimalregningen er ikke det eneste eksempel på, at man med helt nye begrebsdannelser kan beregne og måle nye fænomener. Et andet eksempel er sandsynlighed. I dag er ideerne om risiko, usikkerhed, tilfældighed og sandsynlighed helt indgroede. Man hører meget ofte, at dette eller hint forøger sandsynlighed for noget, eller at noget er en risikofaktor, dvs. at det ikke er en egentlig mekanisk årsag til noget, men netop forøger en sandsynlighed. Terningspil og kortspil har man kendt stort set i alle kulturer og til alle tider. Strategier og vurderinger af held eller uheld ligeså. Men som tidligere nævnt, er det først i årene omkring 1660, at man bliver i stand til at regne med sandsynligheder og dermed løse problemer knyttet til f.eks. kortspil. Hvordan skal man dele puljen i et spil, der afbrydes for tidligt? Er det et moralsk eller et matematisk problem? Kan der overhovedet gives et korrekt svar? Erfaringer med terningkast gav også problemer, og man kunne formulere spørgsmål, der vedrørte sandsynligheden for i f.eks. fire kast med en terning at få en sekser, eller hvornår odds var fifty-fifty for at få en sekser i kast med to terninger. Men man havde ikke hidtil haft mulighed for at give svar.

Det var matematikeren Blaise Pascal, der først og fremmest fandt en række løsninger på den slags problemer. Han udviklede regler for regning med sandsynligheder, og de blev videreudviklet af Christiaan Huygens (1629-95) i en bog om, hvordan man ved beregning løste problemer knyttet til hasardspil.

Både Pascal og Huygens var klar over, at sandsynlighed var et begreb, der kunne bruges til at betegne en bestemt størrelse knyttet til udfald af tilfældige begivenheder, som f.eks. kast med terninger, og til grader af overbevisning, som f.eks. hvor meget eller fast, man skulle tro på noget. Det var en



sondring mellem statistisk sandsynlighed og grad af rationel overbevisning. Pascal brugte den sidste form for sandsynlighed til at give et argument for, at det var bedst at tro på en kristen Gud. Der er jo to muligheder: enten at der findes en kristen Gud, eller at der ikke gør. Hvis der er en Gud, og man ikke tror på ham, risikerer man evig straf, og hvis der ikke er en kristen Gud, og man alligevel tror på ham, påfører man sit liv en lille ulempe. I valget mellem de to muligheder er det meget risikabelt ikke at tro, og meget lidt omkostningskrævende at tro, men med mulighed for stor gevinst. Ergo er det mest rationelt at tro på en (straffende) kristen Gud!

Overvejelserne over sandsynlighed og tilfældighed fremkommer samtidig med fremkomsten af det mekanistiske verdenssyn, hvor alle naturlige processer bliver forstået som kausale sammenhænge. Da alle processer sker med nødvendighed, dvs. er underkastet eviggyldige lovmæssigheder, er opfattelsen af begivenhedsforløb også deterministisk – forstået på den måde, at en situation med nødvendighed fører til en anden og senere situation. Et univers, der på den måde fungerer som en maskine, er også et univers, der ikke tillader tilfældighed, og hvor principielt alt burde kunne forudses – hvis man ellers har viden nok. Den person, der har viden, og som skal forudse eller indse noget, er derimod ikke selv del af dette mekaniske univers: Descartes havde skabt en distinktion mellem det fysiske og det psykiske,

## Hasard og sandsynlighed

Det var en berømt korrespondance fra 1654 mellem Blaise Pascal og Pierre de Fermat (1601-65), som i første omgang startede matematikernes interesse for sandsynlighedsregning. Brevvekslingen skyldtes en hasardspiller, Antoine Gombaud (1607-84), som spurgte Pascal og Fermat, hvad man skulle gøre i følgende situation. To spillere (A og B) af samme styrke spiller et spil, hvor den, der først når seks point, vinder det hele. Hvis spillet afbrydes før tid, og det f.eks. står 4:3 – hvordan skal pengene så fordeles mellem de to spillere? Hvad er retfærdigt? Det er faktisk svært at finde den rette tilgang til en løsning,

men Pascal og Fermat kom til følgende resultat: spillet vil være slut efter maksimalt  $a+b-1$  runder. Lav en liste af alle muligheder og tæl, hvor mange gange A vinder, og hvor mange gange B vinder. I ovenstående eksempel er  $a = 2$  og  $B = 3$ , og der er derfor  $2^{(2+3-1)} = 2^4 = 16$  muligheder. Ud af dem får A de nødvendige to sejre eller flere 11 gange, mens B får de nødvendige tre sejre eller mere 5 gange. Derfor skal A have  $\frac{11}{16}$  og B  $\frac{5}{16}$  af pengene. Opskriften til Pascals og Fermats løsning kan i moderne notation skrives som:

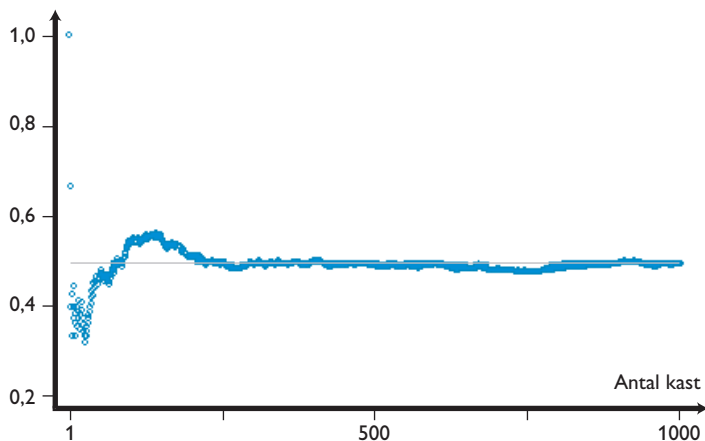
$$\sum_{i=0}^{b-1} (a + b - 1 - i) \frac{1}{2^{a+b-1}}$$



mellem det legemlige og det sjælelige, for at muliggøre en tænkende og erkendende bevidsthed, der var fri, og som kunne tænke over og erkende fænomener i den materielle verden.

