

Kortlægning baseret på satellitbilleder

- En undersøgelse af de
højopløselige satellitter

af Nikolaj Miller

Afgangsprojekt 2004
Landinspektøruddannelsen
Aalborg Universitet

Titel	Kortlægning baseret på satellitbilleder - En undersøgelse af de højopløselige satellitter
Projektperiode	1. februar 2004 – 17. juni 2004
Gruppemedlemmer	Nikolaj Miller
Hovedvejleder	Carsten Bech
Bivejleder	Joachim Höhle
Sideantal	118, samt 43 i bilag og appendiks
Bilagsantal	5. Herudover er en CD vedlagt, der indeholder testresultater
Forsideillustration	Illustration af forløbet fra scanning med Quickbird satellitten til det endelige kortværk. [Digitalglobe.com, 24.03.2004], [www.rummet.dk, 31.05.2004]
Oplag	7 stk.
	Projektet må kopieres med tydelig kildeangivelse

Synopsis

Dette afgangsprøjsjekt tager udgangspunkt i anvendelsesmulighederne for satellitbilleder i forbindelse med kortlægning. Det ønskes således undersøgt, om det er muligt at benytte højopløselige satellitbilleder i forbindelse med produktionen af DDO[®]land i Danmark.

Der foretages forskellige test af to scener fra den højopløselige satellit Quickbird, som skal gøre det muligt at vurdere satellitbilledernes geometriske nøjagtighed og billedkvalitet. Derudover udarbejdes forsøg, som gør det muligt at finde frem til, om satellitbillederne kan erstatte flybillederne i produktionen af DDO[®]land.

Det konkluderes, at det ikke direkte vil være muligt at erstatte DDO[®]land med behandlede satellitbilleder, da det dels økonomisk er dyrere at anvende disse, og det bliver vanskeligt at indsamle en landsdækkende scanning. Dog viser resultaterne af testene, at billedkvaliteten er ligeså god som de eksisterende ortofoto. På baggrund af konklusionen reflekteres der i perspektiveringens derfor over fremtidsudsigterne for de højopløselige satellitbilleder.

Abstract

This master thesis is based on the use of satellite images for topographic mapping. It is tested whether it is possible to use high-resolution satellite images for the production of DDO[®]land in Denmark.

The geometric accuracy of two scenes from the high-resolution satellite Quickbird is analyzed through tests. The tests concern the geometric and radiometric quality. Furthermore it is examined whether satellite images can replace aerial images in the production of DDO[®]land.

It is concluded that it is not directly possible to replace DDO[®]land with high-resolution satellite images. This conclusion is based on the fact that the satellite images are expensive to use. Furthermore it is difficult to conduct a scan that will cover the whole country. Though the results of the tests show that the quality of the images is as good as the already existing orthophotos. Based on the conclusion the future of high-resolution satellite images is put into perspective.

Forord

Nærværende afgangprojekt er udarbejdet på Landinspektøruddannelsens 10. semester ved Aalborg Universitet. Dette projekt skal således ses som afslutningen på hele den 5 årige uddannelse. Rapporten henvender sig i første omgang til vejledere og censorer, men kan også læses af andre med interesse for satellitbilleder og kortlægning ud fra disse. Det er dog en forudsætning, at læseren har forhåndskendskab til emnerne landmåling og kortlægning.

Litteraturhenvisninger til bøger og rapporter er angivet som [efternavn, udgivelsesår, side]. Henvisninger til web-adresser er angivet ved adressen samt datoen den er besøgt. Er der flere forfattere af samme navn og samme udgivelsesår, noteres der efter navnet enten A eller B bag. Uddybende information om kildematerialet findes bagerst i rapporten, som er ordnet alfabetisk. Litteraturhenvisninger refererer til foranstående sætning ved placering før det afsluttende punktum. Der refereres til det foregående afsnit, hvis litteraturhenvisningen er umiddelbart efter det afsluttende punktum. Litteraturhenvisninger på selvstændig linie refererer til afsnittende under overskriften. Figurer og tabeller er fortløbende nummeret under hvert kapitel. Sidst i rapporten findes en begrebsliste. I denne findes der forklaringer på ord, der gennem projektet er skrevet med kursiv. Henvisninger til andre af projektets kapitler eller afsnit fremgår ligeledes med kursiv. Endelig findes sidst i projektet 5 bilag indeholdende resultater fra projekts dataindsamling og test. Bagerst i rapporten findes 2 appendiks. Den ene appendiks redegør for, hvorledes den rationelle-funktions model er opbygget, mens det andet appendiks er en produktgennemgang fra firmaet DigitalGlobe, hvis læseren ikke har kendskab til disse emner på forhånd. Endeligt gøres der opmærksom på, at sidst i projektet findes en CD, hvorpå blandet andet udvalgt data kan findes.

Danmarks Topografiske kort er gengivet i overensstemmelse med aftalen mellem Aalborg Universitet og KMS (G 24-98). Når der anvendes andet billedmateriale, sker det med tydelig angivelse af, hvor det pågældende kortværk eller billedmateriale stammer fra.

Der rettes en tak til den danske afdeling af Ispra, herunder Danmarks Jordbrugsforskning ved Birger Faurholt Pedersen, som har udlånt Quickbirdbillederne. Endvidere rettes en tak til Leica Geosystem samt InformiGis for lån af programmet ERDAS.

Aalborg Universitet, 17. juni 2004

Nikolaj Miller

Indholdsfortegnelse

1 Indledning.....	1
1.1 Indgansvinklen til projektet.....	3
1.2 Initierende problemstilling.....	3
2 Projektbygning.....	5
2.1 Projektets hovedelementer.....	5
2.2 Projektbygning.....	6
3 Foranalyse.....	9
3.1 Hvilke satellitter benyttes i dag.....	9
3.2 Specifikationer for højopløselige satellitter.....	11
3.2.1 Ikonos.....	11
3.2.2 Quickbird.....	13
3.3 Satellitternes karakteristika.....	13
3.3.1 Satellitbanen.....	13
3.3.2 Scanningsmetoden.....	16
3.3.3 Ydre orientering.....	17
3.3.4 Indre orientering.....	20
3.3.5 Fejl på grund af kameraets drejefunktion.....	21
3.4 Satellitbilledets bestanddele.....	23
3.4.1 Billedets spektrale opløsning.....	23
3.4.2 Billedets radiometriske opløsning.....	24
3.5 Programpakker til behandling af satellitbilleder.....	25
3.6 Kortfremstillingen ved hjælp af flyvebilleder i Danmark.....	27
3.6.1 Produkter.....	27
3.6.2 Brugere af flybilleder.....	28
3.7 Kortproduktions grundlaget.....	30
3.8 Sammenfatning på foranalysen.....	32
4 Problemformulering.....	33
4.1 Resultat af foranalysen.....	33
4.2 Endelig problemformulering.....	34
4.3 Beskrivelse af kvalitetsundersøgelsen.....	34
4.4 Afgrænsning.....	36
5 Databeskrivelse.....	37
5.1 Områdebeskrivelse af Læsø.....	37
5.2 Materialer.....	38
5.2.1 Billedmaterialet.....	38
5.2.2 Programmet.....	39
5.2.3 DDO [©] land.....	39

6	Dataindsamling	41
6.1	Planlægning	41
6.1.1	Identificering af punkter	41
6.1.2	Punktnummerstrategi	45
6.1.3	Fremgangsmåde for dataindsamling	45
6.2	Databehandlingen	48
6.2.1	Erfaringer fra opmålingen på Læsø	48
6.2.2	Klargøring af rådata	49
7	Udførelse af test	53
7.1	Test 1 – Geometrisk nøjagtighed	54
7.1.1	Teori	54
7.1.2	Udførelse	56
7.1.3	Resultater	57
7.1.4	Vurdering	61
7.2	Test 2 - Billedtransformation	64
7.2.1	Teori	64
7.2.2	Udførelse	66
7.2.3	Resultater	67
7.2.4	Vurdering	70
7.3	Test 3 – Radiometrisk opretning	71
7.3.1	Teori	71
7.3.2	Udførelse	73
7.3.3	Resultater	74
7.3.4	Vurdering	78
7.4	Test 4 – DDO [©] land	78
7.4.1	Teori	78
7.4.2	Udførelse	79
7.4.3	Resultater	80
7.4.4	Vurdering	84
7.5	Test 5 - Mosaikdannelse	85
7.5.2	Udførelse	86
7.5.3	Resultater	87
7.5.4	Vurdering	90
7.8	Sammenfatning på testene	90
8.	Økonomiske overvejelser	93
8.1	Billedmaterialet fra DigitalGlobe	93
8.2	Bearbejdningsprocessen	94
8.3	Prisen for satellitbilleder	95
8.4	Sammenfatning	96
9.	Konklusion	97
9.1	Svar på problemformulering og underspørgsmål	97
9.2	Den geometriske nøjagtighed og billedkvalitet	99

9.3	Anvendelse af satellitbilleder til DDO [®] land	100
10.	Perspektivering	103
10.1	Forbedringsmuligheder for Quickbird scenen	103
10.1.1	Anvendelse af højdemodel over Læsø	103
10.1.2	Billedopretninger i større produktioner	104
10.1.3	Brug af den infrarøde kanal	105
10.2	Andre applikationsmuligheder	106
10.2.1	Kortlægning af Grønland	106
10.2.2	Gødningsplaner	107
10.2.3	Monitorering af de danske kystlinier	108
10.2.4	Hasteopgaver	108
10.3	Fremtidsplanerne for de højopløselige satellitter	109
	Begrebsliste	111
	Litteraturliste	113

Appendiks

- A: Den rationelle funktionsmodel
- B: Satellitbilleder fra DigitalGlobe

Bilag

- 1: Målinger på Læsø
- 2: Beregning af højdeforskydninger
- 3: Gaussisk strækning
- 4: Beregningsark til Test 4
- 5: Resultater af opretning

1 Indledning

Gennem de seneste 100 år har billedoptagelsen fra luften gennemgået en stor udvikling. Med dette menes både udviklingen indenfor selve dataindsamlingen og efterbehandlingen af billederne. Indenfor de sidste 15 år er det at tage billeder fra lufrummet gået fra analoge luftfotos over til digitale billedoptagelser. De senere år især har anvendelse af satellitbilleder vundet indpas.

For at give et indblik i disse tre produktionsmetoder, samt en forståelse af udviklingen indenfor fotogrammetrien beskrives disse.

