



Geotof ums Ortofotouvaig

3. udgave, januar 2011

INDHOLDSFORTEGNELSE

1. Indledning.....	3
Læsevejledning.....	4
2. Generel beskrivelse af ortofoto, fremstilling og anvendelse.....	5
2.1 Hvad er et ortofoto?.....	5
2.2 Hvad kan et ortofoto bruges til?.....	6
2.3 Hvordan produceres det?.....	6
2.4 Hvad er bestemmende for kvaliteten af ortofotos?.....	7
3. Beskrivelse af vigtige parametre og processer ved fremstillingen af ortofoto.....	8
3.1 Vigtige parametre i forbindelse med planlægning af et ortofoto.....	8
3.2 Billedkilder.....	10
3.3 Radiometri.....	16
3.4 Højdemodel og billedorientering.....	26
3.5 Generering af digitale ortofoto.....	34
3.6 Mosaik og farvejustering.....	40
3.7 Distribution af ortofotos.....	43
3.8 Metadata.....	46
4. Betydning af parametre og processer for kvalitet og anvendelse af det færdige ortofoto.....	50
4.1 Krav til fotografering.....	50
4.2 Ortofotoets plane nøjagtighed.....	50
4.3 Pixelstørrelse.....	51
4.4 Krav til billedbehandling, sømlinjer (seamlines), efterbehandling mm.....	51
4.5 Dataformater mm.....	52
5. Anvendelse af ortofotos.....	54
5.1 Rettigheder og begrænsninger ved brug af ortofotos.....	54
5.2 Arstidens betydning for billedindholdet i et ortofoto.....	56
5.3 Eksempelsamling.....	60
6. Appendiks.....	74
6.1 Appendiks 1: Fotogrammetriske begreber.....	74
6.2 Appendiks 2: Ortofotos – Brugervejledning.....	77
6.3 Appendiks 3: Brev fra Miljøministeriet.....	82
7. Litteratur.....	84

1. Indledning

Nærværende 3. udgave af Geoforums ortofotospecifikation er udført som hjælp for producenter og brugere af ortofotos. Specifikationen er opdateret, blandt andet i relation til den fremherskende brug af digitale kameraer.

Specifikationen er lavet af en arbejdsgruppe nedsat af Geoforum, Ortofotoudvalget.

I perioden fra august 2008 til januar 2011 har der været arbejdet på at ajourføre specifikationen, der bygger på den tidligere 2. udgave, som stammer fra 2005.

Ændringerne i specifikationen vedrører primært digitale kameraer, radiometri, højdemodeller, metadata og brugervejledning.

Formålet med udvalgets arbejde har været:

- ☐ at beskrive hvilke parametre, der indgår i ortofotofremstilling, og hvilken betydning, de har for ortofotos kvalitet og anvendelse,
- ☐ at udarbejde en vejledning om fremstilling og anvendelse af ortofotos til brug i Danmark,
- ☐ at undersøge eksisterende normer og vurdere deres anvendelsesmulighed, samt
- ☐ at undersøge mulighederne for integration af vejledningen med eksisterende standarder og produkter.

Det er Geoforums håb, at denne specifikation fortsat vil bidrage til at lette arbejdet med at anskaffe det korrekte ortofoto til et givet formål, hvor det samtidig sikres, at kvaliteten bliver som forventet.

Ajourføringen er som nævnt gennemført af Geoforums Ortofotoudvalg, der har bestået af følgende medlemmer:




Søren Buch, formand	BLOM
Henrik Aanæs	DTU Informatik
Svend Elgaard	Vejdirektoratet
Andrew Flatman	Scankort A/S, Fugro Aerial Mapping A S
Claes Hviid	COWI
Joachim Höhle	AAU, ISP
John Kamper	KMS
Peter Schack Madsen	Arhus Kommune
Jacob Møller Sørensen	BLOM
Kaj Rath	Miljøcenter Ribe
Jesper Skovdal Christiansen	Geoforum

Geoforums Ortofotoudvalg modtager gerne forslag til forbedringer på geoforum@geoforum.dk. Hermed lægges der op til løbende forbedringer.

Nærværende vejledning kan hentes på Internet under Geoforums hjemmeside: www.geoforum.dk

Læsevejledning

Den læser, der ikke kender så meget til teknikken bag fremstillingen af ortofoto, og som ønsker en generel introduktion til ortofoto og dets anvendelse, kan starte med at læse:

-  kapitel 2: "Generel beskrivelse af ortofoto, fremstilling og anvendelse",
-  kapitel 5.2: "Årstidens betydning for billedindholdet i et ortofoto", hvor der gennemgås de forskelle, der er i ortofotos fremstillet af billeder optaget på forskellige årstider, samt
-  kapitel 5.3: "Eksempelsamling".

I kapitel 4: "Betydning af parametre og processer for kvalitet og anvendelse af det færdige ortofoto" gennemgås arbejdsgruppens anbefalinger af kravene til kvaliteten af forskellige typer ortofoto.

For læsere, der ønsker information om baggrunden for anbefalingerne i kapitel 4, anbefales det at læse kapitel 3: "Beskrivelse af vigtige parametre og processer ved fremstillingen af ortofoto".

Bemærk, at der i Appendiks 1 gennemgås en række fotogrammetriske begreber.

2. Generel beskrivelse af ortofoto, fremstilling og anvendelse

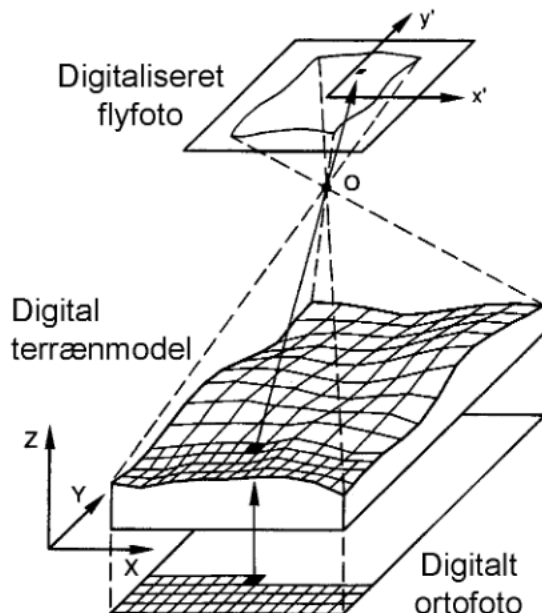
2.1 Hvad er et ortofoto?

For de fleste mennesker er det meget lettere at orientere sig på et luftfoto end på et kort over et område. Det skyldes, at alle genstande i terrænet kan genkendes umiddelbart, uden at man har viden om kortsignaturer, målforhold og farvekoder.

Luftfotoet har dog den ulempe, at det ikke er målfast, samt at hvert enkelt luftfoto er at betragte som en 'ø', der ikke umiddelbart kan sammensættes med nabofotos.

Et ortofoto ser umiddelbart ud som luftfotoet, men ortofotoet har gennemgået en række matematiske processer, der gør:

- ☐ at målforholdet er konstant (man kan 'måle' i det),
- ☐ at flere luftfotos kan sammensættes til et 'sømløst' ortofoto, og
- ☐ at ortofotoet placeres i et koordinatsystem og kan vises sammen med øvrige kortprodukter som eksempelvis tekniske kort, topografiske kort eller matrikelkort.



Figur 2.1. Ortofoto fremstilles ved hjælp af flyfotos og en digital terrænmodel.

[efter Albertz]













En mere teoretisk beskrivelse af den afgørende forskel på et luftfoto og et ortofoto er, at et luftfoto er en centralprojektion, mens et ortofoto er en ortogonalprojektion. I en centralprojektion er alle objekterne i billedet projiceret igennem ét centralt punkt – linsen. Dette betyder, at objekter i billedet på nær de, der er beliggende i billedmidten (nadir), mere eller mindre ses fra siden. Endvidere giver en centralprojektion fortegninger i billedet (ved højdevariation) samt variationer af målforholdet i billedet.

I en ortogonalprojektion betragtes alle punkter i billedet taget lige oppe fra – strålerne ligger parallelt. Dette sikrer et ensartet målforhold, samt at variationer i højden i landskabet ikke giver fortegninger i billedet.

2.2 Hvad kan et ortofoto bruges til?

Et ortofoto er i modsætning til et traditionelt kort et ufortolket produkt. Dvs., det viser virkeligheden (på fototidspunktet) og ikke en stereoooperatørs opfattelse af kortindholdet i relation til kortspecifikationer. Det er altså op til brugeren at tolke indholdet. Det åbner derfor muligheder for helt andre anvendelser end et stregkort, eksempelvis arkæologi, geologi, vegetationskortlægning og reetablering af dræn. Herudover er et ortofoto et meget velegnet baggrundskort for anden kortinformation, i det det øger genkendeligheden og forståelsen af kortinformationen.

Eksempler på anvendelse:

-  Visualisering af projektforslag
-  Projekteringsgrundlag
-  Analyse af arealanvendelse
-  Genkendelse af objekter
-  Baggrundsbillede for andre kortinformationer som tekniske kort, matrikelkort og arealanvendelseskort
-  Præsentationsmateriale og borgerinformation
-  Digitalisering af særlige emner og temaer
-  Måling af afstande og arealer
-  Kontrol af andre kortprodukter
-  Ændringsanalyser og historisk dokumentation
-  3D visualisering, drapering på højdemodel
-  Korridorkortlægning

Der er med andre ord mange anvendelsesmuligheder for ortofotoet. Fordelene ved ortofotoet er blandt andet, at det giver et mere sikkert beslutsningsgrundlag i den daglige administration og det kan i visse tilfælde erstatte inspektion i marken. Desuden er ortofotoet til et godt supplement til traditionelle kortprodukter, da det er en ufortolket gengivelse af et område.

2.3 Hvor dan produceres det?

Den normale arbejdsgang ved ortofoto-produktionen vil være:

1. Flyvefotografering
2. Aerotriangulation
3. Etablering af egnet digital højdemodel, såfremt denne ikke allerede findes
4. Generering af ortofoto for hvert af de aktuelle luftfotos
5. 'Sammensyning' af ortofoto-stumperne fra alle luftfotos til et eller flere ortofotos (mosaik).
6. Farvejustering (farve- og kontrastudjævning m.v.)

2.4 Hvad er bestemmende for kvaliteten af ortofotos?

Når man taler om ortofotoets kvalitet, må man gøre sig klart, hvad der egentlig tales om. Er det geometrisk kvalitet (nøjagtighed), aktualitet, fuldstændighed eller visuel/kartografisk kvalitet, man mener? Grundlæggende kan siges, at hvis billedmaterialet eller højdemodellen ikke er i orden, så bliver ortofotoet det heller ikke.

Geometrisk kvalitet:

Bestemmende for den geometriske kvalitet/nøjagtighed er især fotograferingen, billedorienteringen og den bagvedliggende højdemodel. Ved fotograferingen er det vigtigt, at der anvendes et velegnet kamera, at flyvehøjden er afpasset opgaven, og at der er klart vejr, så billederne bliver skarpe og terrængenstandene derfor veldefinerede. Men også billedprocessering (digital fremkaldelse) og den software, der anvendes til beregning af ortofoto, har stor betydning.

Aktualitet og fuldstændighed:

Aktualiteten sikres især ved, at der anvendes nyt billedmateriale, og fuldstændigheden ved, at flyvehøjden er afpasset opgaven. Ønsker man eksempelvis at kunne se nedløbsrister i ortofotoet, er det nødvendigt med en lavere flyvehøjde, end hvis dette er uden betydning. Gode vilkår under fotograferingen er også vigtigt - herunder sigtbarhed og ikke mindst, at solhøjden ikke er for lav, idet en lav solhøjde eksempelvis giver store slagskygger ved bygninger og andre genstande, der rager op af terrænet, og derved formindsker synligheden af vigtige informationer.

Visuel kvalitet:

En forudsætning for en god visuel kvalitet er naturligvis, at billedmaterialet er i orden. Den software, der anvendes under produktionen af ortofotoet, har også stor betydning. Ligeledes har fototidspunktet (årstiden) stor betydning for det visuelle resultat.

Desuden har den endelige pixelstørrelse i ortofotoet betydning for den visuelle kvalitet. Ved byortofotos anvendes ofte pixelstørrelse på omkring 10 cm eller mindre og ved landortofotos anvendes typisk pixelstørrelser på omkring 20 cm eller mindre. Det er vigtigt at understrege, at en lille pixelstørrelse i sig selv ikke giver en høj kvalitet. Det gør den kun, hvis pixelstørrelsen er afpasset målforhold/flyvehøjde, højdemodel, osv.

Et punkt, der for slutbrugeren har meget stor betydning for den visuelle kvalitet, er omfanget af automatiske, semi-automatiske og manuelle tilretningsprocesser. Ved sammensætning af de enkelte ortofotos til ortofotomosaikker tages der eksempelvis hensyn til, at sømlinjerne (seamlines) helst ikke skal gå gennem bygninger, og at der foretages en passende farve- og kontrastudjævning så hele ortofotomosaikken fremtræder ensartet.

Disse tilretningsprocesser er tidskrævende og er i høj grad med til at fordyre ortofotoet. Afhængigt af, hvad ortofotoet skal bruges til, kan man vælge en mere eller mindre gennemgribende tilretning.

3. Beskrivelse af vigtige parametre og processer ved fremstillingen af ortofoto

Når et ortofoto skal produceres er der en række parametre, som skaber og kendetegner ortofotoets udseende og kvalitet. For at opnå et anvendeligt og formålstjenligt ortofoto er det vigtigt at kende disse parametre og især den virkning, de har på det endelige ortofoto. I dette kapitel gennemgås de vigtigste parametre.

3.1 Vigtige parametre i forbindelse med planlægning af et ortofoto

Det er især under planlægningen af fotomissionen, at basisparametrene skal sikres. Herudover sikres det her, at interesseområdet dækkes med fotos, der er anvendelige til den forestående opgave. Det skal sikres, at der er tilstrækkelig længde- og sideoverlap mellem de enkelte billeder, og at de resulterende modeller operatørmæssigt og matematisk kan håndteres. Det er f.eks. u hensigtsmæssigt, at en stereomodel består af 95 % vandområde og kun 5 % landområde.

Fototidspunkt

Fototidspunktet er det tidspunkt, hvor det enkelte foto eksponeres.

Informationsindholdet i et foto/ortofoto er i høj grad afhængig af hvilket tidspunkt på året, fotograferingen udføres. Brugen af det færdige ortofoto er den afgørende faktor for valg af optage-tidspunkt. Før fotograferingen udføres, bør den kommende bruger derfor stille spørgsmål som: Hvad skal det færdige foto/ortofoto bruges til? Hvad skal det være muligt at identificere i fotoet? Hvilket fotograferingstidspunkt opfylder bedst disse behov?

De største årstidsvariationer i indholdet af foto/ortofotoet skyldes vegetationens forandringer i løbet af vækstsæsonen; løvspring, udvikling af afgrøder og forandringer i jordens fugtighed. Sne og is har selvfølgelig også stor betydning for ortofotoets indhold.

Den spektrale sammensætning af det indfaldne sollys samt terrænobjektets spektrale refleksion varierer med årstiden og tidspunktet på dagen. Samtidig har længden af skygger ofte en afgørende indflydelse på identifikationsmulighederne i ortofotoet. Jo højere solen står på himlen, jo kortere skygger får man i billedet. For ikke at få for lange skygger, bør solvinklen være større end 25 grader. Solvinklen afhænger af tid på året, tidspunktet på dagen, man fotograferer, samt af breddegraden til det sted på jorden, hvor man befinder sig. I Danmark vil der fra medio marts være et par timer omkring middag, hvor solvinklen er større end 25 grader.

Flyveretning

Flyveretningen af en ortofotoopgave er interessant i forhold til minimering af problemer i forhold til kontrast og farvejustering af ortofotoet. Tidligere var anbefalingen at planlægge flyvningen med nord/syd retning, fordi solen under en mission primært ville stå syd. Men med introduktionen af digitale kameraer og deres bedre radiometriske opløsning kan der nu flyves ved lavere solvinkler. Dette betyder dels, at fotosæsonen udvides, men det betyder også, at fotodagene forlænges, og der kan således om sommeren nu flyves tidligere på morgenen og senere på eftermiddagen. Resultatet er, at solen om sommeren nu kan stå mere i øst eller vest end egentlig i syd, hvorfor en øst/vest retning er at foretrække i perioden cirka 1-2 måneder før og efter midsommer.

GSD

GSD står for Ground Sampling Distance og er en betegnelse, der især benyttes i sammenhæng med digitale mapping kameraer, hvor det ofte benyttes i stedet for målforhold. GSD'en betegner den gennemsnitlige størrelse af en pixel på jorden og angives i meter eller centimeter. Hvis f.eks. et Intergraph DMC kamera anvendes, vil GSD'en for en flyvehøjde på 1000 m være på 10 cm. Disse 10 cm er altså den gennemsnitlige pixelstørrelse i råfotoet. Det er her vigtigt, at GSD ikke er det samme som pixelstørrelsen i det endelige ortofoto, men nærmere røopløsningen i den ortorektificeringen. Typisk bør pixelstørrelsen i ortofotoet ikke være mindre end GSD'en, med mindre dette klart er beskrevet.

Tabel 3.1 viser nogle tekniske specifikationer for forskellige fotogrammetriske kameraer, samt deres GSD for 3 repræsentative flyvehøjder. Tabellen viser også kameraernes åbningsvinkel, som har indvirkning på blandt andet, hvor meget bygninger "ligger ned".

Kamera	Intergraph DMC	Vexcel Ultracam XP	Vexcel Ultracam XP Wide	Intergraph RMKD
Kameratype	Storformat normalvinkel	Storformat normalvinkel	Storformat vidvinkel	Mellemformat normalvinkel
Kamerakonstant	120 mm	100 mm	70 mm	45 mm
Pixelstørrelse	0.012 mm	0.006 mm	0.006 mm	0.0072 mm
Billedformat	13824x7680	17130* 11310	17130* 11310	6096* 6500
Åbningsvinkel Sde/flyveretning	69°/ 42°	55°/ 37°	73°/ 51 °	54°/ 49°
Flyvehøjde	GSD	GSD	GSD	GSD
500m	5 cm	3 cm	4 cm	8 cm
1000m	10 cm	6 cm	9 cm	16 cm
2000m	20 cm	12 cm	17 cm	32 cm

Tabel 3.1. Eksempler på sammenhænge mellem GSD, kamera og flyvehøjde

Flyvehøjde

Flyvehøjden er flyets gennemsnitlige højde over terrænoverfladen. Denne afstand bestemmer, sammen med kameratypen, den gennemsnitlige GSD, de optagne fotos vil få. Et vigtig aspekt ved flyvehøjden er, at des højere, der flyves, des mere atmosfære med heraf følgende billedstøj kommer der. Selvom der på to flyvninger med to forskellige kameraer opnås samme GSD, men fra forskellig flyvehøjde, må det forventes, at der er mere støj i data fra den høje flyvning. Bygninger hælder dog mindre i fotos fra den høje flyvning, når åbningsvinklen i kameraet er mindre.

Målforhold kontra GSD

I den analoge (filmbaserede) fotogrammetri var målforholdet en vigtig parameter, som angav forholdet mellem negativet og landjorden, altså hvor mange gange mindre en ting i negativet er end i virkeligheden. Problemet ved anvendelse af begrebet målforhold til fotos, taget med en digital sensor, er, at der ikke længere findes et fysisk "negativ" men kun det virtuelle negativ, hvilket gør betegnelsen mindre ligetil.

Målforholdet (M) afhænger dels af kamerakonstanten (c) og dels af flyvehøjden (h) over terræn:

$$M = 1: m = c / h$$

Hvor m er målforholdstallet. Anvendes således et vidvinkelkamera ($c = 15 \text{ cm}$) og flyves der i en højde af ca. 750 meter over terræn, så vil billederne have målforholdet 1:5.000.

Ved et digitalt kamera er forholdet mellem pixelstørrelse i kameraets CCD (pel') og GSD også målforholdet af optagelsen.

$$M = (pel') / GSD$$

En anden ting, der er forsvundet i det digitale luftfoto, er rammemærkerne, som angiver fotoets koordinatsystem. Til gengæld er der nu direkte et koordinatsystem i form af CCD'ens rækker og søjler og hermed også en direkte måleenhed, pixelstørrelsen, der kan kobles til landjorden. I stedet for målforhold arbejdes der således med betegnelsen Ground Sampling Distance (se GSD). Den helt store fordel ved at benytte GSD i stedet for målforhold er, at den direkte kan aflæses i stort alle billedberegningsprogrammer ved måling af et kendt objekt i pixels.

3.2 Billedkilder

Billeder kan optages på forskellige måder. De mest benyttede instrumenter til optagelse af luftfotos i Danmark i dag er digitale storformat-kameraer. Andre måder at indsamle "billeder" på er ved anvendelse af termografi, mikrobølger, radar, laserscanning (LiDAR) eller interferometrisk radar (IFSAR). Disse billedkilder vil ikke blive behandlet i dette skrift.

Hvis vi fokuserer på de mest udbredte sensorer anvendt til ortofoto-produktion, kan de inddeles i 3 hovedtyper: analoge kameraer, digitale ramme-kameraer og digitale linjescannere. Med et analogt kamera menes et kamera, hvor billedet skabes på en analog film, der efter eksponeringen fremkaldes – altså den form, som blev benyttet stort set uforandret fra ca. 1950 til 2005, hvor de digitale kameraer begyndte at vinde indpas til brug i fotogrammetri.

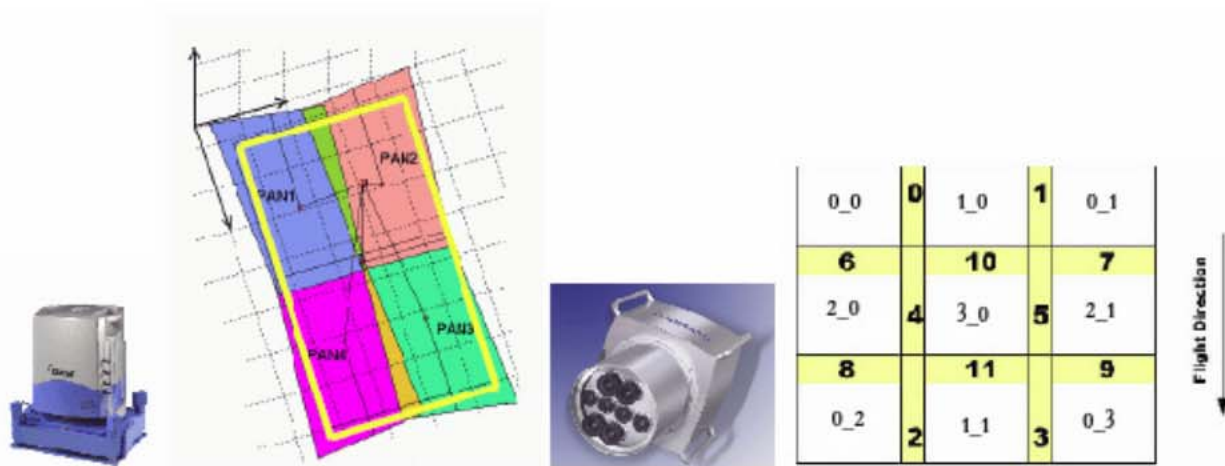
3.2.1 Digitale kameratyper

Storformat-kameraer

Kameraet består af et linsesystem, og i dettes brændplan er der en eller anden form for lysfølsom sensor, der opsamler billedet. Den lysfølsomme sensor kan enten være et linjearray eller en fladechip. Begge sensorer er mere følsomme over for lyset end en analog film. Resultatet bliver derfor væsentligt bedre radiometrisk, end hvis man er henvist til at scanne en analog film for at få et digitalt billede.

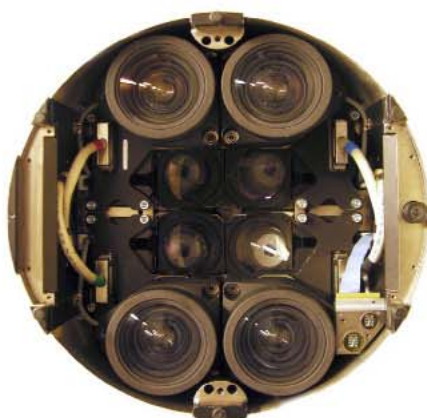
En uheldig omstændighed ved de digitale kameraer er billedformatet, der er væsentligt mindre end det analoge kameras 23 cm x 23 cm billedformat. Der findes i dag ikke individuelle digitale sensorer / CCD-chips, der er store nok til at dække tilsvarende areal med en høj nok opløsning til at kunne kaldes egentligt storformat. Som kompensation for dette opbygges kameraerne i dag som en samling af sensorer bygget ind i ét kamera. Med sammenbygning af kameraer er den begrænsende faktor nu ikke længere størrelsen på den enkelte CCD-chip, men reelt den tilgængelige

plads i kameramonteringerne i flyene. Ved at sammensætte så mange farvesensorer, som der er plads til, opnås imidlertid stadig ikke en høj nok opløsning, hvorfor man også anvender en teknik, kendt fra satellitter, kaldet pansharpening. Fiksen ved pansharpening er, at der kan opnås væsentligt højere opløsning med en gråtone sensor end med en farve sensor (det kræver reelt fire pixels at måle farve mod kun én til gråtone). Ved at benytte mest plads i kameraerne til gråtone-sensorerne opnås en meget høj opløsning, men altså kun i gråtone. For at opnå farvebillede benyttes en mindre del af sensorerne til farvesensorer med lavere opløsning, én sensor til Rød, én til Grøn, én til Blå og én til Nærinfrarød. De højt opløselige gråtonebilleder kan nu lægges sammen med de lavopløselige farvebilleder ved pansharpening, hvorved der opnås højt opløselige farvebilleder. Ved pansharpening gør man herved farvebillederne skarpe med pan (gråtone) billederne.



Figur 3.1. Illustration af sensoropbygningen for DMC og Vexcel

Hvis man ser på de 2 mest anvendte storformats kameraer på markedet i dag, DMC og Vexcel, så er opbygningen lidt forskellig, men reelt virker de på samme måde. DMC er opbygget af 4 pankromatiske og 4 multispektrale sensorer (via 4+4 kameralinser), figur 3.2, imens Vexcel er opbygget af 9 pankromatiske sensorer og 4 multispektrale sensorer (også via 4+4 linser), figur 3.3.



Figur 3.2. Intergraph DMC



Figur 3.3. Vexcel Ultracam D

Kameraerne er opbygget således, at hver af de pankromatiske sensorer dækker en lille del af hele det færdige billede, mens de multispektrale sensorer hver dækker hele det færdige billede i lavere opløsning (større pixelstørrelse). De fire multispektrale sensorer (R,G,B,Nir) er reelt også pankromatiske sensorer, men da de hver især er konstrueret med et forskellig radiometrisk filter, opnås der følsomhed overfor forskellige dele af farvespektret, hvilket i praksis giver en sensor til det røde bånd, R, en til det grønne, G, en til det blå, B, samt en til det nær infrarøde, Nir.

Mellemformat-kameraer

De digitale mellemformat-kameraer minder i mange henseender om storformat-kameraerne i opbygning. Det er kameraer, der er specielt bygget til fotogrammetri og der anvendes ofte pansharpening. I modsætning til storformat-kameraerne benyttes her som regel kun en enkelt CCD chip til optagelse af den pankromatiske (sort/hvide) del. Herved spares den geometriske efterprocessering med mindsket både tidsforbrug og risiko for geometriske fejl i råbillederne.

