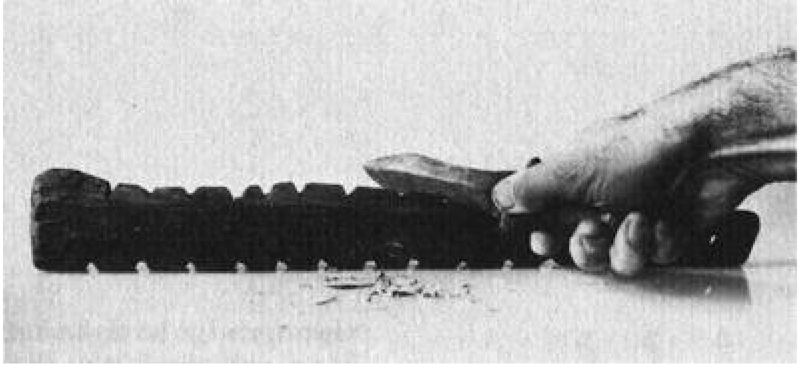
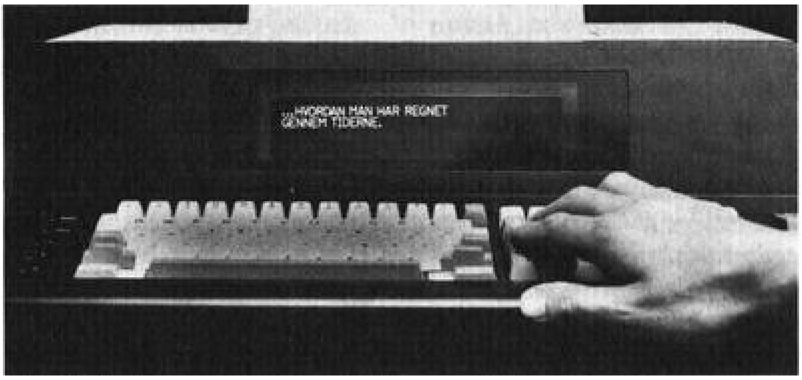
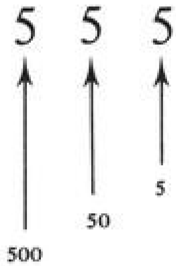


Fra karvestok til EDB



Positionssystem og abacus

I vor kultur indgår tal og beregninger som en helt selvfølgelig ting, og til daglig skænker de færreste det en tanke, at der ligger møjsommeligt udviklet viden og metodik bag vores måde at regne på. Når man udregner prisen på 2,7 meter klæde hvor meterprisen er 84 kr. og 50 øre, spekulerer man ikke på de begreber og færdigheder der danner det uundværlige grundlag for, at vi er i stand til at gennemføre sådan et regnestykke.

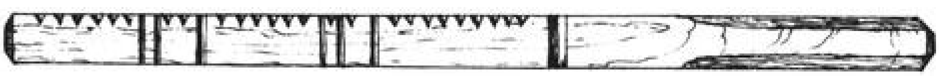


For det første bruger vi et talsystem, d.v.s. en bestemt, systematisk måde at stille tal op på. Talsystemet er knyttet nøje til talskriften som vi anvender til at nedskrive tal. Vor talskrift er bygget op omkring de ti taltegn 0,1,2,...9, og talsystemet kaldes et decimalt positionssystem, decimalt fordi der er ti taltegn og 10 er grundtallet, positionssystem fordi et ciffers betydning afhænger af dets position. I tallet 555 betyder således det højre 5-tal 5, det næste 50 og 5-tallet længst til venstre 500. Hvis man skal snakke med andre om et regnestykke, benyttes talordene et, to, tre o.s.v., men i sammenligning med talskriften er talordene ikke særligt bekvemme til udregninger; man kan blot prøve at forestille sig at vi ikke havde taltegnene, men skulle skrive et regnestykke som førnævnte således: to komma syv gange fireogfirs komma halvtreds; det er svært at se hvordan man skulle regne det ud i en fart!

For det andet bruger vi regnemetoder, i det nævnte regnestykke for eksempel den i underskolen indterpede metode til at gange to tal med hinanden. Regnemetodernes udformning bestemmes af talsystemet og talskriften. Menteoverføringen ved addition og den måde hvorpå man "låner" ved subtraktion er bestemt af at vi anvender et 10-talsystem, og af samme grund omhandler den lille tabel netop tallene 0-9. Men desuden indgår nogle almengyldige regneregler; i regnestykket fra før kunne man for eksempel benytte den regel, at faktorernes orden er ligegyldig, altså at 2,7 x 84,50 giver samme resultat som 84,50 x 2,7.

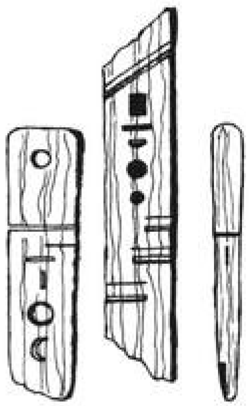
Endelig bruges et stykke "værktøj", et regnemiddel, til at gennemføre selve udregningen. Det kan være hjernen alene hvis man laver hovedregning, men det kan også være hjernen støttet af papir og blyant eller af en kugleramme, det kan være et kasseapparat, eller det kunne være en større datamaskine.

I det følgende beskrives spredte træk af regnemidlernes udviklingshistorie, men den hænger uadskilleligt sammen med udviklingen af talsystemer og regnemetoder og derigennem med matematikkens udvikling. En maskine til at udføre beregninger mekanisk kan først laves når man forstår regnemetoderne tilbunds, og man kan ikke tale om regnemetoder før man har et talsystem, en talskrift, så man kan fastholde resultater og sammenstille tal systematisk. Derfor må en fremstilling af regnemaskinernes historie også belyse noget af talsystemernes og matematikkens historie.



Simpel karvestok fra Sibirien. Har været brugt til regnskab med det nedlagte vildt.

Ingen ved hvornår mennesket er begyndt at tælle og regne, men de grundlæggende færdigheder må være udviklet meget langsomt - over en periode på mange tusinde år. En eller anden gang er der opstået behov for at kunne sammenligne mængder. For at lave byttehandler må man kunne sammenligne fårehjorder og svineflokke, og derved bliver det nødvendigt at kunne registrere og fastholde, hvor mange får, svin eller spydspidser man har til rådighed. Det ældste hjælpemiddel hertil har været en bunke småsten eller en kæp med et hak for hver genstand. Sådanne kæppe - *karvestokke* - kendes fra mange forskellige kulturer over hele verden. De ældste fund stammer fra stenalderen, men helt op i nyere tid har karvestokke fundet anvendelse som hovedbøger i bogholderiet. I England foregik således endnu i 1800-tallet statens bogføring med karvestokke kaldet "Exchequer Tallies", og langt op i det 20. århundrede har man i landsbysamfund i Europa benyttet karvestokke til at holde regnskab med kvæg og afgrøder.

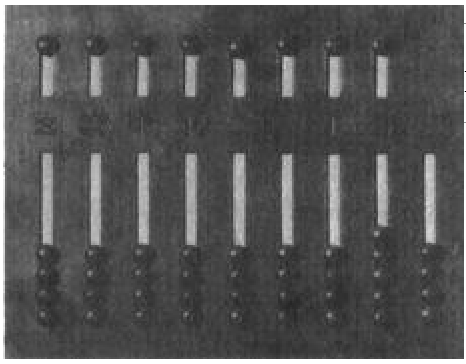


Karvestokke med forskellige snitformer for forskellige måleenheder.

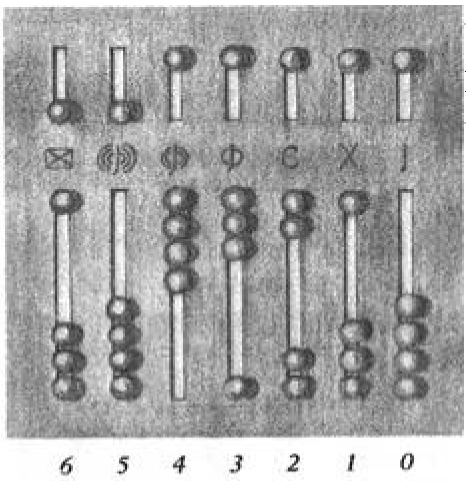
På de ældste karvestokke anvendtes det enkleste talsystem der overhovedet kan tænkes, nemlig simple tællestreger, en for hvert får eller svin der skulle tælles, men i tidens løb har den måde, man markerede tallene på, selvfølgelig undergået en udvikling. Nogle steder er for eksempel forskellige måleenheder (som pund, shilling og pence) blevet angivet ved særlige snitformer, men allerede tidligt har man mange steder i verden fundet på at bruge et bundtningsprincip til at rationalisere skrivningen af store tal. Det er besværligt at skære de mange streger for et stort tal, og derfor indføres tværstreger til at markere bundter. En tværstreg over en ener: + betyder et tier-bundt; ++ betyder derfor 20, og tallet 42 skrives som ++++ ||. Denne tier-bundtningsidé er faldet enkel og "naturlig" for mange folkeslag; den ses i næsten identiske udgaver på de kinesiske Han-stave fra ca. år 0 og på karvestokke fra Alperne omkring år 1900. 10-korset kan let blive til et skævt kryds X, og her er sandsynligvis oprindelsen til romertallene, for nu bliver tallet 42 skrevet præcis som med romertal XXXX ||. Romernes brug af V for tallet 5 kan ligeledes forklares ud fra karvestoktal: Hvis X er et tierbundt, er det naturligt at skrive 5 som et halvt bundt, altså som ∨ eller ∧, og når den første form "vokser lidt nedad", opstår romertallet V for 5. (På etruskiske mønter har man bl.a. fundet den anden form ∧ for tallet 5.) Oprindelsen af romernes tegn C for 100 er usikker, men en mulig forklaring er at 10 tier-bundter har været markeret som ⊗ eller som Ⓧ, der så gradvis er blevet forenklet til C. (Her er kun nævnt bundtning i 10-ere fordi det danner grundlaget for vort decimale talsystem, men hos andre folkeslag findes bundtningsprincippet anvendt med forskellige "grundtal"; hos en primitiv sydamerikansk stamme bruges kun 2-bundter, på Philippinerne kan man se 3-bundtning, og i et af Shakespeares stykker regner en fårehyrde med 11-bundter.)

Karvestokke fra Alperne med brug af bundtningstegnene X for 10, V for 5 og V̶ for 50.

Mens karvestokken er god til bogføring, altså til at registrere og fastholde tal, er den uanvendelig som hjælp til at udføre beregninger, for der har man brug for at kunne ændre tallene let og ubesværet og flytte rundt på dem. Mærker i en stok kan man ikke så godt flytte når de først er skåret, men hvis man i stedet repræsenterer tallene ved bunker af småsten, er de nemme at flytte og dermed nemme at lægge sammen og trække fra hinanden. Dette går godt så længe tallene er små, men hvis de er store, bliver bunkerne hurtigt uoverskuelige og uhåndterlige. Store tal kan imidlertid klares ved en elegant tilpasning af bundtningsprincippet: Et helt bundt repræsenteres ved en enkelt sten, og for at huske at denne sten gælder for et helt bundt, lægges den på et bestemt felt eller i en bestemt rille. Feltet eller rillen markeres med det tilhørende bundtningstegn, og en sten placeret i en rille betyder et bundt af den pågældende størrelse. Tallene er således skrevet i et positionssystem, fordi en stens værdi afhænger af dens position: I den højre rille betyder den l, i den næste 10 o.s.v., ganske som et ciffer i vores talskrift skifter betydning efter sin position i et tal. Samtidig har man i princippet lavet den første regnemaskine. I praksis indrettede man en tavle med riller eller felter mærket med henholdsvis I X C o.s.v., og i disse riller eller felter flyttede man rundt med sten eller brikker, når man regnede. Et sådant regnebræt eller regnebord kaldte romerne en abacus, og den fandtes i hvert fald allerede omkring år 0.