De analoge luftfotos blev i starten behandlet ved hjælp af store tunge specielfremstillede udtegningsinstrumenter, som for eksempel Kelsh plotteren fra 1948, jævnfør figur 1.1. Maskinen er i stand til at vise to billeder med tilpas overlap i stereo, hvorved operatøren kan tegne et kort. I slutningen af 1970'erne blev denne proces overflyttet til analytiske instrumenter. Udviklingen bestod i, at data blev lagret på digital form i en datamat, jævnfør figur 1.2. Disse behandlingsprocesser har været meget langsomme, men inden for de seneste 15 år er disse analytiske instrumenter blevet skiftet ud med computeren. Det vil altså sige, at hele behandlingsprocessen foregår direkte på computere i dag. For at kunne benytte sig af computeren som redskab, indebærer det dog, at de analoge billeder først digitaliseres. Med dette menes, at de analoge billeder først skal igennem en proces, hvor hvert enkelt *billede scannes*. [Mikhail, 2001, s.156]

Indenfor digitale luftfoto er der også sket en stor fremgang siden det første digitale kamera blev præsenteret i 2000 af Leica. Fordelen med de nye digitale kameraer er, at hele digitaliseringsprocessen springes over. Måden, billedet optages på, kan skal ved enten at benytte en scanner som Leica's ADS40, eller et *multi CCD kamera* som ZI imagings kamera. Fælles for de nyeste digitale kameraer, som findes på markedet, er, at de under den samme optagelse er i stand til at splitte billedet



Figur 1.1: Kelsh plotter fra 1948. [www.dot.state.oh.us, 20.02.2004]



Figur 1.2: Zeiss C120 analytiskplotter. [www.dot.state.oh.us, 20.02.2004]

op i flere kanaler, så billederne med andre ord kan kaldes multispektrale. De forskellige kanaler består af pankromatisk, rød, grøn, blå og infrarød. Når billedet tages gennem en af de førnævnte kanaler betyder dette, at billedet eksempelvis optages med røde toner gennem den røde kanal. Ligeledes tages billedet med sorte og hvide toner i den pankromatiske kanal. Dette gør, at producenten kan tilbyde kunderne selv at vælge, hvilke farver billedet skal indeholde. For eksempel kan kunden ønske et almindelig farvebillede, hvilket produceres ud fra kanalerne rød, grøn og blå. [Z/I Imaging, 2003, s. 5-6], [www.leica.com, 16.02.2004]

Op gennem tiden har de analoge fotos gennemgået en geometrisk nøjagtighedsforbedring. Tidligere var de mindste objekter, der kunne ses i billedet, på meterniveau. I dag er de mindste objekter, som kan måles i billedet på centimeterniveau. Endvidere har de digitale kameraer bevirket en større udnyttelse af billederne, da de forskellige kanaler kan sammensættes efter behov. [Surveying Engineering Department, 2003]

I 1970'erne blev den første kommercielle satellit, som var udstyret med en *scanner*, sendt i kredsløb omkring jorden. Scanneren, som var i stand til at levere digitale billeder, blev benyttet af mange, selv om den geometriske opløsning på jorden var på ca. 80 meter pr. pixel. Dette har dog kun været satellitindustriens begyndelse. Allerede i 1982, hvor Landsat TM opsendtes blev det muligt at halvere pixelstørrelsen. Scannerens geometriske opløsning på jorden var hermed på ca. 35 meter pr. pixel. Dette bevirkede, at mange forskere såvel som politikere nu troede på, at denne teknologi var kommet for at blive. Op gennem firserne og halvfemserne var der kamp om at fremstille en satellit indeholdende en scanner med den bedste opløsning som resultere i en god geometrisk nøjagtighed. Umiddelbart før årtusindskiftet blev Ikonos den første satellit, der kunne kalde sig for højopløselig, idet satellitten scanner med en pixelstørrelse på cirka 1 meter på jorden. Næsten to år senere i 2001 blev endnu en højopløselig satellit opsendt. Satellitten kaldes Quickbird, og scanneren i denne har en geometrisk opløsning på ca. 0,6 meter pr. pixel, hvormed den næsten har fordoblet Ikonos' geometriske opløsning. Når der efterfølgende tales om højopløselige satellitter vil dette referere til opløsningen, og den geometriske nøjagtighed scanneren i satellitten har. Udviklingen af de højopløselige satellitter har de sidste par år resulteret i, at de nu har en nøjagtighed, som gør, at de får nye anvendelsesmuligheder inden for kortlægning. Eftersom den geometriske opløsning på scannerne i dag er på centimeterniveau, kan det forventes, at disse kan anvendes til helt nye formål. [www.ggy.uga.edu, 16.02.2004]

1.1 Indgansvinklen til projektet

Mit 9. semester under temaet kortlægning har jeg taget ved University of Melbourne, Australien, hvor jeg blandt andet har modtaget undervisning i anvendelsesmulighederne for Remote sensing og Fotogrammetri. Fotogrammetri kurserne varetages af professor Clive Fraser, som i særdeleshed fremhævede, hvorledes den nye generation af højopløselige satellitter vil få en stor indflydelse i fremtiden. Specielt fremhævede han, at de kunne benyttes i forbindelse med kortlægning allerede på nuværende tidspunkt. Dette skyldes, at billederne har en høj geometrisk nøjagtighed.

I Australien og verden over bliver der på nuværende tidspunkt gennemført mange projekter for at undersøge, hvorledes disse højopløselige satellitter kan anvendes. På nuværende tidspunkt benyttes de primært i forbindelse med naturkatastrofer, da satellitterne hurtigt kan levere billeder over sådanne områder. Et eksempel på brugen af dem i Australien er bekæmpelse af de mange skovbrande, som kan være et stort problem der. Ud over at benytte dem i forbindelse med naturkatastrofer anvendes de i forbindelse med kortlægning. I specielt Australien, som er et meget stort land, er satellitbilleder fordelagtige, da der både ligger økonomiske og tidsmæssige fordele i at anvende de højopløselige satellitter i forbindelse med kortlægning.

På nuværende tidspunkt bliver de højopløselige satellitter ikke benyttet i særlig stor grad herhjemme. Dette kan skyldes, at Danmark er et forholdsvis lille land med en allerede god kortdatabase. Det vil dog være spændende at se nærmere på denne teknologi for at finde frem til, hvilke anvendelsesmuligheder der er ved kortlægning i Danmark ud fra satellitbilleder.

1.2 Initierende problemstilling

I det foregående er det anskueliggjort, hvorledes udviklingen inden for luftfotogrammetri har forløbet. Der hersker ikke tvivl om, at digitale flyfoto har fået en meget stor betydning indenfor kortlægning i dag. Det digitale flyfoto gør sig nemlig både gældende inden for kortlægning af nye områder såvel som ajourføring af eksisterende kort. Dette skyldes, at nøjagtigheden i billederne er blevet meget høj, samtidig med at bearbejdningstiden fra eksponeringen til det færdige ortofoto er væsentlig forbedret.

Yderligere er det blevet belyst, hvorledes højopløselige satellitter kan vinde indpas i fremtiden. Det findes derfor interessant at se nærmere på denne teknologi. Årsagen til denne interesse er, at der kan produceres satellitbilleder i dag med meget høj

Kortlægning baseret på satellitbilleder

geometrisk nøjagtighed i billedet. Dette leder frem til den igangsættende problemstillingen, som lyder:

Kan højopløselige satellitbilleder i fremtiden benyttes til topografisk kortfremstilling i Danmark?

Grunden til, at der netop vælges at arbejde med Danmark som kortlægningsobjekt, og ikke på verdensplan, er, at der endnu ikke findes nogle undersøgelser herhjemme omkring højopløselige satellitter til kortlægningsformål. Endvidere er Danmark et oplagt mål for sådan en kortfremstilling. Dette skyldes, at landet er tilpas lille, og der er stor variation i landskabet. Med det menes, at Danmark er omgivet af kyster og har mange små øer. Endvidere har Danmark heller ikke store højdeforskelle, som der findes i mange andre lande.

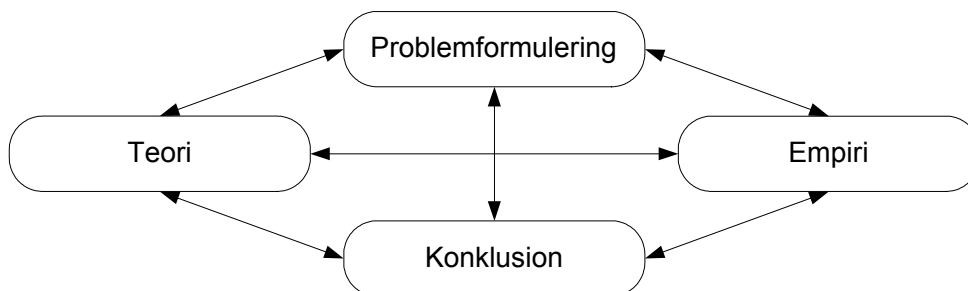
2 Projektopbygning

Dette kapitel har til formål at redegøre for opbygningen af projektrapporten. I forbindelse med struktureringen af arbejdsprocessen og afrapporteringen i et projekt er det vigtigt af følge en overordnet metode. Metoden skal dels sikre en sammenhæng i projektførløbet, og dels sikre at problemformuleringen besvares i konklusionen. Inden projektets problemstillinger søges besvaret, er det vigtigt først at fastlægge, hvilken fremgangsmåde der skal anvendes for at opnå dette. Der præsenteres indledningsvis en generel model for projekts opbygning, hvorefter der vises en model af projektopbygningen.

2.1 Projektets hovedelementer

Da løsningen af alle problemer ikke kan struktureres på samme måde, er det vigtigt at gøre sig overvejelser om, hvorledes projektførløbet skal opbygges samt struktureres, så det er muligt at bevare de forskellige problemstillinger, der rejses gennem projektet. Denne proces udføres for at skabe overblik over, hvilke elementer der skal indgå i analysen, og hvilke forhold der skal tages i betragtning, således der bliver en logisk sammenhæng igennem hele projektet.

Det er ikke muligt at opstille præcis, hvilke elementer der konkret skal indgå i projektarbejdet, men det er dog muligt at pege på fire hovedelementer, der bør indgå. Disse fire hovedelementer er illustreret på figur 2.1.



Figur 2.1: Videnskabsprocessens hovedelementer i et projektførløb. [Andersen, 1997, s. 30]

De fire elementer i projektarbejdet er problemformulering, empiri, teori og konklusion. Pilene på figuren henviser til de forskellige former for analyser, der foretages i projektarbejdet for at knytte de fire hovedelementer sammen. I det følgende forklares de fire hovedklasser.