Mellemformat-kameraernes force ligger i det faktum, at de er mindre komplekse i opbygning og heraf også billigere at fremstille og købe. Ulempen er, at de dækker et mindre areal end storformat-kameraerne, hvorfor de kræver mere flyvetid for at dække det samme areal - et problem, der især bliver tydeligt ved storskala fladedækkende ortofoto-produktion.

Småformat-kameraer

Småformat-kameraerne er i modsætning til de andre kameratyper ikke designet specielt til kortlægning fra luften, men reelt almindelige kameraer bygget til håndholdt brug f.eks. reklamefotografi. De er herefter tilpasset til montering i fotoflyvere. Som resultat heraf er kameraerne både billige i indkøb samt brug, da der reelt ingen efterprocessering behøves. Ulempen ved kameraerne er, at de dækker et meget lille område, så de sjældent kan anvendes til fotogrammetri. Til ortofoto kan de dog fint anvendes, da der her ikke kræves mere overlap end for at sikre, at der ikke er huller mellem de enkelte billeder.

De digitale småformat-kameraer har deres force som supplement til andre sensortyper som Li-DAR udstyr, men ses også tit i en konstellation af 5 kameraer i skråfotosystemerne. Her peger fire kameraer i hvert sit verdenshjørne, imens ét kamera peger direkte ned (i lod), hvorfra ortofotos beregnes.

Billedberegning

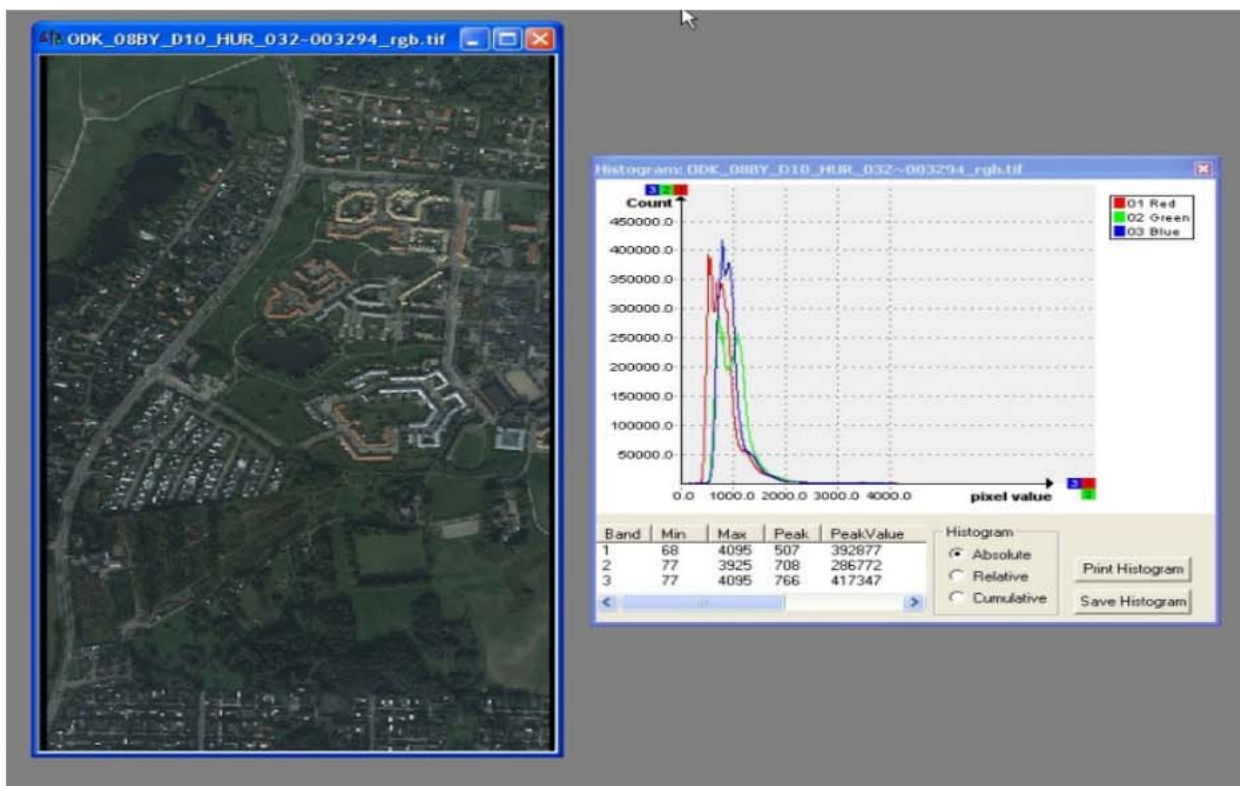
Eftersom det digitale rå foto er opbygget af mange del-billeder skal de enkelte fotos sammensættes i en digital opretning inden det kan benyttes til fremstilling af ortofoto eller benyttes til fotogrammetri. Denne proces kan ansues som en digital fremkaldelse.

Digital fremkaldelse deles i geometrisk samling, radiometrisk beregning og færdigformatering:

Geometrisk samling foretages ved alle storformat-kameraer, idet disse har flere delbilleder. Under den geometriske beregning samles alle de pankromatiske del-billeder til et samlet pankromatisk billede. Denne samling sker som en slags aerotriangulation, hvor der i overlappet mellem de enkelte s/h billeder findes fællespunkter (tie-points), som danner grundlaget for en geometrisk korrekt samling. Et problem ved denne proces er, at det i visse tilfælde, f.eks. ved vand, kan være svært for de automatiske rutiner at finde egnede fællespunkter, hvilket i værste fald kan give fejlbehæftet geometri, som reelt ikke kan konstateres før en eventuel aerotriangulation.

Det er under den radiometriske beregning, at pansharpening foretages, hvorunder det sammensatte s/h billede tilføjes farver fra de multispektrale sensorer. En anden ting, der foretages under den radiometriske beregning, er en radiometrisk justering af de enkelte farvebånd i forhold til hinanden. En sådan justering kunne f.eks. være for at fjerne blåstik; et typisk resultat af dis. Det er således i denne proces, at det radiometriske udtryk for billederne dannes.

Færdigformateringen skal sikre, at billedet efterfølgende kan håndteres rent størrelsesmæssigt. De fleste digitale kameraer optager i dag i 12 bit, hvilket vil sige, at der for hvert radiometrisk bånd (rød, grøn og blå) måles farver i 2^{12} nuancer, altså 4096 nuancer. Ganger man dette sammen, får man et farvespektrum på lige godt 69 milliarder farver. Til sammenligning resulterer et 8 bits billede i godt 16 millioner farver.

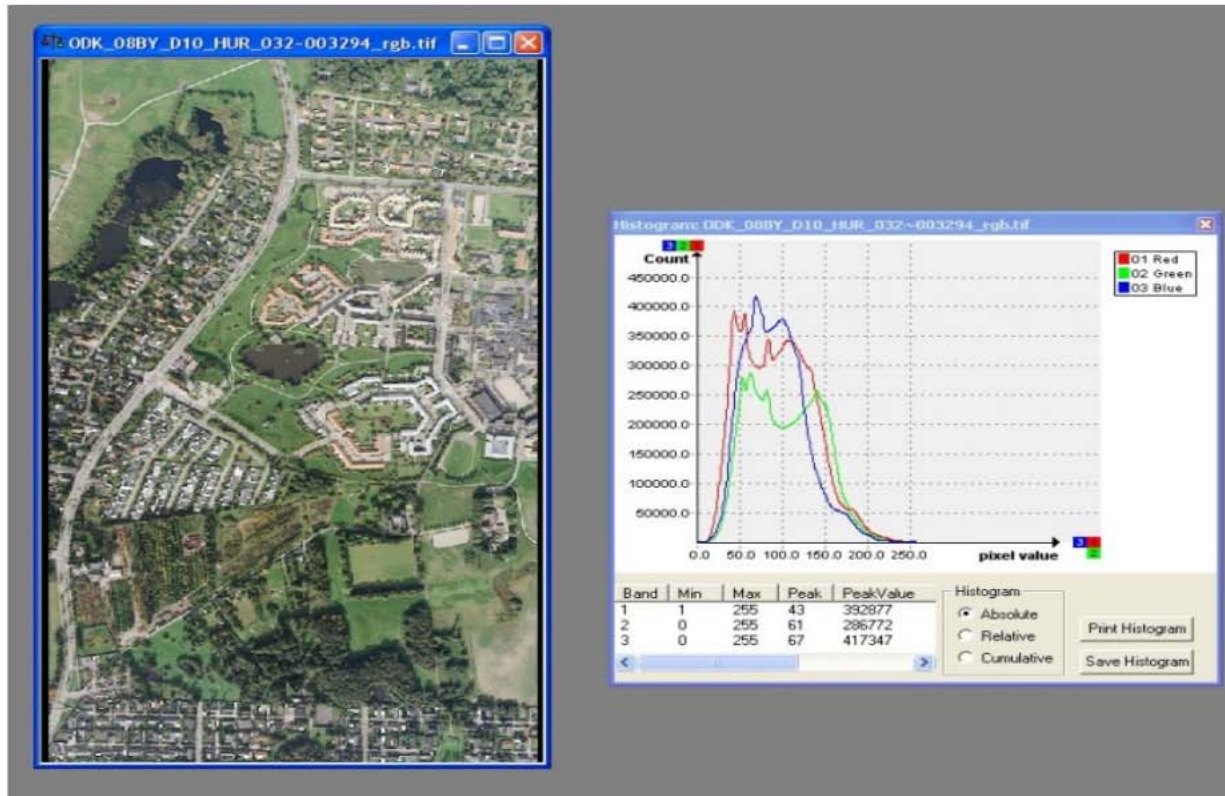


Figur 3.4. Billede optaget i 12 bit. Histogrammet udfylder ikke 12 bit skalaen.

Som kuriosum kan det nævnes, at det menneskelige øje ikke kan skelne mere end omkring 10 millioner farver, samt at mange af de billigere LCD-skærme i dag benytter "dithered" 18 bit farver, der reelt kun er 64 nuancer per kanal, hvilket kun giver godt 200.000 farver.

I den fotogrammetriske proces er det imidlertid langt de færreste programmer, der i dag understøtter 12 bit billeder, hvorfor man under billede-beregningsprocessen oftest laver en radiometrisk resampling til 8 bit. Ved denne proces er det vigtigt at have luftfotoenes karakteristika for øje. Ved fotogrammetriske optagelser vælger man normalt at indstille blænde og eksponering lidt konservativt. Dette gøres for at undgå at miste data ved enten overeksponering eller undereksponering af billederne. Resultatet af dette er, at man i originaloptagelserne sjældent har udfyldt hele spektret. Dette kan, hvis man ser isoleret på 12 bit billedet, godt se problematisk ud, fordi man ikke anvender hele spektret, og således mister de helt fine nuancer. Det er imidlertid ikke et pro-

blem, eftersom man foretager den radiometriske resampling. Som det kan ses af Figur 3.4 udfylder histogrammet ikke 12 bits skalaen. Den starter ved omkring 400 og flader ud ved omkring 2500, altså en spænd langt fra de tilgængelige 4096 nuancer. Når der skal resamples, er der kun plads til 256 nuancer, hvorfor man kan se, at der faktisk er mere end rigelig information i 12 bits billederne til at fylde 8 bits skalaen op, hvis man altså vælger hvilken del af 12 bits skalaen, man ønsker medtaget.



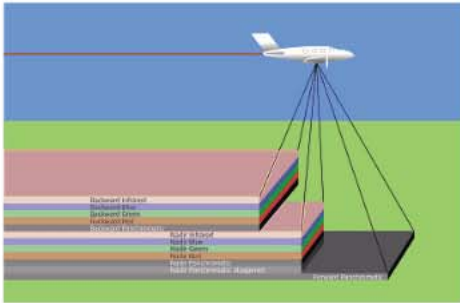
Figur 3.5. Det originale 12 bit billede i figur 3.4 er blevet resamplet til et 8 bit billede.

Dette er det springende punkt ved en 12 til 8 bit resampling. Man bør ikke lave en lineær resampling, da dette ville resultere i et kæmpe informationstab. I figur 3.5 kan man se 12 bit billedet fra figur 3 resamplet til 8 bit. I denne resampling er der i modsætning til en direkte resampling anvendt en resamlingsmetode, der tilgodeser de informationsbærende områder af histogrammet, hvorfor meget af de "døde" dele er forsvundet til fordel for, hvor der faktisk er information.

3.2.2 Digitale linjescannere

Linjearrays og satellitter

Teknikken i linjescannere i fly og satellitter er reelt den samme. Teknologien blev oprindeligt udviklet til brug i satellitter og sidenhen tilpasset til brug i flyvemaskiner. Det specielle ved linjearrays er, at deres lysfølsomme chips er utroligt brede med næsten ingen højde (i modsætning til kameraerne, som har mere eller mindre kvadratiske CCD'ere). Tanken er, at man hermed får en stor opløsning i linjen på bekostning af fladedækningen. Billedet bygges så op ved, at kameraet bevæges hen over terrænet. Der eksisterer derfor ikke ét egentligt billede over et område, men et "pixeltæppe" bestående af et billede pr linje, hvor den enkelte række pixler er orienteret efter



flyets/kameraets hældninger og drejninger. For at kunne anvende et sådant billede må hver enkelt linje absolut orienteres og resamples i en form for digital opretning. For at kunne udføre disse beregninger, må kameraet være forsynet med både GPS og IMU for at kunne beregne den absolutte orientering af hver enkelt linje. Billedvandring forekommer ikke, da arrayene er så lysfølsomme og eksponeringstiden så kort, at bevægelsen af linjescanneren er uden betydning.

Disse kameraer registrerer enkeltlinjer uden pixeloverlap, hvorfor der ikke bliver mulighed for stereoskopisk dækning. For at kompensere for dette, forsynes kameraerne med flere sæt arrays fordelt over lensens billedfelt. Herved opnås mulighed for at opsamle 3 sæt billeder ad gangen, et der "kigger" lodret nedad, et der "kigger" fremad, og et der "kigger" bagud. Der monteres normalt forskellige typer arrays, så der opsamles både et pankromatisk og et farvebillede på samme tid. Stereoskopisk effekt kan skabes ved anvendelse af to af de tre sæt billeder. To eksempler på anvendte linjearrays på markedet anno 2010 er Leica's ADS80 og Jena's JAS 150s.

3.2.3 Analoge rammekameraer

Et analogt kamera er et "gammel dags" kamera, hvor billedet skabes på en film, der efter eksponeringen kan fremkaldes. Der optages et billede ad gangen dækkende et område. Billedformatet er 23 cm x 23 cm. Et sådant billede kan opfattes som én observation. Billedets geometri kan beskrives med en matematisk model af kameraet, hvor der angives kamerakonstant (brændvidde), hovedpunktsbeliggenhed og fortegning. Kameraet er opbygget på en stiv ramme uden mulighed for fokusering, dvs. med en afstandsindstilling svarende til uendelig.

Kameraets brændvidde kaldes for kamerakonstanten. Kameraer deles efter kamerakonstantens længde i 3 kategorier: normalvinkel-, vidvinkel- og supervidvinkel-kameraer med en kamerakonstant på henholdsvis 30 cm, 15 cm og 8,5 cm. Ved hjælp af et vakuumsystem holdes filmen plan under eksponeringen og et spolesystem sørger for, at det eksponerede billede vindes op på en spole, så kameraet er klart til næste eksponering.

Når en fotomission er afsluttet, sendes filmen til fremkaldning. De analoge kameraer anvendes reelt ikke mere i Danmark, men der fremstilles stadigvæk ortofotos baseret på eksisterende analoge billeder.

Filmtype

Afhængig af formålet med fotomissionen anvendes der forskellige filmtyper. Almindeligst er nok en farvefilm enten negativ eller positiv. Tidligere anvendtes sort/hvid film meget. Sort/hvid film var mere finkornede, og det var derfor muligt at se mindre detaljer, end hvis man anvendte farvefilm. I de moderne farvefilm er kornstørrelsen gjort mindre, så forskellen ikke er så stor mere. En tredje mulighed er at anvende film, der er følsomme overfor andre dele af lysets spektrum, end det vi ser med vore øjne, f.eks. med følsomhed i den infrarøde del af spektret. Det har den fordel, at vegetation fremtræder meget tydeligt i billederne.

3.3 Radiometri

Når man som bruger modtager en ortofotoleverance, er det første, man kigger på, som regel: Er det aftalte område dækket, og modsvarer farverne de forventninger, man har? Det er ikke altid tilfældet, at det sker.

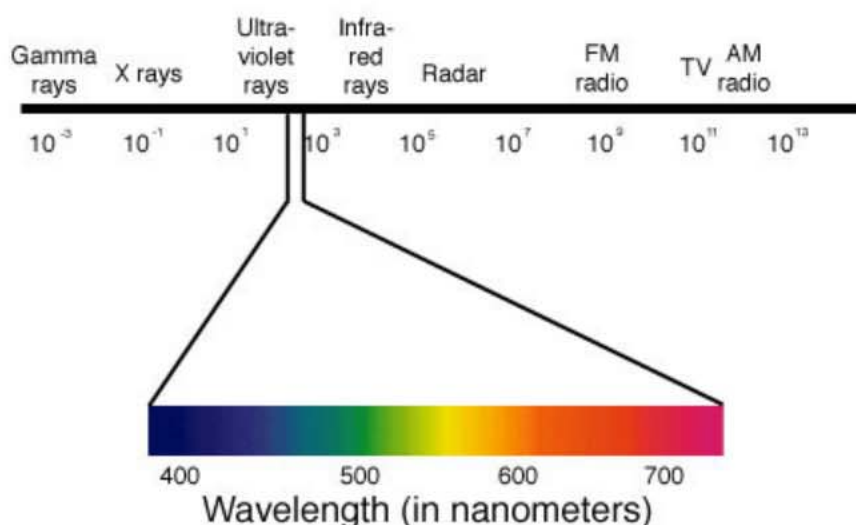
Farver og farvemætning i ortofoto er kilde til mange (faktisk de fleste) diskussioner mellem fotoleverandør(er) og foto-bruger(e). De større regionalt og landsdækkende ortofotosamlinger er tiltænkt bredt brug, herunder som baggrundskort i både desktop- og webGIS, som baggrundsmateriale med overlajrede vektorer, til print af situationsplaner, som billedmateriale til visning af eksempelvis bygninger, som ufortolket billedmateriale til brug for digitalisering af eksempelvis vegetationstyper i tekniske forvaltninger, og meget andet. Med så bred en vifte af tiltænkte applikationer er der lagt op til, at ikke alle behov kan dækkes lige godt. Eksempelvis vil det som baggrundskort i GIS applikationer være en fordel med dæmpede farver, mens en ejendomsmægler, der vil vise et billedudsnit, nok vil foretrække pangfarver, der viser, hvor grønt græsset er.

3.3.1 Begrebsafklaring

I dette afsnit vil der blive foretaget en begrebsafklaring, der kan hjælpe producent og bruger ved at sikre, at man taler om de samme ting, når man diskuterer farver. Der vil blive diskuteret nogle af de grundbegreber, der er i farveteori en, da de danner baggrund for den videre behandling af emnet. Dette er dog på ingen måde en udtømmende beskrivelse og for mere information henvises den interesserede læser til litteratur inden for emnet.

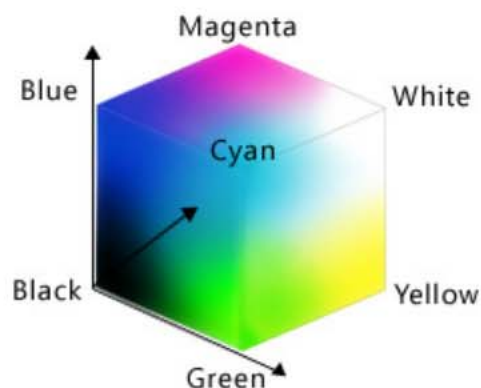
Farve-repræsentation

Farve er et udtryk for lys af en given frekvens, der rammer øjet. Det lys, vi kan se, er elektromagnetiske stråler med en bølglængde fra ca. 380 til 750 nm.



Figur 3.6. Det visuelle spektrum, Kilde: http://en.wikipedia.org/wiki/HSL_color_space

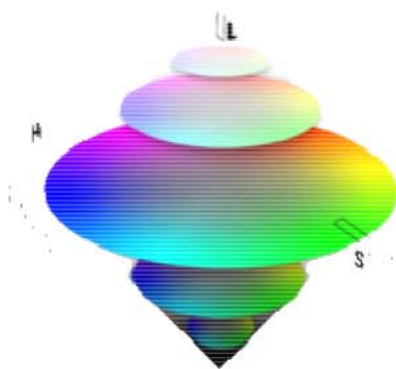
En anden repræsentation tager udgangspunkt i, at farver typisk ikke opleves 'rene', men som en blanding af mange forskellige bølglængder. Man har fundet ud af, at for det menneskelige syn er det nok at lave en blanding af tre grundfarver, rød grøn og blå. Dette skyldes, at vores syn er begrænset til kun at kunne arbejde med disse tre farver. Som sådan vil en farve typisk være repræsenteret ved tre værdier R, G og B, der beskriver hvor meget rød, grøn og blå, farven indeholder.



Figur 3.7. Visualisering af RGB farverummet,

Kilde: http://weseetips.files.wordpress.com/2008/05/rgb_colorspace.png?w=267&h=220

Med denne repræsentation kan en farve således repræsenteres som et punkt i et 3D rum, et såkaldt farverum. Dette 3D farverum kan også repræsenteres på andre måder. En anden populær måde er den såkaldte HIS repræsentation, hvor farver bestemmes af 3 parametre: lysintensitet (I, intensity), mætning (S, saturation), og farveværdi (H, hue), se figur 3.8.



Figur 3.8. Visualisering af HIS farver. Lysstyrke op, farvetone rundt om lodret akse, og mætning i afstand fra lodret akse. Kilde: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Color_cones.png

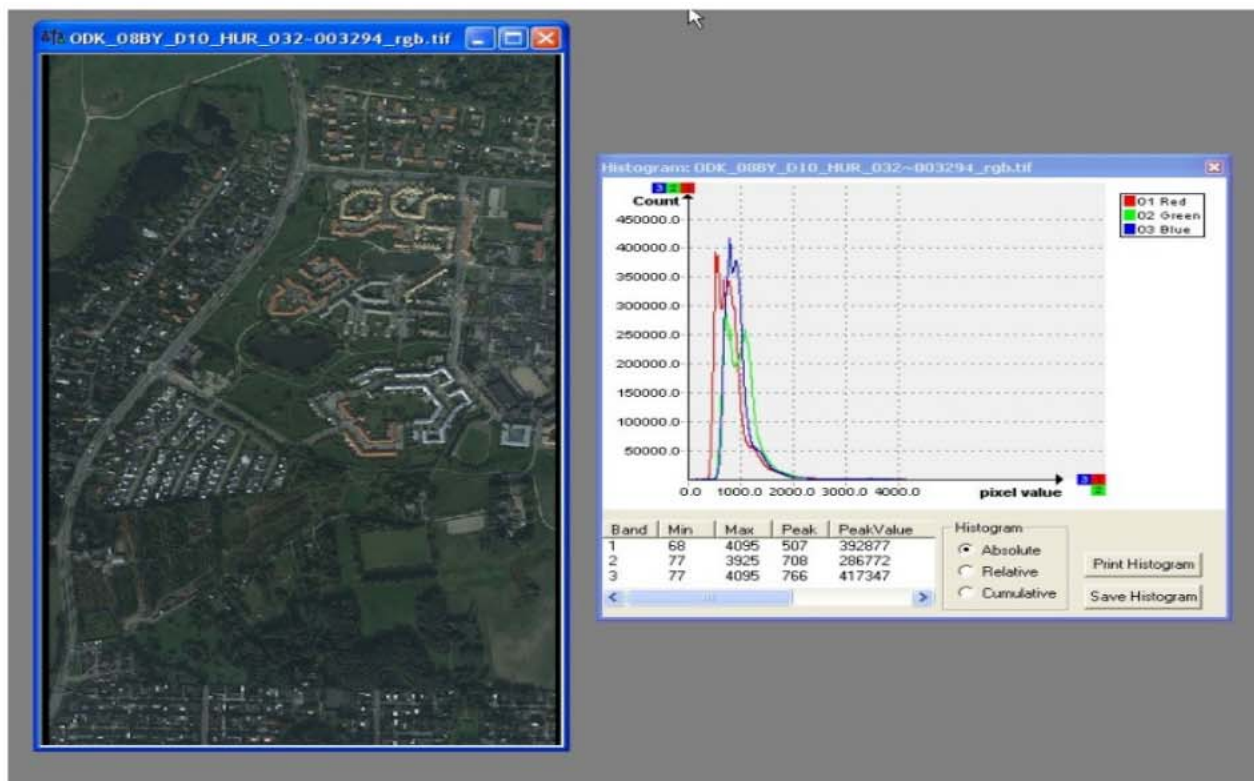
Digitalisering af farver

I dag er al ortofoto-produktion stort set digital. Det være sig fra kameraet, via processeringen, til leveringen. Dette indebærer, at farveværdierne, f.eks. R, G og B, repræsenteres digitalt, hvilket har nogle afledte effekter. En effekt er, at der er en vis mængde hukommelse afsat til hver værdi, hvilket indebærer, at der er en maksimumværdi, og at der er en given opløsning til værdien. Har man afsat 8 bit, svarende til 256 værdier, til at repræsentere den grønne værdi i en pixel, og man

har vedtaget, at værdien skal ligge mellem 0 og 1, så kan en ændring mindre en $1/256$ ikke fanges, og ej heller en værdi over 1. Hvis den ønskede værdi overstiger den maksimale, taler man om farvemætning. I forbindelse med hvor meget hukommelse, der er afsat til en farve, taler man om farvedybden eller opløsningen, og denne angives normalt i antal bit afsat til alle tre farvewærdier samtidig. Hvis der er 8 bit per kanal, taler man således om en 24 bit farvedybde.