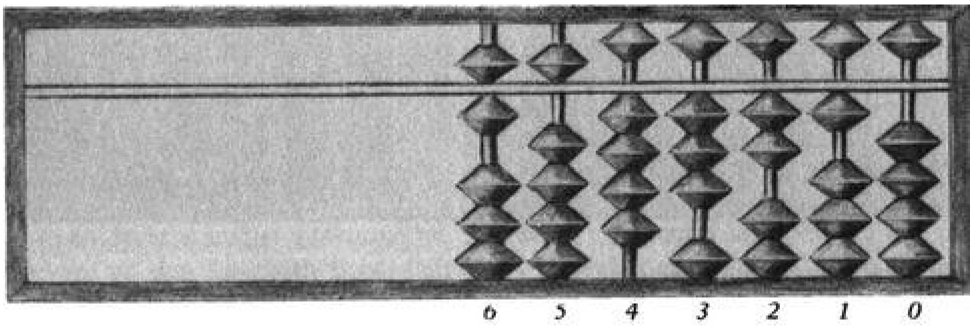
Model af romersk hånd-abacus fra ca. år 0.



Romersk abacus med tallet 6543210

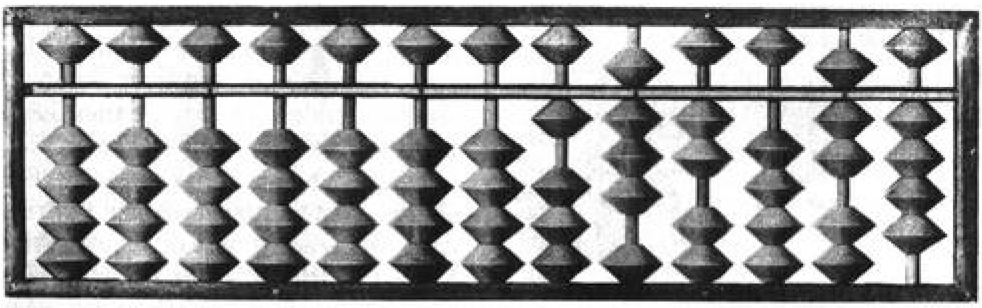
Man har også bevaret en meget fiks romersk hånd-abacus - verdens første lommeregner - hvor talsystemet er lidt mere raffineret. I hver rille er der et fast antal sten, og det tilhørende ciffer angives ved stenenes plads i rillen. Hver af rillerne er delt i to: Forneden en længere rille med 4 sten og foroven en mindre rille med 1 sten. Hvis de 4 sten er skubbet nedad, har de værdien 0, men hvis de bliver skubbet opad, tæller de l hver på den pågældende position. Stenen foroven gælder for 0, hvis den er "oppe", og for 5, hvis den er "nede"; der bruges altså en 5-bundtning på hver position foruden den overordnede 10-bundtning. Hånd-abacus'en kan operere med tal op til 10 millioner samt med enkelte vigtige brøker, idet der er to særlige riller til tolvtedele og brøkdele heraf (fordi møntenheden l as var delt i 12 uncier). Tegningen til venstre viser en abacus med tallet 6543210, og nedenfor samme tal på en moderne japansk Soroban, hvor nøjagtigt samme princip anvendes.

På en abacus er det ret let at udføre addition og subtraktion; multiplikation og division forløber knap så simpelt, men kan dog gennemføres nogenlunde rimeligt. Mærkeligt nok overførte romerne ikke dette elegante positionssystem til skrift; der bevarede de den primitive romertalskrift, som er tungt læselig og helt umulig til udregninger. Prøv blot at beregne salgsprisen på XXVI baller bomuld à CCLXXIIII kr., når fortjenesten skal være XIV procent.

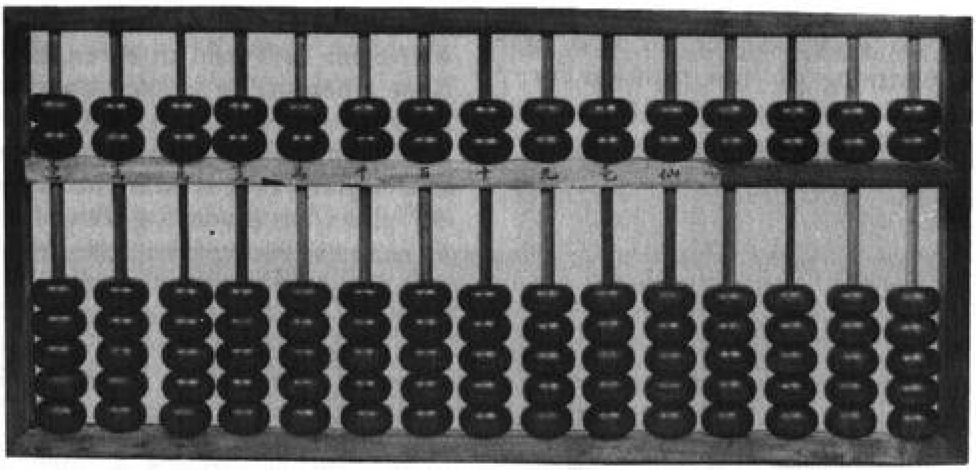


Soroban, japansk kugleramme med tallet 6543210.

Den romerske abacus blev via handelsvejene ført med til Østen, hvor først kineserne og senere japanerne kopierede ideen men samtidig forfinede udførelsen. I stedet for løse sten i riller bruges små trækugler der glider på pinde, og derved er abacus'en blevet mere håndterlig og bekvem; den bruges i udstrakt grad den dag i dag, i Kina under navnet Suan-Pan, i Japan med betegnelsen Soroban. Regnefærdigheden er højt udviklet, og simplere regnestykker hvor det hovedsagelig drejer sig om additioner og subtraktioner kan udføres lige så hurtigt og pålideligt på en Soroban som på en elektromekanisk regnemaskine.

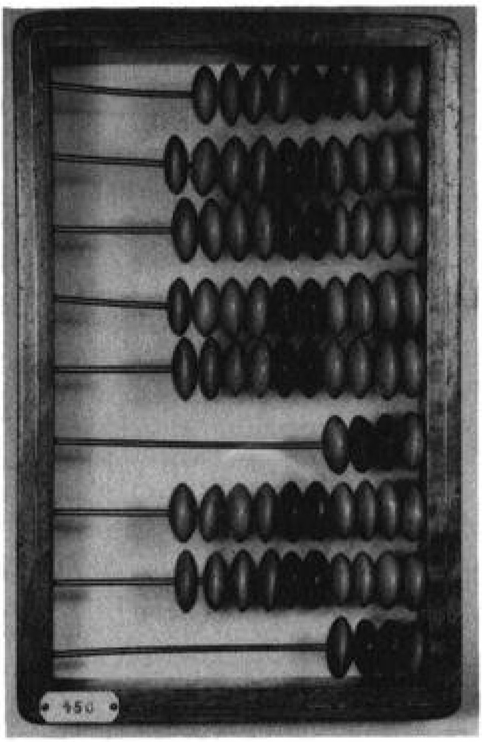


Soroban, japansk kugleramme.



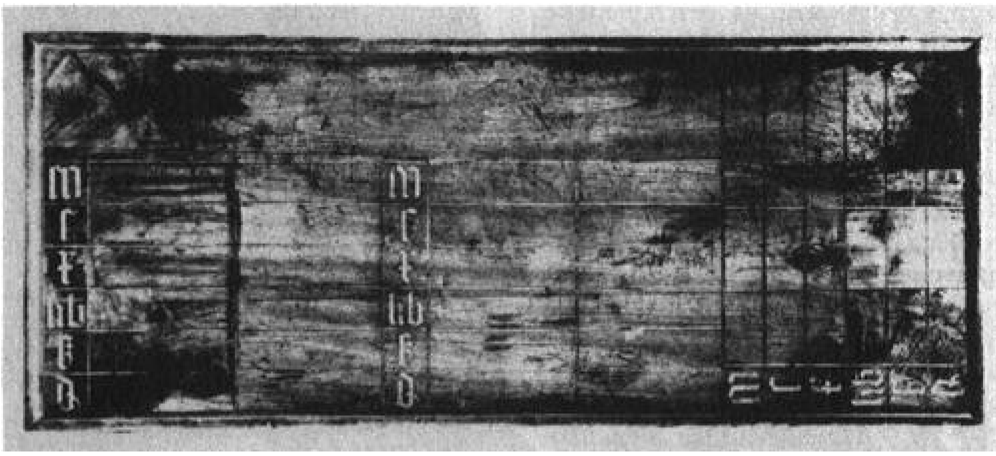
Suan-Pan, kinesisk kugleramme.

Den kinesiske og den japanske kugleramme afviger lidt fra hinanden i antallet af kugler på hver pind. På dem begge er hver pind delt i to af en tværstang, og 5-bundtningsprincippet bruges som på den romerske abacus. Men hvor kineserne fra gammel tid har 5 kugler forneden og 2 foroven hvilket er flere end strengt nødvendigt, har japanerne i nyere tid forenklet systemet ved kun at have 4 kugler forneden og l foroven; dette er netop hvad der er nødvendigt og tilstrækkeligt til entydigt at kunne markere alle cifrene fra 0 til 9 (som man kan se ved at betragte tegningen overfor og tænke sig cifferrækken 0-6 fortsat med 7, 8 og 9). Japanerne har altså genindført den meget elegante talmarkering som allerede romerne benyttede.



Stschoty, russisk kugleramme.

Den russiske version af abacus'en hedder Stschoty og bruges stadig af ekspedienter i russiske butikker. Den er sandsynligvis udviklet fra den kinesiske Suan-Pan, men udviser dog visse karakteristiske forskelle fra denne. På en Stschoty sidder der 10 kugler på hver pind, og hver cifferværdi markeres simpelthen ved flytning af det tilsvarende antal kugler. Der bruges altså ikke noget 5-bundtningsprincip, men for at gøre det nemmere at aflæse tallene på pinde med så mange kugler, er de to midterste kugler farvet sorte. Ligesom på den kinesiske Suan-Pan er der egentlig overflødige kugler, fordi 9 på hver pind ville være nok til at vise cifrene 0-9. Et andet særtræk er den måde hvorpå decimalkommaet samt visse brøker angives: Den fjerde pind fra neden har kun 4 kugler og kan benyttes på to måder: Enten bruges kuglerne på den slet ikke, og pinden markerer blot decimalkommaets plads (der skal være plads til 2 decimaler bag kommaet fordi der går 100 kopek på l rubel), eller også bruges de 4 kugler til at markere fjerdedele (fordi det er de mest benyttede brøker) - og igen er der en overflødig kugle, thi der behøves kun 3 kugler til de tre brøker 1/4, 2/4 og 3/4.