Kortlægning baseret på satellitbilleder

Problemformulering:	En kort fremstilling af, hvilket problem der gennem projektarbejdet ønskes be- eller afkræftet. Problemformuleringen vil oftest ligge i starten af projektet. Der er således problemformuleringen, der styrer indholdet af projektet.
Teori:	En fastsat model, som anvendes til at belyse et emne, hvorefter et kvalificeret resultat fremkommer. Det vil sige at, en teori anvendes for at løse et problem.
Empiri:	Er de iagttagelser, der foretages for at opnå et større kendskab til emneområdet. Det vil sige, at empirien sikrer projektets validitet og sammenhæng med virkeligheden. Empirien leder ofte frem til den teori, der skal anvendes.
Konklusion:	Her besvares problemformuleringen og hovedlinierne i projektet samt hovedresultaterne præsenteres. Konklusionen skal afspejle den nye viden og erkendelse, der er opnået via projektarbejdet.

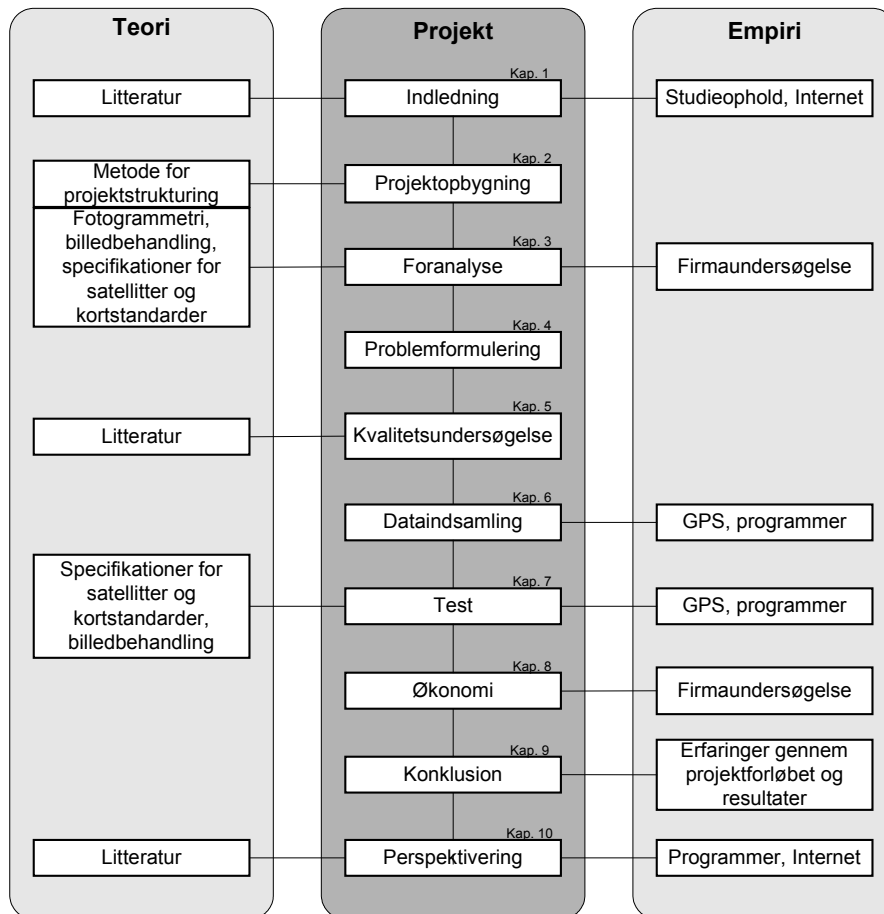
Rækkefølgen af de enkelte elementer afhænger af det projekt, der er under udarbejdelse. Endvidere er projektarbejdet en iterativ proces, og derfor vil de enkelte elementer hyppigt gå igen flere gange, da ny viden kan medføre inddragelse af nye teorier og empiri.

[Andersen, 1997]

2.2 Projektopbygning

I dette projekt vælges der at arbejde med højopløselige satellitter i forbindelse med topografisk kortlægning som et overordnet emne. Der er med ovenstående beskrivelse valgt en overordnet metode, der skal danne rammerne om opbygningen af projektet.

Projektopbygningen illustreres på figur 2.2, hvor det fremgår, hvilke teorier der anvendes, samt hvorfra empirien stammer.



Figur 2.2: Projektets struktur.

I Indledningen gennemgås den udvikling, som er sket indenfor kortlægningen og dermed de fotogrammetriske instrumenter og behandlingsprocesser. Dette udmunder sig i den initierende problemstilling. I projektopbygningen gennemgås selve strukturen for projektet.

I Foranalysen beskrives først, hvilke satellitter der kan benyttes i sammenhæng med kortlægning. Med dette menes en overordnet forklaring på, hvilke højopløselige satellitter der eksisterer. Efterfølgende analyseres de tekniske specifikationer for de højopløselige satellitter, der vælges at arbejde videre med i projektet.

Herefter gennemgås et udpluk af de programmer, der kan benyttes i forbindelse med bearbejdning af satellitbilleder. Dernæst ses der på, hvorledes kortfremstillingen foregår i dag, samt hvilke fotogrammetriske firmaer der findes i Danmark. Som afrunding på kapitlet angives der, hvilke kortstandarder der findes samt hvem,

Kortlægning baseret på satellitbilleder

der benytter sig af ortofoto til kortfremstilling i Danmark. Dette gøres for til sidst at opstille et skema, der har til formål at afklare, hvilke kortprodukter som kan fremstilles baseret på satellitbilleder.

På baggrund af teorien og empirien i foranalysen udarbejdes en problemformulering, som danner grundlag for det videre projektforsøg. Med udgangspunkt i problemformuleringen opstilles der en mere specifik opgavedefinition til undersøgelsen. Gennem denne opgavedefinition redegøres der for, hvilke områder der ønskes testet. I testene undersøges, hvilke egenskaber de højopløselige satellitter har. Resultaterne fra testene danner baggrund for den endelige konklusion.

Inden der til sidst opsamles på projektet konklusionen, gennemgås de økonomiske overvejelser. Dette er nødvendigt for at se, om en eventuel produktion af en ny landsdækkende ortofotoserie taget med scanninger fra en højopløselig satellit er realistisk.

Slutteligt samles der op på projektet, og der svares på den opstillede problemformulering i konklusionen. For at afrunde projektforsøget udarbejdes en perspektivering, hvor der blandt andet reflekteres over andre anvendelsesmuligheder for satellitbilleder.

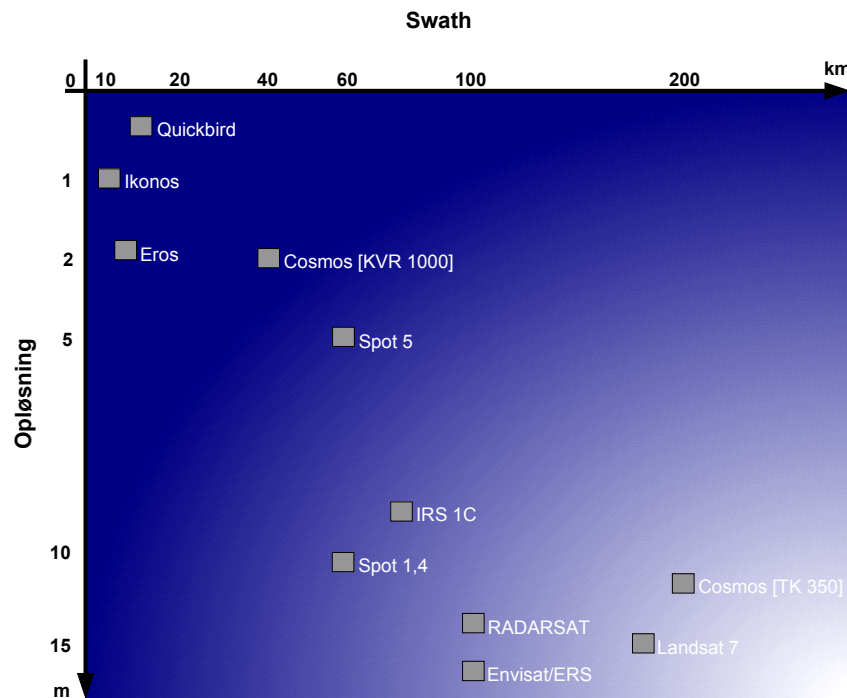
3 Foranalyse

Formålet med dette kapitel er at beskrive, hvilke højopløselige satellitter der kan benyttes i forbindelse med produktion af topografiske kort over Danmark. Derfor vil første afsnit omhandle, hvilke satellitter der benyttes i dag. Dette gennemgås, for at opnå en generel viden omkring, hvilke kommercielle satellitter der findes på himlen i dag. Endvidere defineres der, hvilke satellitter der kan arbejdes videre med. Som en naturlig overbygning på definitionen af højopløselige satellitter redegøres der for, hvorledes satellitbilleder optages, samt hvad de består af. Dernæst vil de generelle geometriske fejl, der skal kompenseres for i forbindelse med scanningen, blive beskrevet. Dette gøres for at give en forståelse for, hvilken fejlteori der ligger bag satelliternes egenskaber samt finde frem til anvendelsesmulighederne i forhold til nøjagtigheden af de scannede data. Herefter beskrives hvilke program-pakker, som kan benyttes, når der arbejdes med satellitbilleder. Sidst i kapitlet gennemgås endvidere, hvilke ortofotostandarder som i dag findes i Danmark, samt hvem der benytter sig af disse og til hvilke formål.

3.1 Hvilke satellitter benyttes i dag

Som allerede nævnt i indledningen blev der fra starten af firserne stor konkurrence om, hvem der kunne opsende en satellit i rummet udstyret med den mest nøjagtige scanner. Dette betyder, at der i dag cirkulerer utallige satellitter om jorden, udstyret med scannere i varierende kvalitet. De 11 satellitter, der fremgår af figur 3.1 og 3.2, er de for offentligheden mest kendte satellitter. Det muligt for offentligheden at erhverve billeder fra disse satellitter.