Statistik på billeders farve

Et vigtigt værktøj, når vi skal tale om samt forsøge at kvantificere og specificere farven af billeder, er statistik på farvewærdierne. Typisk tages udgang i et histogram af de enkelte farvewærdier over hele billedet. F.eks. kunne værdierne for den røde kanal eller intensiteten (RGB/HIS) samles for alle pixels i et billede og samles i et histogram, som det vises i figur 3.9:

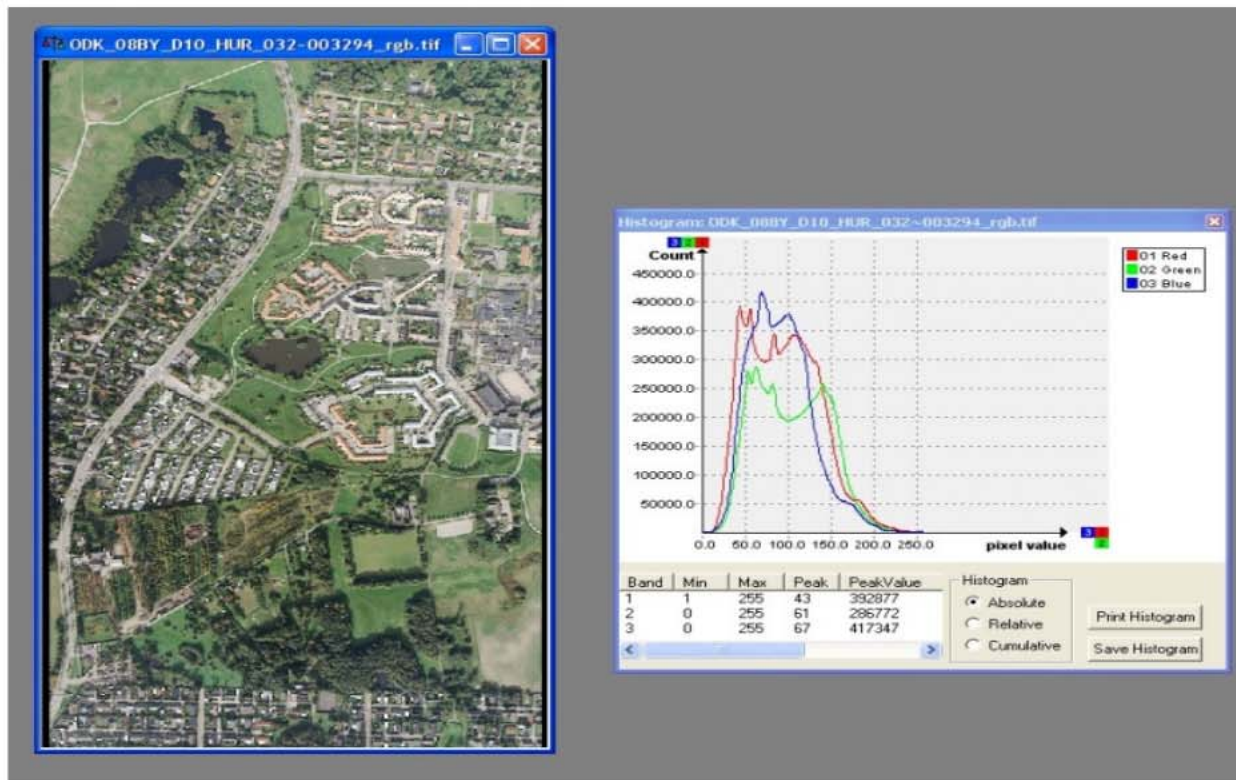


Figur 3.9. Billede med tilhørende histogram

Formen af sådanne histogrammer er et af de mest anvendte værktøjer til at tale om billeders farveegenskaber. Her er middelværdi og variansen af dette histogram vigtige afledte parametre. F.eks. kunne man spørge om, hvad middelværdien af den grønne kanal er for samtlige pixels i et billede, hvilket svarer til middelværdien af den grønne kanals histogram.

Histogram-manipulation

Farve- og intensitets-histogrammerne (RGB/HIS), som er beskrevet oven for, er ikke kun vigtige for at beskrive et billedes farve, men også for processeringen af dette. Ofte vil man være interesseret i at strække farverne, så histogrammet bliver mere uniformt eller fladt. Dette har den effekt, at de steder, der 'sker' noget i billedet, får mere dybde til rådighed og derved bliver mere synlige. Dette svarer til at øge kontrasten i billedet.



Figur 3.10. Kontrastforøgelse af billedet i figur 3.9 med tilhørende histogram.

Histogrammerne i figur 3.9 og 3.10 er farvespektrere, der tilnærmest kan beskrives med deskriptive statistiske mål såsom middelværdi og standardafvigelse. Det fremgår af figurene, at der er en sammenhæng mellem billedets fremtoning og henholdsvis middelværdi og standardafvigelse.

3.3.2 Problemstillinger, der påvirker farverne i ortofotos

Farverne i ortofoto er et resultat af mange faktorer, hvoraf nogle er udenfor menneskets kontrol, mens andre kan behandles med henblik på at opnå bedre radiometri i ortofoto.

Arsvariation

Farverne i optagne billeder er hovedsagelig påvirket af tidspunktet for optagelsen. Det være sig både tidspunkt på året og tidspunkt på dagen. Farver, der varierer med årstiderne, skyldes først og fremmest væksten af planter på marker samt løvfældende træer i skove. Billeder, der er optaget udenfor vækstsæsonen, "mangler" information i de grønne bølgelængder. Dynamikken i billeder optaget enten før løvspring eller efter løvfald domineres af mørke brunlige farver i det åbne land – samt i en stor del af byerne væk fra tætte bykerner. Billeder optaget i løvspringssæsonen/vækstsæsonen (typisk maj-juni) tenderer til at have mere dynamik end billeder, der er optaget resten af året.

I perioder kan der være lange tidsrum mellem egnet "fotovejr" og især ved større produktioner, som skal optages over flere flyvedage, kan der gå lang tid (op til måneder) mellem, at en fotomission påbegyndes og afsluttes. Der er derfor mulighed for, at der kan komme årstidsvariationer mellem optagelserne, og at grønne sommer/løvspringsbilleder skal "sømmes" sammen med brune / gullige billeder fra høstsæsonen.

Dagsvariation

Tidspunktet på dagen for fotooptagelserne er i høj grad påvirket af solhøjden (og dermed både sollysets indfaldsvinkel og intensitet) på optagets tidspunkt. Normalt fotograferes der ikke til hverken kortlægning eller ortofoto, når solhøjden er under 25 grader over horisonten. Billeder, der er optaget tæt på hhv. solopgang og solnedgang, er påvirket af lange slagskygger. Ved optagelser med vidvinkelkamera er der en forskel i kontrast fra den del af billedet, som fotograferes i medlys, og den del af billedet, der fotograferes i modlys. I medlysdelen af billederne "læner" træer og bygninger sig, på grund af reliefforskydning, ind over egen slagskygge og giver et kontrastfattigt område i billedet. I modlysdelen af billederne opstår den modsatte effekt, hvor vertikale objekter "læner" sig væk fra egen slagskygge og giver et meget kontrastrigt område i billedet. For det enkelte billede synes problemet ikke så stort, men når mange billeder fra flere flyvelinjer ortooprettes og sammensættes langs sømlinjer, fremstår forskellene meget tydeligt i kraft af, at billedområder optaget i medlys (med lav kontrast) sammensættes med billedområder optaget i modlys med tilhørende høj kontrast.



Figur 3.11. Billedudsnittet viser kontrastforskellene ved sammenskæring mellem to billedudsnit, der er taget i hhv. med- og modlys. Sømlinjen ligger midt i vejen i SV-NØ retning. Bemærk slagskyggerne ved bygninger og træer.

Fotos optaget over vand

Ved fotografering over vand, hvor det enkelte billede kan indeholde både land og vandflade, spiller vandfladens karakter en stor rolle i farvesætningen af den del af fotoet, der dækker land. På vandfladen kan der forekomme kraftige refleksioner af sollys direkte op i kameraet afhængig af med/modlysforskelle. Dette giver, ved kraftig refleksion, en ringe kontrast for de dele af billedet, der dækker land på grund af, at der i kameraet og ved processeringen af billederne automatisk kompenseres for den kraftige lysmængde ved at dæmpe lysstyrken i hele billedet. Omvendt kan de vanddækkede dele af billedet synes mørkere end resten af billedet, hvis der eksempelvis er en lys sandtange i den ene del af billedet.



Figur 3.12. Farveforskelle over vand.

3.3.3 Pænt kontra korrekt

En af de store diskussioner indenfor farvesætning af ortofotos er, hvorvidt ortofotoene skal fremstå pæne eller radiometrisk korrekte. Erfaringsmæssigt vil de fleste brugere naturligt ønske korrekte farver, men når de præsenteres for de to løsninger, vil de fejlagtigt forvente, at det er de "pæne" ortofotos, der er de korrekte. Virkeligheden ser tit anderledes ud fra 1 kms højde.

Intuitivt er det let at se, at det kan være svært at definere de pæne farver. Alle har en holdning til farver og det er desværre sjældent den samme. Men det at definere korrekte farver kan faktisk være endnu sværere. For at gøre verden endnu mere kompleks, er det yderst sjældent, at slutbrugere benytter kalibrerede skærme, hvorfor farver gengives meget forskelligt for kunde og leverandør.

De pæne farver

Problemet ved pæne farver er, at "pænt" er meget forskelligt fra person til person. Dette gør, at det kan være meget svært at ramme en farvesætning, der tilfredsstiller alle. En løsning på dette problem er at have et billedbibliotek af billeder, der er optaget på forskellige tidspunkter på året og farvesat efter forskellige ønsker. Brugeren kan herudfra vælge det billede, der kommer tættest på det ønskede udtryk. Her er det dog vigtigt at forstå, at selv en forudbestilt farvenuance kan være meget svær at ramme, når et ortofoto, der kan bestå af mange tusinde billeder, skal justeres, så det udgør en sømløs ensartet ortofotomosaik. Farverne på blade ændrer kraftigt nuance fra forår over sommer til efterår. Hvis en bestemt nuance i skove f.eks. er ønsket, er det nødvendigt at planlægge flyvningen til et bestemt tidspunkt, hvilket kan fordyre ortofotoet meget.

De korrekte farver

At tale om korrekte farver er om muligt en endnu sværere disciplin end de "pæne" farver. Farverne i naturen ændres ikke alene i løbet af året, men også i løbet af dagen, samt over geografisk afstand. Farverne over Skagen strand er meget forskellige fra farverne over Rold Skov.

For at kunne garantere korrektheden af farverne er det, som i alle andre målediscipliner, nødvendigt at have referencer, hvor man ud fra en kendt værdi på referencen kan justere det målte. Et sådant referencefelt ville udgøre et antal felter med forskellige farver malet på f.eks. en landingsbane eller lignende. Dette løser imidlertid ikke problemet helt, eftersom farverne, som tidligere nævnt, ændres i løbet af dagen samt med den geografiske position. For at sikre mod disse dynamiske variable ville det være nødvendigt at overflyve referencefelterne med jævne mellemrum i løbet af fotomissionen, hvilket i praksis gør løsningen uanvendelig.

En af de løsninger, der i dag anvendes for at sikre en nogenlunde korrekthed af farverne, er at benytte asfalt som reference til justeringen af hvidbalancen. Asfalt kan anvendes, fordi det oftest er neutralt gråt, hvilket gør det velegnet til netop hvidbalancejustering. Hvidbalancen er den farvejustering, som har absolut størst indflydelse på farveudtrykket. For at sikre korrekt gengivelse af alle farver er det nødvendigt med andre objekter til kalibrering af de andre farveskalaer. En mulighed her kunne være at anvende andre objekter som f.eks. tegltage, fodboldbaner og lignende, men dette er fremtidsscenariet, som endnu kun er på tegnebrættet.

3.3.4 Specifikation af radiometrien i ortofotos

Den brede anvendelse af ortofoto kombineret med relativt komplekse produktionsafhængigheder har bevirket, at der i nogle lande fra central side har været fokus på at beskrive produktionen af ortofoto. Dette er især sket ved, at de nationale kortlægningsinstitutioner eller de faglige organisationer har udfærdiget og udgivet vejledninger eller bestemte specifikationer for ortofotoproduktion. Mange af disse specifikationer er af ældre dato og er ikke fulgt med til nutidens digitale kamerateknik. Dette kommer også til udtryk i forbindelse med ortofotos radiometriske forhold, som sjældent er beskrevet i detaljeret form.

Indførelse af digital optageteknik har betydet, at behandling af ortofotos radiometriske udtryk er ændret væsentligt. Fra tidligere at være et "håndværk", hvor det radiometriske resultat var bestemt af filtype, kamera-blændeforhold, blandingsforhold i fremkaldvæske, fremkaldtiden, scanneropsætning mm., så er farveudtrykket i dag influeret af især kameraets optageteknik, CCD pixel dybde samt post-processeringen.





I de seneste år har producenterne oparbejdet megen rutine i udnyttelsen af digital kameraets muligheder. Dette har, sammen med den stadig øgede interesse for anvendelsen af ortofotos, betydet, at de radiometriske forhold i ortofotos er blevet til det øget fokus. Det har vist sig, at den resulterende radiometri i ortofoto er så kompleks, at korrekte metoder til beskrivelse og kvalitets sikring af større produktioner er ufuldstændige og endnu ikke fuldt operationelle.

I det følgende refereres 3 udvalgte internationale og nationale specifikationer, hvori der er forsøgt anvendt forskellige metoder til at kvantificere det radiometriske resultat i en ortofotoproduktion. Nøglepunkter i disse refereres kort, for senere i dette afsnit at danne grund for en diskussion om en mulig dansk metode for "specifikation og kvalitetskontrol af radiometri i en ortofotoproduktion".

Specifikation 1 er "Guidelines for best practice and quality checking of orthoimages (issue 3.0, 2008)", udgivet af EU kommissionens "Joint Research Centre, Institute for protection and security of citizen" i Ispra Italien (EU-guidelines).

EU-guidelines angiver anbefalinger for produktionen af digitale ortofoto-produkter, produceret fra satellitdata eller fra digital/analog kamera i fly. De forskellige led i produktionen diskuteres, mht. deres betydning for slutproduktets geometriske og radiometriske kvalitet.

De radiometriske anbefalinger er:


-  at den radiometriske opløsning i slutproduktet (ortobilledet) mindst bør være 8bit/pix,
-  at kamerakalibreringen mht. radiometri som minimum skal angives ved:
 - antal "døde pixels" i kameraets CCD'er,
 - kameraets radiometriske opløsning (bør mindst være 12 bit, gerne 14-16 bit) samt
 - verificeret følsomhed i spektralbånd R, G, B, NIR, IR (båndredde/placering),
-  at der gennemføres kontrol af radiometri i slutprodukterne, så:
 - hele farvespektret, uden pixel-mætning, er udnyttet:
I histogrammet efterlades margin med 5 % DN i lys side og 5-10 % DN i mørk side – IKKE beregnet på enkeltbilleder, men på hele "billedblokke"!,
 - antallet af mættede pixels ikke overstiger 0,5 % af det samlede antal pixels (mht. intensitet og/eller alle farver),
 - målet for kontrasten i billederne er: 10-20 % SD af DN, bestemt som procent af mulige gråtoner i "normalbilleder" (ikke sne, vand eller lign.), samt desuden at
 - der kontrolleres visuelt for eksistens af blandt andet: Skyer, sky-skygger, skygger, dis, billedstøj, fejlregistrerede farver og hotspots,
-  at der angående pansharpening opstilles 2 kvalitetsmål om, at:
 - den spatiale opløsning fra det pankromatiske billede bevares til slutproduktet, samt at
 - den synlige (kant-)fejl minimeres (undgå "farvelade" forårsaget af unøjagtighed i kamera-registrering af R, G, B).

EU-guidelines giver et fornuftigt indblik i de fleste produktionsled også mht. radiometri. Desuden udpeges mange enkelt-parametre, som kan anvendes som "kontrolpunkter" af radiometrien. Der angives målbare værdier for enkeltparametre. Derimod mangler der en vejledning for implementering af kontrollerne.

Specifikation 2 er "Produktspecifikation for ortofoto i Norge (vers.3, maj 2008)" udgivet af "Statens Kartverk", den nationale kortlægningsinstitution i Norge.

Den norske specifikation angiver ortofotostandarder for hhv. 10, 20 eller 50 GSD. Der refereres mange billedeksempler på "gode" og "dårlige" ortofotos.

Specifikationen anbefaler følgende for billede-radiometri:

-  Kvalitetsparametre af ortofoto-produktet er følgende:
 - det skal være "klart og skarpt" med "jævn tone og kontrast",
 - ingen skyer (0 %) og max. 3 % skygge fra skyer,
 - kun "små skygger" (solhøjde på mindst 30 grader), samt
 - sammenligning af ortofoto og original billede, må ikke vise "tab af kvalitet"

- ☐ Metoder til forbedring af billedradiometri:
 - farvebalancering af billeder skal altid ske på billedblokke (ikke på enkeltbilleder) og altid ved brug af reversible metoder,
 - kun sjældent og forsigtig kontrastudjævning på enkeltbilleder (dodging)
- ☐ Andre tiltag:
 - Producent-kunde samarbejde for at finde "det rigtige" udtryk i slutproduktet, og
 - PC-skærme i produktion, i kontrol-proces og hos kunden skal være farvekalkibrerede.


Den norske specifikation giver indblik i hele produktionsprocessen af ortofotos. Der udpeges parametre, som kan anvendes som "kontrolpunkter", men kun få faste "mål-værdier". Den anbefaler væsentlige "hvad man bør"-rammer for farvemanipulation af billeder. Desuden beskriver den "eksterne" forhold, som kan påvirke (opfattelsen af) farveudtrykket i slutproduktet.

Specifikation 3 er "OS Mastermap imagery layer AQL specification (v.1.0 dec. 2007)" fra "Ordnance Survey", den national kortlægningsinstitution for Storbritannien.

Den engelske specifikationen er en teknisk specifikation med detaljekrav for billeder, som tilknyttes "OS mastermap imagery layer".

Radiometriske krav for billeder i "OS mastermap imagery layer" er:

- ☐ min. 25 grader solvinkel,
- ☐ min. 8 bit RGB-billeder,
- ☐ histogrammet for intensitet samt for hver af de 3 individuelle 8-bit-farvebånd er de fastlagte mål-værdier for "billed-blokken" (ikke enkeltbilleder). Mål-værdierne er varierende for hver af 3 areal-flader, "by, blandet samt monoton":
 - Town: by areal (mere end 50 % bebyggelse):
 - ☐ gennemsnit af intensitet i histogram: mellem 90-141
 - ☐ rød: middelværdi: 94-126; st.afv. 30-60
 - ☐ grøn: middelværdi: 100-136; st.afv. 28-58
 - ☐ blå: middelværdi: 74-110; st.afv. 15-53
 - Mixed: blandet land/by areal:
 - ☐ gennemsnit af intensitet i histogram: mellem 90-141
 - ☐ rød: middelværdi: 94-126; st.afv. 20-50
 - ☐ grøn: middelværdi: 100-136; st.afv. 20-48
 - ☐ blå: middelværdi: 74-110; st.afv. 9-43
 - Monotone: med få variationer (mere end 50 % monoton):
 - ☐ gennemsnit af intensitet i histogram: mellem 90-141
 - ☐ rød: middelværdi: 94-126
 - ☐ grøn: middelværdi: 100-136
 - ☐ blå: middelværdi: 74-110

- "Andet" eller "udfald af kontrol":
Visuel kontrol af:
 -  Sky/snedække (max 3 %), farvebalance, kontrast, ugenomsigtig skygge (max 1 %), pixel fejl, "flaring/bleeding, farve fejlregistrering, rainbow og hotspots.

Den britiske specifikation udpeger væsentlige parametre, som kan anvendes som "kontrolpunkter". Den angiver en præcis metode for klassificering og automatisk kontrol ift. generelle veldefinerede "mål-værdier". Desuden beskriver den og anbefaler "eksterne" forhold, som kan påvirke (opfattelsen af) farveudtrykket i slutproduktet.

Udvalgets overvejelser

Der er i eksempelvis den engelske specifikation fra Ordnance Survey of Great Britain opstillet mål for statistikken af færdige mosaikerede ortofoto. I specifikationen sigtes der mod, at alle billeder uanset årstiden for fototidspunktet (baggrundsfarver) eller fototidspunktet på dagen (solvinkel/solhøjde) skal indeholde cirka samme middelværdier for henholdsvis, Rød, Grøn og Blå farver. En fordel ved denne form for specificering af pæne farver er, at der er mulighed for at afgøre, om det leverede overholder de opstillede krav. En ulempe er, at det ikke lader sig gøre at specificere "pæne" farver, og selvom alle parter synes, at ortofotoene fremstår grimme med uægte farver, vil de måske stadig kunne opfylde kravene såfremt billedernes middelværdier og standardafvigelser ligger indenfor de specificerede intervaller. Man kunne opstille lignende mål for produktion af ortofoto i Danmark, men det er udvalgets holdning, at man næppe opnår en enighed om, hvad der er pæne eller sågar naturlige farver.

Hvis man vælger at opstille objektive krav til radiometri i ortofotos, bør man sigte bredere end blot at se på, om ortofotos dækker en bestemt arealtype (by, land, skov). Man bør også inddrage forskellige årstider/sæson (før løvspring, løvspring, høst, løvfald, mm.), da radiometrien ændres markant som følge af baggrundsbetingelserne/baggrundsfarverne. Denne sondring mellem både arealtyper og fototidspunkter vil i midlertid give et stort udredningsarbejde for at finde de ønskede middelværdier uden sikkerhed for, at der opstilles opnåelige krav. Dette er ikke indgået i specifikationsudvalgets arbejde.

Det er derfor specifikationsudvalgets opfattelse, at det på nuværende tidspunkt ikke er muligt at opstille målbare krav til radiometrisk indhold i ortofoto.

Perspektiver – muligheder for fremtidige forbedringer i farvebehandling

Man kunne forsøgsvis opstille mål for gennemsnitlig reflektans og standardafvigelser indenfor følgende arealtyper: Løvskov, nåleskov, byområder (industriarealer, bykerner, villakvarterer), åbent land, hav, osv. Disse parametre varierer naturligvis over året og man bør derfor også lave en "sæson"-opdeling af de radiometriske værdier/mål, som man ønsker, at ortofotos skal indeholde. Det bliver dog næppe en realistisk fremgangsmåde. I skrivende stund (2011) arbejdes der dog meget med forbedring af de radiometriske metoder for at forbedre udjævningen af farver indenfor mosaikerede ortofoto.

3.4 Højdemodel og billedorientering

Orienterings- og opretningsgrundlag

I produktionen af ortofoto er det nødvendigt at have et orienterings- og opretningsgrundlag, som består af billedorienteringen for hvert enkelt billede og terrænmodellen, hvorfra der kan interpoleres en kote til et vilkårligt punkt.

Nøjagtigheden af billedorienteringen og terrænmodellen er helt afgørende for den resulterende nøjagtighed af ortofotoet. Der skal være harmoni imellem dem for at få det optimale resultat. Billedorienteringen kommer fra en aerotriangulation eller direkte fra et GNSS/IMU system i flyet. Terrænmodellen er normalt etableret ved fotogrammetri eller laserscanning.

Billedorientering

Billedorienteringen beskriver hvert enkelt billedes placering i rummet – eller rettere positionen af billedets projektiionscentre i optageøjeblikket samt hældningen af optagelsesaksen. Billedorienteringen er beskrevet ved 6 orienteringsparametre for hvert enkelt billede, nemlig koordinaterne til billedets projektiionscentre (X , Y og Z) samt dets rotation om koordinatsystemets tre akser (ω , ϕ og κ).

En direkte orientering med brug af GNSS/IMU kan teoretisk holde en nøjagtighed bedre end 5 cm i planet og $0,004^\circ$ på rotationer, hvilket vil resultere i en fejl af en til tre pixels i ortofotoet (afhængig af kameratype). Dette er i mange tilfælde en acceptabel nøjagtighed ved ortofotoproduktion, men der er en risiko for grove fejl på bestemmelsen samt i sig selv, at kontrolmulighederne er begrænsede, og det betyder, at enkelte billedorienteringer kan have en væsentligt dårligere nøjagtighed end forventet. Hvis et ortofoto beregnes alene ud fra den direkte orientering, vil der således kunne forekomme enkeltbilleder, som har fejlbehæftede billedorienteringer og derfor efterfølgende skal repareres for at give et homogent og korrekt ortofoto. Denne slags fejl vil typisk først blive fanget i den sidste del af ortofotoproduktionen med risiko for, at alle tidligere processer skal gentages, og denne risiko står normalt ikke mål med det ekstra arbejde, der er forbundet med at gennemføre en aerotriangulation, hvorfor dette ofte vælges.

Ved en aerotriangulation benyttes billedorienteringerne fra den direkte orientering som orienteringsgrundlag sammen med udvalgte paspunkter på terrænet, der er synlige i billederne. I aerotriangulationen knyttes de enkelte billeder sammen ved overgangspunkter, der findes og måles automatisk ved autokorrelation. Paspunkter måles halvautomatisk og efterfølgende beregnes og udjævnes alle observationer i en samlet udjævning, der bl.a. resulterer i nøjagtige og sikre billedorienteringer med gode valideringsmuligheder, som derfor er optimale til ortofotoproduktion.

Digital højdemodel

En digital højdemodel (DHM) beskriver højden til et vilkårligt punkt i højdemodellens dækningsområde. At højdemodellen er digital betyder, at den er tilgængelig og håndteres på elektronisk form. DHM anvendes som en fællesbetegnelse for to principielt forskellige typer højdemodeller, nemlig digitale overflademodeller og digitale terrænmodeller.

Den digitale overflademodel forkortes til DSM, ud fra den engelske betegnelse Digitale Surface Model. Den er karakteriseret ved at beskrive højden til den synlige overflade, dvs. bl.a. højden på

bygninger og bevoksning. Den digitale terrænmodel forkortes til DTM, og den er karakteriseret ved at beskrive højden til terrænet, rensset for bygninger, bevoksning mv.

Dataindsamling til såvel DTM som DSM til produktion af ortofoto i de gængse målforhold foretages oftest enten ved fotogrammetri (manuel måling eller korrelation) eller flybåren laserscanning. Tendensen indenfor de seneste år har været, at anvendelsen af laserscanning er blevet den foretrukne teknologi til indsamling af terrændata, især når det er større områder, der skal dækkes.

Til mange anvendelser vil det dog ikke være nødvendigt at etablere en DTM eller DSM, da der i Danmark i dag (2011) er to landsdækkende DTM og DSM, der er etableret i 2006-2007 ved flybåren laserscanning. Disse modeller har en maskevidde på ca. 2 m. og normalt en højdenøjagtighed i størrelsesordenen 10-20 cm. Data fra modellerne kan erhverves hos producenterne enten som landsdækkende løsninger eller som udsnit tilpasset et aktuelt projekt.

Ved den mest gængse form for ortofoto benytter man DTM som opretningsgrundlag. Det vil sige, at man ikke opretter objekter, der hæver sig over terrænet som f.eks. bygninger. Det har den konsekvens, at bygninger ligger mere og mere ned, jo længere man kommer væk fra midten af det billede, hvorfra billedelementerne er taget. Ortofoto produceret med DSM som opretningsgrundlag betegnes som True Ortofotos, og der er ingen principielle vanskeligheder i at producere den type ortofotos, men der er en lang række praktiske forhold, der gør, at det er væsentligt mere kompliceret end at producere de gængse ortofoto ud fra en DTM. Dels er det nødvendigt med en meget nøjagtig og detaljeret højdemodel omkring de steder, hvor der er højdespring i terrænet, og dels er det nødvendigt at kombinere billedelementer på en mere differentieret måde end ved almindelige ortofotos for at få billedinformation i hele ortofotoet. Derfor bliver billeder optaget med større længde- og sideoverlap, og i byområder benyttes en 3D bygningsmodel som opretningsgrundlag.

Laserscannet højdemodel

Datagrundlaget i en laserscannet DHM består af en punktsky, der er betegnelsen for samlingen af alle de punkter, der er indsamlet med laserscanneren. Punkttætheden er typisk stor – med op til flere punkter pr. m². Punkternes geografiske fordeling afhænger af laserscannerens konstruktion og det flyvemønster, som er benyttet i scanningen. Afhængigt af det ønskede resultat, kan punktskyen være behandlet på forskellige måder fx. ved en semi automatisk filtrering, der sorterer punkter i forskellige klasser (terrænpunkter, bygninger og øvrige punkter). Desuden kan terrænpunkterne være udtyndet i områder med små højdevariationer for at opnå mindre punktmængder. I mange tilfælde vil den endelige model være et kvadratnet af punkter, som er interpoleret ud fra punktskyen med en maskevidde, der svarer til den gennemsnitlige afstand mellem de oprindelige målte punkter. Afstanden mellem punkterne kan også være større for at reducere datamængden.

En laserscannet terrænmodel vil normalt have en del valide terrænhøjder selv i forholdsvist tætte skovområder, idet en del af laserstrålerne vil trænge igennem bevoksningen og ramme terrænoverfladen. Tætheden af punkterne vil dog være meget varierende.

Den laserscannede model er en automatisk indsamlet model, hvorpå der efterfølgende er udført forskellige halv- og helautomatiske behandlinger, og data har derfor kun i begrænset omfang været genstand for en fortolkning og kvalitetssikring, så modellen kan have ukontrollerede fejl.