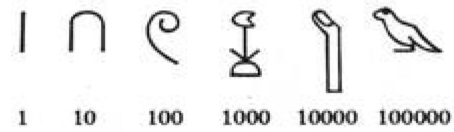


Et tysk regnebord fra middelalderen. Ibordpladen er graveret tre ens regnetavler, fordi alle vigtige handelsberegninger blev udført af tre regnemestre for kontrollens skyld.

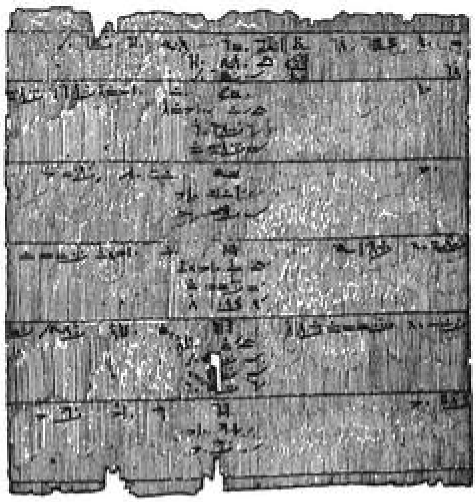
I resten af Europa var abacus'en eller regnebrættet meget længe det eneste regnetekniske hjælpemiddel. Først i 1400-tallet blev indernes talskrift via araberne indført i Europa og skabte grundlaget for regnekunstens og regnemaskinernes næste udviklingstrin. Med den indisk-arabiske talskrift - som er den vi stadig bruger - forenes skrift og beregningsmåde: Tallene skrives nu i et positionssystem mage til formen på regnebrættet, og dette var en nødvendig forudsætning for den videre udvikling. Der blev ganske vist meget tidligt bl. a. i Arabien konstrueret visse former for regneværktøjer til specielle astronomiske beregninger, men den almindelige, generelle regnemaskines historie tager først sin begyndelse i 1600-tallet, hvor teknikken og matematikken var tilstrækkeligt modnet til at tillade de første forsøg på egentlig mekanisering af beregningsarbejdet. Men først vil vi se lidt på andre kulturers talsystemer og regnemetoder, fordi de hver på sin vis har bidraget til regnekunstens udvikling.

Orienten og Grækenland i oldtid og middelalder

Oldtidens kultursamfund kunne ligesom moderne samfund ikke fungere uden udstrakt brug af regnekunst først og fremmest i forbindelse med bogholderi. Med organiseringen af en stat som den ægyptiske fulgte behov for både skatteopkrævning og handelsvirksomhed, og begge dele kræver at regnekunst og bogholderi har nået et vist stade. På et utal af ægyptiske billeder ser man regnskabskyndige skrivere i færd med at foretage diverse administrative opgørelser, og det fremgår at ægypterne brugte et 10-talsystem med særlige tegn for 10, 100, l000 o.s.v.:



Alle andre tal blev skrevet ved simpelthen at gentage disse taltegn det fornødne antal gange. Tallet 1024 ser for eksempel således ud:



Et brudstykke af Rhind-papyrusrullen i British Museum. Den er skrevet omkring 1580 f.Kr. og er en slags praktisk regnebog.

Vor viden om ægypternes regnemetoder stammer fra nogle ganske få fund, især to berømte papyrusruller med regneopgaver, Rhind-papyrus fra ca. 1600 f. Kr. og Moskva-papyrus fra ca. 1800 f. Kr. Disse papyrus er fyldt med allehånde regnestykker og giver tilsammen et ganske godt indtryk af hvad ægypterne formåede på dette område. Et karakteristisk træk er at multiplikation og division blev reduceret til henholdsvis addition og subtraktion. For eksempel udførte man multiplikationen 13x11 ved at opskrive successive fordoblinger af 11, altså 11, 2x11, 4x11, 8 x il o.s.v., og derefter addere netop så mange af disse tal at det svarede til 13x11; da 13 = 1+4+8, ville regnestykket se således ud (skrevet med vore taltegn):

/1	11
2	22
/4	44
/8	88
i alt	143

Skråstregerne ved l, 4 og 8 angiver at disse produkter skal adderes for at give resultatet. Brøkregning foretog ægypterne på en raffineret men meget besværlig måde. Der eksisterede kun tegn for stambrøker, altså brøker med tæller l:

1/2 1/3 1/4 1/5 1/6 o.s.v.

Alle andre brøker blev omskrevet til summer af stambrøker. I nogle tilfælde er metoden let, det er således ikke svært at skrive 3/4 som 1/2 + 1/4, men blot at lægge to brøker sammen bliver straks ret vanskeligt. Lad os prøve at udregne 3 5/8 + 1 5/12 på ægyptisk. Først skrives (stadig med vore taltegn) 3 5/8 som 3 1/2 1/8 og 1 5/12 som 1 1/3 1/12, hvorefter summen i første omgang bliver

4 1/2 1/3 1/8 1/12

men at indse, at dette kan "forkortes" til 5 1/24 er ikke så indlysende.

Disse regnemetoder forekommer måske klodsede, men var dog tilstrækkelige til at ægypterne kunne føre omfattende handels- og skatte-regnskaber. De var også i stand til at løse simplere geometriske opgaver med areal- og rumfangsbestemmelser, men nogen videre matematisk færdighed har de ikke haft, måske på grund af at deres talsystem næsten umuliggjorde større beregninger.

I modsætning hertil nåede den babylonske matematik i den samme tidsperiode et væsentligt højere niveau. Fra de utallige fund af lertavler med både regnskaber og matematiske opgaver skrevet med babylonernes kileskrift står det klart, at de allerede omkring 1600 f. Kr. havde en betydelig færdighed såvel i almindelig regning (aritmetik) som i at løse ligninger (algebra) og geometriske opgaver.

Babylonsk lertavle med tal i kileskrift.

Den afgørende forudsætning for denne tidlige udvikling var, at babylonerne opererede med et positionssystem både for heltal og for brøker, som gjorde alle regneregler og beregninger langt enklere end i det ægyptiske talsystem. Babylonerne brugte 60 som grundtal i positionssystemet - herfra stammer i øvrigt vores inddeling af timen i 60 minutter à 60 sekunder og den tilsvarende 60-deling af grader ved vinkelmåling - således at for eksempel tallet 128 (= 2x60+8) blev skrevet med kiletegnene for 2 og 8. I et 60-talsystem kan der på hver position optræde "cifrene" 1-59, og dem skrev babylonerne med en slags decimal kileskrift med særlige kiler for 1 og for 10:

Tallet 128 så altså således ud:

men da der ikke var noget tegn for 0 eller for kommaets placering, kunne det sådan set også betyde

$2 \times 60^2 + 8 \times 60 = 7680$

eller

$2 + 8 \times 1/60 = 2\ 2/15$.

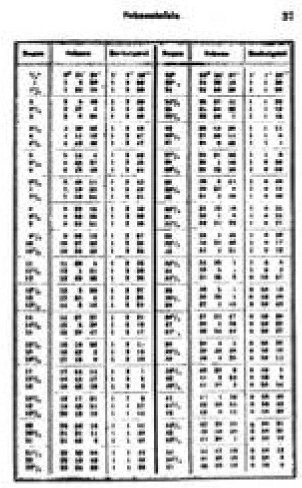
Den rigtige betydning måtte man gætte sig til af sammenhængen, men trods disse ufuldkommenheder var babyloneme alligevel i stand til at gennemføre store beregninger. Fundene omfatter meget systematiske multiplikationstabeller med tilhørende reciproktabeller (tilsammen virker de som divisionstabeller), og på tavler fra den senbabylonske tid omkring 300 f. Kr. ses beregninger af Månens og planeternes bevægelser på stjernehimlen, hvilket viser at også den astronomiske matematik var højt udviklet.

Efter Ægyptens og Babylons blomstringstid fortsatte den kulturelle udvikling i Grækenland og senere i

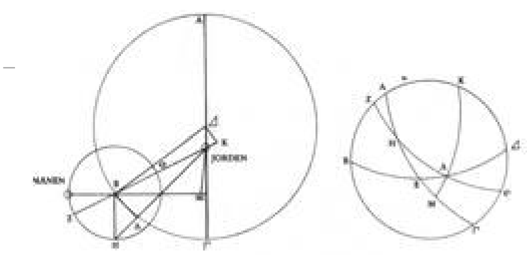
Rom i den hellenistiske periode fra ca. 300 f. Kr. til 300 e. Kr., hvor ikke mindst matematikken udviklede sig afgørende i retning af moderne videnskab med dennes krav til strenghed i bevisførelse og klarhed i begreberne. I matematikken blev hovedvægten lagt på geometri, mens talregning og numeriske metoder synes at være trængt i baggrunden. De bøger, der kaldes Euklids Elementer - og som rummer den første sammenhængende og fuldstændigt præcise matematiske udledning af både geometri og proportionslære (læren om forholdstal) - indeholder bogstaveligt talt ikke et eneste tal! Alt er formuleret i et geometrisk sprog og handler om længder, arealer og disses indbyrdes forhold.

Grækerne udførte beregninger ved hjælp af en Abacion, et regnebræt der var nært beslægtet med den romerske abacus, men når de nedskrev tal, brugte de en bogstav - talskrift. De første ni bogstaver i alfabetet betød tallene 1-9, de næste ni bogstaver 10-90, og de næste ni igen 100-900. Tusinder og titusinder blev påny skrevet med de første ni bogstaver forsynet med særlige mærker. Tallet 1111 blev således skrevet som ͵αρια, og denne form gjorde større matematiske udregninger ret besværlige. Alligevel har en række græske matematikere, deriblandt Diophant og Archimedes, regnet en hel del, men frem for nogen har Ptolemaios gennemført kæmpemæssige og meget nøjagtige beregninger.

Ptolemaios levede omkring 150 e. Kr. i Alexandria og var matematiker og astronom. Hans store værk Megale Syntaxis ("Den store sammenstilling" af matematisk og astronomisk viden) blev under det arabiske navn Almagest spredt i alle kulturlandene og var den vigtigste astronomiske lærebog i Europa helt frem til midt i 1500-tallet, hvor Kopernikus fremsatte sin teori om at planeterne roterer omkring Solen og ikke om Jorden. I Almagest beskrev Ptolemaios Solens, Månens og planeternes bevægelse på stjernehimlen ved et sindrigt system af sammensatte cirkelbevægelser, hvor Jorden står fast i nærheden af centrum. Bogen indeholder bl.a. en tabel over Solens position hver time i mere end 800 år. Som forberedelse til disse beregninger udviklede han først en række plangeometriske og rumgeometriske formler samt beregnede en korde-tabel med imponerende nøjagtighed. I kordetabellen kan man aflæse længderne af korder til cirkelbuer svarende til alle hele antal bueminutter fra 0 grader til 180 grader. (En kordetabel er næsten det samme som det, vi i dag kalder en sinus-tabel.)