Sandsynlighed og tilfældighed forekommer at være i direkte modstrid med forestillingen om kausal nødvendighed og determinisme. Tidligere matematikere, som f.eks. italieneren Cardano, havde opfattet sandsynlighed som udtryk for lykke eller held, dvs. for naturens uberegnelighed. I et mekanisk verdensbillede bliver sandsynlighed derimod knyttet til den tænkende eller erkendende, som et udtryk for manglende viden. Derfor troede man også, at man, hvis man var tilpas alvidende, ville kunne forudsige ethvert udfald. Den daglige forskning var dog mere jordnær. Ved at gennemføre et eksperiment med flere mulige udfald mange gange kunne man finde de til de enkelte udfald knyttede sandsynligheder, som var lovmæssigt fastlagte. Ved at kaste terninger igen og igen kunne man altså fastslå, med en stigende nøjagtighed, hvad sandsynligheden for forskellige udfald egentlig var.

Det er velkendt, at sandsynlighedsregningens oprindelse kan findes i hasardspil. Selvom folk var klar over, at hverdagen indeholdt mange uforudsigelige elementer, tilbød kort- og terningspil en matematisk tilgang til at tænke over sandsynligheder, fordi de består af en tællelig og dermed begrænset mængde af udfald. Geronimo Cardano, der var gambler og en udstødt eksistens, var den første, som nedskrev sandsynlighedsteoretiske beregninger i bogen *Liber de ludo aleae* ("Bogen om Spil og Held") fra 1560'erne, lang tid før Blaise Pascals og Pierre de Fermats berømte korrespondance fra 1654. Her ses *Falskspillerne* af Valentin de Boulogne fra 1620. Dresden Gemäldegalerie.



I 1700-tallet beskrev Jakob Bernoulli “de store tals lov”, som siger, at udfaldet af en lang række møntkast ligger tæt på den forventede værdi. På grafen ses resultatet af 1000 møntkast. Hvis plåt får værdien 0 og krone værdien 1, vil gennemsnittet konvergere mod 0,5.

Matematikeren Jakob Bernoulli (1654-1705) formulerede den indsigt i et værk om sandsynlighedsregning, *Ars Conjectandi* fra 1713, som “de store tals lov”, dvs. antagelsen om, at der ved mange gentagelser eller ved store mængder af fænomener kunne fremkomme en art “statistisk lovmæssighed”, der var ligeså determineret som mere simple fysiske processer.

At der bag ved komplekse og tilsyneladende tilfældige og mangfoldige fænomener kunne være lovmæssigheder, og at disse kunne begribes matematisk – det var en meget afgørende ide for den videre udvikling af naturvidenskaben, der bl.a. førte til udviklingen af statistikken. To helt nye fænomenområder var altså blevet gjort tilgængelige for videnskabelig behandling på ganske kort tid i årene fra 1660 til 1700: bevægelse og tilfældighed.

I begyndelsen af 1600-tallet havde englænderen Francis Bacon talt for, at man burde udvikle en videnskab – en natur-filosofi, som han kaldte det – baseret på viden om fænomenernes årsager. Det ville muliggøre, at mennesket kunne gribe ind i begivenheder og derfor kontrollere dem. Videnskaben skulle altså finde årsager og årsagssammenhænge og dernæst bruge denne viden til at frembringe eller forhindre visse tilstande og fænomener. Således ville viden kunne gøres nyttig og ikke bare give indsigt. Bacon opdelte viden i to typer: teoretisk, der omhandlede viden om naturens lovmæssigheder, og praktisk, der handlede om, hvordan man kunne bruge teoretisk viden til at frembringe ønskede tilstande og fænomener. Det er en ganske anden forståelse af, hvad der menes med “praktisk” end Aristoteles’ og aristotelismens, hvor det praktiske var det, der havde med samfundet, moral og politik at gøre, og derfor meget nærmere til det, man i dag mener med “praktisk”.

Ved slutningen af 1600-tallet var man begyndt at realisere nogle af Bacons visioner. Man havde f.eks. opnået indsigt i nogle fundamentale sammenhænge inden for fysikken, og man havde relevante matematiske teorier og metoder til rådighed. Galilei havde ikke kun studeret et legemes frie fald, men også materialers styrke. Det muliggjorde mere avancerede beregninger af bygningers og bygningselementers dimensionering. Man kunne måle og beregne på legemer i bevægelse – f.eks. projektiler. Artilleriet kunne derved benytte matematisk-fysiske metoder til at effektivisere krigen, hvilket også fik indflydelse på konstruktionen af befæstningsanlæg.

Man havde således udviklet nye måle- og observationsinstrumenter, nye beregningsmetoder og nye fysiske teorier, der alle muliggjorde løsninger på flere og flere praktiske problemer. Man kunne kort sagt udvikle en videnskabeligt baseret teknologi. Det var noget ganske nyt.