

## Automatisk ændringsudpegning

*Brian Pilemann Olsen, Kort & Matrikelstyrelsen, Thomas Knudsen, Danmarks Rumcenter, Kristian Keller, COWI*

*Den potentielle nytteværdi af geodata er direkte knyttet til kvaliteten af det tilgængelige grundkortmateriale. Derfor stilles der stadigt stigende krav til dette materiales aktualitet. Kortopdatering er imidlertid ofte arbejdsintensivt, dvs. både langsommeligt og kostbart. Dette kan til en vis grad afhjælpes ved automatisering. Ændringsudpegning er et af de mere lovende automatiseringsområder: det viser sig muligt at udføre en brugbar ændringsudpegning for bygningstemaet i en topografisk kortdatabase ved brug af en kombination af farve-infrarøde flybilleder og laserscannede højdemodeller. Med fremkomsten af fuldt digitale flyfotos forventes det muligt at simplificere processen betragteligt.*

### Indledning

Geodata spiller i dag en stadigt stigende rolle i næsten alle sektorer af samfundet. Men de sektorspecifikke geodata står ikke alene: typisk præsenteres og analyseres de på baggrund af et eksisterende kortmateriale som er med til at formidle dataenes rumlige strukturer eller – med andre ord – er med til at skabe nyttig *georefereret information* fra de rå geodata. Den potentielle nytteværdi af geodata er altså direkte knyttet til kvaliteten af det tilgængelige grundkortmateriale. Derfor stilles der stadigt stigende krav til dette materiales aktualitet.

Imidlertid er opdatering af kortmateriale ofte arbejdsintensivt, hvilket medfører, at det både er langsommeligt, kostbart og påvirkeligt af menneskelige fejl. Derfor er det naturligt, at der både internationalt og herhjemme, er stor forsknings- og udviklingsaktivitet inden for felter, som kan resultere i hel eller delvis automatisering af kortlægning og kortopdatering.

I denne artikel beskæftiger vi os med automatisering af

ændringsudpegning, som er et nøgleområde inden for kortopdatering. I vores tilfælde er målet at foretage en automatisk sammenligning af et nyoptaget flyfoto og en eksisterende kortdatabase (her bygningstemaet fra Kort & Matrikelstyrelsens TOP10DKdatabase). I metoden, som præsenteres nedenfor, indgår desuden hjælpedata i form af en digital overflademodel baseret på laserscannerdata optaget i forbindelse med produktionen af COWIs produkt "Danmarks Digitale Højdemodel" (DDH).

Der er god grund til at antage at metoden kan videreudvikles til at være uafhængig af overflademodeller baseret på eksterne datakilder: med fremkomsten af fuldt digitale flyfotosystemer, kan præcisionen i automatisk genererede fotogrammetriske højdemodeller (på grund af et reduceret støjniveau i de fuldt digitale data) forventes at stige betragteligt. Af samme grund kan man også forvente en forbedring af kvaliteten af automatisk detekterede hjørner og kanter, hvil-

ket kan resultere i væsentligt nyt materiale til detektionen af bygningsdele.

### Problemer ved automatisk kortlægning

Som antydnet indledningsvis har der gennem de sidste årtier foregået en del forskning inden for området automatisk kortlægning. Hovedvægten har været på automatisk objektgenkendelse og -udtræk, foretaget på baggrund af flybilleder eller alternative remote sensing datakilder (fx radarbilleder, optiske satellitbilleder, laserhøjdemodeller).

Flere grupper har arbejdet på automatisk udtræk af vejforløb og på detektion og registrering af bygninger. Dette er opgaver der for det menneskelige øje og den menneskelige hjerne er overkommelige. Imidlertid har automatiseringssuccesen hidtil været til at overse. Dette bunder i den kendsgerning, at de objekter, der forsøges rekonstrueret, er særdeles komplekse sammenholdt med det tilgængelige datamateriale. Ofte har metoderne kun virket i bestemte målforhold, på bestemte data-

typer og under helt specielle forhold. En af grundene her-til er, at der udelukkende er benyttet én datakilde fx radiometriske data, hvilket giver en begrænsning i sig selv: når det menneskelige syn klassificerer et billede, detekterer og rekonstruerer objekter fx bygninger, benyttes ikke kun farveinformation, men også rumlige indikatorer (stereo) og størrelsesforhold. Et andet svært overkommeligt problem er det faktum, at der altid i bil-leddata forekommer objekter der ikke er komplette, fx fordi der skygges for dem af andre objekter. Dette er kun et mindre problem for den menneskelige synsprocessering, som kan forestille sig de manglende komponenter og dermed klassificere billedet korrekt. At udstyre en computeralgoritme med blot tilnærmelsesvist tilsvarende kognitive egenskaber er langt fra trivielt!