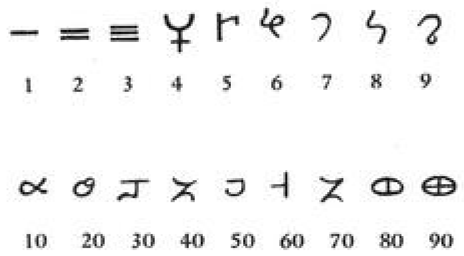
En side fra kordetabellen i Ptolemaios' "Almagest".



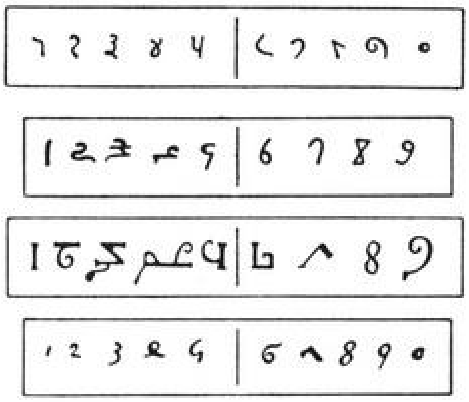
Figurer fra samme bog, hvor Månens bevægelser forklares.

Alle disse beregninger er gennemført i babylonernes 60-talsystem men med grækernes bogstavtalskrift for "cifrene" 1-59. Man ved intet om hvilke regnetekniske hjælpemidler Ptolemaios har rådet over, men beregningsarbejdet har været kolossalt, og vi må formode at det er udført af en hær af "regneslaver" under hans direktiver.

Mens den græske videnskabelige matematik blomstrede, skabtes i Indien den talskrift der er grundlaget for de nutidige tal. Hvornår og hvordan denne udvikling er begyndt, er ukendt, men i Brahmi-indskrifter fra omkring 200 f. Kr. optræder en talskrift der bruger 9 taltegn for enercifrene, 9 andre for 10-erne o.s.v.:



Systemet minder om den græske talskrift der benyttede bogstaver på tilsvarende måde, men i løbet af nogle århundreder ændrede Brahmi-talskriften sig til et fuldt udviklet decimalt positionssystem, idet der skete to betydningsfulde ændringer. For det første blev de 9 tegn for enercifrene anvendt på alle positioner, og for det andet indførtes et særligt tegn for nul. Dermed havde talsystemet nået den bekvemme form vi bruger i dag. Den ældst kendte inskription, hvor nul-tegnet forekommer, er fra Gwalior-templet ca. 800 e. Kr., og taltegnene så ud som øverst på figuren:



Taltegnenes udviklingshistorie. Fire versioner af vore taltegn fra henholdsvis år 800, 900, 1000 og 1400.

og tallet 270 skrives altså .

Denne talskrift arvede araberne, og de førte den med sig til Europa, hvor den dog først slog an i løbet af det 15. århundrede.

Men inderne bidrog ikke blot til tal-skriftens udvikling. De fostrede også bemærkelsesværdige astronomer og matematikere, heriblandt Bhaskara, som omkring 1150 e. Kr. skrev et stort matematisk-astronomisk værk, hvor han i den første bog Lilavati behandlede aritmetikkens og geometriens grundsætninger. Her kan man bl. a. finde regneregler for nul, såsom at 0 x n = 0 og at n/0 er "umuligt", og Bhaskara har også som den første beskrevet vort decimale positionstalsystem systematisk.

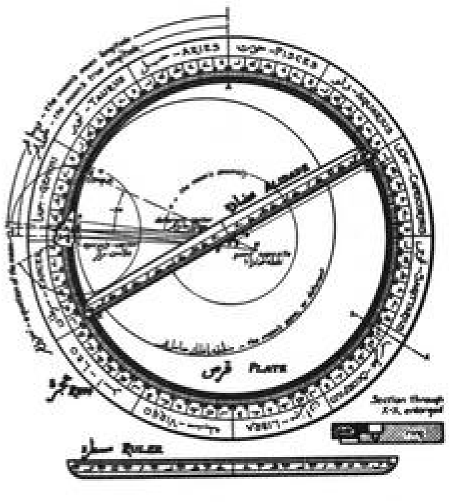
Omkring år 800 bragte indiske handelsmænd kendskabet til de indiske taltegn til Bagdad, der dengang var ved at blive centrum for den videnskabelige udvikling. Bagdad var hovedstad for det muhammedanske rige, som bl. a. omfattede hele Arabien, og her blev grækernes videnskab forenet med impulser fra østen, hvorved der skabtes grundlag for en ny udvikling. Her skrev matematikeren Muhammed ibn Musa Al-Khwarizmi flere bøger om regnemetoder hvor han brugte det indiske talsystem og argumenterede for dets overlegenhed over ældre systemer. Disse bøger blev senere ført til Europa og fik efterhånden europæerne til også at benytte de nye metoder.

Antal	Vare	Købspris	Total købspris	Total salgspris
100	Baller bomuld	à kr. 125,00	kr. 12500,00	kr. 15000,00
50	Vintønder	à kr. 100,00	kr. 5000,00	kr. 6000,00
75	Ruller silke	à kr. 150,00	kr. 11250,00	kr. 13500,00
				kr. 34500,00
			+ 15% moms	5175,00
				kr. 39675,00

En dagligdags faktura med tre slags varer. På regnebræt vil udregning af salgspriser og fortjenester nok tage 10 minutter, med indisk-arabiske metoder ganske få minutter og med en moderne datamat måske 1/100.000 sekund.

For at danne sig en idé om betydningen af at skifte "regnesystem" kan man prøve at lave en simpel handelsregning først med regnebræt og romertal og derefter med vore sædvanlige metoder. Lad for eksempel handelen dreje sig om 3 slags varer, hvor vi kender antal, stykpris og fortjeneste i for hver. Vi ønsker at udregne salgspris og fortjeneste i kr. for hver slags og for varerne tilsammen. Det betyder, at vi for hver varetype skal udføre to multiplikationer og en addition (fordi købspris = antal x stykpris, fortjeneste = købspris x procent og salgspris = købspris + fortjeneste), og tilsidst skal de 3 salgspriser og de 3 fortjenester adderes. Ialt kræver udregningen 6 multiplikationer og 7 additioner samt nedskrivning af flere mellemresultater. På regnebræt tager en addition nok ca. 1/2 minut, og en multiplikation 2 minutter, og hele regnestykket således et kvarter. Med papir, blyant og indisk-arabiske regnemetoder kan det klares på under 5 minutter, og forskellen ville blive større hvis regnestykket var mere kompliceret.

Al-Khwarizmi's bøger har også præget vor sprogbrug. I en af bøgerne, som handlede om ligninger, forekom ordet "al-djebr" i titlen, og derfra stammer vores betegnelse algebra for læren om formelle regneregler. Hans eget navn er via den latiniserede form Algorismi blevet til algoritme, som i dag betyder beregnings-metoder eller fremgangsmåde ved beregning.



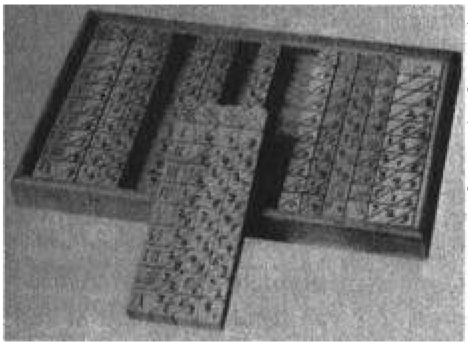
Tegning af Al-Kashi's regnemaskine "Tabaq al-Manateq", hvormed han kunne finde Solens, Månens og planeternes positioner på stjernehimlen.

Også astronomien, den videnskabs-gren der var mest afhængig af omfattende og nøjagtige beregninger, fik et opsving i Arabien i perioden 800 - 1400. Ptolemaios' store lærebog blev oversat til arabisk og vidt udbredt (også i Europa) under sin arabiske titel Almagest, og beregningerne over himmellegemernes bevægelser blev forfinet, idet dette havde både astronomisk og astrologisk interesse. For astrologerne var det af stor betydning at kende planet-konjunktionerne, d.v.s. de tidspunkter hvor to planeter har samme længdegrad (står i samme verdenshjørne), og i begyndelsen af 1400-tallet konstruerede matematikeren Al-Kashi en særlig maskine -

eller måske snarere et stykke værktøj - til at beregne konjunkrionstidspunkter nøjagtigt og hurtigt. Han byggede endvidere en maskine til at beregne længder for Solen, Månen og planeterne, og en tredje maskine forenklede på genial vis de ellers meget indviklede beregninger af tidspunkter for måneformørkelser. Alle maskinerne er mekanisk meget simple og består blot af forskydelige linealer og skiver forsynet med passende skalaer, men de røber dyb indsigt i de bagved liggende matematiske beregningsformler. Maskinerne er samtidig så enkle i brug, at de antagelig har kunnet anvendes også af mindre lærde folk, der således er blevet i stand til selv at finde vigtige astrologiske størrelser.

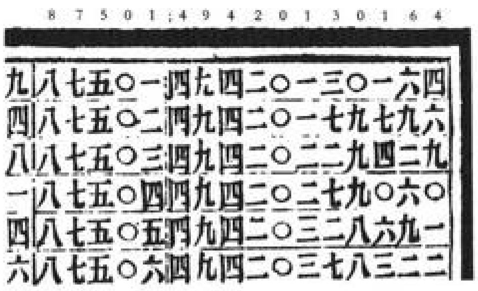
Renaissancen

Indtil det 15. århundrede stod europæisk naturvidenskab i skyggen af den arabiske kultur, men omkring 1600 indledtes i Europa en rivende videnskabelig og teknologisk udvikling, der mere eller mindre intenst er fortsat indtil i dag. Den blev sat i gang, da Galilaei og andre begyndte at underkaste alle observationer og målinger af fysisk og naturvidenskabelig art en matematisk behandling; foreningen af eksperimentel videnskab og matematisk ræsonnement lagde grunden til udviklingen af moderne videnskab og teknologi. Samtidig opstod et behov for mere og mere regnekapacitet til at udføre de beregninger som den nye videnskab krævede, og mange gav sig i kast med at konstruere hjælpemidler hertil. I 1617 opfandt skotten John Napier (eller Neper) regnestavene, som kan siges at danne den første generelle "regnemaskine" efter abacus'en. Mens en abacus er god til at addere og subtrahere tal med, er regnestavene indrettet til multiplikation. På 9 små stave er den lille multiplikationstabel skrevet sådan, at lægger man de rigtige stave ved siden af hinanden, kan flercifrede tal multipliceres og divideres med et minimum af hovedregning.



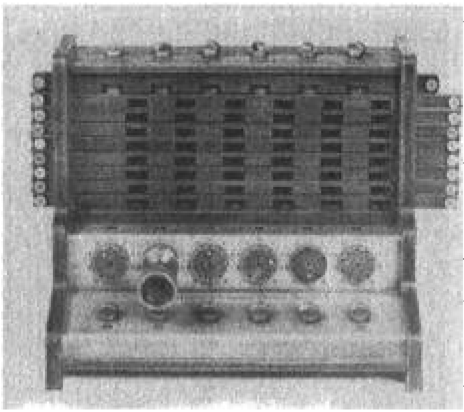
John Napier's multiplikationsregnestave fra 1617.

