

# Tid og sted - klassisk og moderne kortlægning

*Blandt utallige korttyper er topografiske kort og matrikelkort uhyre betydningsfulde i den offentlige administration, og kortlægning er stadig en teknologisk udfordring*

Af Karin Haldrup

I Vatikanet er der en lang sal, et galleri, hvis vægge er udsmykket med fyrrer store geografiske kort over Italien og den katolske kirkes besiddelser, malet som fresker i 1580 - 1583. Kortmanuskripterne er udarbejdet af den dominikanske præst og geograf, Ignazio Dante, som også stod bag indførelsen af den gregorianske kalender. Det er et mesterligt værk, som trodsede manglen på tekniske metoder til at producere oversigtlige og gode kort. Dets imponerende placering murfast i magtens centrum er betegnende for den geografiske videns strategiske betydning.

Kortlægning har til alle tider været en teknologisk udfordring, der har påkaldt sig særlig strategisk interesse, i den vestlige kultursfære oprindeligt forbundet med opdagelsesrejser og erobringer i betydningen kortlægning af ukendte områder. De første kort over nyopdagede kontinenter og områder er særlig spændende - hvad var det, de oplevede, og hvordan kunne de dog skabe så relativt gode oversigtskort?

For oversigtens skyld fokuseres her specielt på to af de mest betydningsfulde former for kort, topografiske kort og matrikelkort, blandt de utallige korttyper, man kan komme i tanker om.

Præcise og detaljerede topografiske kort var og er fortsat kritiske i krig og anden udøvelse af magt. Tidligere blev kortene til militært brug naturligt efterfulgt af et påtrængende behov for matrikelkort: Når magthaverne, i Danmark kongen, havde ødet statens penge bort i mislykket krigsførelse, blev det tid at udskrive skatter. Dertil måtte der etableres en matrikel med tilhørende kort, som kunne sikre en vis retfærdig fordeling proportionalt med arealerne.

Man har til alle tider kunnet diskutere, hvordan skattepengene gives ud, men det er en kendsgerning, at netop matrikulering og ejendomsregistrering og indkrævning af ejendomsskatter i nyere tid er et vigtigt led i udviklingen af et civilt samfund. Matrikulering har fået en renæssance i de seneste årtier, fordi man erkender, at det er et nødvendigt grundlag for moderne, offentlig administration.

En sikker ejendomsregistrering baseret på en ajourført matrikel er en vigtig forudsætning for en udviklet markedsøkonomi, idet sikrede rettigheder og brug af ejendommen som pant mindsker risikoen for investeringer.

Ejendomsskatter er en enkel form for beskatning, som normalt tilfalder den lokale administration, og som der ved historisk har spillet en stor rolle ved styrkelse af decentralisering.

I øjeblikket er data i ejendomsregistre (matrikel og tingbog mm.) nogle af de mest anvendelige og efterspurgte offentlige data, og der er stor interesse for at kunne anvende disse data yderligere til udvikling af nye servicedydelser i informationssamfundet.

Man taler om, at 80 procent af data i den offentlige administration er geografisk relaterede direkte til konkrete matrikler, arealer og områder eller indirekte til et sted gennem adressen. Hvis man ser på data ud fra denne synsvinkel, bliver næsten alle data potentielle kortdata.

## Kortlægningsteknik

Indtil for ca. 200 år siden var der alvorlige begrænsninger i teknologien, som medførte, at der kun fandtes få detaljerede og præcise kort.

Ny kortlægningsteknik og tilgængeligheden til data har fravristet kortlægning sin oprindelige mystik og eksklusivitet. Vi er privilegerede ved nu at have et enestående synoptisk billede af kloden gennem alment tilgængelige satellitoptagelser, som det ikke har været tidligere generationer beskåret at opleve. Mange typer af gode kortdata er tilgængelige for lægmand til en overkommelig pris eller endog gratis.

Ikke desto mindre er kortlægning fortsat en teknologisk udfordring, som kræver et højt vidensniveau og investeringer i avanceret teknologi. Udviklingen frem mod bedre kort er sket i ryk baseret på kvantespring i teknologiudviklingen generelt, som det søges beskrevet nedenfor.