Kortlægning baseret på satellitbilleder



Figur 3.1: Satellitterne er opdelt efter, hvor nøjagtigt deres kamerascanner er, samt hvor stor bredde billederne har. For mere detaljeret data henvises til figur 3.2. [www.spotimage.com, 24.02.2004]

Satellit	Opløsning I B/W	Opløsning I farver	Swath
	[m]	[m]	[Km]
Quickbird	0,61	2,44	16,5
Ikonos	0,84	3,2	11,3
Eros	1,8	-	13,5
Cosmos[KVR 1000]	2	-	40
Spot 5	2,5, 5	10	60, 120
IRS 1C	5,8	23	Fra 70 til 810
Spot 1,4	10	20	60
RADARSAT	8, 25, 50, 100	-	Fra 50 til 500
Envisat/ERS	25, 150	-	56 eller fra 100 til 400
Landsat 7	15	30	185
Cosmos [TK 350]	10	-	200

Figur 3.2: De tekniske data for hver af satellitterne. B/W betyder Black and white. Swath angiver, hvor stor en scanningskorridor satellitten kan dække. [www.spotimage.com, 24.02.2004]

Figurene 3.1 og 3.2 illustrerer, egenskaberne for de 11 satellitter. Disse egenskaber dækker både opløsningen i billederne, samt hvor stort et swath satellitterne kan scanne med. Swath er betegnelsen for, hvor stor vidden er på det enkelte billede. Forskellighed satellitterne imellem skyldes både den naturlige udvikling, der er sket de sidste 20 år. Endvidere er satellitterne opsendt med forskellige formål. Nogle af satellitterne har til formål at kortlægge klimaændringer over store områder, mens andre satellitter kortlægger geografiske forhold i mere lokale områder. Som allerede nævnt i det initierende problem arbejdes der i dette projekt med højopløselige satellitter, hvilket betyder, at de to eneste satellitter, der er fornuftige at arbejde videre med, er Quickbird og Ikonos. Dette skyldes, at producenterne betegner netop disse to som højopløselige, idet deres geometriske nøjagtighed i billederne er under 1 meter. [www.spotimage.com, 24.02.2004]

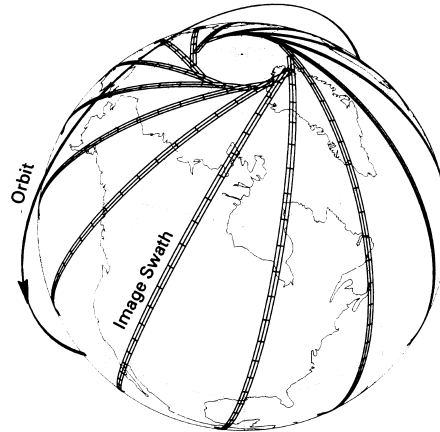
3.2 Specifikationer for højopløselige satellitter

I forbindelse med nærværende projekt er det interessant at se nærmere på de højopløselige satellitter for igen at kunne finde frem, til hvilke anvendelsesmuligheder de har. Som nævnt ovenfor har det kun været muligt af finde frem til satellitterne Quickbird og Ikonos, der kan leve op til den nødvendige geometriske nøjagtighed. Derfor vil en gennemgang af disse to satellittyper beskrives for at få et overblik over de tekniske specifikationer.

3.2.1 Ikonos

Ikonos satellitten blev opsendt den 24. september 1999. Formålet med denne satellit er at forsyne firmaer, organisationer samt lande med højopløselige billeder. Disse kan benyttes i forbindelse med kortlægning, overvågning og udvikling. Ikonos satellitten forventes at kunne holde sig operativ i 7 år. I dette tidsrum sender satellitten alle optagne billeder ned til kommandocentret Space Imaging i Thornton, Colorado, USA, hvorfra billederne distribueres videre ud i verden. [Space imaging, 2003]

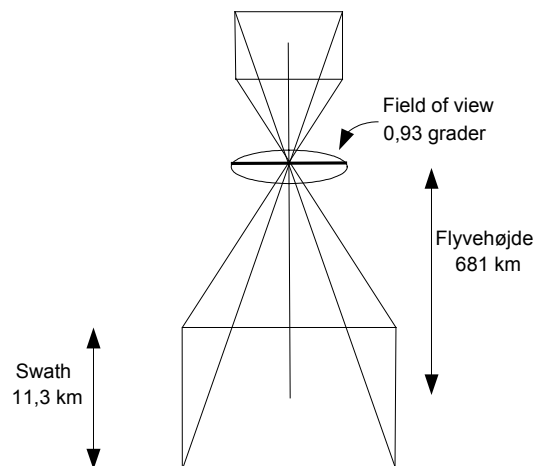
Satellitten flyver i en højde af 681 km over jordens overflade og med en hastighed af 6,8 km/sek. Dette betyder, at det tager 98 minutter for satellitten at flyve en gang omkring jorden. Det skal dog nævnes, at det tager cirka 3 dage, før satellitten besøger nøjagtig samme position igen. Dette skyldes, at jorden ligeledes roterer om sin egen akse. Satellitten er placeret i et "sun-synchronous orbit", hvilket betyder, at den ikke kan ændre sit kredsløb. Satellittens kredsløb er ligeledes placeret således, at den flyver samme vej rundt om jorden som solen. Kredsløbet ligger i en 98,1 grader bue omkring jorden, jævnfør figur 3.3. [Space imaging, 2003]



Figur 3.3: Ikonos' kredsløb omkring jorden. [Sabins, 2000, s. 83]

Satellitten har mulighed for at scanne scener i pankromatisk, blå, grøn, rød og infrarøde kanaler. "Field of view" fortæller, hvor stor størrelsen på den vinkel, som udgår fra kameraet. Field of view er $0,93^\circ$ i Ikonos, jævnfør figur 3.4. Dette betyder, at det er muligt at scanne i en vidde på 11,3 km. Afhængig af hvorledes satellitten scanner scenen, kan en pixelstørrelse på 0,82 meter opnås i den pankromatiske scanning og 3,2 meter i den multispektrale scanning. Med multispektral menes, at scenen er en kombination af kanalerne rød, grøn, blå samt infrarød. [Space imaging, 2003]

Med ovennævnte nøjagtigheder kan der produceres ortofotos i målforholdet 1:8.000 med pankromatiske billeder. [Jacobsen, 2003]



Figur 3.4: Field of view illustreres her i 3D.

3.2.2 Quickbird

Quickbird satellitten opsendtes den 18. oktober 2001. Formålet med denne satellit er at producere satellitbilleder med meget høj opløsning, således de kan benyttes til kortlægning af komplicerede områder samt til overvågningsopgaver. Quickbird ejes af DigitalGlobe, der ligeledes har valgt at sælge satellitbilleder til offentligheden. [DigitalGlobe, 2003, s. 4]

Satellitten flyver i en højde af 450 km over jordens overflade og med en hastighed af 7,1 km/sek. Dette betyder, at det tager cirka 93,5 minutter at flyve en gang omkring jorden. Afhængig af, hvor på jorden scenen scannes, tager det mellem 1 til 3,5 dage, inden satellitten kan levere en ny scene af et allerede scannet område. Satellitbanen er ligeledes placeret i et "sun-synchronous orbit", hvilket vil sige, at den flyver samme vej rundt som solen. Kredsløbet ligger endvidere i en 97,2° bue omkring jorden. [DigitalGlobe, 2003, s. 4]

Quickbird satellitten har mulighed for at scanne scenerne i farverne pankromatisk, blå, grøn, rød og infrarød. Der kan opnås en pixelstørrelse på 0,61 meter i det pankromatiske billede og 2,44 meter i det multispektrale.

Med ovenstående nøjagtigheder kan der produceres ortofotos i målforholdet 1:4.800 i pankromatiske billeder. [Jacobsen, 2003]

3.3 Satelliternes karakteristika

For at kunne give et overblik over, hvorledes satelliternes kameraer er opbygget, samt hvilke geometriske parametre der skal tages højde for, gives der i dette afsnit en redegørelse for følgende områder:

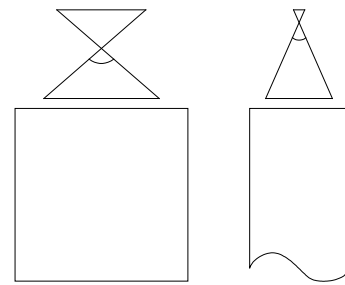
- Satellitbanen
- Scanningsmetoden
- Ydre orientering
- Indre orientering
- Fejl på grund af kameraets drejefunktion

3.3.1 Satellitbanen

Fælles for Ikonos og Quickbird er, at begge satellitter kan levere billeder som enkeltscener eller scener med overlap, hvormed det er muligt at udføre stereomåling. En scene er et enkeltbillede med de nødvendige oplysninger, der gør, at det er mu-

ligt at orientere det i forhold til et givent koordinatsystem. [DigitalGlobe, 2003, s. 4], [Spaceimaging, 2003]

Det skal nævnes, at i satellitfotogrammetri er billedstørrelsen ikke den samme som i forbindelse med almindelig fotogrammetri. I almindelig fotogrammetri leveres billederne normalt kvadratisk i 23 cm x 23 cm. I satellitscenerne derimod afhænger billedstørrelsen af, hvor stort et swath satellitten har, samt hvor stort et område der ønskes scannet. Grunden til dette er, at satellitten er i stand til scanne kontinuerligt, hvilket vil sige, at længden kan variere. På figur 3.5, illustreres de to formater. Der er ikke nogle værdier på figur 3.5 figuren bare skal give et indblik i de to metoders forskellighed.[Wolf, 2000]



Figur 3.5: Til venstre ses det traditionelle format fra en flyver og til højre vises formatet fra satellitten.