John Napier får normalt også æren for at have opdaget logaritmerne omkring 1590, selvom en schweizisk astronom og urmager Joost Burgi måske egentlig kom først. Men Napier og hans medarbejder Henry Briggs udgav i 1614 de første logaritmetabeller, som gjorde det muligt helt at erstatte multiplikation og division med de simplere regningsarter addition og subtraktion (naturligvis suppleret med tabelopslag). I forbindelse hermed nåede Napier også frem til at skrive decimalbrøker på den nu anvendte måde, hvor et komma eller punktum adskiller heltalsdelen og decimaldelen. Indførelsen af logaritmeregning var et afgørende fremskridt, fordi selve beregningsarbejdet ved indviklede beregninger blev reduceret kraftigt. Opgaver, det før var utænkeligt at gennemføre på grund af selve regnearbejdets omfang, blev nu bragt inden for det muliges rækkevidde. Logaritmeregning blev meget hurtigt benyttet både af Kopier og Tycho Brahe i deres astronomiske beregninger, og logaritmetabellerne vandt vid udbredelse; man kender for eksempel kinesiske logaritmetabeller fra omkring 1700 lavet direkte efter europæisk forbillede.



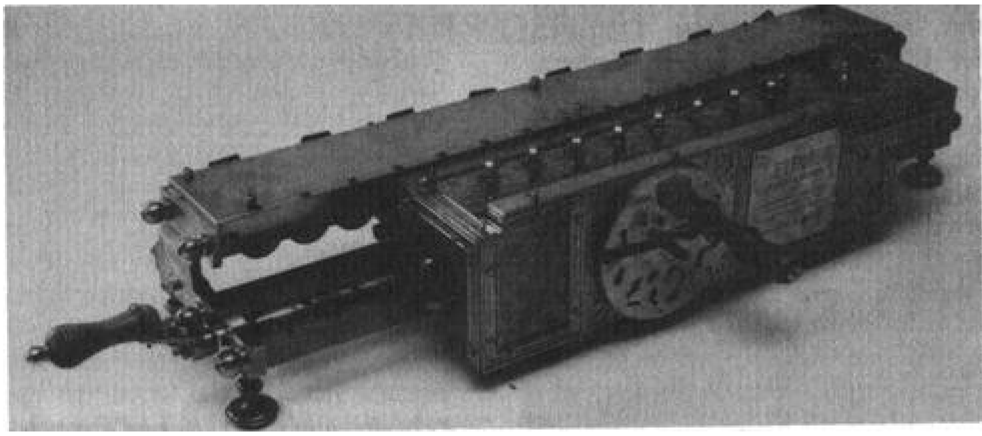
Side fra kinesisk logaritmetabel fra ca. 1700.

Opdagelsen af logaritmerne gav også stødet til udviklingen af regnestokken. Englænderen William Oughtred konstruerede allerede i 1621 to forskydelige linealer, der hver var forsynet med en logaritmisk skala. Ved at lade disse glide langs hinanden kunne han direkte aflæse produktet af to vilkårlige tal med rimelig god nøjagtighed. Senere fandt man frem til den nuværende udformning af regnestokken hvor den ene logaritmiske lineal, tungen, glider inden i den anden.



Rekonstruktion af Schickard's regnemaskine. Den første mekaniske cifferregnemaskine.

Næsten samtidig med udviklingen af logaritmeregning og regnestok var andre startet ad et helt andet spor, også med det formål at lette udførelsen af beregninger: Konstruktion af regnemaskiner baseret på anvendelse af tandhjulsmekanismer og direkte visning af cifrene i 10-tal-systemet. Den første mekaniske cifferregnemaskine, man kender, blev bygget i 1623 af en tysk astronom og matematiker Wilhelm Schickard. Selve maskinen er gået tabt, men ud fra breve med skitser og beskrivelser har man rekonstrueret den. Den kunne automatisk addere og subtrahere, og den kunne delvis automatisk gange og dividere. I 1640-rne byggede den berømte filosof og matematiker Blaise Pascal en simpel lille maskine til addition og subtraktion, og den dannede prototype for adskillige andre, der dog alle var mere primitive end Schickards. Men 30 år senere konstruerede Gottfried Wilhelm Leibniz, som også var filosof og matematiker, den første regnemaskine der helt automatisk kunne udføre alle de fire regningsarter.



Leibniz' regnemaskine.

Leibniz kendte Pascals maskine og skrev selv, at den del af hans maskine der adderede og subtraherede, var mage til Pascals kalkulator. De grundlæggende elementer, som gik igen i alle senere mekaniske regnemaskiner, var tandhjul med 10 tænder, hvor hver tand svarer til et af cifrene 0-9, samt hjul med kun l tand der sørgede for menteoverføring. Når et hjul med l tand bevægede sig en hel omgang, for eksempel svarende til 10 enere, blev et andet hjul trukket 1 tand frem svarende til 1 tier.

Kilometertæller, hvor tælling og menteoverføring sker efter samme princip som i Leibniz' maskine.

Leibniz bidrog også på andre felter til grundlaget for de moderne regnemaskiner. For det første skrev han et essay om "en generel metode hvor alle sandheder om slutninger bliver reduceret til en slags beregning", altså en forløber for den logiske algebra, som først 200 år senere blev taget op af George Boole (Den logiske algebra er læren om vore logiske slutningsregler og ræsonnementer og gør det muligt at manipulere matematisk eksakt med indviklede udsagn som for eksempel: "Børnetilskuddet udgør 1738 kr., hvis en eller begge forældre modtager folkepension eller invalidepension, hvis forsørgeren er enlig og faderskabet ukendt og ingen er kendt bidragspligtig, eller hvis den ene af forældrene er død.")

For det andet gjorde Leibniz i den berømte afhandling fra 1703 "Explication de l'Arithmétique Binaire" rede for, hvordan man i stedet for at bruge l0-talsystemet lige så godt kunne regne i det binære talsystem, d.v.s. 2-talsystemet hvor man kun bruger cifrene 0 og l. Det binære talsystem bruges i alle moderne datamater og er velegnet, fordi der på hver plads kun er to muligheder, 0 eller l. En maskine, der regner i det decimale talsystem, må have tandhjul eller andre maskinelementer med 10 stillinger ("tilstande") for hver plads, men i en binær maskine kan cifre repræsenteres af elementer der kun har 2 stabile tilstande. Som eksempler på elementer med 2 tilstande kan nævnes:

- en kontakt der kan være sluttet eller afbrudt.
- en lampe der er tændt eller slukket.
- en jernring hvor magnetiseringen kan vende den ene eller den anden vej.
- et felt på et hulkort hvor der kan være hul eller ikke-hul.
- en ledning der kan være strømførende eller ikke-strømførende.

Decimalt			Binært
5 =	4 + 1 =	$1 \times 2^2 + 1$	101
13 =	8 + 4 + 1 =	$1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1$	1101

Hvert enkelt maskinelement i en binær maskine er altså meget simpelt, til gengæld skal der bruges tiere af dem, fordi et tal skrevet i det binære system fylder ca. tre gange så meget som hvis det skrives decimalt. Men samtidig er regnereglerne i det binære talsystem langt simplere og lettere at realisere end aritmetikken i 10-talsystemet.

Addition:

+	**0**	**1**
0	0	1
1	1	10

Multiplikation:

*****	**0**	**1**
0	0	0
1	0	1

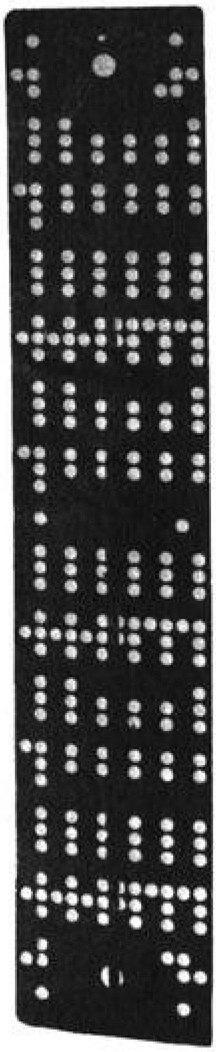
"Den lille tabel" 2-talsystemet omfatter kun tallene 0 og 1, og det er derfor enkelt at bygge elektriske kredsløb der kan addere og subtrahere to binære tal. Endvidere er binær multiplikation en yderst simpel proces. Lad os som eksempel udregne 5x13 i binær aritmetik. Da 5 og 13 skrives binært som henholdsvis 101 og 1101, bliver regnestykket

```
101 x 1101
----------
      1101
     0000
    1101
----------
   1000001   ( = 65 = 1 x 2^6 + 1 )
```

For hvert ciffer i multiplikatoren 5 skal man altså enten blot addere multiplikanden 13 (flyttet et trin til venstre for hver gang) eller ingenting gøre. Binær multiplikation består således af en samling additioner og flytninger af multiplikanden, og dette kan også let realiseres med elektriske kredsløb.

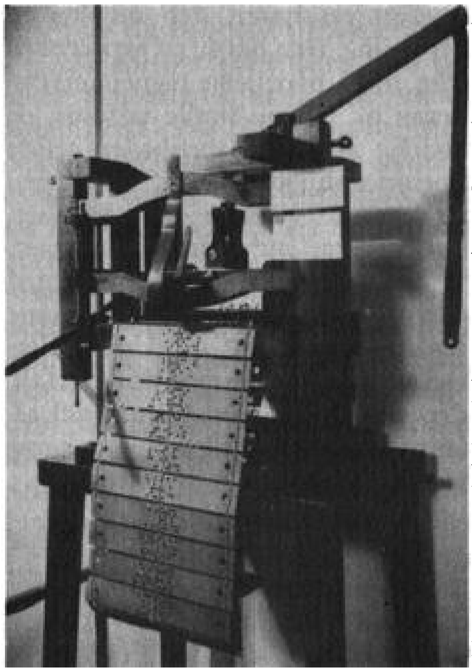
Nyere tid

Trods renaissancens matematiske og tekniske landvindinger forblev regnefærdighed dog længe en kunst som kun få beherskede. Langt op i det 19. århundrede var karvestokke og primitive regneborde og regnebrætter de eneste almindeligt udbredte hjælpemidler. Men der blev gjort mange forsøg på at bygge mekaniske regnemaskiner, nogle mere vellykkede end andre, og der udvikledes en række vigtige idéer og metoder, der skulle komme til at danne grundlaget for de moderne datamater.



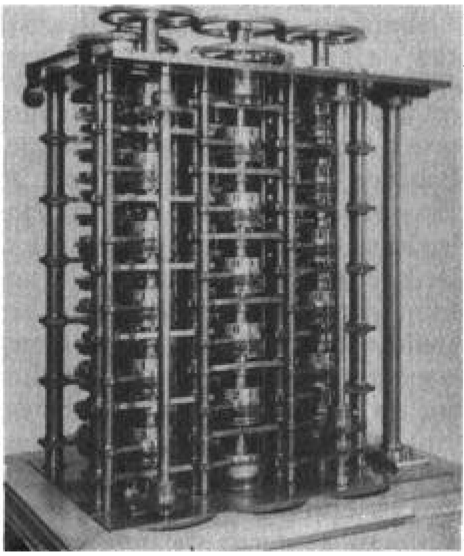
Hulkort brugt til styring af Jacquard's automatiske væv.