### Ændringsudpegning

I denne artikel koncentrerer vi os om ændringsudpegnin-ger, ikke om komplet auto-matisk kortlægning. Vi tager udgangspunkt i eksperimen-ter med ændringsudpegning mellem på den ene side byg-ningstemaet i Kort & Matrikelstyrelsens TOP10DK-data-base og på den anden side nyt datamateriale i form af farve-infrarøde flyfotos.

Grundlæggende findes der to væsensforskellige for-mer for ændringsudpegning:

1) Verifikation og ændringsbe-skrivelse udelukkende for allerede registrerede objek-ter.

2) Verifikation og ændringsbe-skrivelse i kombinati-on med søgning efter nye objekter.

Ændringsudpegning af type 1 har bl.a. været anvendt med nogen succes, til opdatering af vej og bygningstemaer i det schweiziske kortopdate-ringsprojekt ATOMI (Eiden-benz et al., 2000; Zhang et al., 2001; Niederöst, 2001). Ændringsudpegning af type 2 er den klart vanskeligste opgave, men i de fleste tilfæl-de også den mest ønskvær-dige i forbindelse med kort-opdatering. Nedenfor præ-senterer vi en type 2 meto-de som er repræsentativ for en klasse af metoder udvik-let på Kort & Matrikelstyrel-sen indenfor det sidste par år (Knudsen & Olsen, 2003; Olsen, 2004; Olsen, 2005)

### Ændringsudpegning i byg-ningstemaet i TOP10DK

Bygningstemaet i TOP10DK er et meget vigtigt tema, hvor kravene til aktualitet og fuld-stændighed til stadighed for-øges. Det er derfor nærlig-gende at forsøge at automa-tisere opdateringsprocessen for netop dette tema. Da fuld-stændigheden er meget vigtig er det ikke nok at verificere eksisterende objekter; der-for må vi tage udgangspunkt i en algoritme for ændrings-udpegning af type 2.

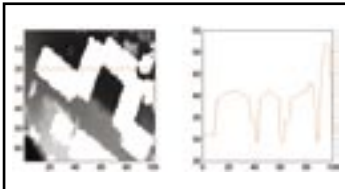
For at kunne detektere byg-ninger automatisk er det nød-vendigt at kunne beskrive dem, dvs. at skabe en objekt-model, som kan benyttes til at klassificere, detektere og evt. registrere på baggrund af det til rådighed værende datagrundlag.



Figur 1: Spektralt og geometrisk kan bygninger være meget forskelligar-tede. Ved automatiseret ændringsudpegning tager vi derfor udgangspunkt i to (af de få) parametre bygninger har til fælles: de ligner ikke vegetation og de rager op over terræn (jvf. Nederste højre billede, som viser en høj-demodel).

Figur 1 viser almindelige farveflyfotos af en række bygninger. Det er oplagt at der er tale om en diffus gruppe, hvor både form og farve varierer meget. Dermed er det vanskeligt at beskrive bygninger ved hjælp af form og farveparametre, da de ikke adskiller sig markant fra omgivelserne.

Betragter man derimod bygninger "med højdebriller", som vist i figur 2. ses det, at bygninger i en eller anden grad rager op over terræn. Benyttes en model der tager udgangspunkt i en overflademodel (DSM, digital surface model) vil det derfor være muligt at detektere bygninger ved at udpege dem som objekter over terræn. Gruppen af objekter over terræn vil dog også inkludere andre objekttyper, fx vegetation, vindmøller og broer. Tilbage står problemet med at



Figur 2: I en billedrepræsentation af en overflademodel (DSM) vil objekter der rager op over terræn (herunder bygninger) fremstå som klatter der er lysere end omgivelserne. Højre halvdel af figuren viser højder langs linjeprofilet markeret med rødt i venstre del. Det meste af profilet repræsenterer en bygning, men to steder rammes terrænet. Yderst til højre i profilet observeres et træ. Kan objekter over terrænet identificeres automatisk er næste opgave at skelne bygninger fra bl.a. træer og buske.

få bortfiltreret disse uønskede objekter.