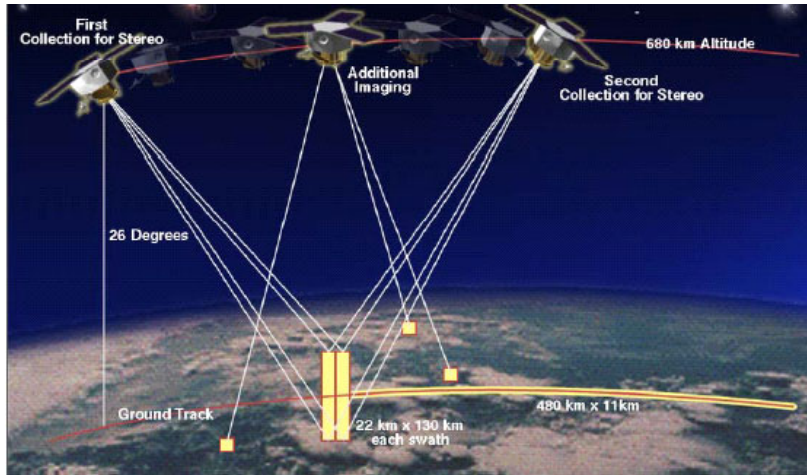
3.3.1.1 Enkeltscene

En enkelt scene har typisk en længde, der spænder fra 10 kilometer til omkring 200 kilometer. Det skal dog nævnes, at længden er afhængig af det bestilte produkt, samt hvorledes vejrforholdene er i optageøjeblikket. [Grodecki, 2002]

3.3.1.2 Stereoscene

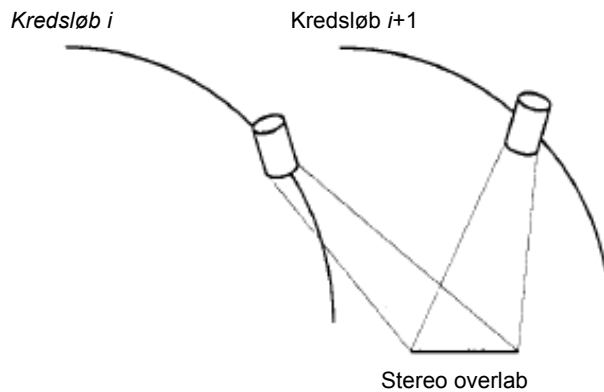
Fælles for Quickbird og Ikonos er, at satelliternes scannere er i stand til at dreje. Det betyder, at det er muligt at tage et stereobillede over det samme område fra samme kredsløb. Fremgangsmåden for denne proces er, at satellitten sættes til at tage et billede i en vinkel på 26° over det valgte område. Herefter passerer satellitten over området, hvorefter kameraet drejer og tager et nyt billede. Det medfører hermed, at der er taget to satellitbilleder af et bestemt geografisk område fra to forskellige satellitpositioner i samme kredsløb. På denne måde lykkes det at skabe overlap imellem de to satellitbilleder. Vinklen på de 26° anvendes, da den giver det mest optimale stereo ved sådanne optagelser, jævnfør figur 3.6. [Fraser, 2003, s. 3]

Inden satellitten drejer tilbage mod det geografiske område, hvor en stereoscene ønskes, kan satellitten scanne andre billeder imens, jævnfør figur 3.6. [Fraser, 2003, s.3]



Figur 3.6: Illustration af, hvorledes satellitten kan tage andre billeder, inden den drejer tilbage mod et tidligere område for at tage det andet billede. Ikonos satellitten er benyttet i dette tilfælde. [Grodecki, 2003, s. 11]

Ligesom det er muligt for satellitten at tage stereobilleder fra samme satellitbane, er det også muligt at tage stereobilleder fra nabobanen, hvilket illustreres på figur 3.7. Der skal dog gøres opmærksom på, at billederne blive forskudt i tid. Der kan gå 1 til 3 dage, før satellitten er så tæt på, at den kan dreje scanneren mod området igen. Vinklen mellem de to billeder kan i dette tilfælde godt varierer. Dette afhænger af, hvor det scannede område ligger i forhold til satellitbanen. [Grodecki, 2003, s.11]



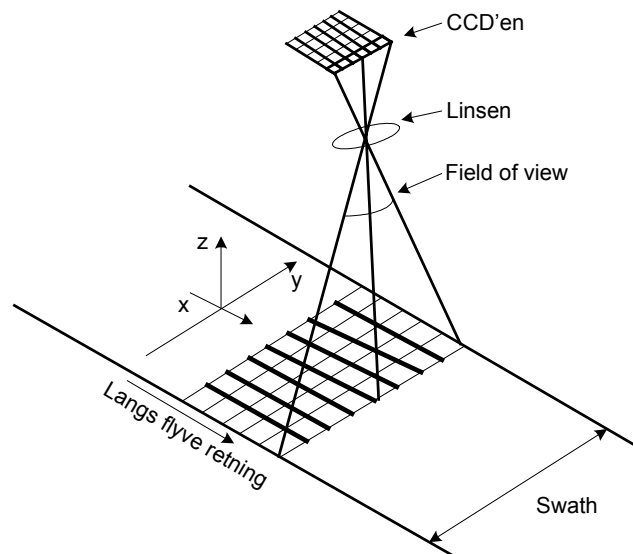
Figur 3.7: Illustration af, hvorledes der kan opnås stereo fra nabo kredsløbet.

Fastsættelse af længden på en stereoscene er vanskeligere at bestemme end længden ved enkeltscener. Dette skyldes, at det ønskede område kan ligge mellem to kredsløb, således at optagelsen af billederne bliver foretaget over nogle dage, jævnfør figur 3.7. Ved denne fremgangsmåde kan vejrforholdene fra det ene billede til det andet have ændret sig. [Grodecki, 2003, s.11]

3.3.2 Scanningsmetoden

Satellitterne Quickbird og Ikonos ligner meget hinanden i opbygningen af scanningsmetoden. Satellitterne benytter, begge principper fra en push-broom scanner, der på dansk oversættes til rækkescanner. Rækkescanneren bygger på følgende princip.

Når der scannes, lagres data i takt med scanningen. Dette gøres på en *CCD*, der virker på samme måde som en almindelig film. *CCD*'en skiller sig ud fra traditionelle rækkescannere, idet selve lagringen foregår i en matrice af pixler. I traditionel linescanner lagres data som en række pixler. *CCD* matricen består af et lille antal pixler i flyveretningen. Scanneren i satellitten er yderligere udstyret med en Time Delay and Integrate sensor, også kaldet *TDI* sensor. Når billedet scannes, og data overføres på *CCD* matricen, betyder dette, at der foretages en billedvandring. Dette bevirker, at billedet flyttes tilbage i *CCD* matricen i samme tempo som flyets hastighed. Det medfører, at scanneren kan opsamle data i længere tid, da den stadig opfanger data, hvad enten den er i første eller tredje række, jævnfør figur 3.8. [Jacobsen, 2002, s. 3]



Figur 3.8: Illustration af opbygningen af rækkescanneren.

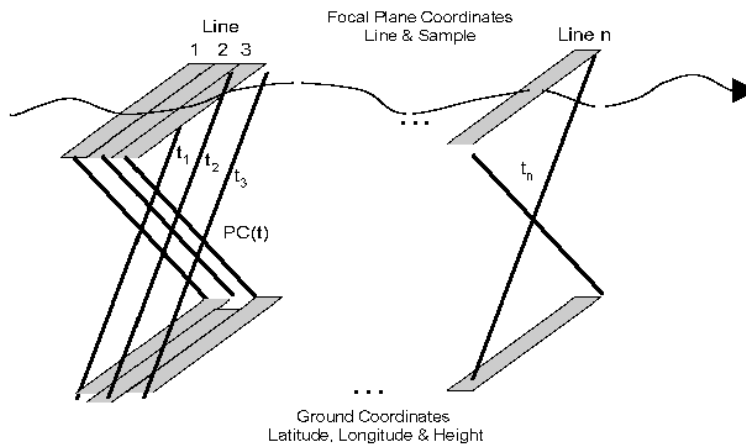
Kameraets koordinatsystem er fastholdt relativt til satellittens krop, jævnfør figur 3.8. Det vil sige, at Z-aksen er parallel med optikkens akse i kameraet og peger mod jorden. X-aksen peger i flyverretningen, samt retningen hvorpå der scannes. [DigitalGlobe, 2003, s. 59]

Ved brug af en rækkescanner samt TDI sensorer opnås bedre resultater. Dette skyldes, at den spektrale opløsning bliver bedre, da kameraet kan have en længere eksponering. Geometrien i selve scanneren er dog meget dårlig, hvilket skyldes, at liniescanneren er opbygget således, at den scanner jordoverfladen langs med satellitbanen. Dette gør, at de ydre orienteringsparametre bliver vanskeligere at fastlægge. [Sabins, 2000, s. 18]

Som tidligere nævnt har satellitterne mulighed for at dreje deres kameraer både fremad, tilbage samt til højre og venstre i forhold til flyverretningen. Dette gøres ved, at linsen drejer den indre optik i scanneren. Hermed kan de matematiske formler, som kendes fra den traditionelle fotogrammetri, ikke benyttes i samme udstrækning. [Fraser, 2003]

3.3.3 Ydre orientering

Den måde satellitterne tager billeder på, er meget forskellig fra billedeoptagelser med et digitalt kamera fra et fly. Som allerede nævnt benytter satellitterne Quickbird og Ikonos en CCD matrice til lagring af optagelsen af billederne. Dette gør, at den ydre orientering ændres i takt med scanningen. Med det menes, at y-koordinaten er afhængig af antallet af pixler i matricen, eller den enkelte scanningslinie er afhængig af scanningsmønsteret, som illustreret figur 3.9.



Figur 3.9: Illustration af scanningsforløbet. Hver scanningslinie har forskellig ydre orientering. [Dial, 2003]

Den ydre orientering består af følgende elementer, projektionscenteret (X_0, Y_0, Z_0) og drejningerne $\phi(\varphi)$, $\omega(\omega)$ samt $\kappa(\kappa)$.

For at løse den ydre orientering til hver af de mange scanningsrækker er satellitten udstyret med nogle eksterne sensorer som for eksempel *GPS*, *Inertial Measurement Unit*, som i daglig tale kaldes *IMU*, oplysninger om satellitbanens forløb eller *star trackers*. Oplysningerne fra sensorerne bevirker, at den ydre orientering kan beregnes, idet oplysninger fra disse instrumenter muliggør udregning af satellittens placering og drejninger samt jordens rotation under scanningen.

Ved køb af et satellitbillede fra enten *DigitalGlobe* eller *Spaceimaging* får køberen et problem med at beregne den ydre orientering, da de nøjagtige positioner fra satellitten under optagelsen normalt ikke er tilgængelige. Dette skyldes, at selskaberne ikke ønsker at opgive, hvorledes deres satellitkredsløb omkring jorden er defineret. Endvidere ønsker producenterne heller ikke at opgive satellittens nøjagtige position i optagelsesøjeblikket af sikkerhedsmæssige grunde. [Vozikis, 2003, s.179]

Eftersom de nøjagtige positioner ikke leveres af producenten, betyder det, at brugerne skal benytte nogle matematiske modeller til at transformere 2D billedkoordinater til 3D koordinater på landjorden. [Vozikis, 2003, s.180]

De matematiske modeller, der benyttes i denne sammenhæng, kan opdeles i to hovedgrupper. Denne opdeling foretages, fordi det er afgørende, om en scanning består af en enkeltscene eller scanningen dækker en stereoscene.