## Tid og sted

De første geografiske kort blev tegnet, baseret på måling af de geografiske koordinater, længde og bredde. Bredden er forholdsvis nem at måle ved observation af solhøjden, korrigeret ved elementære astronomiske parametre. Længden var oprindeligt et stort problem, idet målingen var relateret til observation af tidsforskelle med kronometre. Unøjagtigheder i længden, dvs. tidsmålingen, er en hovedårsag til de fortegninger, der er kendetegnende

for de første kort udført i opdagelsesrejsernes tid. Springer vi frem til vor tid, er tid igen blevet en kritisk faktor i stedbestemmelsen, idet den nyeste opmålingsteknik også er baseret på tidsmåling, blot af en helt anden slags.

Det såkaldte Global Positioning System, som er udviklet af det amerikanske militær, men tilgængeligt for civile anvendelser, er bygget op omkring et system af 24 satellitter i præcist kendte cirkulære baner om Jorden. Med en GPS-modtager kan den nøjagtige position på Jorden i forhold til disse baner og den præcise tid bestemmes, dog således at der indtil for nylig har været påført en forvrængning af nogle af signalerne på omkring hundrede meter.

Positioneringen sker ved en rumlig tilbageskæring ved hjælp af signaler fra fire eller flere satellitter i kendte baner. Afstandene fra GPS-modtageren i observationsstedet til satellitterne beregnes ud fra faseforskydningen i signalerne, resulterende fra tidsforskellen mellem afsendelses- og modtagelsestidspunktet. Der måles med særdeles nøjagtige ure, atomure.

Hvis der måles med flere GPS-modtagere samtidig, hvoraf mindst én er opstillet i et kendt punkt, kan der opnås stor absolut nøjagtighed i det aktuelle koordinatsystem. Nøjagtigheden i bestemmelsen af et givet punkt er foruden udstyrets kvalitet bl.a. afhængigt af, hvor lang tid der foretages observationer.

GPS-teknologien bruges i dag til utallige typer af anvendelser lige fra geodæsi, positionering til navigationsformål og til simpel orientering. Selvsagt anvendes der vidt forskellige typer af udstyr og beregninger svarende til de forskellige specifikationer.

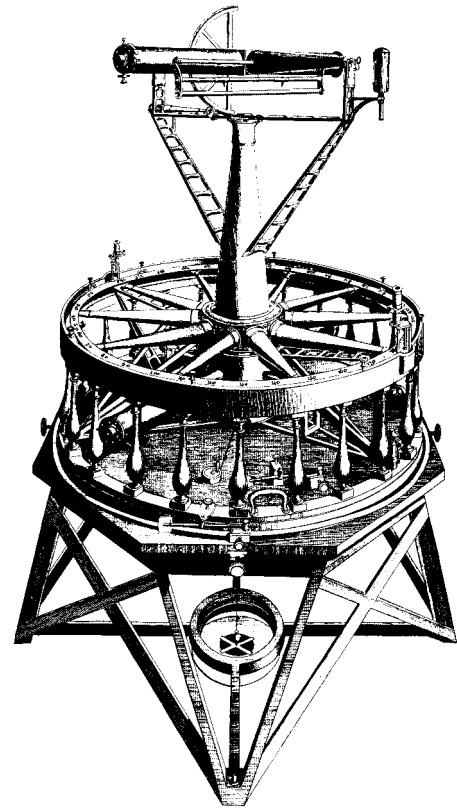
GPS-målingen har stort set afløst de klassiske metoder, triangulation, til indmåling af hovedpunkter i et såkaldt referencenet, som er nødvendigt som grundlag for detailkortlægning.

### Tidsaktualitet

Tid er også vigtig på anden vis i moderne kortlægning. Man taler om præcision i sted og tidsaktualitet. Præcisionen er ikke særlig interessant, hvis forholdene ikke mere er, som de var under den seneste opmåling. På trykte topografiske kort står der nydeligt i rammen, hvornår det senest var ajourført. Dette har typisk været foretaget hvert tiende år, en ajourføringsrytme, som ikke længere er tilstrækkelig, udviklingens hast taget i betragtning.

Med mange former for geografiske data forventes der en helt anden grad af tidsaktualitet. Kort, der anvendes til navigation, forventes at have alle veje og adresser med, så snart de er færdige til brug.