Fotogrammetrisk højdemodel

En fotogrammetrisk højdemodel kan enten være etableret ved manuel måling, hvor en stereoope-
rator måler punkter og linjer, eller ved automatisk måling, hvor punkterne måles ved korrelati on
af to eller flere billeder. En DTM, som fremkommer ved brug af de to metoder, er så forskellig,
at det er hensigtsmæssigt at beskrive dem hver for sig.

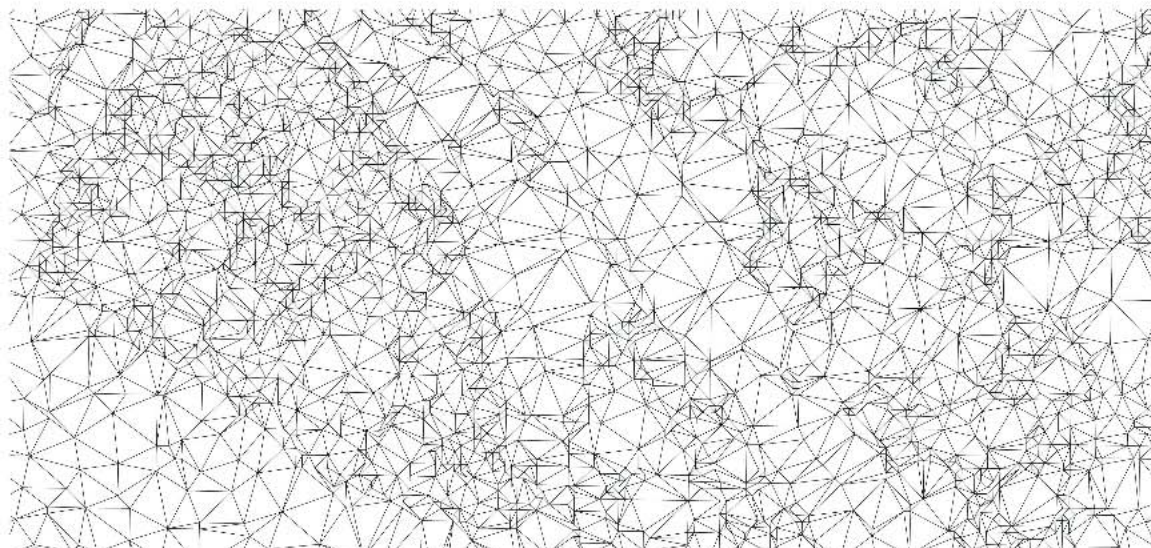
Datagrundlaget i en manuelt fremstillet fotogrammetrisk DHM er normalt kotepunkter, der ligger
i et kvadratnet med en fast maskevidde, evt. suppleret med lokale højde- og dybdepunkter. Ma-
skevidden og målenøjagtigheden på punkterne skal afpasses den ønskede nøjagtighed i den resul-
terende højdemodel. Tætheden vil typisk være 1 punkt pr 50-100 m². Punkterne vil normalt være
suppleret med brudlinjer, hvor der er knæk i overfladen, for at opnå en homogen nøjagtighed,
hvor der er et "uroligt terræn". Eksempler på brudlinjer er top og bund af skråninger og grøfter.
Kriterierne for hvilke brudlinjer, der medtages, er bestemt af ønsket om at opnå ensartet nøjag-
tighed i hele dækningsområdet og en troværdig terrænbeskrivelse omkring knæk i terrænet.
Umålte områder registreres i en terrænmodel de steder, hvor det ikke er muligt at lave en højde-
beskrivelse af terrænet. Typiske eksempler herpå i en DTM er vandhuller og nåleskove.

Datagrundlaget i en automatisk fremstillet fotogrammetrisk DHM er normalt en punktsky, der
har nogenlunde samme karakter som punktskyer fra en laserscannet DHM. Tætheden af højde-
punkterne kan være lige så stor som GSD i de anvendte billeder. Punkternes nøjagtighed kan
være op til 0.01% af flyvehøjden (eksempelvis svarende til 10 cm ved 1000 m flyvehøjde) i åbent
terræn. Grove fejl kan opstå, når billeder mangler tekstur og kontrast. Størstedelen af disse fejl
kan automatisk opdages og elimineres vha. diverse filtre. Andre filtre benyttes til at klassificere
højdepunkter i terræn og ikke-terræn punkter, og man opnår således både en DSM og en DTM.
Manuel redigering vil forbedre højdemodel len yderligere.

Model dannels e

Uanset hvilken metode, der er anvendt til indsamling af terrændata, skal der etableres en sam-
menhæng mellem de målte objekter for at danne en sammenhængende overfladebeskrivelse og
dermed blive i stand til at interpolere en højde til et vilkårligt punkt. I praksis er der to forskellige
metoder til at danne denne overfladebeskrivelse. Der kan enten dannes et TIN (Triangulated Ir-
regular Network - trekantsmodel), hvor der dannes trekanter mellem alle målte punkter, eller et
Grid, hvor udgangspunktet er punkter i et kvadratnet med fast maskevidde. De 2 metoder er vidt
forskellige og har hver deres styrker og svagheder.

Overfladebeskrivelsen i et TIN (Triangulated Irregular Network), der på dansk kan oversættes til
trekantsmetoden, foregår ved, at der genereres trekanter mellem alle målte punkter med den re-
striktion, at alle målte linjer indgår som sider i dannede trekanter. Herefter kan man interpolere
højden til et vilkårligt punkt ved først at bestemme hvilken trekant, punktet ligger i, og dernæst
interpolere højden til punktet i den fundne trekant.



Figur 3.13. TIN: trekanter dannet ud fra målte punkter

TIN-modeller kan benyttes til at danne modeller mellem alle former for højdedata med både homogen og inhomogen datatæthed og datatype (punkter og linjer). Datastrukturen og model-dannelsen er forholdsvis kompleks og derfor kan modellen blive tung at håndtere ved meget store datamængder.

Gridmodeller kan have både laserscanning og fotogrammetri som udgangspunkt for datafangsten. De er meget udbredte i forbindelse med udsnit af de nationalt dækkende laserscannede terrænmodeller. De fleste GIS softwarepakker har moduler til brug ved indlæsning af grid-baserede højdemodeller og derved er formatet blevet meget udbredt. Fordele ved brug af gridmodeller er primært af datalogisk art.

Ved benyttelse af gridmodeller kan data behandles på to forskellige måder under ortorektifikation: På baggrund af højdeværdierne beregnes en TIN-model med knudepunkter i alle celler i modellen, og herfra interpoleres alle "opslag" af højder. Beregninger af trekantmodeller for større områder, hvor griddata betragtes som TIN-modeller er meget beregningstungt, men også meget udbredt. Cellens højde benyttes for alle "opslag", der falder inden for den enkelte celle, hvilket giver en hurtigere beregning af ortofotoet sammenlignet med brug af tætte TIN-baserede modeller. Ved brug af grid-baserede terrænmodeller med grove gridstørrelser og lav nøjagtighed i forhold til sandt terræn vil man teoretisk kunne spore forskydninger i ortofotoet langs med cellekanterne i DTM modellen.

Det er de færreste softwarepakker til ortofotoproduktion, der har mulighed for valg af metode til databehandling. I øvrigt benytter kun få softwarepakker en ren grid-baseret metode til ortofotofremstilling. Så denne metode er mindre udbredt end den metode, hvor en TIN-model genereres på baggrund af griddata.

Terrænmodellens nøjagtighed

Nøjagtigheden af terrænmodellen er ikke en absolut nøjagtighed, men en middelfejl. Man vil normalt kunne forvente, at man til et vilkårligt punkt indenfor terrænmodellens dækningsområde kan interpolere en kote i overensstemmelse med den angivne middelfejl (spredning) for terrænmodellen. Dette er dog ikke gældende for langt de fleste terrænmodeller, som har en uhomogen fejlfordeling, hvor der i nogle områder er en god nøjagtighed, i andre en noget dårlig nøjagtig-

hed, og i nogle områder slet ingen dækning af terrænmodellen. Dette forhold skyldes, at det ikke med forskellige registreringsmetoder er muligt at bestemme koten til terrænet med den ønskede/krævede nøjagtighed i alle delområder af terrænmodellens dækningsområde. Eksempelvis er der typisk en dårligere nøjagtighed i skovområder, hvor det er vanskeligt at måle terrænhøjden, mens det i byområder ofte giver problemer at beskrive terrænet nøjagtigt pga. de mange diskontinuerede forløb.

Ortofotots nøjagtighed

Ortofotots nøjagtighed udtrykkes ved den punktmiddelfejl (punktspredning), man kan opnå, når den plane placering af veldefinerede terrænpunkter måles ved hjælp af ortofotoet. Sagt på en anden måde er nøjagtigheden et udtryk for forskydningen mellem den enkelte pixels position og den sande position af det terrænpunkt, der afbildes i den pågældende pixel. I denne specifikation anvendes begrebet den maksimale punktmiddelfejl, se definitionen i Appendix 1.

Det digitale ortofoto har ligesom det digitale kort ikke et bestemt defineret målforhold. Man kan lave papirkopier i et bestemt målforhold, men disse kopier er afledte produkter. Man skal derfor ikke se nøjagtigheden i sammenhæng med et målforhold. Nøjagtigheden af ortofotoet kan sættes i relation til det mindste billedelement, nemlig pixelstørrelsen. For at et objekt skal kunne genkendes i et digitalt billede, skal det have en udstrækning, der er større end ca. 3 pixel. Manuelle målinger af veldefinerede punkter kan "omvendt" udføres med en middelfejl på 1/3 af pixelstørrelsen, så derfor kunne det teoretisk set give mening at producere ortofoto med denne nøjagtighed, men i praksis er det hverken hensigtsmæssigt eller teknisk muligt. Hovedparten af brugerne har behov for en stor geometrisk opløsning i billedet (lille pixelstørrelse) uden at kræve tilsvarende stor nøjagtighed af stedbestemmelsen. Fejlene fra billedorienteringen og højdemodellen resulterer normalt i en middelfejl på 2-3 pixels.

Nøjagtighed på terræn

Hvis man ser på almindelige ortofotos er nøjagtigheden ved produktionen afhængig af tre forhold:

- a. kvaliteten af det grundlæggende billedmateriale,
- b. orienteringen af billederne, og
- c. nøjagtigheden af højdemodellen.

ad a) Kvaliteten af det grundlæggende billedmateriale.

Billederne skal optages med en kalibreret sensor, så der kan korrigeres for eventuelle billeddeformationer. På dette punkt kan der være store forskelle i de sensorer, der anvendes, men fælles kan det siges, at de storformat-kameraer, der i dag anvendes til ortofotoproduktion i Danmark, alle er egentlige fotogrammetriske kameraer, med hvad der hermed kommer af krav til byggekvalitet, nøjagtigheder samt kalibrering. For disse kameraer vil der altid findes en kalibreringsrapport.

ad b) Orienteringen af billederne.

Nøjagtigheden af orienteringen kan reelt angives på to forskellige måder alt efter hvilken type orientering, der er anvendt. Ved direkte orientering, altså en orientering, hvor alene GPS og IMU er anvendt, beskrives nøjagtighederne på position og drejninger. Ved orientering beregnet ved hjælp af AT angives nøjagtigheden som punktmiddelfejlen i billederne.

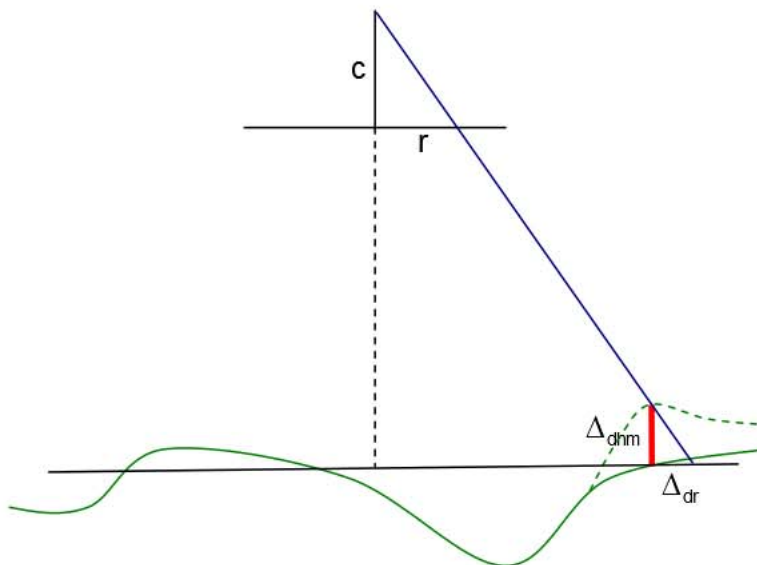
For at kende det egentlige fejlbidrag til ortofotoet er det nødvendigt at omregne billedernes nøjagtighed til en nøjagtighed på jorden.

Ved AT er dette ikke så svært, da der under AT-beregningen fremkommer en nøjagtighedsbeskrivelse i form af en middelfejl på paspunkterne og kontrolpunkterne. Denne middelfejl beskriver direkte hvilken nøjagtighed, man kan forvente på jorden. Af og til ses nøjagtigheden oplyst i pixel. Ønskes fejlen i meter på jorden, er det således blot at gange punktmiddelfejlen i pixels med GSD'en.

Ved direkte orientering er der lidt mere beregning for at få den resulterende nøjagtighed. Positionen er allerede oplyst i verdenskoordinater, så det går let, men rotationerne er i grader eller radian, hvilket nødvendiggør en omregning. Et andet problem er, at fejlen på rotationerne ikke er uniform i hele billedet. Fejlen fra rotationerne vil altid være størst i den yderste del af billedet og blive mindre, jo tættere man kommer til midten. En enkel måde at anskue problemet på er at kigge på en "værste fald"-beregning, hvor man beregner fejlbidraget i billedkanten, hvor fejlen er størst. Vinklen fra billedcentret til den yderste del af billedet varierer fra kamera til kamera, men overstiger typisk ikke ca. 30° . Dette betyder, at en typisk fejl fra en GPS/IMU-orientering på $0,004^\circ$ (4 milligrader) vil svare til en planfejl på jorden på under 10 cm fra en flyvehøjde på 1000 m. Dette vil som sagt variere lidt fra kamera til kamera og fra IMU til IMU, men bør ligge i dette område.

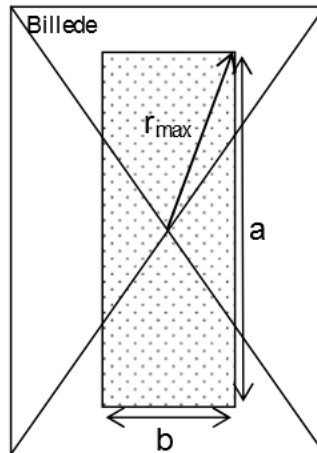
ad c) Nøjagtigheden af højdemodellen.

Højdemodellens bidrag til fejl i ortofotoet er som orienteringen fra GPS/IMU afhængig af afbildningsvinklen. I nadirpunktet, altså det punkt, der befinder sig på jorden direkte under kameraet, er bidraget nul. Bidraget stiger lineært med afstanden fra nadirpunktet, se figur 3.14.



Figur 3.14. Højdemodellens bidrag til fejl i ortofotoet. Den stiplede grønne linje angiver den fejlagtige højdemodel. (c: Kamerakonstant, r: billedradius)

Fejl i højdemodellen påvirker nøjagtigheden af ortofotoet forskelligt afhængigt af hvor i flybilledet, den aktuelle pixel er interpoleret. Fejlen stiger proportionalt med afstanden til nadirpunktet.



Figur 3.15. Det effektive billedareal med sidelængderne a og b og den maksimale afstand fra nadirpunktet, r_{\max}

Ved en typisk ortofotoproduktion anvendes rå billeder, der overlapper hinanden med 60 % i flyveretningen og 20 % imellem flyvelinjerne jævnfør almindelig fotogrammetrisk praksis. Dette betyder, at man under ortofotoproduktionen kan nøjes med kun at anvende de mest centrale dele af billederne, hvorved fejlbi draget fra terrænmodellen reduceres. Det område, der bruges, kaldes det effektive billedareal.

Bygninger:

Som tidligere nævnt bliver bygninger ikke oprettet, når opretningsgrundlaget er en terrænmodel (DTM). Der vil således forekomme forskydninger af bygninger afhængig af afstanden til nadirpunktet i billedet samt højden af bygningerne. Populært sagt ser det ud som om bygningerne ligger ned.

Planlægning

Under planlægningen af en ortofotoproduktion fastlægges rekvirenten den ønskede pixelstørrelse og den ønskede nøjagtighed. Som tommelfingerregel siges det, at for at et objekt skal kunne genkendes i et digitalt billede, skal det have en udstrækning, der er større end ca. 3 pixel. Skal f.eks. et kloakdæksel på 60 cm kunne genkendes, må pixelstørrelsen i ortofotoet således ikke overstige 20 cm.

Ud fra den ønskede pixelstørrelse fastlægges flyvehøjden, så der opnås en GSD, der svarer til, eller er bedre end, pixelstørrelsen. En GSD, der er dårligere end pixelstørrelsen, er uønskelig, da det giver "up-sampling", hvilket populært svarer til digital zoom. Ortofotoet tilføres ved up-sampling ikke mere information, men datastørrelsen stiger markant. En svag up-sampling ses dog af og til i ortofotoprodukterne for at give overzoomning et pænere og mere roligt udtryk - en ting, som mange nyere programmer dog kan gøre under visningen uden forudgående up-sampling.

Som følge heraf er det meget vigtigt at kende de grundlæggende fotografiers GSD og mindre vigtigt at kende ortofotoets pixelstørrelse, da det er GSD'en, der siger noget om dataindholdet i ortofotoet, og altså ikke ortofotoets pixelstørrelse. Det er således reelt også GSD'en, der skal være en tredjedel af mindste genkendelige objekt og ikke ortofotoets pixelstørrelse.

Brug af laser-scannede digitale terrænmodeller ved produktion af ortofoto

De senere år er der i Danmark fremkommet flere landsdækkende laser-scannede digitale terrænmodeller med ca. 1 punkt pr. 2 m². Der findes udover nationalt dækkende laser-scannede digitale terrænmodeller også regionalt dækkende modeller (f.eks. et enkelt byområde eller en enkelt kommune). Desuden er en lang række byer dækket af laser-scannede terrænmodeller med ca. 1 punkt pr m².

Det vil ofte være fordelagtigt at benytte disse laser-scannede terrænmodeller til produktion af ortofoto, da dette kan reducere både omkostningerne og produktionstiden, idet de både er relativt nøjagtige og har en stor punkttæthed. Der er dog både fordele og udfordringer, når man benytter laser-scannede terrænmodeller til ortofotoproduktion. De mest betydningsfulde præsenteres i det følgende:

Fordele

De umiddelbare fordele ved at benytte sig af en i forvejen laser-scannet terrænmodel ved ortofotoproduktion er:

-  tidsbesparelse, da man ikke skal generere en ny fotogrammetrisk udtegnede model på baggrund af de optagne billeder, hvilket oftest er en meget tidskrævende proces,
-  at detaljeringsgraden og nøjagtigheden på terræn er høj,
-  at nøjagtigheden på terræn i åbent land er væsentligt højere end det nødvendige for ortofotoproduktion, når DTM-grundlaget benyttes i sin fulde opløsning, og
-  at det kan være økonomisk fordelagtigt.



Hvis vi ser på den første af de nævnte 3 fordele, er det åbenlyst, at det i et produktionsflow, hvor man kan introducere en allerede færdig terrænmodel, vil være gavnligt at spare noget tid i forhold til, hvis man skal oparbejde et DTM-grundlag efter, at billedorienteringen er foretaget.

Ved brug af en korrekt redigeret laser-scannet terrænmodel vil der fremkomme et mere varieret terræn med højere grad af detaljering, end der normalt benyttes. Derved vil den differentielle billedopretning, som finder sted ved ortofotoproduktion, også blive mere nøjagtig, og de fleste mindre høje og lavninger vil blive oprettet mere korrekt end ved brug af grovere autokorrelerede og fotogrammetrisk registrerede terrænmodeller, omend det kan være svært at erkende.

Terrænmodellens overordnede nøjagtighed er som oftest så god, at der opstår færre problemer med ortofotoets geometriske nøjagtighed langs med sømlinjerne (seamlines). Det vil for "kenderne" være tydeligt, at billedsammensætningerne ved eksempelvis vejmarkeringer (vejmidtestriber, fodgængerfelter, mm.) kommer til at fremstå med meget færre fejl, end hvis man sammenligner med samme billedmateriale, oprettet over en grovere fotogrammetrisk udtegnede eller autokorrelerede terrænmodel.

Udfordringer

De udfordringer man kan møde og skal overvinde, ved brug af en eksisterende laser-scannet terrænmodel som opretningsgrundlag, er blandt andet:

-  store datamængder / lang processeringstid,
-  manglende brudlinjer,

- ☐ detaljeringsgraden og nøjagtigheden på terræn er høj omkring bygninger, broer, mm., hvilket kan give utilsigtede effekter, og
- ☐ terrændefinitionen i eksisterende terrænmodeller er sjældent optimal til ortofotoproduktion.

Blandt udfordringerne tæller de større datamængder, der benyttes ved brug af terrænmodellerne i deres fulde opløsning. De fleste ortofotoberegningsprogrammer er begrænset af deres evne til at læse data ind i hukommelsen på computerne. Mange softwarepakker er tilmed ikke i stand til at indlæse større filer, end der kan være i computerens hukommelse. Derved bliver præprocesseringen af DTM-grundlaget et arbejde, der kræver meget diskplads samt en del arbejde.

Laserscannede terrænmodeller er baserede på irregulært indsamlede data (tilfældige målinger) uden brud- og strukturlinjer. Resultatet heraf kan især ses ved diskontinueret terræn, hvor terræn-data uden brudlinjer ikke kan beskrive lodrette eller næsten lodrette spring i en grad, så det differentielt oprettede ortofoto fremkommer uden undulationer og "fejl". Problemerne ses oftest i forbindelse med kaj- og molekanter, omkring bygninger, og langs med jordvolde samt vej- og banedæmninger. Især omkring bygninger ses problemer, da store lokale højdeforskelle omkring bygninger (f.eks. kælderhalse) kan medføre store lokale spring i højdemodellen. Bygningerne kommer derved ved til at fremstå forvredne med bølgende tagrygge og tagkanter. Oftest vil forvredne bygninger ikke blive betragtet som fejl i ortofotoopretningen, da kvaliteten af ortofotoopretningen kun bør vurderes på de elementer, som indgår i den benyttede terrænmodel!

Ved brug af de laserscannede terrænmodeller er der i forhold til tidligere sket et skift i placeringen af fejl og forskydninger i ortofoto, så man nu ikke længere primært finder fejl og forskydninger langs sømlinjer, men hyppigere i forbindelse med diskontinuerede terrænforløb.

De landsdækkende laserscannede terrænmodeller er scannet i årene 2005-2007. Der vil efterhånden, som modellerne bliver ældre, være behov for at vurdere ajourføringsbehovet i områder, hvor der har været stor jordflytningsaktivitet (ved grusgrave, ved nye boligområder, ved nye større anlægsprojekter såsom veje jernbaner, mm.). Der bør foretages en diskussion med producenterne af ortofoto om, hvordan data ajourføres i de ændrede områder, hvis de er af stor betydning for brugen af det færdige ortofoto.

Det skal bemærkes, at autokorrelerede terrænmodeller i dag kan fremstilles med stor tæthed (for eksempel 0,2 m grid fra billeder med GSD = 8 cm) og nøjagtighed, som svarer til nøjagtigheden af laser scanning (Haala et al. 2010). Ortofotoudvalget har på nuværende tidspunkt ikke erfaringer med anvendelse af sådanne meget tætte korrelerede terrænmodeller.

3.5 Generering af digitale ortofoto.

Generelt

Fremstilling af digitale ortofotos er en transformation af et indgangsbillede til et udgangsbillede. Denne proces kan formuleres som:

$$g'(x',y')=T\{g(x,y)\}$$

hvor g' er gråtonefunktion af udgangsbillede (ortofoto)
og g er gråtonefunktion af indgangsbillede

Transformationen T rummer en geometrisk transformation og en radiometrisk transformation. Den geometriske transformation ændrer formen på billedet, mens gråtonerne forbliver de samme:

$$\begin{aligned}x' &= f_x(x, y) \\ y' &= f_y(x, y) \\ g' &= g\end{aligned}$$

Billedelementer (pixler) i billedmatricen af udgangsbilledet bliver ordnet på en anden måde. Processen kaldes 'resampling'. Ortofotofremstilling er en 'resampling' af indgangsbilledet. I den fotogrammetriske terminologi betegnes den geometriske transformation som opretning.

I den radiometriske transformation ændres gråtonerne (eller farveværdierne), mens de geometriske egenskaber forbliver de samme:

$$\begin{aligned}x' &= x \\ y' &= y \\ g' &= f(g)\end{aligned}$$

Den radiometriske transformation rummer alle billedforbedringer (se afsnit 3.4).

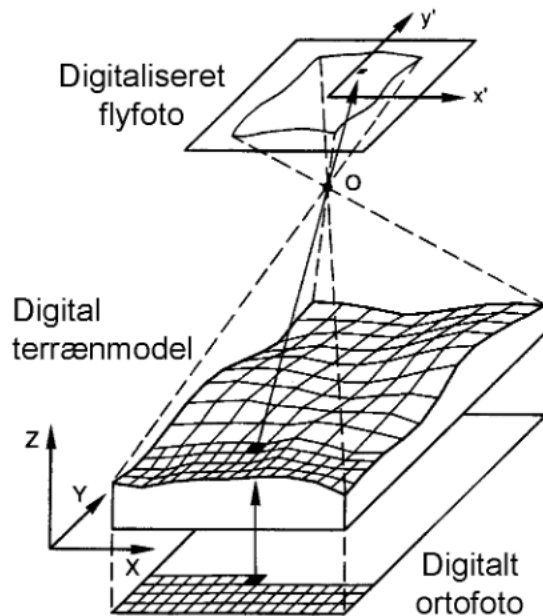
Den geometriske transformation

Den geometriske transformation skal eliminere alle forvanskninger pga. optagesystemet (kameraet) og pga. forskellige højder i terrænet. Den anvendte transformationsfunktion er en vigtig parameter i fremstillingen af digitale ortofotos. Principielt løses det vha. to forskellige metoder:

Parametermetoden

Den indre og ydre orientering af et optagesystem er kendt, og terrænet er modelleret og står til rådighed som raster af koter. Den indre orientering indeholder kalibreringsdata af kamera (kamerakonstant, position af hovedpunkt, fortegning) og parameter af en affin transformation, som overfører pixelkoordinater til billedkoordinater. Den ydre orientering rummer den rumlige position af kameraets projektionscenter og hældningerne af optageaksen. Transformationsligninger er de såkaldte stråleligninger. For hver pixel i ortofotoet skal positionen i et geodætisk referencesystem bestemmes. Parametre i denne plane transformation er XY -koordinater til origo og pixelstørrelse. Origo-definitionen er ofte midten af den første pixel, men også andre definitioner anvendes (halv pixel uden for billedmatricen, øverste venstre hjørne af den første pixel, eller nederste højre hjørne af den første pixel). Origo-definitionen skal være den samme i scanning, beregning og den videre behandling af ortofotoet og er en hyppig årsag til fejl.