Med den begyndende industrialisering fødtes idéen om automatisering, hvor en maskine uden menneskets indgriben udfører komplicerede processer, der består af mange enkelttrin. Allerede før 1800 p røvede franske vævere at styre vævestolene delvis automatisk ved manuelt at indsætte perforerede kort, hulkort, hvis huller bestemte hvilke tråde der skulle henholdsvis over og under islætten, l 1805 lykkedes det J. M. Jacquard at bygge en fuldautomatisk væv, hvor hulkortene var hægtet sammen i en kæde og automatisk blev fremført og affølt et efter et. Kombinationerne af huller og ikke-huller styrede et sæt kroge, som løftede eller sænkede de enkelte tråde på vævestolen, mens skyttelen passerede. Hægtede man en samling hulkort, der svarede til et bestemt mønster, sammen i en lukket kæde, kunne vævemaskinen automatisk gentage dette mønster lige så mange gange det ønskedes. Maskinen blev øjeblikkelig en succes, og i 1812 var der 11000 Jacquardvæve i brug i Frankrig.

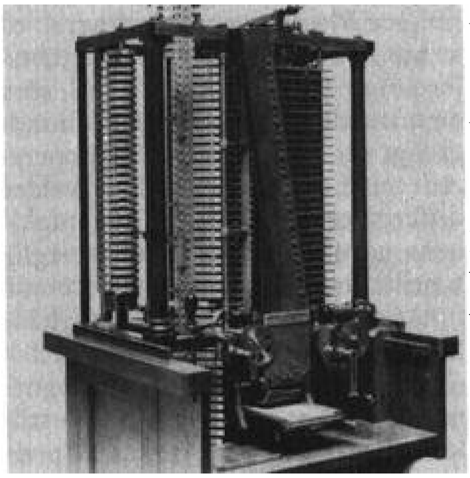


Dansk væv, bygget efter Jacquard's princip.

Jacquards idé med at benytte hulkort til automatisk at styre og repetere en indviklet proces blev overtaget af englænderen Charles Babbage, der forsøgte at overføre den til regnemaskiner. Babbage var matematiker og astronom - bl.a. var han medstifter af The Royal Astronomical Society i 1820 - og han begyndte tidligt at spekulere på hvordan de tidrøvende beregninger af astronomiske tabeller kunne automatiseres. Babbage's første regnemaskine, Difference Engine, var konstrueret til at kunne beregne matematiske tabeller automatisk og uden de fejl, som de manuelt beregnede tabeller uundgåeligt var fulde af. Maskinen opererede med det, matematikere kalder differenser af 6. orden (deraf maskinens navn), og den kunne beregne tabeller over selv ret komplicerede funktioner med god nøjagtighed.


Babbage's differens-maskine til tabelberegning.

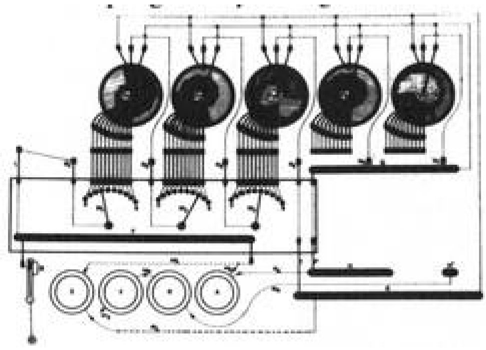
Bygningen af differensmaskinen - som egentlig var en ret speciel regnemaskine til et specielt formål - stillede så store krav til mekanisk præcision, at det tog adskillige år og kostede mange flere penge end først antaget at gøre den færdig. Mens Babbage arbejdede med differensmaskinen, fik han i 1833 ideen til den langt mere ambitiøse Analytical Engine, en fuldautomatisk, programstyret regnemaskine, som han brugte resten af sit liv til at forsøge at bygge. Babbage blev direkte inspireret af Jacquard's brug af hulkort og planlagde at udnytte dem på to måder.


"Analytical Engine".

De operationer maskinen skulle udføre - altså programmet for en bestemt opgave - skulle styres af et sæt operationshulkort, mens betegnelser for de variable, der indgik i beregningen, blev leveret på et andet sæt kort, variabelhulkort. Selve maskinen var i sin logiske struktur næsten mage til moderne datamater. Den havde et lager (the store), som skulle rumme de data, mellemresultater og færdige resultater, der indgik i en beregning. Den havde en regneenhed (the mill), hvor selve regneoperationerne på tallene skulle udføres, og endelig skulle styreenheden afføle operationshulkortene et ad gangen og dermed styre beregningsforløbet. Babbage var endvidere så klarsynet, at han ville forsyne maskinen med et trykkeværk, så resultaterne kunne trykkes direkte af maskinen. Herved sikrede han sig mod de sættefejl, der ville følge med en manuel aflæsning og efterfølgende trykning af resultaterne.

Desværre var Babbage langt forud for sin tid. Han måtte kæmpe meget for at få økonomisk støtte til projektet, og datidens teknologiske formåen tillod ikke at bygge en så avanceret mekanisk konstruktion. Maskinen skulle efter planen regne med 50-cifrede tal, og det enorme antal tandhjul, aksler, lejer m.v. der indgik i maskinen, stillede krav til mekanisk præcision og ensartet masseproduktion, som ikke kunne honoreres. Selvom Babbage både opfandt en særlig dokumentationsteknik til at beskrive de mange standardiserede maskindele og konstruerede specialværktøj til fremstilling af delene, blev den analytiske maskine aldrig fuldendt, og Babbage døde i 1871 som en skuffet mand. Dele af maskinen er siden blevet bygget efter hans tegninger og har vist sig fuldt ud at svare til hans forventninger.

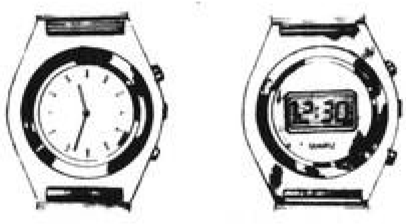
Stort set gik Babbage's geniale idéer i glemmebogen efter hans død og måtte genopdages, da elektroteknikken i 1940-rne blev taget i anvendelse til regnemaskiner. Men enkelte forsøgte dog at gå i hans fodspor. En irsk revisor, Percy Ludgate, publicerede i 1909 en artikel om en planlagt analytisk maskine der mindede en del om Babbage's, men dog med flere originale idéer. Således ville Ludgate bruge en enkelt hulstrimmel til hele styringen i stedet for Babbage's to sæt hulkort. Maskinen blev aldrig bygget, og efter Ludgate's død blev hans idéer glemt. I Spanien konstruerede en ingeniør, Torres y Quevedo, en forbløffende samling regnemaskiner og specielle automater, deriblandt to skakmaskiner der flyttede brikker på et skakbræt og som kunne spille slutspil med et menneske som modspiller. I 1914 skrev han "Essais sur l'Automatique", hvor han udtrykker beundring for Babbage's analytiske maskine og skitserer en elektromekanisk, programstyret regnemaskine.



Konstruktionstegning til Torres' elektromekaniske regnemaskine.

Desuden udvikles nogle principper for en elektromekanisk "universel automat", d.v.s. en maskine, der kan foretage logisk argumentation og træffe begrundede afgørelser, altså en slags logikmaskine. Disse avancerede maskiner blev aldrig bygget, men der er næppe tvivl om, at hvis behovet havde eksisteret, kunne Torres have virkeliggjort sine idéer.

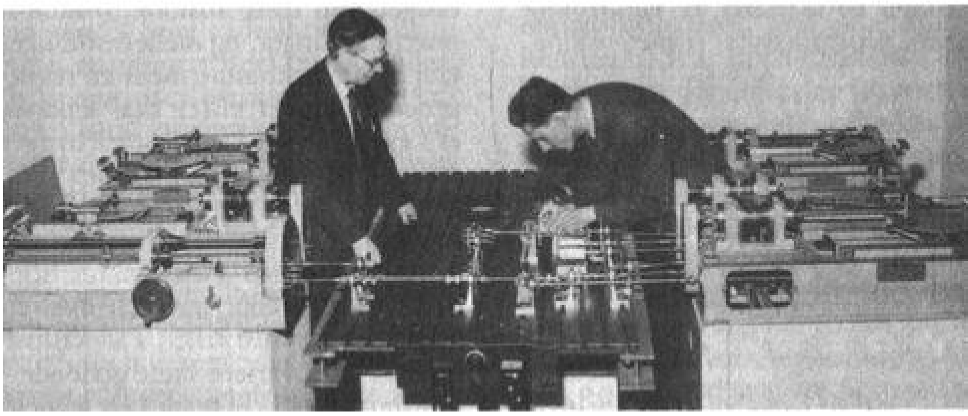
En del af astronomernes, meteorologernes og fysikernes regnebehov blev i mellemtiden dækket, takket være udviklingen af analoge regnemaskiner. Alle de hidtil nævnte maskiner (på nær regnestokken) har været ciffer-regnemaskiner, d.v.s. maskiner der regner på cifrene 0-9 omtrent på samme måde som vi gør, når vi regner med papir og blyant. Det er karakteristisk, at hver maskindel - tandhjul, kontakt eller andet - har netop 10 (eller netop 2) stillinger, der repræsenterer cifrene i l0-tal-systemet (eller i 2-talsystemet). Man bruger kun disse adskilte, diskontinuerte stillinger, og mellemstillinger kan kun forekomme mens en regneproces, hvor et ciffer skal ændres, er i gang. I modsætning hertil bygger analoge regnemaskiner på det princip, at de hjul, visere eller elektriske strømme, der skal repræsentere talværdier, kan stå i en hvilken som helst stilling (eller have en hvilken som helst strømstyrke). Talværdierne kan altså variere mere glidende -kontinuert - og betegnelsen analogmaskine hænger samme med, at dette ofte er mere i analogi med fænomenerne i den fysiske verden.



En analog- og en ciffer-tidsregnemaskine.

Fysikeren J. C. Maxwell konstruerede allerede i 1855 et lille, simpelt apparat til at måle arealer af vilkårlige figurer, et såkaldt planimeter. Det var en slags analog regnemaskine, hvor man ved at lade en skive glide og rulle henover en figur kunne måle dens areal med god tilnærmelse - Idéen fra dette apparat blev taget op af den engelske fysiker Lord Kelvin, som byggede forskellige analogmaskiner, deriblandt en tidevandsmaskine. Den kunne forudberegne tidevandssvingningerne i Themsen og automatisk tegne kurver over vandstanden. Lord Kelvin skrev i 1876 en artikel om "mekanisk integration af differentialligninger", hvori han demonstrerede de principper, en meget generel analog-regnemaskine kunne bygges efter.

De teknologiske problemer med at overvinde gnidningsmodstand og unøjagtighed på grund af slør i lejer var dog så store, at en sådan mekanisk differentialanalysator, som den kaldes i dag, først blev bygget omkring 1930 af amerikaneren Vanne-var Bush. Han konstruerede den uden at kende Lord Kelvins artikel, men anvendte de samme principper, og maskinen blev en sådan succes, at den blev kopieret adskillige steder i verden og benyttet til mange tekniske og videnskabelige beregninger. Således byggede man på Danmarks tekniske Højskole omkring 1950 en lignende mekanisk differentialanalysator, som imidlertid hurtigt blev overhalet af den netop påbegyndte udvikling af elektroniske cifferregnemaskiner.