Matrikelkort skal nødvendigvis vise den faktiske ejendomsituation og skal derfor ajourføres i det øjeblik, der



*Instrument til vinkelmåling (teodolit), der muliggjorde den første præcise triangulation af England, fremstillet af Jesse Ramsden (1735-1800) til Royal Society.*

sker en godkendelse af en matrikulær ændring af myndighederne. Det drejer sig ikke mere om år, men om dage.

Behovet for løbende ændringer i kortdata forstærkes ved, at der nu er fart i udviklingen af kortdata til webbrug og til modtagelse i særlige mobiltelefoner. Det giver ligesom ikke mening at hente kortdata med lynets hast over Internettet, hvis data er næsten statiske som resultat af en årelang produktionsproces. Accelerationen i produktionsteknologien får dermed et ekstra ryk.

Lige en ganske lille smule om den anvendte teknik til kortlægning. Egentlig kortlægning foregår i dag først og fremmest ved brug af luftfotos og fotogrammetriske metoder til udtegning af data, som navnlig har vundet indpas siden 60'erne. Det betyder, at en del arbejde er flyttet fra marken og indenfor. Opmålingsmetoderne har samtidigt gennemgået en fantastisk forandring.

### Markmåling

Af stor betydning for den moderne kortlægning var det, at der i det 18. århundrede blev introduceret rationel opmåling baseret på en sammenhængende triangulation,

basismålinger og astronomiske stedbestemmelser. I Danmark blev dette arbejde sat i værk omkring 1760.

Triangulation bestod dengang i opmåling af et trekantsnet ved vinkelmålinger, suppleret med enkelte afstandsmålinger for at bestemme basis. I et klassisk triangulationsnet etableres punkter med stor visibilitet typisk på toppen af bakker i et net med ca. 25-30 kilometers afstand. Ideelt set skal trekanterne være ligebenede, og i hvert punkt skal der måles til så mange andre punkter som muligt. Efter målingerne sker der en udjævning af resultaterne ved beregninger, der før computerteknologien var en vanskelig opgave med ligninger med mange ubekendte.

Moderne målinger i marken foregår enten ved GPS eller ved brug af totalstationer, som kan måle vinkler og afstande, registrere data elektronisk og foretage visse beregninger i marken. Med det rigtige udstyr kan eksisterende data medbringes i marken og vises på en skærm dynamisk sammen med nye data og oplysninger om aktuelle positioner.

Nogle korttyper kræver stadig opmåling i marken, f.eks. matrikelkort. Målingen af et skelrør kan jo ikke ske ud fra luftfotos, ligesom målingen som regel er en integreret del af en proces, hvori der indgår en accept af de berørte lodsejere. Grænser, der er resultatet af en beslutningsproces snarere end en naturlig fysisk grænse, kan stadigt ikke bestemmes fra luften.

### Fotogrammetri

Fotogrammetri bygger på anvendelse af specielle luftfotos i stort format (negativer 23 cm x 23 cm) optaget med et præcisionskamera monteret i et "hul" i bunden af et fly. Målestoksforholdet af billederne bestemmes af flyvehøjden og typen af linse i kameraet.

Sådanne luftfotos optages med lodret akse i et regelmæssigt system af parallelle flyvelinier med mindst 60 procent overlap mellem billeder i længderetningen og ca. 30 procent overlap mellem nabo-flyveruter. Som noget relativt nyt styres kameraet af GPS-udstyr, således at optagepositionerne kan planlægges på forhånd, og således at den nøjagtige position af optagecentrum kan indgå i beregningen af aerotriangulationen efterfølgende. En af fordelene ved fotogrammetrisk kortlægning er, at der ikke er behov for så mange kendte punkter i marken, og brugen af GPS ved kameraet styrker yderligere beregningerne.

Kort-udtegningen sker i specielle stereo-udtegningsinstrumenter. Det grundlæggende princip er, at der ved brug af to overlappende fotos kan skabes en stereo (dvs. rumlig) model af terrænet i instrumentet. Modellen orienteres og skaleres i forhold til kendte punkter i terrænet, således at målingen af detailpunkter i modellen

kan ske i det rigtige koordinatsystem. De første fotogrammetriske instrumenter var bygget med optisk-mekanisk finteknik, hvor forstørrelsen og projektionen af billedelementer fra de to fotos skete gennem optiske projektioner. Operatøren kigger på den optiske model via et par linser, som svarer til en kikkert, mens et målemærke optisk projiceres ind i modellen og styres med to håndhjul (henholdsvis  $x$  og  $y$ ) og en fodpedal til at køre mærket op og ned med ( $z$ ). Når målepunktet er positioneret på terrængenstanden, f.eks. et brønddæksel, registreres punktet ved et tryk på en fodpedal.