Ved hjælp af de beregnede plane landskoordinater skal en kote først interpoleres vha. højder i den DTM, som er til rådighed. Interpolationsmetoderne kan være forskellige. De afhænger af, i hvilken form DTM foreligger (trekant eller grid). Den bi-lineære interpolation er mest anvendt. Pixelens centrumkoordinater har nu XYZ -koordinater i det valgte referencesystem, og vha. stråleligningerne findes positionen i billedet, se figur 3.16. Denne fremgangsmåde, pixel for pixel, og anvendelsen af stråleligningerne er meget beregningstung. Flere programmer muliggør anvendelsen af "anchor points" (støttepunkter) samt anvendelsen af en affin transformation mellem ortofoto og luftfoto. Afstanden mellem støttepunkterne angives som parameter i programmerne. Beregningstiden forkortes, men nøjagtigheden i ortofotoet forringes derved.



Figur 3.16. Fremstilling af ortofoto.

Til hver pixel i ortofotoet findes først højden i den digitale terrænmodel og vha. stråleligningerne findes positionen i billedet. Vha. interpolation mellem nabopixler findes gråtonen (eller intensiteten i de tre grundfarver) til denne position og dermed også til pixelen i ortofotoet.

O ... projektionscenter,
 x', y' ... billedkoordinater
 XYZ ... referencekoordinater
 [efter Albertz]¹

Interpolationsmetoden

Metoden modellerer ikke optagegeometrien og anvender ingen DTM med regelmæssigt fordelte koter. Ved hjælp af paspunkter bestemmes koefficienter i et polynomium, f.eks. 12 koefficienter i et andengrads-polynomium:

$$\begin{aligned}x' &= a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4y^2 + a_5xy \\y' &= b_0 + b_1x + b_2y + b_3x^2 + b_4y^2 + b_5xy\end{aligned}$$

Metoden anvendes ved opretning af satellitbilleder, hvor optaveinklen er lille, og hvor terrænet er relativt fladt. Til luftfotos skal metoden ikke anvendes.

Når transformationsligninger er kendte, udføres opretningen. Man anvender mest den inverse transformation og beregner gråtoneværdierne (intensiteter) for alle pixeler i ortofotoet vha. interpolation mellem nabopixeler i indgangsbilledet. Gråtoneværdierne findes vha. forskellige interpolationsmetoder:

1. den nærmeste pixel (nearest neighbour),
2. interpolation vha. 4 nabopixeler vha. lineær interpolation,
3. interpolation vha. 16 nabopixeler vha. bi-kubisk interpolation, eller
4. Lagrange interpolation.
















Den anvendte interpolationsmetode bestemmer billedkvaliteten og beregningstiden. Metode 'c' og 'd' producerer den bedste billedkvalitet, men kræver længere beregningstider.

¹ Albertz, J., Einführung in die Fernerkundung - Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern, 2. udgave, s. 158

Beregningsprogrammer

Til generering af digitale ortofotos fra luftfotos eksisterer forskellige professionelle beregningsprogrammer, som kræver inputdata (digitalt billede, orienteringsdata, DTM) og indtastning af forskellige parametre til beregning.

Parametrene i et beregningsprogram er som oftest:

-  indre orienteringsparametre af optagesystem (kamerakonstant, position af hovedpunkt, fortegningsværdier),
-  parametre af transformation fra scanningsystem til billedsystem,
-  affine transformationsparametre,
-  pixelstørrelse af inputbillede,
-  ydre orienteringsparametre (koordinater af projektionscentre, hældninger af optageaksen),
-  geodætisk referencesystem,
-  korrektion af jordkrumning og refraktion,
-  interpolationsmetode til bestemmelse af koter,
-  afstand mellem anchor points (støttepunkter),
-  transformationsfunktion (stråleligning, polynomium, etc.),
-  størrelse af ortofotoet,
-  pixelstørrelse i ortofotoet,
-  tile size (billedfeltstørrelse),
-  radiometrisk opløsning i ortofotoet, samt
-  interpolationsmetode i resampling.

De nævnte parametre anvendes til fremstilling af ortofotos fra fotogrammetriske flybilleder. Specielle produkter er sande ('true') ortofotos, infrarøde ortofotos, historiske ortofotos og ortofotos fra satellitbilleder. Der opstår ved disse nogle nye parametre i fremstillingsprocessen.

Ortofotoprodukter

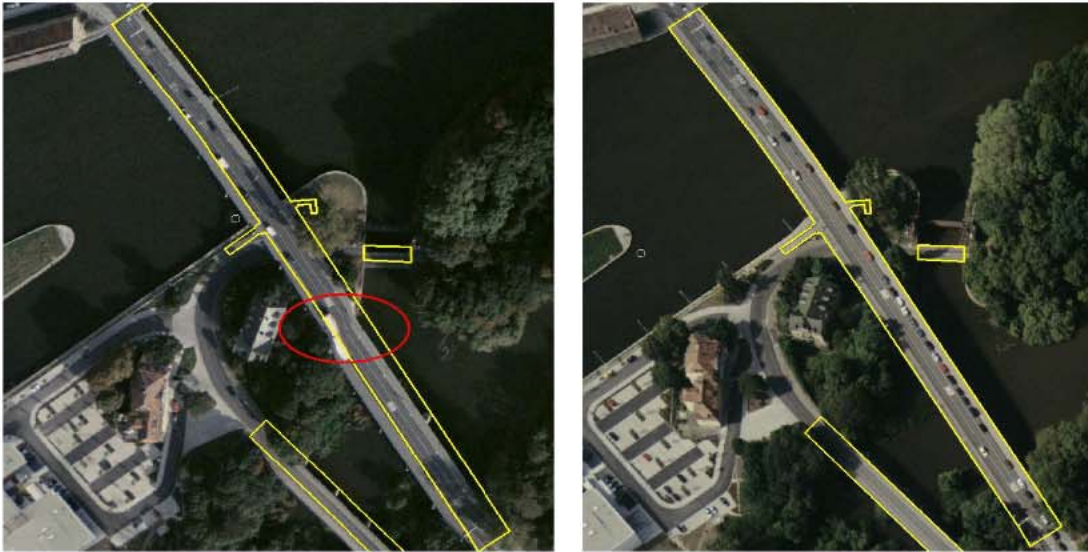
Hovedparten af denne specifikation omhandler almindelige ortofotos. Der produceres dog også true ortofotos, som får en stadig større udbredelse. I virkeligheden er der blot tale om en speciel type af almindelige ortofotos, men da de kan fremstilles i mange forskellige kvaliteter, så er der nedenfor angivet en liste af ortofoto-typer, type-1 til type-4, hvor type-1 er den, vi i almindelig tale kalder ortofotos, mens type-2 til type-4 er forskellige typer true ortofotos. Til sidst nævnes en række andre specielle produkter.

'True' ortofoto

Ortofotoet har mange anvendelser, der strækker sig fra baggrundskort til illustration til registreringsopgaver med stor præcision. De forskellige anvendelser stiller forskellige krav til ortofotoets visuelle fremtræden og nøjagtighed både generelt og omkring objekter, der ikke ligger på terræn. Man sonderer imellem ortofoto og true ortofoto, hvor 'true' ortofotos defineres som ortofotos, som passer nøjagtigt sammen med vektorkort. Det betyder, at disse ortofotos ingen forskydninger har ved bygninger og andre objekter over terræn. Figur 3.17 viser et eksempel på et almindeligt og et true ortofoto. Navnet 'true' ortofotos anvendes i det internationale fagsprog.

Graden af den geometriske nøjagtighed og billedkvaliteten kan være forskellige. Man kan eventuelt nøjes med kun at korrigere vigtige objekter som broer og store bygninger. Når alle objekter skal være i den korrekte position og uden billeddefekter ('artifacts'), så bliver omkostningerne

større. Bygningens facade skal ikke være synlig, og områder omkring bygningen skal have billedinformation. Billedinformation for 'true' ortofotos må findes i flere billeder, og derfor bør der flyves med større sideoverlap end ved almindelig flyvefotografering – typisk 60 %.



Figur 3.17. Broen i det almindelige ortofoto (venstre billede) er forskudt og vejstriberne er ikke retlinjede (se ellipse). Vektordata og true ortofoto ligger over hinanden (højre billede). Kilde: Braun, 2003.

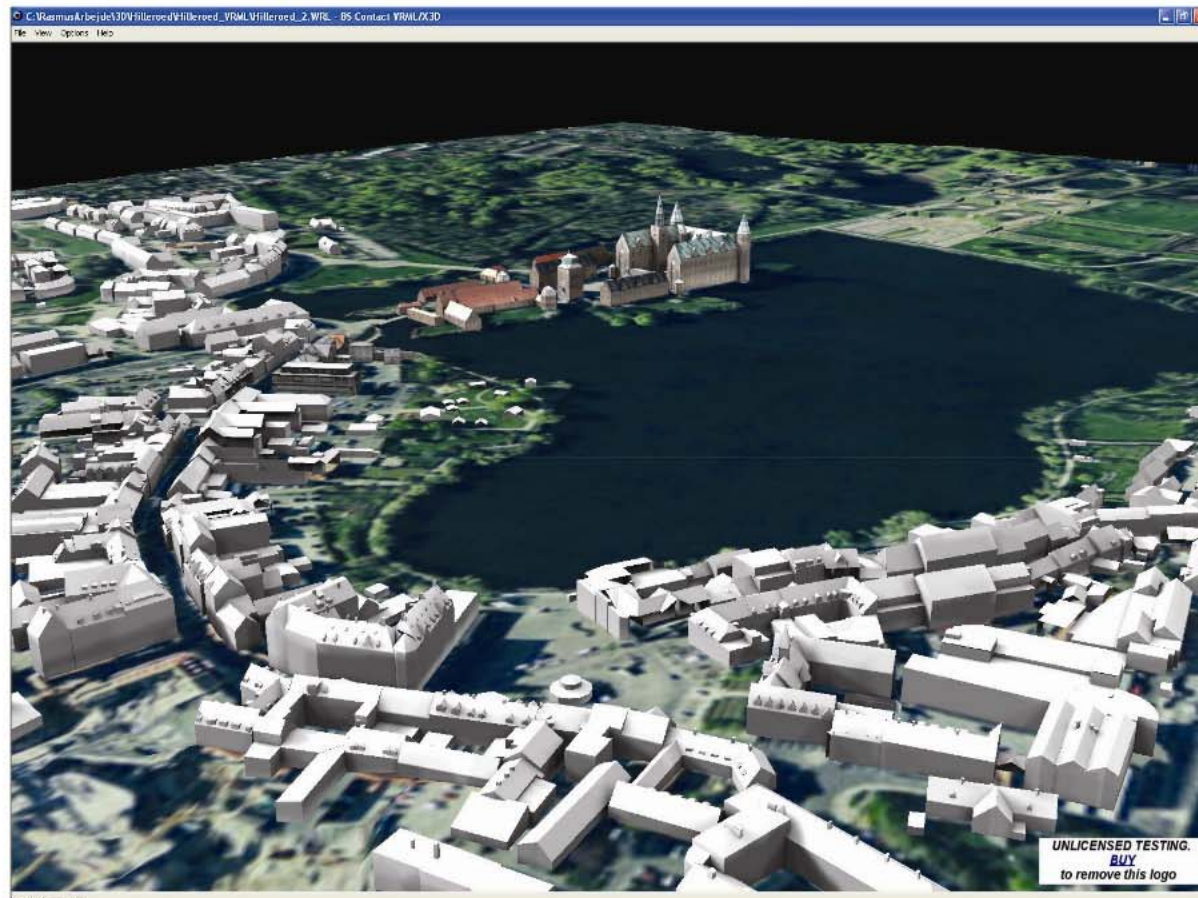
Opretningsgrundlaget til 'true' ortofoto er en DSM og i byområder er 3D-bymodeller nødvendige. Kravene til DSM'en/3D-bymodellen er store, når der skal fremstilles 'true' ortofotos af høj kvalitet. Især er det vigtigt, at bygningers tage modelleres detaljeret. Hvis der f.eks. alene anvendes punktskyer med lav punkttæthed, vil der i ortofotoet opstå bølgeformede linjer i taget.

Detaljeringsgraden i en 3D-bymodel karakteriseres ved 'Level of detail' (LOD), og den kan variere fra at være meget enkel til meget detaljeret. De mest enkle bygningsmodeller er "klodsmodeller", som baserer sig på bygningspolygoner fra tekniske kort inklusive højder, se figur 3.18.



Figur 3.18 "Klodsmodel". Type-1 ortofoto: Kilde: Geoforum 2009

De mest detaljerede bygningsmodeller er detaljerede registreringer af samtlige bygningers tagkonstruktioner, se figur 3.19.




Figur 3.19: Detaljeret 3D-bygningmodel af Hillerød. Kilde: Geoforum 2009

Geoforums 'Vejledning i etablering af 3D-bymodeller' anbefaler, at 'true ortofotos' fremstilles vha. 3D-bymodeller, som skal indeholde detaljer i tagene (Geoforum 2009). Afledning af 'true' ortofotos fra forskellige typer 3D-bymodeller fører også til forskellige typer 'true' ortofotos, der som nævnt kan inddrages i 4 typer:

- EO 21 Type-1 Ortofoto (almindelig ortofoto) baseret på DTM, suppleret med:
 - geometrisk korrektion ved broer vha. registrerede brokanter inklusive højder således, at broerne ligger korrekt og fremtræder retlinede i ortofotoet.
- EO 21 Type-2: Semitrue ortofoto, som Type-1 suppleret med:
 - oprettede bygninger baseret på bygningsomrids med højder – svarende til en "klodsmodel", og
 - ingen udfyldning af områder, der har været skjult af bygninger i det originale foto.
- EO 21 Type-3: True ortofoto, som Type-1 suppleret med:
 - oprettede 3D-bygninger, der som minimum indeholder den overordnede tagkonstruktion,

- udfyldning fra nabofoto af områder, der har været skjult af bygninger i det uoprettede foto, og
- flyfotografering med 60 % længdeoverlap og 20 % sideoverlap.

 Type-4: True ortofoto, som Type-3 suppleret med:

- oprettede bygværk og vindmøller,
- udfyldning fra nabofoto af områder, der har været skjult af bygværk og vindmølle i det uoprettede foto, samt
- flyfotografering med normalvinkel-kamera og 60 % længde- og sideoverlap eller som alternativ vidvinkel-kamera, hvor der flyves 80 % længdeoverlap og 60 % sideoverlap.

Som hovedregel vil der ikke være nogen direkte sammenhæng mellem pixelstørrelse og nøjagtighed i et ortofoto. Skal man måle i ortofotoet, må man sørge for at få oplyst med hvilken nøjagtighed, det er produceret. Hvis man skal måle omkring objekter, der ikke er i terræn, skal man have oplyst hvilken type ortofoto, der er tale om.

Kvaliteten er højst i type-4, men automatiseringsgraden er mindre end i de andre typer. Der er en tendens til, at automatiseringsgraden prioriteres højere end kvaliteten pga. prisen. 'True' ortofotos, type-3 og type-4, baserer sig på 3D bymodeller, som er produkter i sig selv og fremstilles med forskellig detaljeringsgrader (typer). Typer af 'true' ortofotos kan også tolkes som tilvalg til det almindelige ortofoto. En detaljeret beskrivelse af metodikken ved fremstilling af 'true' ortofotos kan findes i litteraturen, for eksempel i Braun 2003 eller Habib et al. 2007.

Infrarøde ortofotos

Infrarøde optagelser er velegnet til vegetationsanalyser og kan indgå i fremstilling af ortofotos i stedet for almindelige farveortofotos. Som beskrevet i afsnit 3.2 om storformat digitale kameraer, er nærinfrarød information nu en del af det optagne spektrum og kan indgå direkte i ortofotoberegningen, hvis det ønskes.

Historiske ortofotos

Ortofotos baseret på gamle billedsamlinger giver en stor viden om et områdes anvendelse på et bestemt tidspunkt. Visse af disse "ortofotos" er dog kun enkle billedmosaikker uden en nøjagtig opretning og korrektion for terrænforskydninger.

Ortofotos fra satellitbilleder og linjescannere

Ortofotos fra satellitbilleder resamples vha. parametre af polynomier (se afsnittet "Interpolationsmetoden" i dette kapitel). Dette er en tilnærmelse. Graden af polynomiet er en parameter i programmet. Den anvendes især ved multispektrale scannere. Vha. en infrarød, rød og grøn kanal kan også false colour (falsk-farve) ortofotos fremstilles. Ligesom ved farvebilleder resamples hver billedmatrice med de samme transformationsparametre.

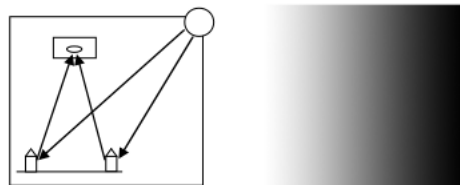
3.6 Mosaik og farvejustering

Kontrast tilpasning af enkeltbilleder

Ved optagelse af luftfoto forekommer der optiske fænomener, som vanskeliggør generering af flotte og homogene ortofotos. Heraf er der to, som har væsentlig indflydelse, og som kræver ak-

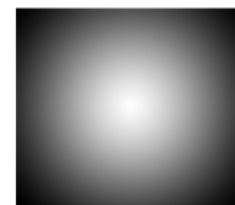
tiv tilpasning. De to fænomener er begge resultat af solens altitude, altså hvor højt solen står på himlen, og hvordan solen herfra belyser jorden.

Lave solvinkel: Det, at solen altid belyser jorden fra én side, betyder, at genstande på jorden vil se forskellige ud alt efter, om man ser objektet fra den belyste side eller fra den ikke-belyste side. Dette fænomen bliver tydeligere, des lavere solen står på himlen, se figur 3.20. Faktorer, der kan ændre virkningen af solens vinkel, er partikler i luften, dis, eller et højt og meget tyndt skydække. Disse faktorer vil give mere ambient lys og vil mindske effekten af den lave solvinkel, men også give et mindre kontrastfyldt billede. For at mindske effekten fra den lave solvinkel, bør solvinklen indgå som parameter i fotoplanlægningen.



Figur 3.20. Her ses, hvordan et foto i princippet vil blive påvirket af en lavstående sol.

Høj solvinkel: Som modsætning til ovenstående problem kan der ved en meget høj solvinkel opstå et "hotspot" i luftfotoene. Hotspots kendetegnes ved, at midten af billederne bliver meget lys og kanten mørk, se figur 3.21. Dette fænomen forekommer pga. Danmarks breddegrad ikke så hyppigt.



Figur 3.21. Her ses, hvordan et foto i princippet vil blive påvirket af en sol nær nadir.

Solvinklens negative indvirkning på ortofotoene kan minimeres med god fotoplanlægning, men aldrig helt undgås. Efterprocessering i form af kontrasttilpasning af billederne vil derfor som oftest være nødvendig.

Kontrasttilpasning (Image dodging og Hotspot removal) foretages på de enkelte luftfotos før fotomosaikdannelsen og ofte før ortofotodannelsen. Image dodging og Hotspot Removal er således tilpasninger på enkeltbilledniveau og er derfor uafhængige af nabobilleder.

Ofte vil kontrasttilpasningen foretages af processeringssoftwaren under post-processering af billederne (digital fremkaldelse).

Mosaik

Et enkelt ortofoto dannes typisk af et enkelt luftfoto (dog ikke tilfældet ved True Ortofoto). For at danne et samlet ortofoto af et større område er det nødvendigt at sammensætte de enkelte ortofoto. Denne sammensætning af de enkelte ortofoto kaldes en mosaik.

Farve og kontrast tilpasning af mosaik

Under optagelserne til et ortofoto vil fotoforholdene ændres i takt med, at solvinkel og atmosfæriske forhold ændres. Fra optagelse til optagelse vil denne effekt som regel ikke volde problemer, men imellem flyvelinjer og især imellem lange flyvelinjer kan der opstå endog store forskelle i lys, kontrast og farve på optagelserne. For at fjerne dette justeres alle billederne i fotomosaiikken i forhold til hinanden, se figur 3.22 og 3.23. Fordelen ved dette er, at der opnås en homogenitet i det færdige ortofoto. En ulempe kan være, at flotte lokalområder "trækkes ned" på et fælles og mindre pænt niveau. Da denne proces arbejder på samlinger af ortofoto, vil denne tilpasning give større og større arbejdstid og problemer i takt med, at størrelsen af fotomosaiikken vokser.



Figur 3.22. Ortofotomosaik før kontrast og farvetilpasning.



Figur 3.23. Ortofotomosaik efter kontrast og farvetilpasning.

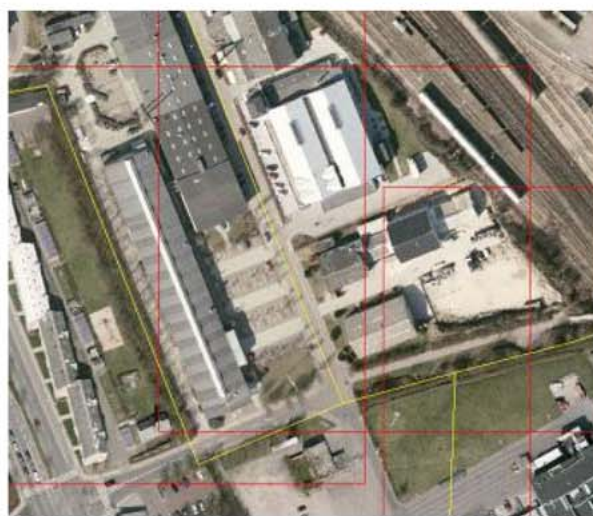
Sømlinjer (Seamlines)

For at sikre en sømløs overgang mellem to eller flere ortofoto skal en grænse fastlægges. Denne grænse lægges, hvor der er mindst forskel mellem nabobilleder. Denne grænse kaldes en sømlinje (seamline). Fastlæggelsen af sømlinjer kan foretages automatisk, manuelt eller semi automatisk. Ved den automatiske løsning beregnes sømlinjer matematisk ud fra, hvor der er mindst forskel i overlappet mellem nabobillederne. Et problem ved den automatiske løsning er, at objekter som huse kan blive "klippet" over. Ved den manuelle løsning vil en operatør ud fra topografi eller ortofotoene selv fastlægge sømlinjernes placering. Typisk vil sømlinjer her lægges i vejmidter, åer eller lignende objekter. Ved den semiautomatiske løsning vil en computer først beregne den bedste matematiske placering, hvorefter en operatør kontrollerer og justerer denne for at undgå uheldige klipninger. Fastlæggelse af sømlinjer ses i figur 3.24 og 3.25.

Nøjagtigheden i de 2 ortofotos, der sættes sammen, har også indflydelse på synligheden i overgangen. Således vil linjer på tværs af grænsen få en forskydning, der kan blive meget synlig.



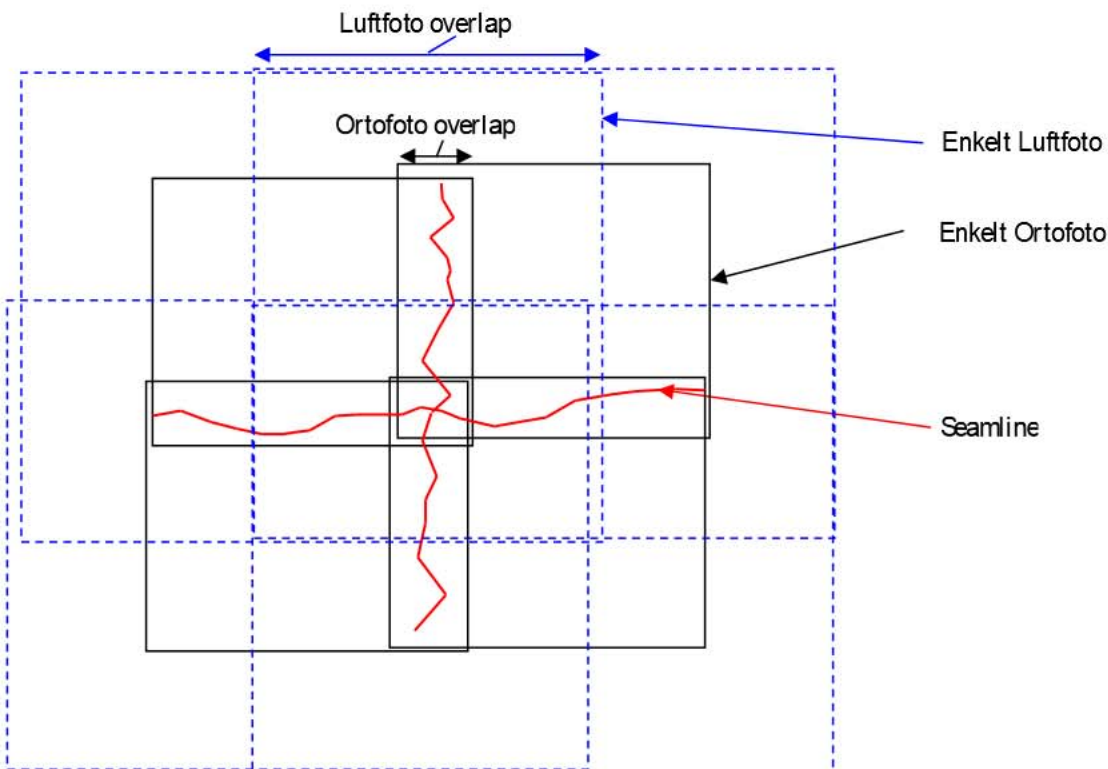
Figur 3.24. Nærbillede af overlaps-område af fire ortofotos uden fastlagte sømlinjer. De røde linjer viser afgrænsningen af de enkelte ortofotos.



Figur 3.25. Som figur 3.24, men med sømlinjer fastlagte (gule linjer).

Feathering (Overgangsudjævning)

Ved sammenklipning af de enkelte ortofoto vil der, hvis der ikke foretages justeringer, dannes en skarp kant, som kan være forstyrrende for helhedsindtrykket. For at undgå denne kant vil der oftest foretages en "feathering", altså en overgangsudjævning. Ved feathering foretages der ved overgangen mellem billeder en sammensmeltning/overgangstoning, som udjævner overgangen. Blødheden af denne overgang afhænger af hvor stor en afstand, der skal tones over. Denne parameter hænger nøje sammen med terræntypen. Hvis der er tale om bymidter, vil der kræves en meget lille afstand, mens der ved marker, skove og lignende kræves større afstande.



3.7 Distribution af ortofotos

Formater

Digitale ortofotos anvendes af forskellige brugere i forskellige brancher til mange forskellige formål. Hver branche har sin forkærlighed for bestemte typer af komprimering og filformater. Der findes pt. ikke et standard-filformat, der opfylder alle krav, da nogle brugere er tilfredse med hårdt komprimerede data, mens andre brugere kræver ukomprimerede data. Det er derfor en bred palet af filformater og komprimeringstyper, der efterspørges.

Farvedybde

Billeder kan på de fleste storformat-kameraer optages med op til 12 bit/kanal farvedybde, men de gængse billedformater, der benyttes i produktion og leverance, er oftest 8 bit/kanal, som eksempelvis i JPEG filformatet.

Dataformater

Dataformater til distribution af digitale ortofotos kan groft inddeles i tre kategorier:

1. ukomprimerede data i 24 bit RGB farver eller 8 bit indekseret RGB (eksempelvis 256 farvers TIFF eller BMP) eller gråtonebilleder,
2. data komprimeret med tabsfri kompression, og
3. data komprimeret med tabsgivende kompression.

Der er fordele og ulemper ved alle tre hovedgrupper af dataformater alt afhængig af slutbrugers behov.

Datastruktur

Data kan i de nævnte tre kategorier være struktureret på forskellige måder. Der kan endvidere opstilles groft inddelte undergrupper som værende:

- a. "tiled" formater (formater med pixels opdelt i billedfelter),
- b. "ikke-tiled" formater,
- c. pyramide-formater, samt
- d. både "tiled" og pyramide formater.

Herefter kan vælges et specifikt billedformat alt efter hvilken kombination af dataformat og datastruktur, der ønskes.