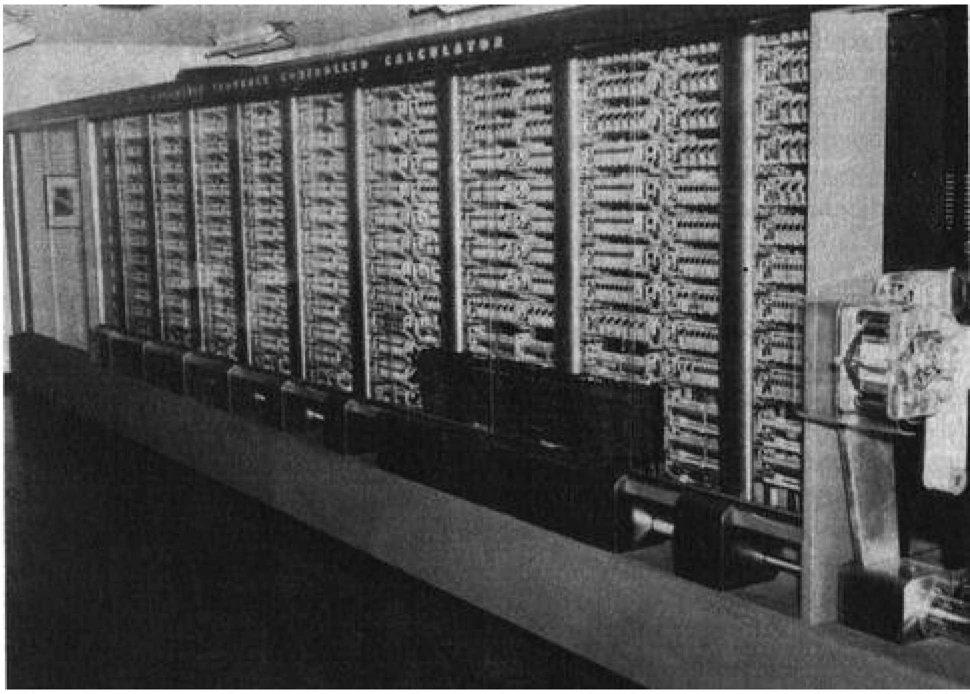
Mekanisk differential-analysator bygget på Danmarks tekniske Højskole.

Den elektroniske datamat

Den udvikling, der direkte leder frem til den moderne, programstyrede elektroniske datamat, tog sin begyndelse i slutningen af 1930-rne. Udviklingen startede næsten samtidigt i Tyskland, England og USA, og dette må tages som tegn på, at tiden simpelthen var moden dertil, fordi de nødvendige forudsætninger var til stede. Nævnt i flæng var nogle af de vigtigste forudsætninger følgende:

- Elektromekanik og elektronik var bl.a. via radioteknik udviklet til et stade, hvor man kunne producere nogenlunde pålidelige komponenter i stort antal.
- Automatiseringstanken var slået an i industrien, og man var både organisatorisk og teknolo-gisk i stand til at gennemføre virkeligt store, industrielle projekter.
- Der var et voksende behov for kæmpemæssige beregninger i mange fag som for eksempel astronomi, landmåling, meteorologi, fysik, projektilbaneberegning og hydrodynamik.
- Det nødvendige matematisk-logiske grundlag var tilvejebragt gennem mange forskellige matematikeres arbejde, hvoraf her kun skal omtales tre vigtige bidrag. Leibniz havde peget på 2-talsystemet som det talsystem, hvor alle beregninger foregår simplest, George Boole havde omkring 1850 grundlagt den logiske algebra (som tidligere omtalt), og i 1930-rne udviklede englænderen Alan Turing en meget generel, abstrakt matematisk model, "Turing-maskinen", hvormed man kan beskrive virkemåden og mulighederne i næsten enhver automatisk ciffermaskine.

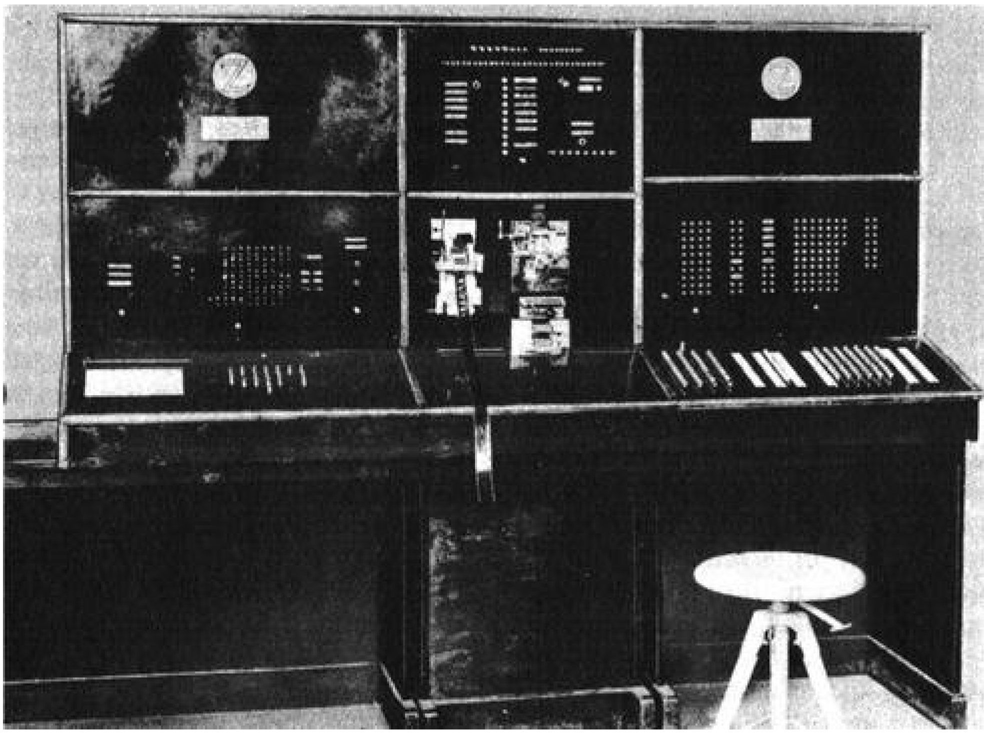
I Amerika begyndte Howard Aiken ved Harvard universitet i 1937 at planlægge en automatisk regnemaskine, fordi han ikke med håndkraft kunne løse de fysiske differentialligninger, han tumlede med. Han fik gjort IBM interesseret i planerne, og i begyndelsen af 40-rne byggedes Mark l maskinen efter hans skitser. Maskinen var kæmpemæssig, næsten 15 meter lang, og regnede ret langsomt, fordi den var elektromekanisk. Den bestod hovedsagelig af tandhjul, relæer og kontakter. Multiplikation af to tal tog ca. 6 sekunder og en division varede 12 sekunder.



Mark I, den første amerikanske regnemaskine der var programstyret. Den var elektromekanisk og kunne oplagre 72 23-cifrede tal (variable) samt 60 konstanter. Den stod færdig i 1944.

Men Mark I var programstyret, d.v.s. at når den blev forsynet med et program for de ønskede regneoperationer og deres rækkefølge, gennemførtes selve beregningen fuldautomatisk. Programmet skulle hulles i en hulstrimmel, hvorfra maskinen aflæste og udførte ordrerne en ad gangen, efter næsten samme princip som Babbage og Jacquard havde anvendt.

Længe troede man, at Mark I var den første programstyrede regnemaskine i verden, men i Tyskland havde Konrad Zuse faktisk allerede bygget en mere avanceret og væsentlig mindre regnemaskine Z3 - Efter nogle forsøg med simplere mekaniske og elektromekaniske maskiner fuldførte han i 1941, kun assisteret af én mand, Z3 -maskinen. Den var programstyret via hulstrimmel ligesom Mark I, men var på visse punkter denne overlegen. Den fyldte væsentlig mindre end Mark I, fordi den var bygget udelukkende med relæer, hvor Mark I også indeholdt en del mekanik. Mens Mark I regnede i 10-talsystemet, brugte Z3 2-talsystemet, endda med en meget fleksibel talrepræsentation (såkaldt "flydende tal" som også bruges i moderne datamater). Så snart Z3 var færdig, påbegyndte Zuse konstruktionen af en forbedret og lidt større version Z4, og denne stod færdig i 1945.



Konrad Zuse's anden maskine Z4. Den var programstyret, havde lagerplads til 64 tal (variable) og regnede i 2-talsystemet.

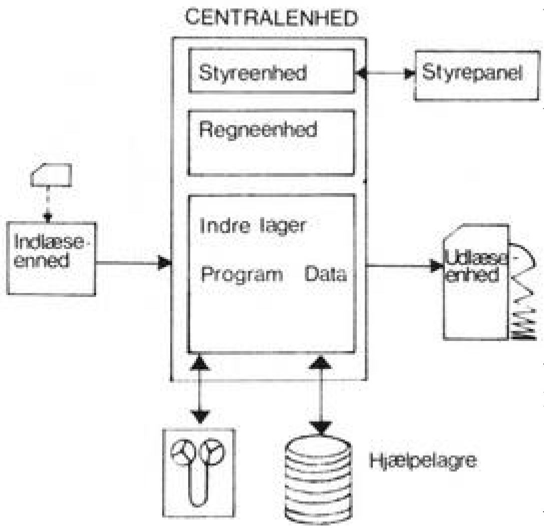
Men på grund af de vanskelige forhold i Tyskland i de følgende år gik datamatudviklingen der i stå, mens den samtidig fortsatte med stormskridt i USA og andre steder.

Zuse fortsatte dog med at spekulere over, hvordan sådanne maskiner kunne programmeres bekvemt, og han udviklede på papiret et avanceret programmeringssprog "Plankalkul"; det indeholdt forbløffende mange af de træk der er karakteristiske for moderne programmeringssprog.

Den første rent elektroniske regnemaskine var ENIAC, som blev bygget 1943-45 på Moore School i Pennsylvania af en stor gruppe under ledelse af ingeniørerne J. P. Eckert og J. W. Mauchly. ENIAC var planlagt specielt til at løse ballistiske problemer, men blev undervejs modificeret til en generel regnemaskine bl. a. under indtryk af forslag fra den store matematiker John von Neumann. Den færdige maskine var en imponerende konstruktion med over 18000 radiorør og 1500 relæer, og den slugte 200 kilowatt når den kørte. Man programmerede ENIAC ved at indstille en lang række kontakter og trække en masse ledninger på en art "omstillingsbord". Til gengæld for denne besværlige programmering regnede ENIAC hurtigt, når den først var programmeret: Multiplikation af to tal tog kun 3/1000 sekund og addition kun 2/10.000 sekund.