Målingerne foretages stadig af en operatør på denne måde, uanset at de gamle mekanisk-optiske instrumenter nu er afløst af analytiske eller digitale instrumenter. Målingerne sker med registrering af punkter, linier og flader i en database med kodning af elementerne som hus, vejkant, hegn, eller hvad der nu skal registreres til den konkrete opgave.

I de seneste ti år har det været muligt at producere såkaldte orto-fotos, som er et særdeles værdifuldt kortprodukt. I princippet er et orto-foto en sammenhængende mosaik dannet af luftfotos, der er skannede, geometrisk oprettede ved brug af en digital terrænmodel og grafisk korrigerede. Med andre ord har dette produkt kortets kvalitet af målfasthed og billedets fulde indhold. Det er et målfast fotokort. Et ortofoto produceres ud fra fotogrammetriens klassiske principper kombineret med moderne billedbehandlingsteknik. Der indgår del-automatiserede processer, og da der ikke er behov for, at en operatør udtegner kortets elementer punkt for punkt, er det billigere at producere end vektor-kort. Ortofotos anvendes ofte som baggrundskort til forskellige vektor-kort, og der kan ligeledes ske en digitalisering ud fra ortofotoet ved simpelthen at digitalisere de ønskede elementer på skærmen. Ortofotos optager megen computerlagerplads, men det er ikke mere noget problem. Der foreligger nu landsdækkende digitale ortofotos af Danmark (DDO), produceret af Kampsax, som er et supplement til de topografiske kort fra Kort- og Matrikelstyrelsen.

### Satellitdata

Til kort i et lille målestoksforhold kan satellitdata være særdeles velegnede. Der er særlige fordele ved at anvende multispektrale satellitdata til forskellige former for naturvidenskabelige undersøgelser, bl.a. fordi der kan optages satellitfotos med regelmæssige mellemrum. Til topografisk kortlægning har satellitdata ikke hidtil opnået den helt store udbredelse. Det er stadig vanskeligt at skelne topografiske elementer i de hidtil kendte satellit-data såsom Landsat og Spot-data. I udviklingslande, hvor der ikke findes så mange kort eller data, kan satellitdata være særdeles nyttige. Der er megen tale om, at

nye høj-opløselige satellitdata f.eks. fra IKONOS-satelliten kan udfordre fotogrammetrien som den førende metode inden for kortlægningen. Der kan med de nye satellitdata opnås en opløsning på op til ganske få meter. Det er endnu ikke klart, om pris og kvalitet kan konkurrere, men der kan forventes at ske en yderligere forbedring af satellitkort-produkterne inden for de kommende generationer af satellitter.

Med dette kvantespring fra tidligere satellitdata af højst 10-30 meters opløsning til data på få meter sker der en revolution på flere måder. Det har hidtil været et problem at få produceret kort over lande eller områder med særlige militære restriktioner. En stor del af verdens lande lider stadig under kraftige begrænsninger i adgangen til kort eller til produktion af kort. Det ville lette en række civile anvendelser, hvis satellit-optagelser kunne bryde dette monopol og imødekomme behovet for kort. Netop denne udvikling giver håb for fremtiden. Nu er vi nået til, at nøgterne, præcise optagelser fra rummet kan afløse manipulerede kort, når det gælder de fysiske forhold.

Andre geografiske informationer (kort), som ikke umiddelbart kan observeres, kan stadig blive manipuleret, som det kan ske med al anden form for information.

### Visualisering

Uanset korttype og karakter virker et kort dragende gennem dets billedlige form. Et kort skulle gerne kunne bibringe læseren en rumlig forståelse, som ikke kan kommunikeres tilsvarende effektivt ved de lineære kommunikationsformer.