Hvis det drejer sig om en enkeltscene fra enten *Quickbird* eller *Ikonos* kan følgende matematiske modeller med fordel benyttes:

- Konform transformation
- Affin transformation
- Polynomier

Det skal dog nævnes, at scanningsvinklen rettet mod jorden har betydning for modellernes kvalitet. Ligeledes skal terrænet ikke være alt for kuperet, da det også kan medføre store fejl. Grunden til, at modellerne kan benyttes i denne forbindelse, er, at scanneren i satellitten har et meget lille "field of view". Dette gør, at de velkendte stråleligninger, som bygger på en centralprojektion, giver nogle dårlige resultater. Årsagen til de dårlige resultater er, at "field of view" er meget nær 0 grader og stråleligningerne har svært ved at opstille udtrykket. [Vozikis, 2003, s. 179]

For at kunne benytte de ovenstående modeller kræves det dog, at der måles et antal paspunkter på jorden, som benyttes til at transformere over. Ved en konform transformation skal der minimum indmåles to paspunkter og ved brug af affin transformation skal minimum tre paspunkter indmåles. Efter transformationen af billederne, transformeres en eksisterende højdemodel over billederne for derved at opnå 3D koordinater. [Fraser, 2003, s. 10]

Det skal dog nævnes, at en enkeltscene også kan transformeres ved hjælp af en polynomium funktion. Den mest anvendte i satellitbilleder er ”The Rational function model”. En mere detaljeret beskrivelse af denne type transformation vil blive beskrevet i næste afsnit. [Dial, 2003, s.6]

Det er nogle af de samme problemer, der opstår, når der arbejdes med stereomodeler. Producenterne angiver, som tidligere nævnt, ikke parametrene, så den ydre orientering kan genskabes. Derfor er det svært at benytte stråleligningernes formel. De mest anvendte modeller der så er i stand til at løse sammenhængen mellem de ukendte parametre og den fysiske model i forbindelse med en stereoscene er følgende:

- Affin transformation
- Rationelle funktionsmodel(RFM)

3.3.3.1 Affin transformationsmodel

Den affine transformationsmodel minder i alt sin enkelthed om den tidligere omtalte affine transformation, som bliver benyttet i 2D. I 3D relaterer billedkoordinaterne (x,y) sig direkte til objektkoordinaterne (X,Y,Z) i rummet og bestemmes i stråleudjævningen. Stråleudjævningen har til formål at orientere billederne i forhold til hinanden, samt beregne de ydre orienteringsparametre. I forbindelse med anvendelse af denne model skal minimum 4 paspunkter (X,Y,Z) indmåles for at løse de 6 ubekendte. [Fraser, 2003 s. 16]

3.3.3.2 Rationelle funktionsmodel

Den rationelle funktionsmodel (RFM) er en metode, der er udviklet specielt til højopløselige satellitter. For en mere teknisk gennemgang af modellen henvises til appendiks A.

De højopløselige satellitter har hver sin rationelle funktionsmodel, men fælles for dem er, at de bygger på samme struktur. Den rationelle funktionsmodel danner basis for de Rationelle Polynomium Koefficienter også kaldet RPCs, som er dem, der benyttes i dagligdagen. En af de væsentligste fordele ved denne model er, at

den er i stand til at bestemme punkterne i 3D uden kendskab til kameraets indre og ydre orientering. En anden fordel ved denne model er, at positionerne i 3D kan beregnes uden paspunkter i objektrummet. Det betyder, at det ikke er nødvendigt at tilføje en højdemodel, idet denne kan fremstilles direkte i stereomodellen. [Fraser, 2003 s. 17-18]

Som tidligere nævnt, oplyser DigitalGlobe og Spaceimaging ikke positionen på satellitterne, når billedet scannes. Firmaerne vedhæfter derimod en RPC-fil for hvert billede, der benyttes i den rationelle funktion. Filen, der er en tekstfil, består af hældninger fra satellittens indre og ydre orientering, satellittens efemerider og star trackers. Filen har den egenskab, at den direkte position af satellitten ikke kan ses, men det er muligt at positionere billederne geografisk. Hvis RPC-filerne benyttes i en stereoscene, beregnes objekt koordinaterne XYZ ved hjælp af mindste kvadraters princip. Selve RPC-filen indeholder 80 parametre, der alle indgår i beregningerne. [Fraser, 2003 s.17-18], [Vozikis, 2003, s. 182-184]

Overordnet set kan den rationelle funktion benyttes uden brug af indmålte paspunkter i objektrummet, men ved at indmåle et vist antal paspunkter kan dette være med til at styrke nøjagtigheden i modellen. [Fraser, 2003 s. 17]

3.3.4 Indre orientering

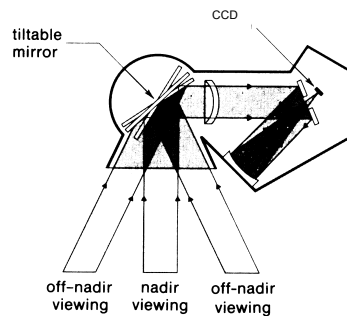
Den indre orientering har til formål at fastlægge de geometriske unøjagtigheder, der er at finde i scanneren. Unøjagtighederne kan komme fra projektiionscentret (O), kamerakonstanten (c) samt linsefortegnelsen (dr). Ligesom producenterne ikke oplyser de ydre orienteringsparametre, oplyser de heller ikke de indre. Dette besværliggør beregningen af disse størrelser. Den eneste oplysning, der forligger fra både DigitalGlobe og Space Imagings arkiver, er, at scannerne først er kalibreret efter opsendelsen, hvilket betyder, at de ikke er kalibreret på samme måde som ved almindelig fotogrammetri. [DigitalGlobe, 2003], [Spaceimaging, 2003]

For at løse parametrene til alle scanningsrækkerne har producenten af Ikonos satellitten udviklet et system, som kaldes Field Angle Map. Herefter kaldes Field Angle Map for FAM. FAM er både i stand til at fastlægge linsefortegning samt beliggenheden af hovedpunktet i samme proces. FAM er ligeledes i stand til at fastlægge optageaksen i scannerens koordinatsystem til hver række. Dette gøres ud fra data omkring satellittens højde og vinklen under optagelsen. De indre orienteringsparametre bliver herefter gemt i den medfølgende RPC-fil [Grodecki, 2002, s. 2]

3.3.5 Fejl på grund af kameraets drejefunktion

Som tidligere nævnt i afsnit 3.2.1 *Ikonos* og 3.2.2 *Quickbird* er nøjagtigheden afhængig af, hvor i billedet der måles, hvilket skyldes afstanden fra nadir punktet. Nadir defineres som det punkt, der ligger direkte under satellittens bane. Det vil sige, at hvis der scannes direkte mod jorden kan scanningen opfattes som en centralprojektion, hvilket betyder, at bygninger tæt på nadir i fotoet kun vil ses ovenfra. Derimod vil bygninger langt fra centrum i fotoet kun ses delvist fra siden.

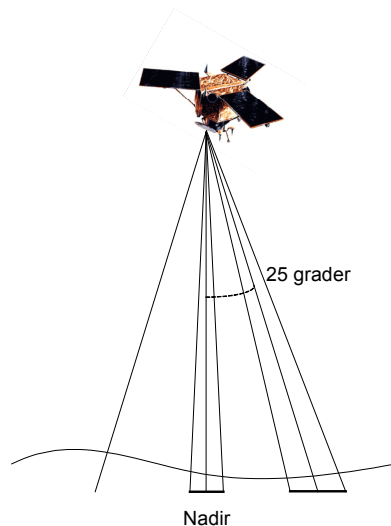
Som tidligere nævnt har satellitten også mulighed for at dreje kameraet, hvilket betyder, at den enkelte scanning ikke nødvendigvis tages direkte mod jorden. Dette medfører, at bygninger tæt ved nadir ikke ses direkte oppefra, da der ikke er tale om en direkte centralprojektion. Figur 3.10 illustrerer, hvorledes scanneren er opbygget.



Figur 3.10: Spot satellittens opbygning. Opbygningen af *Quickbird* satellitten minder meget om dette. [Sabins, 2000, s. 107]

Eftersom satellitten er i stand til at dreje optageretningen, vil det scannede billede ikke nødvendigvis være direkte mod nadir. Dette har betydning for den geometriske nøjagtighed i planen og i højden. DigitalGlobe har foretaget en række forsøg, der viser, hvorledes vinklen fra nadir har betydning på pixelstørrelsen i scanningen. Billedmaterialet, som DigitalGlobe har benyttet i denne undersøgelse, er et pankromatisk billede, jævnfør figur 3.11. [DigitalGlobe, 2004]

Off-Nadir vinkel	Pixelens størrelse [cm]
0	61
5	62
10	63
15	65
20	68
25	72

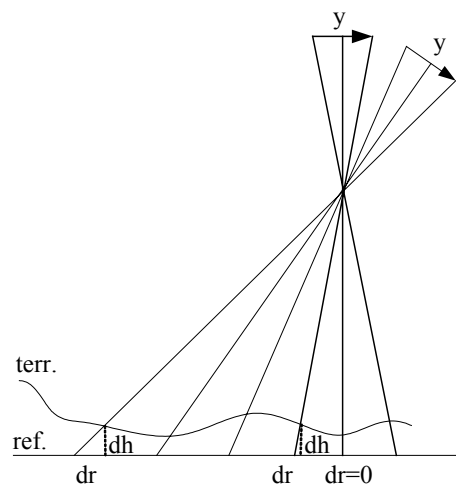


Figur 3.11: Tabellen til venstre illustrerer, hvorledes pixelernes værdi vokser, jo længere væk de ligger fra nadir. Til højre illustreres det grafisk. [DigitalGlobe, 2004]

På ovenstående figur ses det tydeligt, at jo længere væk der scannes fra nadir, jo større bliver pixelernes længde, hvilket resulterer i, at opløsningen bliver mindre. På den måde kan det konkluderes, at den optimale måde at tage billederne på, er så tæt på nadir som muligt. I praksis er dette dog ikke økonomisk rentabelt eller muligt.

Space Imaging har undersøgt, hvor stor indflydelse fejlen på højden må være, før den får indflydelse i planet, jævnfør figur 3.12.