I "tiled" billedformater er data inddelt i en række "tiles" (billedfelter) i modsætning til konventionelle filer, der indlæses billedlinje for billedlinje. Ved zoom til et billedudsnit i et tiled format indlæses kun de tiles af billedfilen, der overlapper det ønskede billedudsnit, i stedet for som ved en "traditionel lagring" af data som i en standard TIFF fil, hvor data læses ind i hukommelsen "fra en ende af". Forskellen i hastighed kan være meget mærkbar.

Pyramide-formater har den egenskab, at udover selve 1:1 billedet indeholder billedfilen ligeledes 1:2, 1:4, 1:8 ... 1:2n. billedforholdene. Hvor mange "zoomniveauer", filen indeholder, er afhængig af 1:1 billedets størrelse i pixels. Pyramidedannelsen har den fordel, at det er hurtigt at zoome ind og ud i billedet, da det ikke er nødvendigt at læse alle billeddata ind i hukommelsen og resample eksempelvis 12.500 pixels x 12.500 pixels for at vise et givet zoomniveau. Det er derfor kun nødvendigt at indlæse det nærmeste pyramidelag i en fil for at vise et givet zoomniveau.

Hvad der dikterer slutbrugers valg af dataformat/datastruktur kan variere fra bruger til bruger, men det er en kendsgerning, at den kombination af dataformat og datastruktur, der giver den højeste performance til "kigge"-brug, er kombinationen af en tabsgivende kompression i et tiled og pyramide-format såsom MrSID eller ECW. Brugere, der er interesserede i at foretage arealklassifikationer eller andre analyser med Remote Sensing-teknikker, vil derimod være interesserede i at modtage data i et ikke-tabsgivende format for at få det bedste resultat ud af de automatiske processer. Man skal dog være opmærksom på, at de fleste ortofotos næsten altid har været komprimeret på et eller andet tidspunkt i produktionsprocessen.

Komprimering

Tabsfri komprimering

Data kan i komprimerede formater komprimeres på forskellig vis. Et eksempel, som også kendes fra andre former for datalagring, er den tabsfrie RLE (Run-Length Encoding) komprimeringsform, der bl.a. benyttes i programmer som WinZip. Ved tabsfri komprimering er det samme pixelværdier, som findes i originaldata, der fremkommer efter udpakning af tabsfrit komprimerede data.

Tabsgivende komprimering

Ved komprimering af data med en tabsgivende komprimeringsrutine forstås data, der i udpakket tilstand IKKE har samme pixelværdier som originaldata (omend det måske visuelt ikke kan erkendes). Der er med andre ord radiometriske fejl i det udpakkede billede i forhold til udgangsbilledet. Ved tabsgivende komprimeringsformer kan data i sagens natur komprimeres hårdere end ved brug af tabsfri komprimeringsrutiner. Tabsgivende komprimeringsrutiner er også den mest udbredte kompressionsform ved større datamængder, da datamængden ofte kan reduceres med en faktor 10, uden det visuelt kan ses på skærmen i et zoomniveau på 100 %.

De radiometriske fejl, der tydeligst viser sig ved en tabsgivende kompression, er, at hvid ikke er hvid, og sort ikke er sort. Dette ses eksempelvis ved grænser mellem områder med data og områder med "no-data", altså ingen data. Områder med no-data er oftest enten helt hvid eller helt sort. Ved en tabsgivende kompression vil eksempelvis sort kunne få en anden farve end 0,0,0 i R,G,B-værdier, og således vil det være u hensigtsmæssigt at bruge billeder med tabsgivende komprimering som overlay over andre kortprodukter, hvis man har til hensigt at lave en "hvid" eller "sort" kant gennemsigtig.

Som det ses i tabel 3.2, er de filformater, der benyttes til online løsninger (Internet, intranet), typer, der både er komprimeret med tabsgivende komprimering, har pyramidedannelse og mulighed for intern georeference. Dette skyldes, at båndbredden er den største begrænsende faktor i overførsel (og visning) via Internet/intranet. De filformater, der benyttes, er kendetegnet ved en meget høj komprimering og en hurtig udpakning samt hurtig zoom på slutbrugerens computer /skærm.

Filtype	Tiled	Pyramidedannelse	Komprimerings-type	Anvendelse	Bitdybde	Intern georeference
TIFF	Option	Option	Option (JPEG / RLE)	Produktion Off-line	48, 24 eller 8	Option
JPEG	NEJ	NEJ	JPEG	Off-line Distribution, print	24	Nej
MrSid	Ja	Ja	Wavelet	Online/ Off-line	24	Option
ECW	Ja	Ja	Wavelet	Online/ Off-line	24	Option
JPEG2000	Ja	Ja	Wavelet	Online/ Off-line	24	Option
BMP	Nej	Nej	Ingen	Off-line	24 eller 8	Nej

Tabel 3.2. Egenskaberne for de mest udbredte filformater til udveksling af rasterdata.

Komprimeringsfaktor

Oftest opnås en reduktion i datamængde på op til 80-90 % ved tabsgivende komprimering, uden at det kan erkendes med det blotte øje, mens det sjældent er muligt at reducere datamængden med mere end 10-20 % ved en tabsfri kompression. Disse tal er naturligvis typiske og det kan variere med større reduktion i datamængden for homogene områder, og mindre reduktion for mere heterogene områder.

Dataopklipning

Mosaikerede digitale ortofotos leveres typisk som et område klippet op i enkeltfiler efter prædefinerede kortbladgrænser såsom DKTM kortblade, UTM kortblade eller i ortofotomosaikker dækkende større områder, som eksempelvis en hel kommune.

Det kan være en fordel at vælge en rektangulær afgrænsning af et område med sider parallelle med koordinatsystemet, f.eks. en opdeling i standardkortblade. Ellers kan man få mange "nul"-pixels i udfyldningen af et uregelmæssigt areal for at danne et rektangel (nødvendigt som leveringsudsnit).

Ortoprettede billeder, der ikke er mosaikerede, kan typisk leveres som enkeltfiler.

Datalevering

Data kan f.eks. leveres via WMS, ftp eller e-mail eller med den store mangfoldighed af fysiske medier som CD, DVD, bånd, harddiske, m.v.

3.8 Metadata

Hvad er metadata?

Metadata defineres som data om data. Metadata er populært sagt varedeklarationen på data.

Metadata for et dataprodukt etableres typisk i forbindelse med selve dataproduktionen. Disse metadata vil efterfølgende kunne danne grundlag for en automatisk formidling af metadata til enkeltstående dataleverancer.

Metadata benyttes typisk af brugere for at indhente oprindelsesoplysninger om data. På den måde kan det afgøres, om data kan benyttes til et givent formål. Metadata gør det lettere at opdage data, at få fat i data, at fortolke data og også at anvende data korrekt.

Metadata for et ortofoto er således data (informationer), der beskriver ortofotoets egenskaber. Ved at etablere og formidle metadata om ortofotos, bliver ortofotos "lettere tilgængelige" for dem, der anvender dem, eller ønsker at anvende ortofotos.

Vigtigheden af at deklarere ortofotos med metadata vokser efterhånden, som GIS teknologien, og dermed ortofotos, udbredes til en stadig større brugerskare uden fototekniske kompetencer. En anden vigtig grund til at prioritere metadata til ortofotos er, at både produktionen af ortofotos og variationen i produktionsmetoder er i kraftig vækst.

Standarder for metadata

På den internationale horisont er der to relevante standarder for metadata, ISO 19115 og INSPIRE direktivet.

ISO 19115

ISO 19115 er en uafhængig international specifikation for metadata på geografisk information og geografiske services. De krav om metadata til geografisk information, der opstilles i ISO19115, er meget omfattende. For en stor dels vedkommende retter metadata sig mod meget specialiserede anvendelser af data.

ISO 19115 beskriver ikke specifikt metadata til ortofotos.

INSPIRE (INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe)

INSPIRE er et EU-direktiv, som fastlægger regler for stedets betydning og funktion både nationalt og på tværs af landegrænser. INSPIRE-direktivet blev vedtaget den 14. marts 2007.

Direktivet er implementeret i dansk ret i form af lov om infrastruktur for geografisk information pr. 15.maj 2009. INSPIRE vil blive normgivende for store dele af det offentliges datasamlinger, herunder også ortofotos.

I INSPIRE-direktivet er der opstillet en række overordnede krav til hvilke metadata, der skal knyttes til geografiske datasæt generelt, medens de specifikke krav til metadata for ortofotos først forventes implementeret i år 2011-2012.

Det er ortofotoudvalgets anbefaling, at metadata for ortofotos for nuværende bør "tilpasses" de generelle INSPIRE-felter og at metadata for ortofotos på længere sigt skal overholde INSPIRE-direktivet for ortofotos.


Metadata om ortofotos


INSPIRE's generelle krav til metadata til geografiske data er anvendt som en inspirationskilde til hvilke metadata, som, Ortofotoudvalget anbefaler, skal medtages til ortofotos. Således er enkelte metadata-elementer medtaget for at sikre, at en metadatabeskrivelse af et ortofoto kan opfylde de overordnede krav til metadata, som er beskrevet i INSPIRE-direktivet. Ortofotoudvalget anbefaler, at listen over metadata til ortofotos revideres og tilpasses til at overholde INSPIRE's krav til metadata for ortofotos, når disse er vedtaget i 2011-2012.

Det er frivilligt for producenterne, om de vil producere metadata til et ortofoto-produkt, ligesom det i praksis vil være en frivillig aftale mellem kunde og producent om omfanget af metadata til den enkelte ortofoto-leverance.

Ortofotoudvalget anbefaler dog, at producenterne altid etablerer metadata og også leverer metadata med ortofoto-leverancerne. Vi har foretaget en nøje afvejning af hvilke metadata-elementer, der vurderes at være relevante for brugere af ortofotos.

For at lette forståelsen (og anvendelsen) af metadataelementerne er de adskilt i 2 grupper: Metadata til ortofoto-produkt Oversigt over anbefalede Produkt-metadata for ortofoto. samt Metadata til ortofoto-leverance. Produkt-leverancer har en 1-mange-relation således, at:

 der til et produkt skal findes 1 eller mange leverancer (mange kunder), og at

 der til en leverance skal findes 1 produkt.

En oversigt over Ortofotoudvalgets anbefalede Produkt-metadata hhv. Leverance-metadata for ortofoto findes i tabel 3.3. og tabel 3.4, respektive.

PRODUKT-metadata	Obligatorisk/ frivillig	Udfalds-rum	Beskrivelse	Eksempel
Produkt-Titel	Obligatorisk		Officielt navn på ortofoto-produktet	ORTOland 2009
Resume	Obligatorisk		Kort beskrivelse af ortofotoet evt. med link til nærmere beskrivelse	Landsdækkende ortofoto optaget maj 2009. www.orto.dk
Geografisk placering	Obligatorisk	ETRS89: UTM32N: (N,E)	Den omskrevne firkant angivet med upper-left og lower-right	ETRS89:UTM32N: (N,E)(N,E)
Optage-periode	Obligatorisk		... for ortofoto-produktet	5. - 31. maj 2009
Ground Sample Distance (GSD)	Obligatorisk		Pixelstørrelse på jorden, i de fotografier der anvendes til ortofoto-produktet	20 cm
Pixelstørrelse	Obligatorisk		... i ortofoto-produktet	60
Nøjagtighed	Obligatorisk		Maksimal punktmiddelfejl i ortofotoet	25 cm
Farvedybde	Obligatorisk		... i ortofoto-produktet	8 bit pr. kanal
Spektralbånd	Obligatorisk	S/H, RGB, CIR, RGBI	... i ortofoto-produktet	RGB
Pansharpened	Obligatorisk	Ja, nej	Er farve-bånd pansharpened?	Ja
Højdemodel	Obligatorisk	Fri tekst:	Beskrivelse af relevante forhold om anvendt højde-model f.eks. aktualitet, broer, geometrisk nøjagtighed, mm.	Laserscannet højdemodel opmålt 2006-2007, broer er tilføjet i højdemodellen, nøjagtighed på koten ca. 10-25 cm.
Specifikation	Obligatorisk		Navn på den produktionsspecifikation, som ortofotoet er produceret efter	Specifikation for ORTOland 2009
Produktansvarlig	Obligatorisk		Hvem er ansvarlig for ortofoto-produktet?	Ortofoto A/S
Metadata-ansvarlig	Obligatorisk		Hvem er ansvarlig for metadata for ortofoto-produktet?	Ortofoto A/S
Metadata-valør	Obligatorisk		Hvornår er metadata for ortofoto-produktet produceret?	d.30-6-2009
Dataejer	Obligatorisk		Hvem har juridisk ejerskab?	Ortofoto A/S
Kameralinse	Obligatorisk	Normal, vid-vinkel		Normal
Kameratype	Obligatorisk	Digital, analog		Digital
Ortofoto-type	Obligatorisk	1,2,3,4	Ortofoto-type i henhold til ortofoto-specifikation	ORTO2
Ressourcetype	Frivillig	Datasæt, data-serie	Dataserie: Datasæt, som er en del af en tidsserie over samme område	Datasæt
Dataservice	Frivillig	Ja, nej	Dataservice: Internetbaseret Online-adgang til ortofoto-produkt (WMS eller tilsvarende)	Ja
Emne kategori	Frivillig	010	ID for "geodata-type". For ortofoto altid 010	domain code 010 (tjek topic liste)
Længdeoverlap	Frivillig		... i de flyfotos, ortofoto er produceret ud fra	60 %
Sideoverlap	Frivillig		... i de flyfotos, ortofoto er produceret ud fra	25 %
Seamline nøjagtighed	Frivillig		Geometrisk nøjagtighed ved seamline-produktion	2-3 pixels

Tabel 3.3. Oversigt over anbefalede Produkt-metadata for ortofoto.

LEVERANCE- metadata	Obligatorisk/ frivillig	Udfaldsrum	Beskrivelse	Eksempel
Unik leverance- identifikator	Obligatorisk		Identifikation af ortofoto-levering	ORTO- land2009KMS090425
Produkt-titel (iden- tisk)	Obligatorisk		Identifikation af ortofoto-produkt	ORTOland2009
Geografisk place- ring	Obligatorisk	ETRS89: UTM32N: (N,E)	Omskrevet firkant UL/LR – f.eks. delmængde af ORTOland2008	ETRS89:UTM32N: (N,E)(N,E)
Leverandør	Obligatorisk		Ansvarlig for ortofoto-leverance	Ortofoto A/S
Metadata-ansvarlig for leverance	Obligatorisk		Ansvarlig for metadata- leverance	Ortofoto A/S
Betingelser for brug og adgang til orto- foto-leverance	Obligatorisk	Licensbeskyttet, Tilgængelig med re- striktion, Tilgængelig uden restriktion	Betingelser for brug	Licensbeskyttet
Metadata-værdi for leverance	Obligatorisk		Hvornår er metadata for leverancen produceret	d. 25-4-2010
Leveringsformat	Obligatorisk		Leveringsformat for ortofotoet	ECW
Komprimeringsgrad	Obligatorisk		%-grad – originalproduktet er komprimeret	Til 20 % af original tif
Projektion	Obligatorisk for den enkelte leve- rance	EPSG kode eller anden angivelse af koordinat- system	Den projektion ortofotoet leveres i	UTM zone32 (ETRS89)
Spektrale kanaler	Obligatorisk	(Pan, RGB, CIR, RGBC)	Beskrivelse af de spektrale kanaler, ortofoto indeholder	RGB
Billedoptage-dato	Frivillig		Optagetidspunkt for det enkelte foto	Billedcenter eller Seamlines med tidsattribut

Tabel 3.4. Oversigt over anbefalede Leverance-metadata for ortofoto.

4. Betydning af parametre og processer for kvalitet og anvendelse af det tærdige ortofoto

I dette afsnit beskrives arbejdsgruppens vurdering af valg af parametre og processer. Der er en kraftig sammenhæng mellem valg af en parameter og de heraf logiske valg af andre parametre. Nogle af disse sammenhænge er beskrevet i tabel 4.1, hvor den fremhævede markering viser valg af parametre og processer, der berettiger til kvalitetsbetegnelserne henholdsvis ORTO1, ORTO2 og ORTO3. Med mindre kraftig fremhævelse er markeret specialudgaver af ortofotos, som også kan kategoriseres i de respektive klasser. Det skal af produktbeskrivelsen fremgå, hvorledes en specialudgave afviger fra den anbefalede udgave.

4.1 Krav til fotografering

Tidspunkt for fotografering:

Ortofotos uden vegetationsdækning: 1. marts – løvspring (cirka 1. maj).

Ortofotos til f.eks. vegetationsanalyser og som baggrundskort: Løvspring – 31. juli.

Kameralinse:

Vidvinkel kan generelt anvendes i alle 3 klasser.

Normalvinkel kan med fordel anvendes ved fremstilling af almindelige og true ortofotos i tæt by.

Mange digitale kameraer har normalvinkel og anvendes til alle former for ortofotos.

Optagelseskvalitet mm.:

Krav om minimum 30° solhøjde ved analoge optagelser og minimum 25° solhøjde ved brug af digitale kameraer. Desuden bør der være et krav om maksimal skyggedækning fra skyer på 3 %. Der må ikke være områder i ortofotoet, der er dækket af skyer.

Billedoverlap mm.:

Længdeoverlap og sideoverlap skal vælges til minimum 20 %. Men et overlap på 25 % eller 30 % vil dog oftest være en fordel ved fremstilling af ortofotos. Normalt vil længdeoverlappet være 60 % ved almindelig fotogrammetrisk arbejde.

4.2 Ortofotoets plane nøjagtighed.

Ortofotoets nøjagtighed i planen kan måles i forhold til veldefinerede objekter i billedet. Objekterne skal ligge på jorden og være tilfældigt fordelt over hele området. Dæksler eller riste, er for eksempel optimale kontrolpunkter. Ved kvalitetskontrol skal deres koordinater være bestemt med høj nøjagtighed.

Fejlbidragene kommer primært fra billedorienteringen og højdemodellen. Fejlbidraget fra højdemodellen varierer afhængig af den aktuelle pixels afstand fra nadirpunktet i det billede, hvor den er interpoleret. Ortofotoet har derfor en inhomogen plan nøjagtighed. I dette kapitel anvendes den maksimale punktmiddelfejl.

Såfremt man fremstiller en højdemodel, der kun skal bruges til ortofotofremstilling, vil det være langt mere økonomisk, hvis man nøjes med at overholde den fulde nøjagtighed ved veldefinerede punkter og linjer i ortofotoet frem for den fulde nøjagtighed i hele billedet. Eksempelvis vil det være

helt unødvendigt med en god højdemodel for skovområder, hvor man i ortofotoet kun kan se trætoppe. Så hvis der er et krav om den fulde nøjagtighed i hele billedet, skal det direkte fremgå ved bestillingen af et ortofoto.

I det indre af skove, store homogene marker uden hegn, brugsgrænser eller markveje vil der kunne anvendes højdemodelmålinger med den halve nøjagtighed af, hvad vejledningen siger. Dermed vil den plane nøjagtighed af ortofotoet kun være halvt så god.

4.3 Pixelstørrelse.

Ortofotoets pixelstørrelse skal være mindre end en tredjedel af det mindste objekt, man ønsker at kunne identificere. Ved mange anvendelser vil det være acceptabelt med en nøjagtighed for ortofotoet på 3 gange pixelstørrelsen.

Til visse formål kan det være ønskeligt med en stor plan nøjagtighed f.eks. svarende til pixelstørrelsen. Dette vil imidlertid medføre en væsentlig prisforhøjelse bl.a. på grund af kravene til en mere nøjagtig højdemodel. Et eksempel herpå findes i tabel 4.1, se ORTO3, opløsning 10 cm, ortofotoets nøjagtighed 10 cm.

Til andre formål vil det være mere vigtigt med en stor opløsning, men uden krav til en stor nøjagtighed. Et eksempel herpå findes i tabel 4.1, se: ORTO2, opløsning 10 cm, ortofotoets nøjagtighed 40 cm.

4.4 Krav til billedbehandling, sømlinjer (seamlines), efter behandling mm.

Krav til det færdige produkt:

Den visuelle kvalitet skal være et klart og skarpt ortofoto. Der skal være jævn tone og kontrast over hele ortofotoet. Der skal være et minimalt tab af billedkvalitet i forhold til det originale billede.




Enkeltbilledebehandling.

Kontrastregulering og lys/farvejustering af enkeltbilleder foretages på de enkelte luftfotos før fotomosaikdannelsen og ofte før ortofotodannelsen. Ofte vil en del af billedbearbejdningen blive udført i forbindelse med billedprocesseringen.

Mosaik

I en mosaik sammensættes flere billeder (ortofotos) til et billede. Sættningen sker efter en opskæring i en fælles grænse: Sømlinjer (seamlines). Sømlinjer kan produceres mere eller mindre automatisk. Manuel produktion er tidskrævende og dyr og samtidig er de automatiske metoder under konstant udvikling.

Mulighederne er:

-  fuldautomatisk intelligent udsøgning - men uden validering,
-  semi automatisk, som ovenfor - men med manuel validering og redigering af "fejl", eller
-  manuel digitalisering.

I det sammensatte billede kan farve, lys og kontrast reguleres meget ved billedbehandling. Den ønskede "kvalitet" kan udværges blandt en palet af eksempler fra eksempelsamlingen, hvor der er variationer for en række forskellige optagelsestidspunkter.

I overgangen mellem billederne ved de anvendte sømlinjer kan der ved hjælp af feathering (overgangsudjævning) skabes forskellige kvaliteter i synligheden af overgangen ved:

- feathering med manuel efterbearbejdning, hvor sømlinjer ikke går gennem bygninger. "Usynlige" sømlinjer,
- fuldautomatisk overgangsudjævning. Næsten usynlige sømlinjer, undtagen ved bebyggelse, samt
- ingen overgangsudjævning. Kun geometrisk tilpasning.

Ved sømlinjer skal tværgående elementer som f.eks. kørebanekanter "passe sammen" indenfor 3 pixels.

4.5 Dataformater mm.

Dataleverancen skal være tilpasset brugerens anvendelse, således at data kan indgå i brugerens anvendte software og kan anvendes til det ønskede formål.

Ønsket om en høj performance kan medføre en kombination af tabsgivende kompression i et tile og pyramide-format som MrSID eller ECW. Eller kravet til data, i f.eks. arealklassifikationer, kan medføre levering af data i en tabsfri komprimering. Ved en tabsgivende kompression kan også indgå overvejelser om komprimeringsgrad, men ved en reduktion på op til 80-90 % vil man ofte ikke kunne se fejl i komprimeringen med det blotte øje.

Det kan være en fordel at vælge en rektangulær afgrænsning af et område med sider, parallelle med koordinatsystemet, f.eks. en opdeling i standardkortblade, for at undgå at få "nul"-pixels i udfyldningen af et uregelmæssigt areal for at danne et rektangel (som er nødvendigt som leveringsformat).

Supplerende krav til True Ortofoto

True ortofotos svarer til ortofototype 3 og 4. Her stilles krav til anvendelsen af oprettede 3D bygninger og bygværker. Dertil kommer krav om udfyldning af "blinde" områder med billeddata fra nabobilleder. Til type 3 kræves kun det almindelige 60 % længdeoverlap og 20 % sideoverlap. Til type 4 kræves 60 % længde- og sideoverlap ved brug af digitale kameraer med normalvinkel, men 80 % længdeoverlap og 60 % sideoverlap ved brug af vidvinkel-kamera.

Programmet, der anvendes til true ortofoto, skal beregne placeringen af tagkonstruktioner til deres rette placering med korrektion for tagdetaljerne, og udfylde døde vinkler i maksimal grad fra nabobilleder.

Krav til ortofoto-fremstillingen

I tabel 4.1 er der opstillet nogle grundlæggende krav for, at man kan kalde et ortofoto ORTO3, ORTO2 eller ORTO1. Der opgives en anbefalet værdi på f.eks. en pixelstørrelse 10 cm for ORTO3, 20 cm for ORTO2 og 40 cm for ORTO1. Dertil angives mindstekravet til nøjagtigheden på højdemodellen på henholdsvis 25 cm, 60 cm og 175 cm. Mindstekravet på nøjagtigheden på højdemodellen er bindende, mens andre værdier kan variere. F.eks. kan det accepteres at fotografere med et andet overlap end 20 %, så længe det er markeret som en alternativ valgmulighed i tabellen, men det skal af produktbeskrivelsen fremgå, hvorledes specialudgaven afviger fra den anbefalede udgave. De alternative udgaver skal desuden overholde de øvrige krav i kapitel 4. Det kan således ikke accepteres, at et billede er optaget med GSD 6 cm og subsamples til 5 cm til ORTO3.

	Anbefalet værdi
	Alternative valgmuligheder indenfor ortofotoklassen

ORTO3						
Opløsning (pixelstørrelse) i cm		5	7.5	10		
Ortofotots nøjagtighed i cm		10	20	30		
Højdemodel lens nøjagtighed i cm				25		
Fotograferingstidspunkt				1/3-løvspring Løvspring-31/7		
Seamlines – udjævningsmetode				Manuel efter- behandling	Fuldaut. farveud- jævn.	Ingen farve- udjævn.
Seamlines – synlighed				"Usynlig"	Næsten usynlig	Oftest synlig
Geometrisk nøjagtighed ved seamlines		1 pixel	2 pixels	3 pixels		
Sideoverlap i % (+/- 5 %)		30	25	20		
Linsetype			Normalvinkel	Vidvinkel		
Anvendt andel af billedfelt			80 %	40 %		
ORTO2						
Opløsning (pixelstørrelse) i cm		10	15	20		
Ortofotots nøjagtighed i cm			40	60		
Højdemodel lens nøjagtighed i cm				60		
Fotograferingstidspunkt				1/3-løvspring Løvspring-31/7		
Seamlines – udjævningsmetode				Manuel efter- behandling	Fuldaut. farveud- jævn.	Ingen farve- udjævn.
Seamlines – synlighed				"Usynlig"	Næsten usynlig	Oftest synlig
Geometrisk nøjagtighed ved seamlines		1 pixel	2 pixels	3 pixels		
Sideoverlap i % (+/- 5 %)		30	25	20		
Linsetype			Normalvinkel	Vidvinkel		
Anvendt andel af billedfelt			80 %	40 %		
ORTO1						
Opløsning (pixelstørrelse) i cm	20	25	30	40		
Ortofotots nøjagtighed i cm		80	120	160		
Højdemodel lens nøjagtighed i cm				175		
Fotograferingstidspunkt				1/3-løvspring Løvspring-31/7		
Seamlines – udjævningsmetode				Manuel efter- behandling	Fuldaut. farveud- jævn.	Ingen farve- udjævn.
Seamlines – synlighed				"Usynlig"	Næsten usynlig	Oftest synlig
Geometrisk nøjagtighed ved seamlines		1 pixel	2 pixels	3 pixels		
Sideoverlap i % (+/- 5 %)		30	25	20		
Linsetype			Normalvinkel	Vidvinkel		
Anvendt andel af billedfelt			80 %	40 %		

Tabel 4.1. Krav til Ortofotofremstilling for ortofoto type-1(almindelige ortofotos).

5. Anvendelse af ortofotos

5.1 Rettigheder og begrænsninger ved brug af ortofotos.

Rettigheder til ortofotos

Når man anvender et ortofoto, er det vigtigt at notere sig hvilke rettigheder, man har til det pågældende ortofoto. Dette gælder for så vidt både, når man anvender et ortofoto, man har liggende lokalt på egne servere, eller et ortofoto, man har adgang til via Internet.

Lov om ophavsret

Et ortofoto er omfattet af Lov om ophavsret. Ophavsretshaver har ret til at råde over ortofotoet ved at fremstille eksemplarer af det og ved at gøre det tilgængeligt for almenheden i oprindelig eller ændret skikkelse.