Succesen med ENIAC betød gennembruddet for de rent elektroniske maskiner, men programmeringen var så omstændelig, at ENIAC-gruppen begyndte at lede efter en anden løsning end "omstillingsbordet", samtidig med at de planlagde en ny maskine EDVAC. I 1945 skrev John von Neumann så den berømte artikel "First Draft of a Report on the EDVAC", der markerer det sidste fundamentale skridt hen imod moderne datamater. Tidligere maskiner havde nok været udstyret med lager til at opbevare tal og mellemresultater, men det styrende program blev læst ordre for ordre fra hulkort eller hulstrimmel eller blev indsat på et "omstillingsbord". J. von Neumann udviklede idéen om et mere generelt lager, hvor både programmet for en beregning og de tilhørende data og resultater kunne opbevares; han påviste at maskinen ville blive langt mere fleksibel end tidligere maskiner, og endelig skitserede han de funktionelle hoveddele, en datamat må indeholde:

1. En regneenhed, der udfører simple aritmetiske og logiske operationer en ad gangen.
2. Et lager, der rummer både programmet for den aktuelle opgave og de tilhørende data og mellemresultater.
3. En styreenhed, der overvåger beregningsgangen, styrer de øvrige enheder og sørger for at de enkelte ordrer i programmet udføres i rigtig rækkefølge.
4. Ydre enheder, der varetager kontakten med omverdenen: Nogle enheder må kunne indlæse programmer og data til datamatens lager, for eksempel fra hulkort, og nogle må kunne udskrive resultater fra lageret i form af tal, tekst eller kurvetegninger.



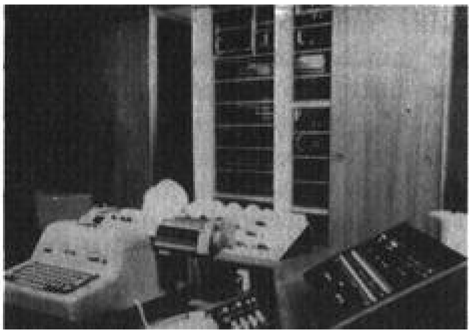
Skematisk opbygning af en von Neumann-datamat.

En sådan datamat centreret omkring styreenheden, der trinvis (sekventielt) udfører et program anbragt i lageret, kaldes en von Neumann-maskine, og næsten alle datamater er bygget efter dette princip.

Adskillige grupper begyndte meget hurtigt at konstruere maskiner efter anvisningerne i von Neumanns rapport, og den første praktisk brugbare datamatmed lagret program blev den engelske EDSAC, som var køreklar i maj 1949. Den blev bygget ved Cambridge universitet af en gruppe under ledelse af Maurice Wilkes.

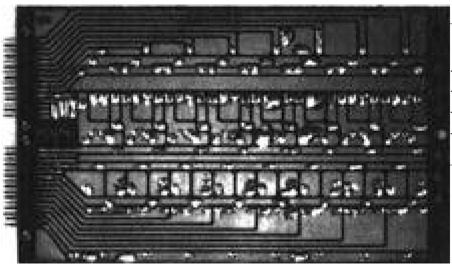
EDSAC var af moderat størrelse og rummede kun ca. 3000 radiorør, men havde dog et lager med plads til 1024 tal eller ordrer. Foruden at bygge selve maskinen løste Cambridge gruppen med stor opfindsomhed mange af de grundlæggende problemer, man møder ved programmering af sådanne maskiner. Når en maskine kun kan styres af et lagret program, er det således et problem at få den startet, altså at få det første program indlæst til lageret. I EDSAC var det løst ved at maskinen var udstyret med en samling "initial-ordrer" Det var et lille, fast indbygget program med de nødvendige instrukser til at få maskinen startet og forsynet med et egentligt beregningsprogram, og det svarede fuldstændigt til det program der under navnet "bootstrap loader" findes i de fleste maskiner.

I hurtig rækkefølge efter EDSAC blev adskillige andre maskiner taget i brug, deriblandt den noget større, tidligere omtalte EDVAC, som blev den første amerikanske von Neumann-maskine.



GIER, den danske datamat med transistorer.

I Danmark havde Akademiet for de Tekniske Videnskaber allerede sidst i 40-rne nedsat et regnemaskineudvalg som i 1955 tog initiativet til at grundlægge Regnecentralen og starte bygningen af den første danske datamat DASK, som blev konstrueret under ledelse af Bent Scharøe Petersen. DASK blev indviet i 1957 og var dengang blandt de største og hurtigste datamater i Europa. Den blev snart travlt beskæftiget med både tekniske beregninger og administrativ databehandling, og dette førte til, at Regnecentralen - med den dynamiske direktør Niels Ivar Bech i spidsen - få år efter udviklede en ny maskine GIER og startede en dansk dataindustri ved at begynde serieproduktion af GIER-maskiner og senere også af andre maskiner. Mens DASK var bygget med radiorør, var GIER fuldt transistoriseret og fyldte derfor mindre rent fysisk, ligesom den var hurtigere og pålideligere end DASK. Kraftigt medvirkende til GIER's succes var, at den var særdeles bekvem at programmere, fordi Regnecentralen under Jørn Jensens og Peter Naurs ledelse udviklede et meget effektivt oversætterprogram til programmeringssproget Algol.



Bagsiden af "trykt" kredsløbskort, hvor man ser alle de påtrykte ledninger.

Op til 1950 blev maskinerne først og fremmest udviklet som matematik-maskiner og benyttet til beregning af løsninger til de komplicerede matematiskeligninger, man mødte i naturvidenskaberne. Men fra begyndelsen af 1950-erne tog man for alvor maskinerne i brug til administrativ databehandling, og dette startede den hurtigt accelererende udvikling af dataindustrien, der på 25 år er vokset fra ingenting til at være en storindustri. Da DASK stod færdig i 1957, var det den første og i nogen tid den eneste datamat i Danmark, men siden er antallet vokset nogenlunde eksponentielt her som i udlandet, og i begyndelsen af 70-erne regnede man med, at der i Danmark var omkring 500 datamater og i hele verden flere end 200.000. Men det er blevet stedse vanskeligere at foretage en sådan optælling. Den teknologiske udvikling har medført, at de elektroniske komponenter kan konstrueres mindre og mindre, og miniaturiseringen af komponenter har bl.a. gjort, at man nu kan købe en hel mikrodatamat med lager, regne- og styreenhed indbygget i en enkelt kapsel på størrelse med en negl - og den koster kun få hundrede kroner. I mange apparater, f.eks. bordregnemaskiner og avancerede måleinstrumenter, bruges sådanne mikrodatamater til at varetage forskellige styringsfunktioner uden at man kan se udefra, at apparatet indeholder en datamat. Når en datamat kan være så lille, bliver en optælling næsten lige så meningsløs som et forsøg på at tælle antallet af møtrikker i Danmark. Men selv om man ville nøjes med at tælle de større datamater, er det vanskeligt at finde ud af hvad man skal tælle med, fordi mange anlæg i virkeligheden består af flere sammenkoblede datamater, imellem hvilke der er en vis arbejdsdeling. I et billetbestillingsanlæg kan der være én datamat til at styre kommunikationen med ekspedienternes dataterminaler, en anden til at foretage alle manipulationerne med de oplagrede registerdata, og en tredje til at udføre de egentlige regneprocesser og varetage den overordnede styring af hele anlægget.

Årstal	Hjælpemidler	Regnetid
Før 1600	(ingen)	umuligt
1600-1950	Håndregning med logaritmetabeller og bordregnemaskiner	30.000 timer, d.v.s. i praksis umuligt: er aldrig gennemført
1950	SSEC, en elektromekanisk maskine à la Mark I	150 timer
1960	GIER, dansk transistoriseret datamat	5 timer
1965	CDC6400, amerikansk datamat	5 minutter
1970	IBM/95, amerikansk datamat med integrerede kredse	30 sekunder

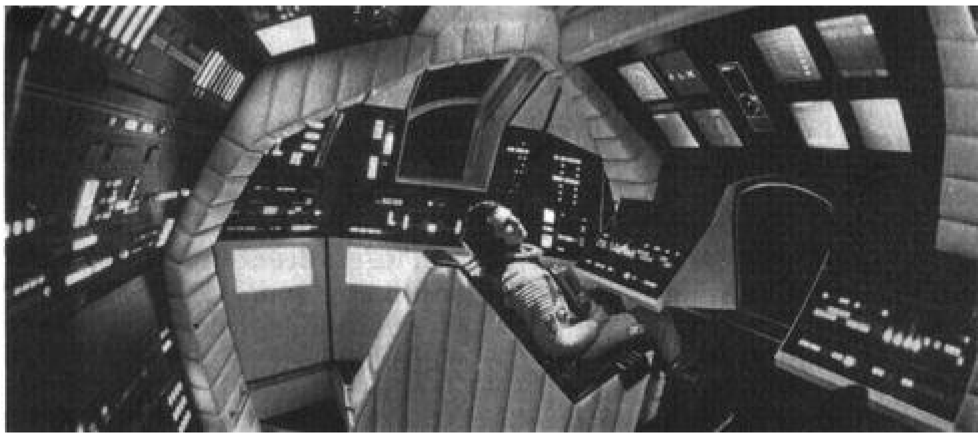
Til illustration af datamaternes betydning for, hvilke opgaver vi over-hovedet er i stand til at løse, vises i ovenstående tabel hvor lang regnetid en bestemt astronomisk opgave ville tage med forskellige hjælpemidler. Opgaven er at beregne planeternes positioner på himmelen fra år 1654 til år 2000. Matematisk består dette i at løse de differentialligninger, der beskriver planeternes banebevægelser omkring Solen, og det involverer at bestemte beregningsskridt må gentages hundredetusinder af gange. Beregningen blev første gang gennemført i 1950 på SSEC-maskinen, der mindede en del om den føromtalte Mark I maskine.

Det er interessant at lægge mærke til, at selvom overgangen fra håndregning med logaritmer til den første automatiske regnemaskine betød et stort spring i regnehastighed, er der siden sket en langt større udvikling. Med SSEC gik det 200 gange så hurtigt som med håndregning, men nu går det allerede 18.000 gange så hurtigt som i 1950, og alt tyder på at fremtidens datamater bliver endnu hurtigere.

Samtidig bruger vi datamaterne til stadigt flere opgaver, og mens hovedvægten hidtil har ligget på relativt rutinepræget administrativ databehandling, vil den nok efterhånden komme til at ligge på mere og mere intelligenspræegede opgaver, hvor datamaten "træffer beslutninger".

I science-fiction historien "Rumrejsen år 2001" optræder en fantastisk datamat HAL, der ikke bare styrer rumskibet, men også mandskabet; den snakker med dem og sørger for deres underholdning, og til sidst planlægger den at udrydde mandskabet. Man kan fantasere over om en datamat med en så udviklet kunstig intelligens nogensinde kan konstrueres, men der er i hvert fald nogle meget alvorlige hindringer der skal overvindes først. En af hindringerne er rent teknologisk. En datamat med HAL's kapacitet må være mange gange større, hurtigere og pålideligere end nogen datamat vi kender i dag, og desuden må den være udrustet med en række ydre enheder som slet ikke eksisterer endnu.

Langt den største hindring bliver dog at konstruere de programmer, der skal få HAL til at opføre sig som beskrevet i romanen. Forskningen i det, der kaldes "kunstig intelligens", er kun kommet så langt, at man lige akkurat kan skimte de uhyre problemer man møder, når man skal præcisere begrebet intelligens. Før disse problemer er løst, kan man i hvert fald ikke drømme om at lave "intelligente" maskiner à la HAL.



Den intelligente datamat HAL fra filmen "Rumrejsen år 2001", underholder en af rumpiloterne.

Chr. Gram