Off - Nadir vinkel [°]	Afvigelsen dh [m]
0	115
1	60
2	29
3	20
5	11
10	6
20	3
25	2



Figur 3.12: Tabellen til venstre illustrerer, hvorledes fejlen opstår, jo længere væk fra nadir der måles. Space Imaging har benyttet følgende værdier; field of view (0.94°), kamera-konstant (10 m) og højde (680 km). [Fraser, 2003, s. 6]

Figur 3.12 viser at hvis der scannes direkte mod jorden kan terrænet i scanningen godt have en højdeforskel på 115 meter før det går ud over den plane nøjagtighed. Derimod ses det hvor vigtigt en højdemodel er hvis satellitten scanner i en 25° vinkel, da terrænet kun må variere 2 meter.

For at opnå den bedste geometriske nøjagtighed i billedet er det nødvendigt kun at benytte området omkring nadir. Dette område, med centrum i nadir, er i en Quickbird scene defineret til 16,5 x 16,5 kilometer og for Ikonos defineret til 11,3 x 11,3 kilometer. [DigitalGlobe, 2004, s. 4], [SpaceImaging, 2004, s. 3]

Ud fra denne undersøgelse er det muligt at konkludere at der i forbindelse med kortlægning af for eksempel visse storbyer eller bjergområder skal benyttes satellitbilleder taget direkte i nadir. Dette er ikke relevant i Danmark da der ikke findes så store højdeforskelle.

Der skal gøres opmærksom på, at unøjagtigheden i højden kun forekommer, hvis der er tale om enkeltscene billeder. For at kompensere for de fejl, som opstår i disse billederne, er det vigtigt at benytte en god højdemodel. Fejlene i planen bliver elimineret ved hjælp af opretning. [Dial, 2003]

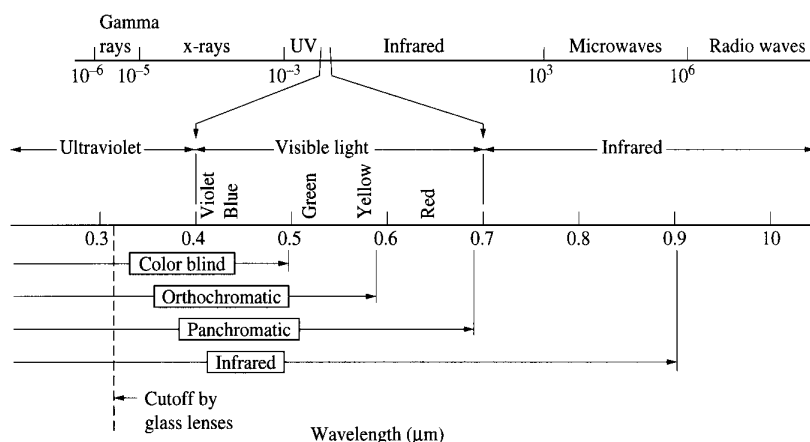
3.4 Satellitbilledets bestanddele

I det følgende afsnit analyseres, hvordan billedet opfanges i den *passive scanner*. Dette gøres ved at undersøge billedets spektrale opløsning. Endvidere vil det også blive beskrevet, hvilken radiometrisk opløsning billederne leveres i, samt hvilke farver satellitten scanner med.

3.4.1 Billedets spektrale opløsning

I fotogrammetri er det, som registreres, et udslag af den energi, en given overflade udsender. Dette gør sig gældende indenfor både analog, digital samt satellitfotogrammetri. Energien er afhængig af, hvilke materialer kameraets linse er orienteret mod. Eksempelvis reflekterer asfalt ikke lige så godt som en stålplade, hvilket betyder, at hvis disse to materiale ligger op mod hinanden, vil det være muligt, at skelne dem fra hinanden i billedet. [Sabins, 2000]

Som tidligere nævnt i dette kapitel, er der mange satellitter, som kredser omkring jorden, der anvendes til forskellige formål. Producenterne af de satellitter, der er udstyret med et kamera, er i stand til at opfange den energi fra jorden, der ønskes fremhævet. Af figur 3.13 ses et udsnit af det elektromagnetiske spektrum.



Figur 3.13: Det er muligt at dele det magnetiske spektrum op. [Mikhail, 2002, s.35]

Fælles for Quickbird og Ikonos er, at de er i stand til at indsamle data fra scanneren gennem fem farvekanaler. Kanalerne er pankromatisk, der i daglig tale kaldes sort - hvid og farverne blå, grøn, rød og infrarød. Som det fremgår af figur 3.14, opfanget Quickbird og Ikonos primært energi i det synlige felt, hvilket vil sige, hvor mennesket er i stand til at skelne mellem farverne rød, grøn, og blå.

		Quickbird (μm)	Ikonos (μm)
Synlig	Pankromatisk	0.45 – 0.90	0.45 – 0.90
	Bånd 1 (blå)	0.45 – 0.52	0.45 – 0.52
	Bånd 2 (grøn)	0.52 – 0.60	0.51 – 0.60
	Bånd 3 (rød)	0.63 – 0.69	0.63 – 0.70
Usynlig	Bånd (indfrarød)	0.76 – 0.90	0.76 – 0.85

Figur 3.14: De specifikke spektrum for hver satellit. [DigitalGlobe, 2003, s. 3], [Spaceimaging, 2003, s. 4]

3.4.2 Billedets radiometriske opløsning

Alle digitale billeder består af meget små billedelementer, kaldet pixeler. Disse pixeler danner tilsammen en matrice, hvor hvert element i matricen beskriver lysintensiteten, som også kaldes gråtoneværdien. De enkelte bånd deles som regel op i 256 farveniveauer, hvor 0 svarer til sort og 255 til hvid. Når der benyttes 256 farveniveauer til hver enkelt pixel, svarer det til 8 bit i datastørrelse. Et farvebillede

beskrives som 3·256 farveniveauer, 8 bit og indeholder farverne blå, grøn og rød. [Mikhail, 2001, s.156]

De billeder, som er taget henholdsvis fra Quickbird og Ikonos, er begge optaget i en 11 bits opløsning. Dette betyder, at farveniveauet består af 2.048 gråtoneværdier per bånd. Efter billederne er taget, *resamples* de til 16 bit for at kunne vises på computerskærmen. Fordelen herved er, at detaljeringniveauet i billedet stiger, da det får flere gråtoneniveauer. Et godt eksempel, der viser fordelene af denne forbedring, er områder med en lav kontrast, som for eksempel skyggeområder i billedet. Det bliver i dette tilfælde nemmere at skelne mellem objekterne, jævnfør figur 3.15, der viser denne forbedring.



Figur 3.15: Et eksempel på, hvorledes detaljerne bliver tydeligere ved øget antal af gråtoneværdier. Billedet til venstre illustrerer et 8 bit billede, hvor det højre viser et 16 bit billede. [www.Ziimaging.dk, 14.03.2004]

3.5 Programpakker til behandling af satellitbilleder

Det essentielle værktøj, der benyttes, når billedet ankommer fra producenten, er det program, hvori hele behandlingsprocessen foregår. Det er derfor vigtigt at se på, hvilke programpakker der er i stand til at håndtere satellitbilleder.

Eftersom billeder fra højopløselige satellitter er en forholdsvis ny teknologi, er producenterne af software først nu for alvor begyndt at opdatere programpakkerne til at kunne håndtere de nye satellitbilleder.

Overordnet set er det de samme behandlingsprocesser, et billede fra henholdsvis en satellit og et fly skal gennemgå. Der eksisterer dog nogle parametre som for eksempel den indre og ydre orientering, der ikke er kendt i satellitbilledet, jævnfør afsnit 3.3 *satelliternes karakteristika*.

Kortlægning baseret på satellitbilleder

For at undersøge hvilke programpakker der er mulige at benytte i forbindelse med bearbejdning af satellitbilleder over Danmark, vælges det at splitte processerne op i følgende punkter:

- Stråleudjævning (Bundle adjustment)
- Oprettelse af billede (Ortho rectification)
- 3D feature extraction

Grunden til, at processerne er valgt opdelt således, er, at de alle sammen danner basis for en videre kortlægning.

Der er fundet frem til følgende firmaer, som alle producerer software, hvori satellitbilleder fra både Quickbird og Ikonos kan indlæses. Størstedelen af programmerne er fundet på Internettet. De resterende er fundet via henvisninger fra producenterens hjemmeside.

Firma / Software	Oprettelse af billede	Stråleudjævning	3D feature extraction
BAE systems / Socet Set	(1)	+	+
Leica Geosystems / Erdas Imagine	+	(2)	+
Image Analysis for ArcGIS	+	(2)	+
PCI / Ortho Engine	+	(2)	+
Z/I Imaging / Image Station	(1)	+	+

Figur 3.16: Skematisk redegørelse af et udsnit af de programpakker, der findes på marked i dag. 1 betyder, at programmet kun kan indlæse de ukorrigerede billeder. 2 betyder, at programmet kun kan indlæse enkeltbilleder. [www.Socetset.com, 2.4.2004], [www.gis.leica-geosystems.com, 2.4.2004], [www.pcigeomatics.com, 2.4.2004], [ziimaging.dk, 2.4.2004]

Udover de kommercielle programpakker, som er vist på figur 3.16, er der også stiftet kendskab til to programmer, som er produceret af de landmålingstekniske afdelinger på henholdsvis University of Hannover og University of Melbourne. Fælles for begge programmer er, at de er udviklet til forskning og i undervisningsøjemed.

Før en programpakke vælges, skal der gøres opmærksom på, at de forskellige pakker ikke nødvendigvis foretager beregninger på samme måde. Herved kan forskellige resultater fremkomme. Denne forskel i programmerne skyldes, at producenter-

ne udvikler egne algoritmer på baggrund af grundformlerne. Dette kan give små udslag i beregningerne.