Nedenfor kommer vi ind på hvordan vegetation kan bortfiltreres ved brug af farveinfrarøde (CIR, colour-infrared) flybilleder, mens andre objekter i vid udstrækning kan elimineres ved brug af metoder hentet fra matematisk morfologi (MM), som er en klassisk disciplin i billedbehandlingslitteraturen (fx Haralick et al., 1987). Vi benytter derfor en bygningsobjektmodel baseret på tre hovedantagelser:

- 1) Bygninger står over terrænet (DSM)
- 2) Bygninger har en anden spektral respons end vege-

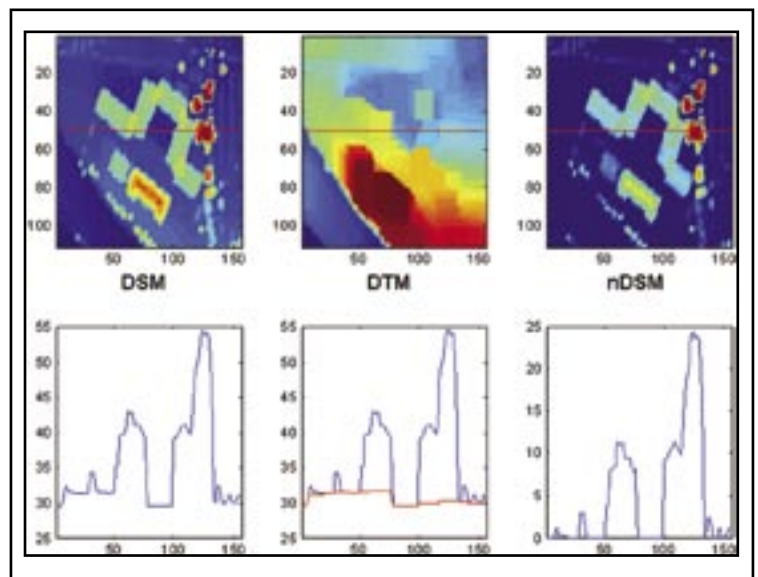
tation i det røde/infrarøde farveområde (CIR)

- 3) Bygninger har en anden form og størrelse end andre menneskeskabte objekter (MM)

For at kunne benytte denne objektmodel har vi brug for digitale farveinfrarøde billeder og højdedata i form af en nøjagtig og tætmasket overflademodel.

### Udpegning af objekter over terræn

Objekter over terræn kan udpeges ved hjælp af en normaliseret digital overflademodel (nDSM). En nDSM beregnes ved at subtrahere en digital terrænmodel (DTM) fra en



Figur 3: Øverste række viser højdemodeller, nederste række de tilhørende linjeprofiler. Objekter over terrænet kan detekteres via en normaliseret digital overflademodel (nDSM). En nDSM beregnes ved at subtrahere en digital terrænmodel (DTM) fra en digital overflademodel (DSM). I tilfældet vist her estimeres DTM'en ud fra DSM'en ved en filtrering baseret på matematisk morfologi. Herved kan objekter over terrænet detekteres direkte i en DSM uden brug af yderligere data.

digital overflademodel (DSM) som illustreret i figur 3.

For at undgå problemer med co-registrering mellem DSM og DTM er det en fordel hvis DTMen kan genereres direkte ud fra DSMen. I en artikel af Weidner og Förstner (1995) beskrives hvordan dette kan gøres med brug af matematisk morfologi.

Overflademodellen benævnes  $z(x,y)$ . Først foretages en minimumsfiltrering af DSMen med et strukturelement  $B$ .

$$z_1 = \min \{ z(x,y) | (x,y) \in B \}$$

Herved tildeles den mindste højde inden for et givent areal  $B$  til det centrale "højdeelement" i arealet. Denne operation betegnes i matematisk morfologi som *erosion*.