Som eksemplarfremstilling anses enhver direkte eller indirekte, midlertidig eller permanent og hel eller delvis gengivelse på en hvilken som helst måde og i en hvilken som helst form. Som fremstilling af eksemplarer anses også det forhold, at ortofotoet overføres på indretninger, som kan gengive det.

Ortofotoet gøres tilgængeligt for almenheden, når:

- 1) eksemplarer af ortofotoet udbydes til salg, udlejning eller udlån eller på anden måde spredes til almenheden, eller når
- 2) eksemplarer af ortofotoet vises offentligt.

Som offentlig visning anses også:

- 1) trådbunden eller trådløs overføring af et ortofoto til almenheden, herunder udsendelse i fjernsyn og tilrådighedsstillelse af ortofotoet på en sådan måde, at almenheden får adgang til dem på et individuelt valgt sted og tidspunkt, og
- 2) visning i en erhvervsvirksomhed, der finder sted for en større kreds, som ellers måtte anses som ikke-offentlig.

Overdragelse af rettigheder til ortofotos

Ophavsretshaver kan helt eller delvis overdrage sine rettigheder til et ortofoto.

Overdragelse af rettigheder til ortofotos kan inddeles i typer af overdragelse:

1. Overdragelsen af ophavsretten til ortofotoet, dvs., at køberen overtager alle rettigheder til ortofotoet.
2. Overdragelse af ubegrænset brugsret til ortofotoet, dvs., at ophavsretten bliver hos producenten, men at køber derudover opnår de samme rettigheder til ortofotoet som producenten, herunder til at videreformidle og overdrage dette.
3. Overdragelse af begrænsede brugsrettigheder til ortofotoet, dvs., at køber opnår nærmere afgrænsede rettigheder til ortofotoet.

Når man erhverver afgrænsede rettigheder til et ortofoto, skal man være særlig opmærksom på:

Områdeafgrænsning

Hvilket område ønsker man at købe brugsrettigheder til?

- EO 21 Hvad ortofotoet skal anvendes til?
Skal ortofotoet anvendes i forbindelse med alt relevant arbejde i købers organisation, eller skal ortofotoet alene anvendes i forbindelse med ét konkret projekt?
- EO 21 Hvor mange brugere hos køber skal anvende ortofotoet?
Er der behov for et afgrænset antal licenser til ortofotoet eller skal der købes brugsrettigheder, der dækker alle organisationens ansatte?
- EO 21 Skal ortofotoet publiceres på Internet?
Hvor stor trafik forventes der i givet fald på de sites, hvor ortofotoet anvendes?
- EO 21 Er der behov for andre særlige rettigheder til ortofotoet?
Er der f.eks. behov for at udlåne og/eller videreoverdrage ortofotoet?
- EO 21 På det danske marked er der på tidspunktet for udgivelsen af ortofotospecifikationen to gængse modeller for produktion og salg/køb af et ortofoto:
- Det ordreproducerede ortofoto. Herved forstås et ortofoto, der produceres efter bestilling fra én eller flere kunder. Det er normalt, at køber får ubegrænset brugsret eller ophavsret til ortofotoet.
 - Hyldevare ortofoto, der i princippet produceres uden, at der på forhånd er kunder til ortofotoet, eller sagt på en anden måde for producenternes regning og risiko. Det er normalt, at køber får afgrænsede rettigheder til ortofotoet.
- EO 21 Som køber af et ortofoto skal man være opmærksom på, at prisen på et ortofoto som regel er afhængig af de rettigheder, man ønsker til ortofotoet.

Gengivelse af ortofotos

Gengives ortofotoet offentligt, har ophavretshaver krav på at blive navngivet i overensstemmelse med, hvad god skik kræver, såvel på eksemplarer af ortofotoet, som når dette gøres tilgængeligt for almenheden.

Om ortofoto og privatlivets fred

I forbindelse med den øgede produktion, distribution og anvendelse af ortofoto samt den også til stadighed forbedrede kvalitet af disse, kan der opstå en bekymring for, at der vil kunne afsløres fotografiske detaljer, der kan krænke privatlivets fred.

Der har indtil nu ikke eksisteret en officiel fortolkning af dansk lovgivning på dette specifikke område.

Derfor agerer udbydere og dataproducenter indenfor geodata-området under usikre præmisser. Som udviklingen forløber nu, med stærk stigende anvendelse af ortofotos, er det forventeligt blot et spørgsmål om tid, førend en aktør på markedet for flybilleder og ortofotos, utilsigtet gennemfører en ulovlig offentliggørelse af data.

Geoforums Ortofotoudvalg har derfor bedt Miljøministeriet om at afklare de juridiske forhold i henhold til produktion og offentliggørelse af flyfotos og afledte produkter heraf. Miljøministeriets svar på denne forespørgsel kan ses i Appendix 3.

Svaret fra Miljøministeriet tolker lovgivning vedrørende anvendelse af fotografier. Efter straffeloven angives således, at det er ulovligt, uberettiget, at fotografere og at distribuere billeder af "private forhold" altså billeder fotograferet et "ikke frit tilgængeligt sted".

Betingelsen om, at handlingen skal være "uberrettiget", fortolkes af MIM, således, at hvis formålet med billederne er andet end de "private forhold", så er optagelse og distribution ikke strafbart. MIM (dvs. KMS) vurderer altså, at fotografering fra fly af landskabet er et retmæssigt formål, som gør, at hvis eventuelle private forhold "fotograferes med", så kan dette ikke betragtes som en ulovlig handling.

Videregivelse af billeder er på samme argumentation heller ikke ulovlig.

Konklusionen hos Miljøministeriet er altså, at de skitserede foto-produktioner kan indeholdes af dansk lovgivning, og iflg. denne er tilladte. Miljøministeriet mener derfor ikke, at der er behov for at fastsætte retningslinjer for offentligt tilgængelige ortofotos, hvad angår tilladelig opløsning, eller krav om bortradering.

Svaret fra Miljøministeriet uddyber dette forhold og vi opfatter dette som værende landets officielle holdning til problemstillingen.

5.2 Årstidens betydning for billedindholdet i et ortofoto

Informationsindholdet i et ortofoto er i høj grad afhængig af, hvilket tidspunkt på året fotograferingen udføres. Brugen af det færdige ortofoto er således den afgørende faktor for valg af optage-tidspunkt. Før fotograferingen udføres, bør den kommende bruger derfor stille spørgsmål som: Hvad skal det færdige ortofoto bruges til? Hvad skal det være muligt at identificere i ortofotoet? Og endelig spørgsmålet: hvilket fotograferingstidspunkt opfylder så bedst disse behov?

De største årstidsvariationer i indholdet af ortofotoet skyldes vegetationens forandringer i løbet af vækstsæsonen og forandringer i jordens fugtighed. Sne og is har selvfølgelig også stor betydning for ortofotoets indhold.

Den spektrale sammensætning af det indfaldne sollys samt terrænobjekters spektrale refleksion varierer med årstiden og tidspunktet på dagen. Samtidig har den relative skyggelængde ofte en afgørende indflydelse på identifikationsmulighederne i ortofotoet.¹

Fra et fortolkningssynspunkt kan optagesæsonen opdeles i 6 karakteristiske tidsperioder:

1. Forår før løvspring
2. Løvspring
3. Sommer
4. Efterår før løvfald
5. Efterår efter løvfald
6. Vinter

Overgangen mellem perioderne er glidende. Der er endvidere geografiske og egnsvise variationer.

¹ En gennemgående kilde i dette afsnit har været notatet "Fotograferingstidspunkter", skrevet af Steen Davidsen og fremlagt på orienteringsmøde om luftfotografering d. 2-6-1992.

A.d. 1 Forår før løvspring

I praksis begyndes fotosæsonen, når vinterens sne er smeltet og frosten er gået af jorden. Hvornår og hvor lang den periode, der kan tages forårsbilleder, er, vil således variere afhængigt af vejret. I TK99 angives starten på fotosæsonen til d. 15. marts.

Ifølge TK99 er løvspring d. 5. maj, men dette kan variere ca. én uge til hver side - afhængig af, hvordan forårsvejret udvikler sig.




Karakteristika for forårsbilleder:



-  Der er et godt indsyn i forårsbilleder. Dette gør det nemmere at erkende objekter, hvilket igen giver en god præcision i registrering af ønskede objekter på jorden. Endvidere er luftens klarhed ofte god om foråret, idet der generelt ikke er så megen dis i luften som senere på året
-  Farvemæssigt vil billederne fremstå brune/grå. Hvorfor den æstetiske fremtoning ofte vil opfattes som kedelig
-  Solhøjden om foråret er lavere end om sommeren. Dette kan give større skyggelængder i billederne
-  Inden for forårsperioden vil der være forskel på hvilke objekter, der kan erkendes på billederne, og dermed billedernes anvendelighed afhængigt af, om billederne er optaget i marts, april eller maj. Det kan således være af betydning, om overfladevandet er trængt i jorden, om der er temporære søer, om marker i omdrift er under behandling og i hvilken udstrækning den lave vegetation og vintersæd er kommet frem. Ligeledes er der forskel på de skygevirknings, der er i perioden
-  Disse karakteristika gør forårsbilleder specielt velegnede til teknisk og topografisk kortlægning, samt for studier af geologi, hydrologi, mm.
-  I tidlige forårsbilleder fremtræder fugtighedsvariationer – som i sene efterårsbilleder – meget tydelige. Da fugtighedsforskelle er en indirekte fortolkningsindikator for jordarter, giver denne egenskab værdifulde informationer
-  På dyrkede marker fremtræder næringsrig eller anden speciel muldjord tydeligt gennem sin mørke egenfarve i tidlige forårsbilleder og sene efterårsbilleder, hvor jorden ofte er vegetationsfri og nybearbejdet. Disse billeder kan endvidere give værdifulde arkæologiske informationer
-  Normalt giver forårsbilleder ringe mulighed for at vurdere vegetation

A.d. 2 Løvspring

Hovedparten, næsten 90 %, af den danske løvskov udgøres af bøg, eg og asp. Man går normalt ud fra, at bøgen er sprunget ud i det meste af landet d. 10. maj. Planterne reagerer på en kombination af lys og temperaturer. Eg og asp springer ud ca. tre uger efter. Løvspringsperioden er således fra 5. til 31. maj, igen med ca. en uges variation til hver side afhængigt af vejret.

Karakteristika for løvspringsbilleder:





-  Indsynet i billederne er forringet i forhold til forårsbilleder. Indsynet forringes gradvist med løvspringet
-  Farvemæssigt vil billederne fremstå i lysegrønne og brune nuancer
-  Solhøjden betyder, at længdeskyggerne i billederne ikke er så store som i forårsbillederne

-  Såfremt fotograferingen foretages inden nåletræernes skudsætning, vil det i disse billeder være let at skelne mellem nåletræer og løvtræer. Da løvspring sker på forskellige tidspunkter, kan forskellige løvtræerarter adskilles
-  Billeder taget under løvspring er glimrende som kulissekort, idet billederne ofte fremstår lyse og indbydende

A.d. 3 Sommer

Sommerperioden er juni, juli og august.

Karakteristika for sommerbilleder:





-  Af fordele ved sommerbilleder skal fremhæves den mindre relative skyggelængde samt den rige variation i vegetationen
-  Farvemæssigt er der forskel på sommerbilleder afhængigt af hvornår på sommeren, billederne er taget. Jo senere på sommeren billederne er taget, jo mørkere vil billederne fremstå. I forsommeren vil billederne fremstå grønne, efter midsommer vil billederne fremstå mere mørkegrønne, evt. med afsvedne gullige og brunlige nuancer, hvis det er en tør sommer. I sensommeren vil billederne fremstå mørkegrønne og gullige gående over i de brune og røde nuancer efterhånden, som sommeren går på hæld
-  Til vegetationsanalyse i ikke-skovbevoksede områder er sommerperioden den mest egnede periode – f.eks. til kartering af dyrkede marker og vegetation i øvre vandlag. Til vegetationsanalyser bør anvendelse af infrarøde billeder overvejes
-  I sommerbilleder er der som regel dårligt indsyn i skovområder og ganske få muligheder for at tolke fugtighedsvariationer på markerne. Tæt vegetation umuliggør direkte studier af jordarter.

A.d. 4 Efterår før løvfald

Løvfald er som løvspring afhængig af vejret. De to vigtigste faktorer i forbindelse med tidspunktet for løvfald, er lyset og temperaturen. Det lysafhængige løvfald er forholdsvist forudsigeligt, mens det temperaturafhængige løvfald har en større variation afhængigt af, hvornår nattefrosten sætter ind. Andre faktorer, der i nævneværdig faktor kan påvirke løvfaldet, er nedbøren og blæsten. Således kan tørke og kraftige vinde fremskynde løvfaldet. Hovedparten af løvfaldet sker i oktober, men det er først i begyndelsen af november, at træerne står nøgne.

Perioden efterår før løvfald er september og oktober.



Karakteristika for billeder taget om efteråret før løvfald:

-  Indsynet i billederne er ligesom i sommerbilleder hæmmet i skovområder
-  Farvemæssigt vil billederne fremstå i brune, gule og røde nuancer. Der vil være en del farvevariation i billederne afhængigt af, hvornår i perioden billederne er taget
-  Solhøjden om efteråret er lavere end om sommeren, hvilket kan give en relativt større skyggelængde i billederne
-  Efterårsbilleder taget før løvfald har sine største fordele ved differentiering mellem nåle- og løvtræer. Fugtighedsvariationer og fraværet af vegetation på en del af de kulturdyrkede marker gør endvidere disse billeder til et alternativ til forårsbillederne til jordartskarteringsformål

Ad. 5 Efterår efter løvfald

Perioden efterår efter løvfald begynder, når træerne står nøgne og indtil den første sne. Dette vil som regel være november og i mange tilfælde også hele eller dele af december.






Karakteristika for billeder taget om efteråret efter løvfald:

-  Ligesom ved forårsbilleder er der gode indsynsforhold ved efterårsbilleder efter løvfald. Dette gør disse billeder til et alternativ til forårsbilleder. På grund af lysforholdene er forårsbilleder dog ofte at fortrække
-  Den store relative skyggelængde er som regel ingen fordel, men kan dog i visse tilfælde afsløre små topografiske forskelle, hvilket bl.a. er blevet udnyttet til arkæologisk billedfortolkning

Ad. 6 Vinter

Vinterperioden indledes, når den mere vedvarende frost sætter ind, hvilket som regel vil sige i løbet af december. Vinterperioden løber frem til omkring 15. marts, hvor forårssæsonen jvf. TK99 indledes.

Karakteristika for vinterbilleder:

-  I vinterperioden er indsynet helt afhængigt af vintervejret. Indsynet kan således være generet af sne og is
-  Farvemæssigt fremstår vinterbilleder mørke, i brune og grå nuancer
-  Meget lav solhøjde giver de største relative længdeskygger
-  Fotografering i denne periode sker kun til meget specielle billedtolkningsopgaver, f.eks. hvis man er interesseret i sne- og isforekomster. Man vil da kunne udnytte de store relative skyggelængder som hjælp til identifikation. Til militære formål kan vinterbilleder i specielle tilfælde være aktuelle til vurdering af fremkommelighed og spærremuligheder i sne
-  Fotografering til kortlægningsformål i vinterperioden kan godt lade sig gøre, hvis der ikke er sne, men det vil være i en nødsituation – ikke i en ønskesituation

Afrunding på afsnit om årstidens betydning for billedindholdet i et ortofoto

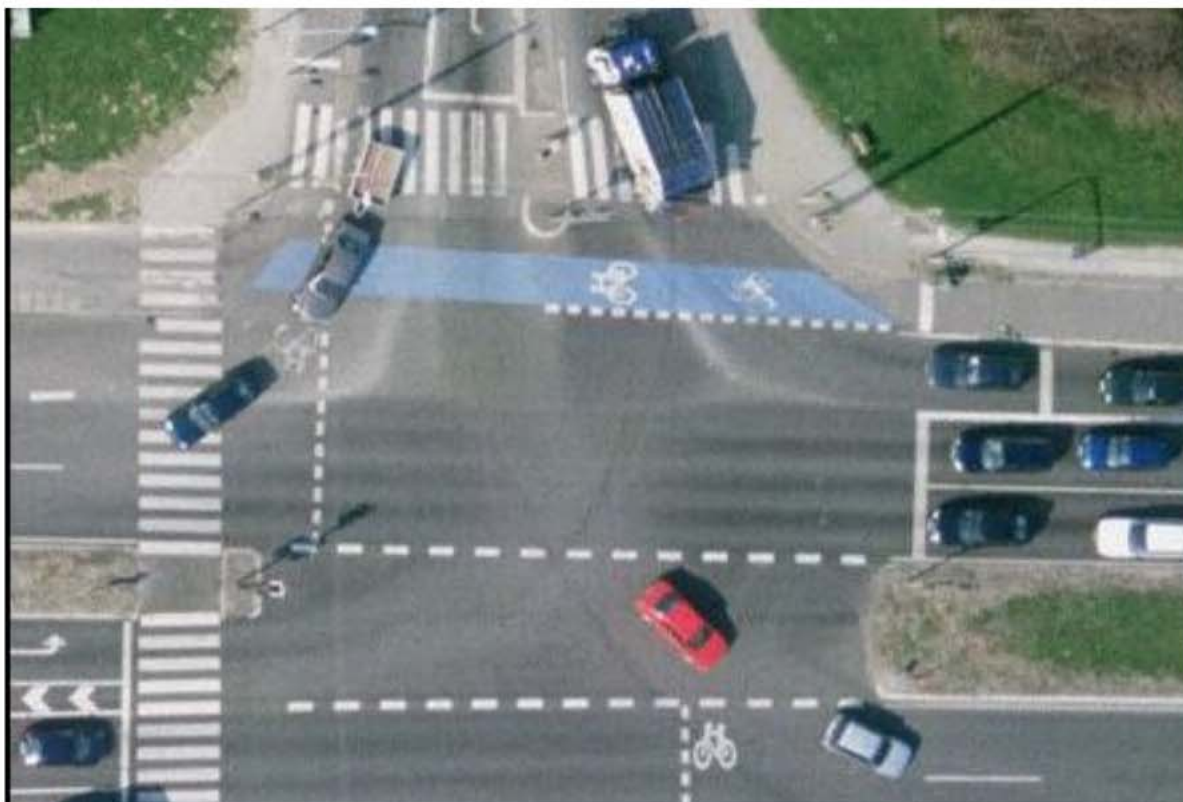
Før man bestiller/producerer et ortofoto, er det vigtigt at gøre sig klart, hvad ortofotoet skal bruges til. Hvad ønskes det, at ortofotoet skal vise?

Et eksempel på det dilemma, man kan stå i, når man skal vælge et tidspunkt for fotografering, fremgår af rapporten "Flyfoto, valg af generelt amtsfoto". Rapporten beskriver de daværende amters konsensus omkring valg af luftfotos. Amternes brug af ortofotos og luftfotos var så mangesidige, at det var vanskeligt at fastlægge ét egnet fototidspunkt. På en side ville man gerne have afgrænsning af objekter. På den anden side ville man gerne have løv på træerne for at kunne artsbestemme. Der er altså ideelt set behov for flere sæt billeder taget på forskellige tidspunkter af året.

5.3 Eksempelsamling



Ukomprimeret



Ortofoto med 10 gange ECW komprimering



Ortofoto med 20 gange ECW komprimering



Ortofoto med 40 gange ECW komprimering



Vidvinkelbillede



Normalvinkelbillede fra samme plane position som vidvinkelbilledet



True ortofoto



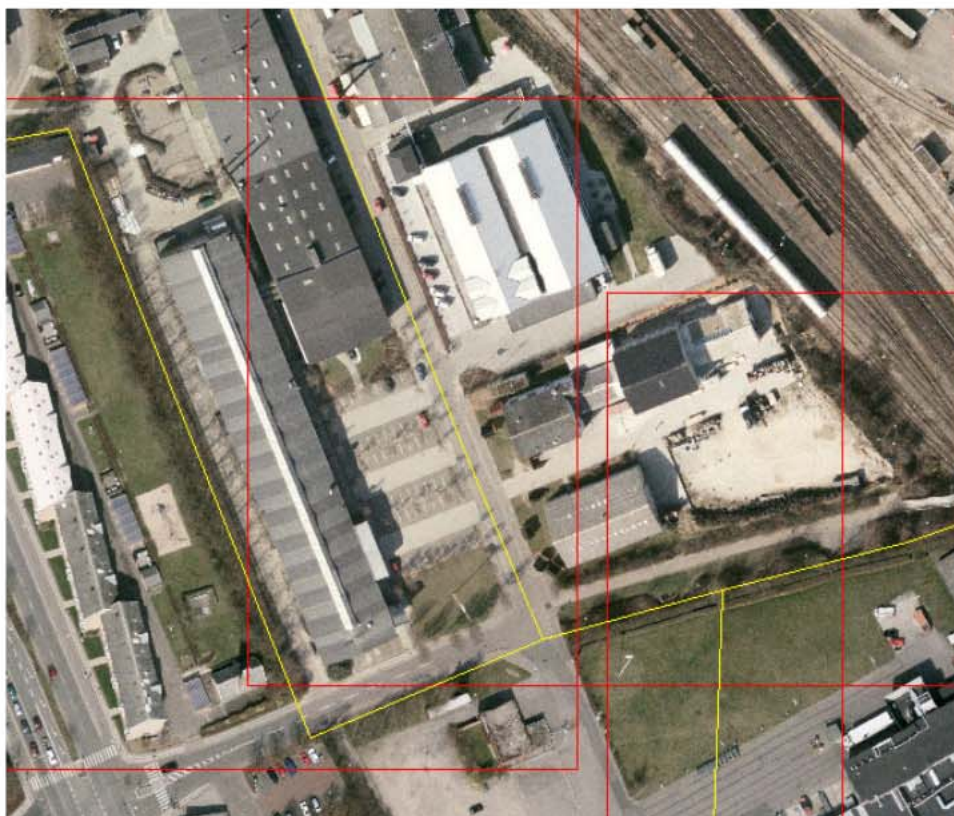
Luftfoto før dodging



Efter dodging



Nærbillede af overlapsområde af fire ortofotos uden fastlagte sømlinjer (seamlines).
De røde linjer viser afgrænsningen af de enkelte ortofotos.



Som ovenfor, men med sømlinjer fastlagt (gule linjer)



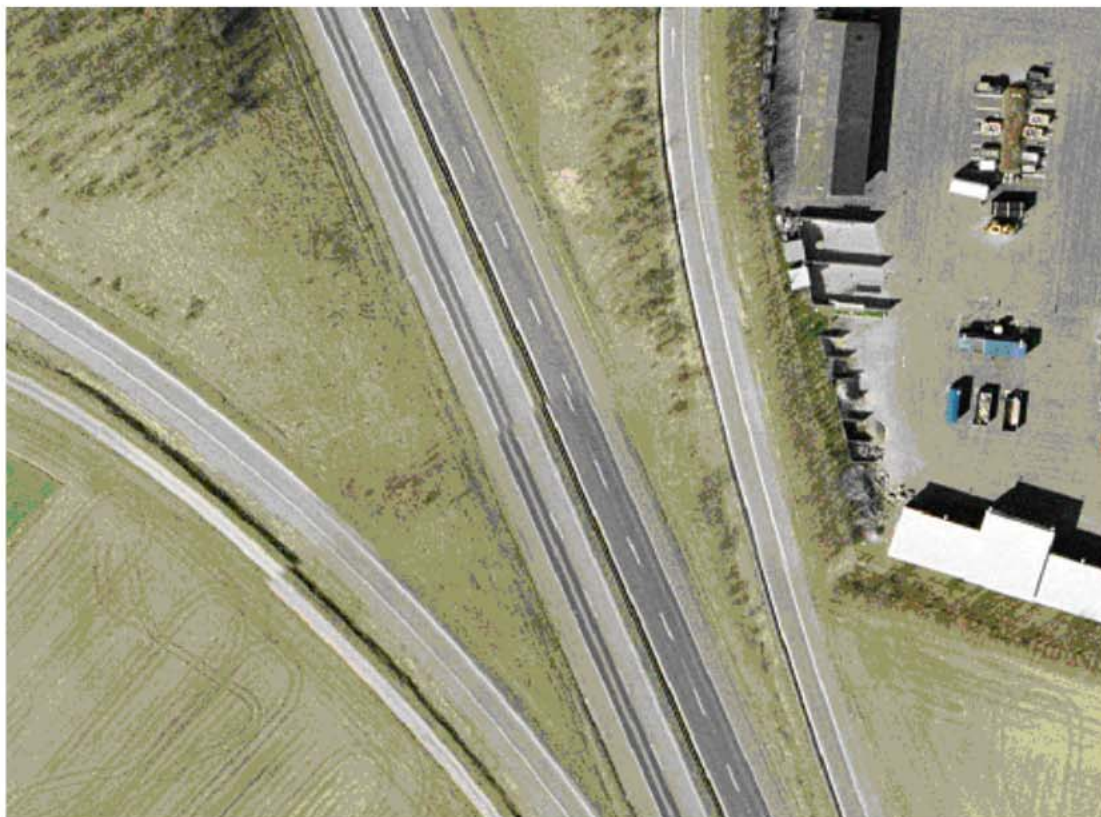
Nærbillede af overlapsområde med 4 ortofotos



Som ovenfor, men med fastlagte sømlinjer (gule linjer)



Fejl i automatisk genereret sømlinje



Fejl i DHM



Ortofotomosaik før kontrast- og farvetilpasning



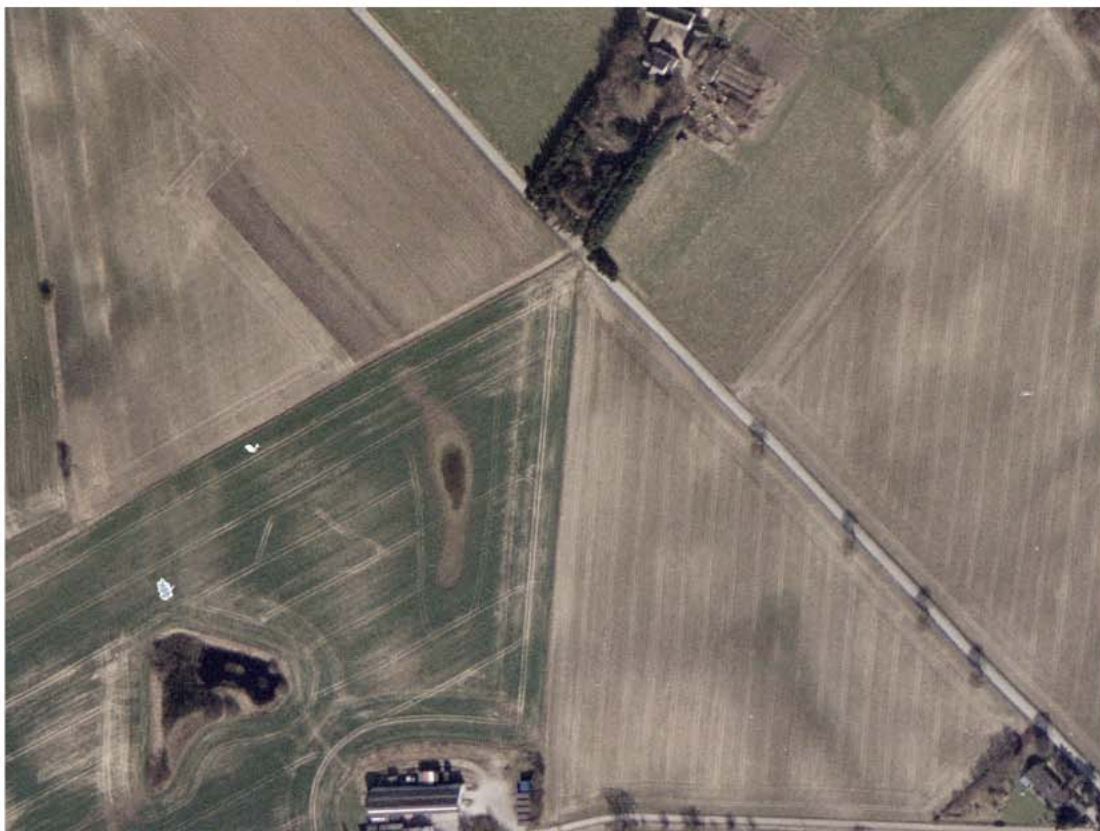
Ortofotomosaik efter kontrast- og farvetilpasning



Forår



Sommer



Forår, 4. april 2004.