De klassiske kort havde en særlig skønhed, som stadig kan beundres, mens nyere kortprodukter kan være mere eller mindre tiltrækkende at se på. Der ligger til alle tider en opgave i at optimere udtryksformen i forhold til det aktuelle medie. Vi har stadig behov for at arbejde mod at få flottere digitale kort, da der endnu produceres mange kort, der reelt er en digital gengivelse af kort, der var tilpasset trykning på papir.

Et emne, som måske kan have dette tidsskrifts læsers interesse er begrebet perception. Det er en tanke værd, at der sker et kommunikationstab fra de objektive data, angivet på et kort, til det billede der dannes i hovedet på kortlæseren. Hvor meget er vi i stand til at opfatte gennem øjet? Hvilket billede fæstner sig på nethinden og huskes?

I disse spørgsmål kommer kortlægningens eksakte metoder til kort.

### Klassiske principper i kortlægningen

Der er visse klassiske principper i kortlægningen, som står fast uanset teknologiens udvikling:

1. Der skal altid etableres et geodætisk referencenet først. Dette består i en matematisk definition af en projektion og et koordinatsystem, udmøntet i marken ved et net af fysisk etablerede punkter, der er bestemt med stor præcision. Med andre ord er disse punkters koordinater kendte i det pågældende koordinatsystem.
2. Der indgår forskellige udfordringer i at bestemme de planimetriske koordinater  $(x,y)$  og højden  $(z)$ . Højdedata skal bestemmes i forhold til et niveau defineret som havets overflade, men det er nemmere sagt end gjort. Havets overflade danner imidlertid en uregelmæssig form, der ikke er geometrisk defineret hverken som en ellipsoide eller kugle. Desuden sker der i Danmark også en vis langsommelig landhævning/sænkning til minde om istiden. Med anvendelse af GPS er det betydeligt nemmere at bestemme højder end med traditionelt nivellement.
3. Dette net kan så yderligere fortættes for at lette detailmåling og -kortlægning ved forskellige former for hovedpunktsmåling, i marken med terrestriske metoder eller fra luften ved fotogrammetriske metoder.
4. Først derefter kan der laves egentlig kortlægning af alle de objekter, man måtte ønske at have med på det givne kort, baseret på målinger (orientering) til det kendte referencenet. Dette kan ske ved målinger og informationssamling i marken, ved kortlægning ud fra flyfotos (fotogrammetri) eller ved brug af satellitbilleder.
5. Kortlægning indebærer en form for fortolkning, forenkling, symbolisering og kodning af terrænet. Jo mindre målestoksforholdet er, des større grad af generalisering. Før der foretages en kortlægning, skal der derfor udarbejdes en specifikation, så kortdata bliver ensartede og anvendelige til det konkrete formål.
6. Det valgte målestoksforhold er afgørende for graden af forenkling/opløsningen i den klassiske verden af grafiske kort. Eller omvendt, i den digitale verden er detaljeringsgrad og opløsning af data afgørende for, hvilke målestoksforhold data kan anvendes i. Digitale data er i princippet uden et målestoksforhold, som et papirkort, men anvendeligheden er alligevel begrænset til et ret snævert 'zoom'-niveau.
7. Et kort består af enten vektor-data, som er linier, punkter og flader, eller af rasterdata, som er billeddata (eksempelvis satellitdata). Klassiske kort og kortdata er af førstnævnte type, i princippet tegnet eller digitaliseret streg for streg med håndkraft. Rasterkort produceres med digital billedbehand-

lingsteknik og kan derfor produceres mere automatisk. Til gengæld er rasterdata (billeder) ikke strukturerede til søgning af objekter i databasen. Almindelige anvendelser baseres i vid udstrækning på visuel tolkning. Rasterdata vinder efterhånden stor udbredelse inden for kortlægning, nu da lagringskapacitet i computere ikke længere er nogen begrænsning.

8. I landmåling som i kortlægning drejer det sig hele tiden om at tilrettelægge arbejdet på en sådan måde, at fejl holdes under kontrol. Ved målinger af hovedpunkter måles altid overbestemmelser, som betyder, at beregningerne vil vise den opnåede midelfejl og således også afsløre, hvis der er grove fejl. Kortets indhold skal også kontrolleres for kompletthed og korrekthed på anden vis.
9. Der tales både om et korts relative og dets absolutte nøjagtighed. Til almindelige orienteringsanvendelser er den relative nøjagtighed den vigtigste. Når data kobles sammen i ét geografisk informationssystem, er det hensigtsmæssigt med absolut nøjagtighed. Ligeledes er der præcise anvendelser af kort til tekniske anvendelser, der kræver god absolut præcision.
10. Produktionsomkostninger for kort stiger næsten kvadratisk med målestokken. Dvs. kort i stor detaljeringsgrad er temmelig dyre at producere.