Minimumsfiltreringen følges af en maksimumsfiltrering, igen ved brug af det samme strukturelement  $B$ :

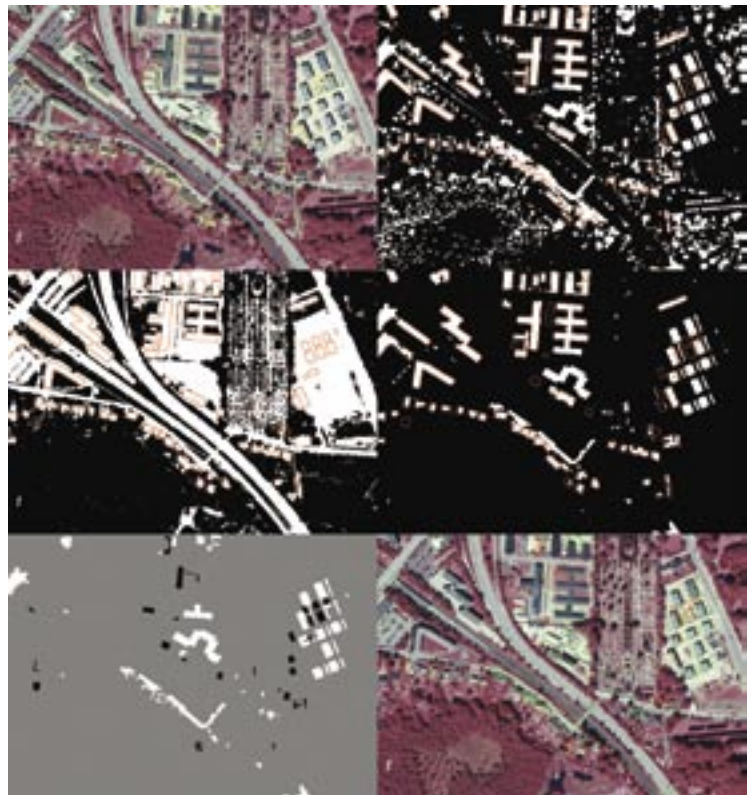
$$z_2 = \max \{ z_1(x,y) | (x,y) \in B \}$$

Ved denne filtrering tildeles den maksimale af de minimale højder inden for et givent areal  $B$  til det centrale "højdeelement", hvorved den resulterende model trækkes opad og dermed kommer til at give et realistisk bud på en terrænmodel. Operationen kaldes *dilation*.

De to operationer *erosion* og *dilation*, foretaget i den be-

skrevne rækkefølge, betegnes i matematisk morfologi som *åbning*. Ved morfologisk åbning sker der bl.a en blødgøring af højdespring og en eliminering af mindre frem-spring. Metoden er stærkt afhængig af arealet af det valgte strukturelement. For at sikre at alle bygninger elimineres, skal  $B$  mindst have samme størrelse som den største bygning i området.

Figur 3 viser hvordan åbning benyttes til at estimere en terrænmodel. Venstre søjle viser øverst overflademodellen (DSM) og nederst et tilhørende højdeprofil. Midterste søjle viser øverst den estimerede overflademodel (DTM) og nederst profiler for DTM (i rødt) og DSM (i blå). Højre søjle viser øverst den normaliserede højdemodel (nDSM) og nederst det til-



Figur 4: Udpejning af potentielle bygningsobjekter og ændringsudpejning. Øverst t.v.: CIRfoto og bygningsregistreringer. Øverst t.h.: objekter over terræn fra nDSM. Midten t.v.: vegetationsdækkede overflader i sort, baseret på NDVI fra CIRfoto. Midten t.h.: potentielle bygningsobjekter (se hovedtekst). Nederst t.v.: ændringsudpejning (nye bygninger i hvid, nedrevne bygninger i sort, ingen ændring i grå). Nederst t.h.: ændringsudpejning i vektorform overlejret på CIRfoto (grøn=ny bygning, rød=nedrevet bygning).

hørende profil. Som det ses af figuren, er det muligt ved simpel "tærskelfiltrering" at udpege objekter, der rager en vis højde over terrænet. For at undgå for megen støj er det i praksis nødvendigt at operere med en tærskelværdi på omkring 2 meter. Resultatet af en sådan tærskelfiltrering vises i øverste højre del af figur 4.