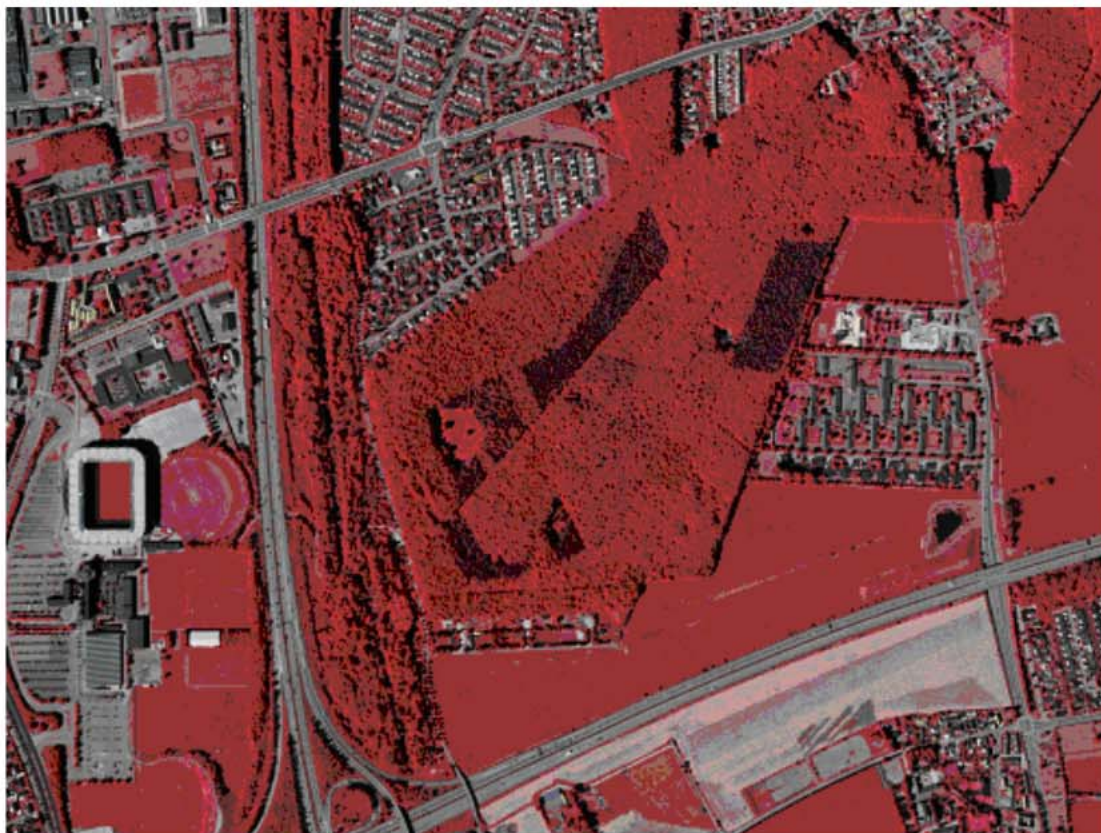
Forår, 10. maj 2004



Forårsbillede, nærinfrarød



Forårsbillede, RGB



Sommerbillede, nærinfrarød



Sommerbillede, RGB



Farvenuancernes betydning



Farvenuancernes betydning



Farvenuancernes betydning



Farvenuancernes betydning

6. Appendiks

6.1 Appendiks 1: Fotogrammetriske begreber

Billedorientering

Ved billedorientering forstås bestemmelse af de 6 parametre, der skal til for at beskrive kameraets og dermed billedets placering i et rumligt koordinatsystem. De seks parametre angiver med tre parametre kameraets position (X, Y, Z) samt med tre parametre kameraets vinkler (ω, ϕ, κ) eller med græske tegn: (ω, ϕ, κ).

Projektionscenter

Projektionscenteret er det punkt inden i kameraet, hvor alle stråler i centralprojektion skærer hinanden. Dette punkt beskrives med koordinater i det "ydre" koordinatsystem. Z-koordinaten, eller koten til projektionscentret, bestemmes som koten til terrænpunktet lodret under kameraet plus flyvehøjden over terræn. For fuldstændigt at beskrive kameraets position i rummet kræves også en angivelse af kameraets drejninger omkring de tre koordinataksler.

Billedoverlap

Billedeoverlap er vigtigt for at sikre, at ortofotoet dækker det ønskede område. Findes der allerede både en højdemodel og en direkte orientering af billederne, er det kun nødvendigt, at ethvert punkt på jorden er dækket af ét billede. Men ønskes billederne også anvendt til at skabe en højdemodel fra, eller skal der foretages en aerotriangulation, skal hvert punkt på terrænet være afbildet i mindst 2 billeder med forskellig betragningsvinkel. Herved opnås det, der kaldes stereodækning, altså at man i billederne kan se stereo og heri gennem højder. I praksis opnås stereodækning ved, at billederne tages i striber, hvor hvert billede overlapper det foregående med for eksempel ca. 60 % længdeoverlap.

Hvis det ikke kan lade sig gøre at dække interesseområdet med 1 stribe, må man flyve flere. Sammenhængen mellem striber (imod effekt af utilsigtede vipning af flyet) sikres ved at planlægge de enkelte striber med overlap på ca. 20 % (sideoverlap).

Filtre

Filtre er coatede glasplader, der monteres foran det analoge kamera for at undgå, at dele af lys-spektrret kommer frem til filmen. Anvendelse af filtre kunne være for at undgå blåstik, hvis der ved jorden er let dis. Ved de digitale sensorer anvendes også filtre, som er indbygget i kameraet. Ved kameraer med flade-chips (matrix array) anvendes absorptionsfiltre, som ligger før CCD'en som glas eller ovenpå CCD'en som lag (coating). Interferensfiltre, som anvendes i linjescannere, muliggør spektrale bånd, som ikke overlapper hinanden.

Hotspot (solplet)

Solens genspejling i terrænet vil give anledning til de såkaldte hotspots: Et område i billedet, der er væsentlig lysere end resten af billedet. Denne belyningsforskel i billedet kan fjernes ved "radiometrisk beregning" eller ved digital billedmanipulation af det færdige billede.

På grund af forskellig afstand fra kameraet til henholdsvis for- og bagkant af det område på jorden, billedet dækker, vil der være forskellig belysning af billedet. Billedet vil være lysest ved den nærmeste kant og gradvist blive mørkere i forhold til solens position.

Billedvandring (FMC / TDI)

Ved billedvandring forstås det fænomen, at billedet ved flyfotografering ikke "står stille", mens billedet eksponeres. Selvom kameraet kun bevæger sig ganske kort, mens lukkeren er åben, giver det alligevel anledning til uskarpe billeder. Dette kan der kompenseres for ved hjælp af FMC (Forward Motion Compensation). I digitale kameraer sker dette under aflæsningen af sensorerne ved hjælp af TDI (Time Delayed Integration). Ikke alle digitale kameraer har denne teknologi. Ved de analoge kameraer bestod FMC af en anordning, der flyttede filmen fremad i flyets bevægelsesretning, mens lukkeren var åben, således at filmen "stod stille", mens den eksponeres. Fænomenet kendes ikke i linjescannere, der tager billedet linjevise eller momentant.

Scanning af analoge film

Ved scanning forstås den proces at omsætte et analogt billede til digital form. Scanning foretages i specielt fremstillede scannere, der automatisk kan scanne hele luftfotofilm med negativer på 23 cm x 23 cm. Ved scanning er en af de vigtige parametre hvilken opløsning, filmen ønskes scannet ved. Typiske scaningsopløsninger ligger mellem 12 µm og 21 µm.

Pixel

En pixel er den mindste informationsbærende enhed i et digitalt billede. Ved et sort/hvidt billede bærer en pixel information om gråtoner, der normalt er angivet ved en værdi mellem 0 og 255. Er der tale om farvebilleder, angives der for hver pixel 3 værdier; en for rød, en for grøn og en for blå og eventuelt en fjerde værdi, hvis det nærinfrarøde bånd inkluderes.

For med sikkerhed at kunne genkende et objekt er det erfaringen, at objektet minimum skal have en udstrækning af størrelsesordenen ca. 3 pixels.

GSD

Ground Sampling Distance er den geometriske opløsning ved optagelsen af billedet. Det måles i naturen og angives i meter eller centimeter. GSD kan beregnes, når kamerakonstant (c), pixelstørrelse i CCD'en (pel') og flyvehøjde (h) er kendt.

$$GSD = (pel') * h / c$$

Værdien er ikke en konstant i alle områder, fordi flyvehøjden over jorden er forskellig pga. terrænets højdeforskelle.

Optages for eksempel digitale billeder med et DMC-kamera (c = 120 mm, pel' = 0.012 mm) fra en højde h = 1000 meter over terræn, så har flybillederne en middel GSD på:

$$GSD = 0.012 \text{ mm} * 1000 \text{ m} / 120 \text{ mm} = 10 \text{ cm.}$$

Resampling

Resampling er en matematisk teknik, der går ud på at danne nye pixels med nye værdier ud fra de eksisterende pixels efter forud fastsatte regler. Der tales her ofte om upsampling og downsampling. Ved downsampling reduceres antal pixels, hvorved de enkelte pixels reelt bliver større. Man kan her tale om, at man har for megen information. Ved upsampling får man derimod flere pixels, end man havde til at starte med. Man har altså for lidt information i inputdata, hvorfor man reelt "gætter" sig til nye værdier. Upsampling kan sammenlignes med digital zoom.

Radiometrisk opløsning / Farvedybde

Den radiometriske opløsning opgøres i bit og er det antal gråtoner, der er pr. kanal. Typisk taler man om billeder i 8, 12 og 16 bit. I et 8 bits billede er der 256 gråtoner per kanal. Med 3 kanaler (RGB) bliver dette til godt 17 millioner farver (faktisk 16.777.216). Dette kan virke som mange farver, men med besværlige optageforhold er det ofte for lidt til rå billeder, hvorfor 12 bit anvendes. I 12 bit er der 4096 gråtoner pr. kanal eller godt 69 milliarder farver – mere end rigeligt til at se nuancer i både skygger og på hvide tage.

Maksimal punktmidelfejl

$$\sigma_{\text{omax}} = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2 \cdot c} \cdot \sigma_{\text{dhm}}^2 + \frac{h}{c} \cdot \sigma_{\text{ob}}^2}$$

c kamerakonstant

h er flyvehøjden

σ_{dhm} middelfejlen på koterne i højdemodellen

σ_{ob} punktmidelfejlen i billedet fra orienteringen

a · b det effektive billedareal

$$a = (1 - q/100) \cdot s_v$$

$$b = (1 - p/100) \cdot s_{\text{fl}}$$

s_{fl} billedformat i flyverretning (f.eks. 92,2 mm)

s_v billedformat på tværs af flyverretning (f.eks. 165,9 mm)

q sideoverlap [%]

p længdeoverlap [%]

Eksempel: Et ortofoto produceres fra flybilleder (c=120mm, s_{fl} =7680 pixels=92,2 mm, s_v =13824 pixels=165,9 mm, h=1000 m, GSD=10 cm) og en højdemodel med en højdemiddelfejl på 0,2 m. Billederne er optaget med 60 % længdeoverlap og 20 % sideoverlap, hvilket giver et effektivt billedareal på 132,7 mm x 36,9 mm, hermed er a= 132,7 mm og b= 36,9 mm. Punktmidelfejlen fra orienteringen (σ_{ob}) sættes til 0,02 mm. Den maksimale punktmidelfejl af ortofotoet bliver i naturen således:

$$\sigma_{\text{omax}} = \sqrt{\frac{(0,8 \cdot 165,9\text{mm})^2 + (0,4 \cdot 92,2\text{mm})^2}{2 \cdot 120\text{mm}} \cdot 0,2\text{m}^2 + \frac{1000\text{m}}{120\text{mm}} \cdot 0,02\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\text{omax}} = 0,202\text{m}$$

6.2 Appendiks 2: Ortofotos – Brugervejledning.

Fotos og ortofotos:

I en masse forskellige sammenhænge støder man på digitale kort, ikke mindst på Internet (offentlige hjemmesider, Google Maps, Google Earth, diverse boligportaler, Krak, De Gule Sider og andre vejvisere).

Kortene indeholder ofte baggrundsfotos, der kaldes luftfoto eller satellitfoto. Dette foto vil være det, man kalder et ortofoto. Det er behandlet, så det passer sammen med det underliggende kort. Et almindeligt luftfoto vil nemlig være vipet og drejet ligesom højdeforskelle i landskabet, hvilket gør, at det ikke passer sammen med almindelige kort.

I de mere avancerede mobiltelefoner og bilnavigatorer er ortofotos ligeledes en realitet.



Billedet til venstre viser et almindeligt luftfoto sammenstillet med bygninger og vejmidter fra et målfast kort. Til højre vises et ortofoto sammenstillet med samme kort. I figuren til venstre ses store afvigelser mellem vejmidten fra fotoet og fra kortet, ligesom bygninger fra kortet visse steder ligger langt ude i vejarealet fra fotoet.

Ortofoto

Et ortofoto er typisk produceret ud fra en serie digitale luftfotos, der er taget indenfor et meget kort tidsinterval, typisk få dage. De digitale fotos rettes op og sættes sammen i en omfattende beregning, der resulterer i et målfast foto – et ortofoto. Ud over en masse computerkraft og specielt programmel, kræver processen, at man har kendskab til den præcise placering af nogle objekter, der er synlige i fotoet samt til oplysninger om højdeforhold i det område, fotoet dækker.

I ortofotoet vil bygninger og andre objekter, der 'rager op', kunne 'ligge ned'. Hvor meget et objekt ligger ned afhænger ikke kun af objektets højde, men især af, hvordan det ligger i det konkrete foto, der benyttes i ortofotoet. Befinder en bygning sig i midten af fotoet, vil den stort set ikke ligge ned, men befinder den sig i kanten af fotoet, vil den ligge meget ned.



2 ortofotos – samme område: Det venstre ortofoto er fra kanten af et foto, det højre ortofoto er fra midten.

Tidligere var ortofotos over større områder ikke af så god kvalitet. De blev uskarpe, når man zoomede ind. Men med den øgede anvendelse og dermed forbedrede økonomi er der nu ortofotos tilgængelige over hele Danmark i høj kvalitet, der forbliver skarpe, selv når man zoomer langt ind. Selv små detaljer som brønddæksler og højttænder er synlige.



Til venstre ortofoto fra 1995 (første landsdækkende - 80 cm pixels) og til højre ortofoto fra 2008 (10 cm pixels). Dæksler og vejafstrikning er synlige i fotoet fra 2008. For tydelighedens skyld er der zoomet langt mere ind i fotoet fra 1995, end man normalt ville kunne tillade sig.

Anvendelse

Ortofotets styrke er, at det i modsætning til et traditionelt kort umiddelbart virker genkendeligt, også for den ikke-kortkyndige. Det benyttes i mange sammenhænge, ikke mindst på Internet.

Tidligere blev ortofotoet især anvendt til sagsbehandling i den offentlige sektor (herunder visning på web), og det er stadig herfra, den væsentligste finansiering af produktet kommer. Men i dag er det sted, man som borger typisk støder på ortofotoet, diverse kommercielle webløsninger – ikke mindst Googles løsninger eller løsninger, der er baseret på Googles kort.

Ortofotoet er målfast, dvs., man kan måle afstande og arealer i jordhøjde. For genstande, der stikker op over jordhøjde (f.eks. bygninger, hække og master), vil målene være forkerte, med mindre man måler til genstandens bund. Det er ikke altid muligt at se bunden af genstanden, fordi bunden kan ligge i skygge eller skjult bag høje objekter. I det hele taget skal man være opmærksom på, at der kan være detaljer, man ikke kan se nær ved eksempelvis høje bygninger.



Ortofotos med angivelse af bygningernes sande placering (rød linje). I begge ortofotos er den høje bygning midt i billedet 'vættet' ca. 13 meter. I det venstre ortofoto er bygningen 'vættet' mod nord, hvorved en mindre bygning (65 m² – markeret med rød pil) slet ikke vises. I det højre ortofoto 'vætter' bygningen mod vest ud over et grønt areal – og så kan der være andre detaljer, der forsvinder.

Ortofotets kvalitet og karakter

Afhængig af i hvilken sammenhæng, ortofotoet bruges, kan der stilles forskellige krav til kvaliteten og karakteren, ligesom forskellige brugere forstår noget forskelligt ved disse ord. Generelt kan ortofotoet beskrives ved nedenstående forhold:

- fototidspunkt (hvor gammelt er fotoet og på hvilken årstid, er det optaget?)
- fotokvalitet - flyvehøjde, vejrforhold og benyttet kamera
- opløsning (hvor stort et område 'på jorden' dækker 1 pixel?)
- nøjagtighed (hvor præcist kan man forvente at måle i ortofotoet?)
- grafisk udseende (farvejustering, sammensætning af fotos)



Ortofoto taget før løvspring og ortofoto taget efter løvspring. De fleste vil mene, at ortofoto taget efter løvspring er 'pænere', men til professionel brug er fotos taget før løvspring ofte at foretrække, da der er langt flere detaljer synlige (f.eks. brønddæksler under træer).

Adgang til ortofotos:

Den ikke-professionelle bruger vil typisk få ortofotoet 'leveret' på computerskærmen via en webbrowser, altså når man besøger en hjemmeside, der indeholder ortofotos.

Den professionelle bruger har hidtil typisk fået leveret ortofotoet på harddisk eller DVD og i et format, som er læsbart i det GIS-program, det skal anvendes i. Der kan være tale om levering af enkelt-filer f.eks. delt op i 1 x 1 km felter eller en stor fil dækkende hele det relevante område.

Professionelle brugere benytter i stigende grad ortofotos hentet over Internet, typisk via såkaldte web-services.



Ortofotoet er nu også tilgængeligt på mobilen

Ortofotos i fremtiden:

Som supplement til nuværende ortofotos optaget fra fly, vil man i fremtiden se ortofotos produceret ud fra satellitoptagelser. Der findes allerede sådanne kommercielle produkter, men opløsningen og nøjagtigheden er stadig forholdsvis lav – i hvert fald i de civile løsninger. Der er i øjeblikket ingen dansk distributør af disse satellit-ortofotos, så det kan være lidt svært at få fat i et ortofoto. Samtidig er det forholdsvis dyrt ved især mindre udsnit og det er nok især der, et næ-

sten tidstro produkt ville have sin store force. Men det er sikkert kun et spørgsmål om tid, inden markedet er så stort, at der vil dukke mere tilgængelige løsninger op.

Så et fremtidigt scenarie kan være, at man vil kunne få leveret et ortofoto i abonnement – f.eks. et nyt ortofoto hver måned optaget fra satellit, og produceret stort set uberørt af menneskehånd, og derfor til en attraktiv pris.

Links:

<http://da.wikipedia.org/wiki/Ortofoto>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Orthophoto>

http://www.denstoredanske.dk/index.php?title=Rejser%2C_geografi_og_historie/Geografi/Kartografi/M%C3%A5leinstrumenter_og_teknik/Ortofoto

<http://www.gis-geodata.dk/>

http://www.crcsi.com.au/uploads/publications/PUBLICATION_306.pdf

6.3 Appendiks 3: Brev fra Miljøministeriet

.....
MILJØMINISTERIET

Kort & Matrikelstyrelsen

Geoforum Danmark
Kalvebod Brygge 31
1780 København VMatrikel og Jura
J.nr. KMS-632-00029
Ref. LB
Den 13. november 2009

I brev af 13. juli 2009 (j. nr. Geoforum-40-0002) rejste Geoforum Danmark spørgsmålet om, hvorvidt der af hensyn til beskyttelse af privatlivets fred bør fastsættes retningslinier for ortofotos maksimale opløsning og retningslinier om radering af dele af ortofoto, som krænker privatlivets fred. Spørgsmålet er blevet aktuelt på grund af, at brugen af ortofotos på internettet bliver mere udbredt, og på grund af teknologiske fremskridt, som medfører, at ortofotos fremstilles med stadig større opløsningsgrad.

For så vidt angår anvendelse af fotografier, er privatlivets fred beskyttet af bestemmelserne i straffelovens § 264a om fotografering af personer og § 264d om videregivelse af billeder vedrørende en andens private forhold.

Efter straffelovens § 264a er det strafbart uberettiget at fotografere personer, som befinder sig på et ikke frit tilgængeligt sted. En have eller anden form for ejendom er et ikke frit tilgængeligt sted i bestemmelsens forstand. Fotografering af personer, som befinder sig et sådant sted, vil imidlertid ikke være strafbar i alle tilfælde, da fotograferingen skal være uberettiget. Fotografering kan således være retmæssig, hvis den fotograferede person ikke er det egentlige motiv. Fotografering af et hus af arkitektonisk interesse anses således for lovlig, selvom der sidder personer på husets altaner, jf. Kommenteret Straffelov, Speciel del (9. udg.) side 428. Tilsvarende anses fotografering af et sommerhusområde for retmæssig, selvom der herved også fotograferes personer, som opholder sig på ejendommene, jf. Knud Waaben, Strafferettens Specielle del (5. udg.), side 200. Fotografering af landskabet fra fly må efter Kort & Matrikelstyrelsens mening ligeledes være retmæssig, selvom der herved også måtte blive fotograferet personer, som befinder sig på ikke frit tilgængelige steder.

Straffelovens § 264d forbyder uberettiget videregivelse af billeder vedrørende andres private forhold. Bestemmelsen antages ikke at omfatte alle billeder vedrørende andres private forhold. Der skal være noget krænkende ved videregivelsen af billedet for, at videregivelse er strafbar, og videregivelse af billeder med et neutralt indhold anses ikke for strafbar, jf. herved Knud Waaben, Strafferettens Specielle del (5. udg.), side 204. Fotografier af

landskabet fra fly vil formentligt kun i få tilfælde indeholde sådanne oplysninger, at videregivelse af billedet kan være strafbar.

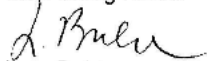
Det er imidlertid to yderligere betingelser for, at videregivelsen er strafbar, nemlig at videregivelsen er uberettiget, og at billedet videregivet med forsæt til at krænke den fotograferede. Disse betingelser vil efter Kort & Matrikelstyrelsens mening i almindelighed ikke være opfyldt. Styrelsen lægger her vægt på, at billedet videregives som led i normal distribution af ortofotos, og at det i de tilfælde, hvor et ortofoto indhold er krænkende, vil dette indhold kun udgøre en mindre del af ortofotoet, samt at det formentligt kan være vanskeligt at blive opmærksom på dette indhold, før ortofotoet videregives.

I tilfælde, hvor den virksomhed, som sælger eller distribuerer ortofotos, er blevet opmærksom på, at et ortofoto har et krænkende indhold, gør de førnævnte forhold sig ikke gældende, og videregivelse kan derefter være strafbar. Hvis de krænkende dele af billedet ændres ved sløring eller radering, således at den pågældende person ikke kan identificeres, bortfalder forsættet til krænkelse imidlertid, og videregivelse vil være lovlig, jf. Knud Waaben, Strafferettens Specielle del (5. udg.), side 196.

Kort & Matrikelstyrelsen finder på denne baggrund, at der ikke er tilstrækkelig grundlag for at fastsætte normer for ortofotos maksimale opløsning eller om radering eller sløring af dele af ortofotos, som har et indhold, der kan krænke privatlivets fred.

Kort & Matrikelstyrelsen beklager det sene svar.

Med venlig hilsen



Lars Buhl
Specialkonsulent

7. Litteratur

Albertz, J., Einführung in die Fernerkundung -Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern, 2.udgave, s. 158, 2001

American National Standard for Information Technology – Geographic Information Framework – Data Content Standards For Digital Orthoimagery, Draft September 30, 2003

DIN 18740-3 Photogrammetrische Produkte, Teil 3: Anforderungen an das Orthophoto, Oktober 2003

Eija Honkavaara et al: Quality of FLPIIS Orthophotos, Reports of the Finnish Geodetic Institute, Kirkkonummi 1999

Geographic Information/Geomatics ISO/TC211 N1273 2002-05-03
Text of 19113 Geographic information – Quality principles, as sent to the ISO Central Secretariat for registration as FDIS

Geographic Information/Geomatics ISO/TC211 N915 2000-05-05
Final text of ISO TR 19121, Geographic information – Imagery and gridded data, as sent to ISO for publication

Geographic Information/Geomatics ISO/TC211 N1227 2002-02-16
CD 19123.2 Geographic information – Schema for coverage geometry and functions

Geographic Information/Geomatics ISO/TC211 N1252 2002-04-15
WD 19129.2, Geographic information – Imagery, gridded and coverage data framework

Geographic Information/Geomatics ISO/TC211 N1431 2003-04-25
WD 19130.2, geographic information – Sensor and data model for imagery and gridded data

Geographic Information/Geomatics ISO/TC211 N1017 2000-12-01
Draft review summary from stage 0 of project 19124, Geographic information – Imagery and gridded data components

Guidelines for Quality Checking of Ortho Imagery, ISPR, 18/2/99 ;ARS
REF:sk/104/m1517/99

Haala, N., Hastedt, H., Wolf, K., Ressler, C., Baltrusch, S., PFG 02/2010, p. 99-115

LUFTFOTO En test af luftfoto med henblik på at vælge et "generelt amtsfoto", Amternes GIS-samarbejde, Kortgruppen, januar 1999.

Matxalen Sánchez Aranzamendi m.fl., august 2010 ESPI report 25, Current Legal Issues for Satellite Earth Observation

Notatet "Fotograferingstidspunkter", skrevet af Steen Davidsen og fremlagt på orienteringsmøde om luftfotografering d. 2-6-1992

Orava, E., 1994. Digitaaliset ortokuvat. Technical University of Helsinki, Masters Thesis

Produktionsbeskrivelse for ortofoto i Norge, Statens kartverk, November 2003

Specifikationer for Tekniske kort TK99, Skrevet af et udvalg under Kommunalteknisk cheffor-
ening, januar 1999

Specifikation för framställning av digitale ortofoton, Bilaga 3.6, 2003-09-08, Lantmäteriet

Braun, J., 2003, Aspects on True-Orthophoto Production, in: Fritsch, Proceedings of PhoWo
2003, pp. 205-213

www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo03/braun.pdf

Geoforum, 2008, Vejledning i etablering af 3D-bymodeller, udgave 1.0,

[http://www.geoforum.dk/Admin/Public/DWSDownload.aspx?File=%2fFiles%2fRappor-
ter%2f3D_vejledning_-_final-ver.0.2.pdf](http://www.geoforum.dk/Admin/Public/DWSDownload.aspx?File=%2fFiles%2fRappor-
ter%2f3D_vejledning_-_final-ver.0.2.pdf)

Habib, A.F., Kim, E., Kim, C., 2007, New Methodologies for True Orthophoto Generation, Pho-
togrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 73, No. 1, pp. 25-36

http://www.asprs.org/publications/pers/2007journal/january/2007_jan_25-36.pdf