Blandt ovennævnte emner står begrebet målestoksforhold helt centralt. Målestoksforholdet angiver implicit mange af kortets forskellige karakteristiske kvaliteter, idet et givet målestoksforhold sætter begrænsninger for indholdet og for nøjagtigheden.

Topografiske kort i små målestoksforhold er stærkt generaliserede, ja næsten abstrakte. Eksempelvis er der måske ikke plads til at vise alle hårnålesvingene på en bjergvej, men ved generalisering bibeholdes karakteren af vejen som stærkt bugtet, mens der gengives så mange sving, som der er plads til. På topografiske kort i f.eks. 1:100.000 (1 cm på kortet = 1 km) er det ikke muligt at vise alle bygninger. I stedet vises bygninger som symboler, så man kan se, om det er en sammenhængende bebyggelse eller fritstående huse. Forsøger man at lægge et topografisk kort, der er generaliseret og forstørret mange gange, sammen med kortdata i det samme store målestoksforhold, ses det klart, hvor store fortegninger der i virkeligheden er. Generalisering er imidlertid nødvendig. Hvis man vil forsøge at plote et oversigtskort i et lille målestoksforhold ud fra stærkt detaljerede data, koagulerer indholdet til én stor plamage.

Kort(data) i stort målestoksforhold bruges nu hovedsa-

geligt digitalt i mere eller mindre sofistikerede programmer til geografisk databehandling (Geografiske Informationssystemer, GIS). Dette tillader brugerdefineret udtræk fra en sammenhængende database til stor letelse af arbejdet i forvaltning og teknisk administration, først og fremmest hos kommuner og ledningsejere.

Disse kortdata i stort målestoksforhold bliver mere og mere avancerede og er i henhold til de danske kortspecifikationer defineret i tre dimensioner ved  $(x,y,z)$ . Brugerkravene bevæger sig i retning af at kunne lave 3-D modeller af områder for at kreere landskaber i *virtual reality*. Klassiske kort går dermed hen og bliver ét blandt mange produkter, som kan produceres ud fra den geografiske database.

Det koster næsten det samme at producere et kort (kortdata), uanset hvor mange der bruger det. Dette gælder i den grafiske verden, hvor det er startomkostningerne ved trykningen, der tæller, og i den digitale verden, hvor distribution af data ikke længere er noget stort problem. Vid udbredelse af kortdata giver billigere priser for den enkelte bruger. Vi er på vej imod en situation, hvor kort bliver forbrugsgoder på linie med en række andre digitale servicetilbud.

### Utallige korttyper

Kort er stadig tæt forbundet med oplevelser. Vi bruger alle kort, når vi skal rejse. Vi skaber os et indtryk af nye steder gennem kortene, vi planlægger og navigerer ved hjælp af kortene. Som noget nyt kan man med digitale metoder producere geografiske præsentationer af næsten enhver form for data, for derigennem at skabe et overblik over fænomenet og lede efter mulige geografiske mønstre i data. Man kan købe billige, lettilgængelige programmer, som kan håndtere uendelig mange typer af data.

Kort er også en del af samfundets infrastruktur. Der er behov for at have gode kort(data) for at kunne administrere samfundets ressourcer effektivt. Matrikelkort, ledningskort, skovkort, fredningskort, trafikkort, etc. Der er ingen grænser for, hvor mange typer af kort, der bruges i et moderne samfund som en naturlig del af forvaltningen.

Teknologien sætter ikke mere grænser for kortlægning; der er ingen grænser for, hvilke og hvor gode kort man kan producere. Nu drejer det sig udelukkende om økonomi, prioritering eller tid. Gode, ajourførte kort er stadig en mangelvare i mange udviklingslande, dvs. i store dele af verden. Kortlægning koster penge, uanset at det nu er billigere end nogensinde.

*Karin Haldrup er landinspektør M.Sc. og kartograf M.Sc. og divisionschef, Kampsax A/S.*