### Elimination af vegetationsdækkede objekter

Det næste skridt er at eliminere vegetationsdækkede objekter. Det har været kendt siden 1970'erne, at vegetation kan detekteres med brug af farveinfrarøde billeder: CIR-billeder indeholder en nærinfrarød, en rød og en grøn farvekanal. Den røde og den nærinfrarøde kanal kan benyttes til at beskrive rask vegetation, (dvs. ikke tørkeplaget), idet klorofyl er stærkt reflekterende i nærinfrarøde bølgelængder og stærkt absorberende i røde bølgelængder. Det normaliserede differens vegetationsindex, NDVI, (Tucker, 1979) er en klassisk formulering af denne egen- skab:

$$NDVI = \frac{\text{(infrarød - rød)}}{\text{(infrarød + rød)}}$$

Værdierne for NDVI ligger i intervallet fra -1.0 til 1.0. Høje værdier indikerer vegetationsdækkede overflader.

I figur 4 vises i øverste venstre hjørne et CIR-billede af et testområde i Kongens Lyngby nord for København.

Under CIR-billedet vises (i sort) områder med NDVI større end 0.1; disse områder fortolkes som vegetationsdækkede. Den egentlige objektelimination (som vises i midten af højre søjle i figur 4) forekommer ved at tage fællesmængden af objekter over terræn (fra nDSM) og ikke-vegetationsdækkede områder (fra NDVI).

### Forfining af resultatet

Det ses, at vegetation nu er frasortet, og at bygningerne står tilbage, men at der stadig er en del støj i form af objekter, der ikke er bygninger (bl.a. broer). Det sidste skridt er nu at eliminere disse objekter. Dette er til dels muligt ved at opstille kriterier angående bygningers størrelse og form. Når kriterierne opstilles er det vigtigt at tage hensyn til registreringsinstruksen for den kortdatabase, der skal opdateres. I tilfældet TOP10DK fx ved at frasortere objekter der er mindre end 25m<sup>2</sup>. Objekter der er meget tynde og aflange (veje der ligger på en dæmning, broer) kan til dels også frasorteres på denne måde.

### Ændringsudpegning

Den egentlige ændringsudpegning med henblik på opdatering af kortdatabaseen fortages ved at sammenholde de detekterede potentielle bygninger med kortdatabasens registreringer. Resultatet af en sådan sammenligning er vist i nederste række af figur 4.

Det ses, at *alle* ændringer i bygningstemaet er detekteret, så kravet til fuldstændighed er opfyldt. Derudover forekommer en del "falske alarmer" hovedsageligt i form af signalering af ikke-eksisterende nye bygninger.

De falske alarmer falder i 6 forskellige klasser:

- 1) Co-registreringsfejl, som resulterer i lange, tynde restfejl, som til dels kan elimineres ved matematisk morfologisk filtrering.
- 2) Tidsfaktor, eller temporal co-registreringsfejl: det at en bygning kun forekommer i et af datasættene (DSM og CIR) fordi den er opført eller nedrevet i perioden mellem de to datasæts optagelse.
- 3) Begrænsninger i objektmodellen: bygninger med vegetationsdækket tag kan ikke repræsenteres i objektmodellen.
- 4) Uoverensstemmelser mellem objektmodel og registreringsinstruks: objektmodellen kan ikke skelne mellem bygning og halvtag, hvilket giver problemer ved fx benzintanke eller cykelskure.
- 5) Broer bliver udpeget som bygninger, da de står over terræn. Her er igen tale om en begrænsning i objektmodellen.
- 6) Stier/veje på dæmnin- ger udpeges ligeledes som bygninger. I nogle tilfælde kan de bortfiltreres på baggrund af størrelse/form-kriterier. Endnu engang er der tale om en

fundamental begrænsning i objektmodellen.

En mere gennemgribende gennemgang af metoden, herunder de falske alarmer, kan findes i Olsen (2005).

### Konklusion

Vi har præsenteret en metode til automatisk ændringsudpegning og har vist, at den med de rette datakilder kan udpege alle ændringer i bygningstemaet i TOP10DK.

Der forekommer stadig for mange "falske alarmer" til at metoden er anvendelig i operationel skala. I det præsenterede tilfælde gør metoden brug af laserscanningsdata, hvilket gør den økonomisk vanskeligt gennemførlig.

Imidlertid er metoden ikke afhængig af den høje præcision som en laserscannet højdemodel tilbyder. Eksperimenter med brug af højdemodeller genereret ved automatisk korrelation i scannede flyfotos 1:25000 har dog ikke været succesfulde – den opnåelige præcision er ikke høj nok. Det må derimod forventes, at det med fremkomsten af fuldt digitale (og dermed mere støjsvage) flyfotos vil blive muligt at autogenerere fotogrammetriske digitale højdemodeller med tilstrækkelig præcision. Dette vil også i høj grad elimi-

nere problemer med rumlig og tidlig co-registrering.

### Litteratur

Christoph Eidenbenz, Christoph Kaeser & Emmanuel Baltsavias: *ATOMI—Automated reconstruction of topographic objects from aerial images using vectorized map information*, International archives of photogrammetry and remote sensing XXXIII(B3):462—471, 2000

Robert M. Haralick, Stanley R. Sternberg og Xinhua Zhuang: *Image Analysis Using Mathematical Morphology*. IEEE transactions on pattern recognition and machine intelligence, PAMI—9(4):532—550, 1987

Thomas Knudsen & Brian Pilemann Olsen: *Automated change detection for updates of digital map databases*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 69(11):1289—1296, 2003

Markus Niederöst: *Automated update of building information in maps using medium-scale imagery (1:15,000)*. I E. P. Baltsavias, A. Grün & L. V. Gool (red.): *Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (III)*, Rotterdam: A. A. Balkema, 2001

Brian Pilemann Olsen: *Automatic Change Detection for Validation of Digital Map Databases*.

International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXV(B2):569—574, 2004

Brian Pilemann Olsen: *Maintenance of Digital Topographical Map Databases—Change Detection*. København: Kort & Matrikelstyrelsen, Teknisk Rapport nr. 27, 176 pp., 2005

C. J. Tucker: *Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation*.

Remote Sensing of the Environment, 8(2):127—150, 1979.

U. Weidner og W. Förstner: *Towards automatic building extraction from high resolution digital elevation models*. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 50(4):38—49, 1995

C. Zhang, E. Baltsavias & A. Grün: *Updating of cartographic road databases by image analysis*. I E. P. Baltsavias, A. Grün & L. V. Gool (red.): *Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (III)*, Rotterdam: A. A. Balkema, 2001

### Noter

Rettigheder til flyfotos: Kort & Matrikelstyrelsen, rettigheder til højdedata: COWI.

### Om forfatterne

Brian Pilemann Olsen, Metodeudvikler, cand. polyt., ph.d, Kort & Matrikelstyrelsen, Rentemestervej 8, 2400 København NV, bpo@kms.dk

Thomas Knudsen, Seniorforsker, cand. scient., ph.d., Danmarks Rumcenter, Juliane Maries Vej 30, 2100 København Ø, tk@spacecenter.dk

Kristian Keller, Geodæt, cand. scient., COWI, Parallelvej 2, 2800 Kongens Lyngby, krke@cowi.dk

### Landsdækkende ortofoto

Scankort producerer p.t. et opdateret ortofoto dækkende hele Danmark. Ortofotoet er planlagt til færdiggørelse omkring årsskiftet 2005/2006. Ortofotoet baseres på nye 2005 fotograferinger. Ortofotoet vil ikke blot være en statisk hyldevare, idet vi kan tilbyde tilpasninger til den enkelte kunde mht. f.eks. ajourføringsfrekvens, opløsning og GIS - implementering.



### Historiske ortofoto

Scankort har et meget omfattende luftfotoarkiv, som rækker tilbage til 1960. Herudover har Scankort adgang til andre historiske arkiver som f.eks. Basic Cover fra 1954. Scankort kan tilbyde enkelttoprettede billeder, ortofoto og kronologiske billedserier, alt efter kundens ønske.



### 3D-Bymodeller

Scankort opbygger p.t. en meget detaljeret og GIS-forberedt 3D-bymodel for Odense storby. Arbejdet udføres i vor danske produktionsafdeling i et tæt samarbejde med Odense Kommune. Scankort kan tilbyde 3D-modeller i høj kvalitet og med tæt og løbende dialog med kunden under hele produktionen fra specifikation til præsentation.



### Laserscanning

Scankort har opbygget en særlig kompetence i laserscanning, som udføres af vort eget personale, fra flyvning til endelig processing af data. Scankort tilbyder hurtig løsning af opgaver "on demand" ligesom vi tilbyder leverancer fra egne regionale dækninger, som p.t. bl.a. omfatter hele Københavns Amt, Roskilde Amt og Frederiksborg Amt.