3.6 Kortfremstillingen ved hjælp af flyvebilleder i Danmark

Den udvikling, de fotogrammetriske målemetoder har gennemgået, medføre, at størstedelen af alle kort i Danmark i dag produceres på baggrund af ortofotos. I 1960'erne opstod et stort behov for en række samlede kortlægninger. Disse kortlægninger skete i takt med det opsving Danmark var inde i på dette tidspunkt. Store motorvejsprojekter samt byudviklingen blev for alvor igangsat. Fælles for alle disse byggeprojekter var, at nøjagtigheden i eksisterende kort samt de klassiske kortlægningsmetoder ikke kunne opfylde de nye krav. Endvidere var omkostningerne alt for store. Derfor blev fotogrammetrien benyttet til forskellige projekter i store måleforhold. [Lavridsen, 1993, s.115]

Projekterne blev alle foretaget af private firmaer, der havde Kort og Matrikelstyrelsen, amter, kommuner og byggeherre som kunder. Fælles for alle projekterne var, at producenten af billedet beholdte negativet samt ophavsretten. Herefter kunne kunderne så rekvirere kopier af billederne. Dette gav enorme fotoarkiver, hvor et billede sagtens kunne sælges flere gange. [Lavridsen, 1993, s.116]

Hovedparten af produktionen af flybilleder har indtil midten af 1980'erne været til grafisk kortlægning, hvor kunderne primært har været kommuner. Men fra starten af 1982, hvor de store danske naturgasselskaber begyndte at lægge ledninger rundt i Danmark, påbegyndte en større digital kortlægning af Danmark. Teknologien tillod, at flybillederne blev leveret på digital form, hvilket lettede kortproduktionen. Efter en årrække med diverse fotoopgaver, havde firmaerne fået dækket store dele af landet med digitale kort. [Lavridsen, 1993, s.118]

3.6.1 Produkter

Teknologien er nu forbedret væsentligt, som nævnt i kapitel 1 *Indledning*. COWI har valgt at tilbyde et landsdækkende digitalt ortofoto i farver. Dette ortofoto kaldes DDO. Siden 1995 har COWI valgt at nyproducere sit produkt hvert andet år. COWI bygger produktionen på nogle standarder, som er opnået efter mange års erfaring samt ideer om, hvorledes teknikkerne kan forbedres. Af figur 3.17 ses det, at firmaet over tid har valgt at sætte opløsningen op i takt med udvikling.

PRODUKT	OPLØSNING I METER	OMRÅDEDÆKNING	FOTOTIDSPUNKT
DDO [©] 1995	0,8	Hele landet	Juni – juli
DDO [©] 1997	0,8	Bornholm	Juni
DDO [©] 1999	0,4	Hele landet	Maj – juli
DDO [©] by2001	0,1	Storkøbenhavn og 15 større byer	Maj – juni
DDO [©] land2002	0,4	Hele landet	Maj – august
DDO [©] sat2002	12,5	Hele landet	-

Figur 3.17: Produktlinien fra COWI. De 15 større byer er blandet andet Århus, Odense, Aalborg, Randers, Silkeborg, Roskilde og Esbjerg. [Cowi, 2003, s. 3]

Af figur 3.17 fremgår det, at de landsdækkende flyvninger foretages i perioden maj til juli. Det tidsrum er valgt dels for at sikre terrænet er dækket af bevoksning, og dels at få en sammenhængende farve i billederne. Med dette menes, at når billederne tages inden for den periode, er det muligt at farvejustere billederne således, at det ikke kan ses, hvor billederne er sat sammen. Til enkeltopgaver kan der flyves på andre tidspunkter og med andre opløsninger. [www.geodata-info.dk, 03.05.2004]

Som noget nyt har COWI også valgt at tilbyde kunden DDO[©]sat, der er et digitalt ortofoto baseret på satellitdata. Satellitdataene er fremstillet ud fra Landsat 7 ETM+ satellitten. Dette produkt skal dog kun ses, som et supplement til de øvrige landsdækkende ortofoto, da opløsningen i billedet er meget lav. [www.cowi.dk, 18.02.2004]

Andre danske firmaer, som også producerer ortofoto i Danmark, er Scankort og Blominfo. Disse firmaer producerer dog ikke nogle landsdækkende produkter. Fælles for dem begge er, at de kun producerer ortofoto ud fra kundens ønske. På nuværende tidspunkt tilbyder Scankort og Blominfo kun at fremstille ortofoto med analoge kameraer. [www.scankort.dk, 18.02.2004] [www.blominfo.dk, 18.02.2004]

3.6.2 Brugere af flybilleder

Som tidligere nævnt er nogle af de største brugere af flyvebilleder i Danmark, staten og kommunerne. I dette afsnit gennemgås, hvilke kortprodukter de forskellige brugere producerer på baggrund af flyvebilleder.

Alle kort, som staten tilbyder borgerne, produceres af Kort & Matrikelstyrelsen (KMS), der hører ind under Miljøministeriet. KMS har siden 1960 produceret kort på baggrund af ortofotos. Et udpluk af de forskellige topografiske kort, som KMS for stadig ajourfører, er:

- DTK (Danmarks Topografiske Kortværk)
 - o Kort 25 (1:25.000)
 - o 2 - cm kort (1:50.000)
 - o 1 - cm kort (1:100.000)
- TOP10DK (1:10.000)

[www.kms.dk, 10.03.2004]

TOP10DK, som er Kort & matrikelstyrelsen nyeste produkt, er et struktureret, objektorienteret vektorgrundkort. Det er udarbejdet som en topografisk database, der indeholder et stort antal objekter. Kortværket har en nøjagtighed på 1 meter i XYZ. [www.geodata-info.dk, 03.05.2004]

Det er ikke kun KMS, der benytter ortofotos til kortlægning. Fødevedirektoratet fremstiller ligeledes en række kort på baggrund af ortofotos. Denne kortlægningen skal benyttes i forbindelse med den hektarstøtteordning, som landmanden kan få del i, da Danmark er medlem af EU. For at kunne kontrollere om de enkelte landmænd opgiver korrekte arealer, skal Fødevedirektoratet kontrollere minimum 5 procent af alle danske landmænd, som ansøger om støtte. Til at kortlægge disse marker benyttes ortofotos taget fra en flyver. Inden for de sidste to år har EU dog kørt nogle forsøg med kortlægning fra satellitbilleder. Dette skyldes, at EU har fastlagt krav om en punktspredning på 2,5 meter, hvormed at de højopløselige satellitter kan benyttes i denne sammenhæng. [European Commission, 2004, s. 10]

Hos kommunerne foregår en mere teknisk kortlægning, da kortene benyttes til planlægningsformål, projektering og anlæg, drift og vedligeholdelse, sagsbehandling samt til information. Dette betyder, at de anvendte kort er i større målforhold, hvilket eksempelvis kunne være 1:250, 1:4000, 1:10.000, 1:25.000, og 1:50.000. [Lavridsen, 1993, s.120-123]

Eftersom det er kommunen, der står for produktionen af hovedparten af alle tekniske kort, bliver der i forbindelse med indføringen af digitale kort indført en række standarder. Standarderne udformes af amterne, kommunerne og de fotogrammetriske firmaer, for at kunne udveksle en række standardprodukter imellem amter, kommunerne og ledningsejerne. [Lavridsen, 1993, s.124]

Kortlægning baseret på satellitbilleder

Der er defineret tre tekniske kortstandarder med hver sit anvendelsesområde:

- TK1: Teknisk oversigtskort over det åbne land
- TK2 :Teknisk kort over landområder
- TK3: Detaljeret teknisk kort, som omfatter byområder

Beskrivelsen af et objekt vil generelt være ens i de tre kortstandarder. Forskellen kommer kun til udtryk i antallet af objekter, der medtages, samt registreringernes nøjagtighed og detaljeringsgrad. Figur 3.18 illustrer de nøjagtighedskrav, som kortene skal opfylde.

Standard	Plan nøjagtighed σ_p (cm)	Højde nøjagtighed σ_h (cm)
TK1	100	100
TK2	25	35
TK3	10	15

Figur 3:18: Tekniske specifikationer for de kommunaltekniske kort. [TK99, 2000, s. 26]

3.7 Kortproduktions grundlaget

I forbindelse med bestemmelsen af hvilke kortprodukter, der kan produceres på baggrund af satellitbilleder, er det vigtigt at vide, hvor store de mindste objekter, som kan ses i billederne, er. Endvidere er det også vigtigt at se på den nøjagtighed, der kan måles med i billederne.

Fra empiriske forsøg vides det, at de mindste objekter, der kan ses i billedet skal være 2-3 pixel. Det betyder for eksempel for DDO[©] land, som har en pixel størrelse på 0,40 meter, at det mindste objekt, der kan lokaliseres, er mellem 0,8 og 1,2 meter. Empiriske forsøg viser endvidere, at der kan måles med en nøjagtighed af 1/3 pixel i flybilleder. Dette vil med en opløsning på jorden på 0,40 meter betyde, at der kan måles med cirka 13 centimeter. [www.cowi.dk, 18.02.2004]

Som tidligere nævnt i afsnit 3.2 *Specifikationer for højopløselige satellitter* har Quickbird og Ikonos satellitterne følgende opløsning:

Quickbird: - Pankromatisk 0,61 meter
- Multispektral 2,44 meter
- Pan shapend 0,61 meter

Ikonos: - Pankromatisk 0,82 meter
- Multispektral 3,2 meter
- Pan shapend 0,82 meter

Dette betyder, at det mindste objekt, der kan identificeres i Quickbird billedet, er mellem 1,22 og 1,83 meter stort. For Ikonos billedet skal objektet være mellem 1,64 og 2,46 meter stort for at kunne genfinde det.

Alt dette er af betydning for brugen af satellitbilleder til kortfremstilling. Gennem de tidligere afsnit er der blevet redegjort for, hvilke ortofoto der sælges, samt hvilke landsdækkende kortprodukter der findes. I figur 3.19 er det illustreret ved hjælp af et oversigtsskema, hvilke kortprodukter der kan erstattes med billeder fra en højopløselig satellit. Skemaet har til formål at fremhæve de topografiske kort, som kan fremstilles fra brugen af højopløselige satellitbilleder.

			Geometrisk nøjagtighed /Mindste objekt størrelse(2-3 pixeles) [m]	Quickbird			Ikonos		
				Pan [m]	Multi [m]	Pan sharp [m]	Pan [m]	Multi [m]	Pan sharp [m]
Producenter	COWI' standard produkter	DDO©land	0,40 / 0,8-1,20	-	-	-	-	-	-
		DDO©by	0,10 / 0,20-0,30	-	-	-	-	-	-
		DDO©sat	12,5 / 25-37,5	+	+	+	+	+	+

			Nøjagtighedskrav til kortproduktet [m]	Pan [m]	Multi [m]	Pan sharp [m]	Pan [m]	Multi [m]	Pan sharp [m]
Brugere	KMS	4cm	5	+	+	+	+	+	+
		2cm	25	+	+	+	+	+	+
		1cm	50	+	+	+	+	+	+
		TOP10DK	1	-	-	-	-	-	-
	Fødevarer - ministeriet	Hektar kort	2,5	+	-	+	+	-	+
	Kommunerne	TK3	1	-	-	-	-	-	-
		TK2	0,25	-	-	-	-	-	-
TK1		0,1	-	-	-	-	-	-	

Figur 3.19: Skematisk oversigt over hvilke kortprodukter og ortofoto, der kan erstattes af billeder fra en højopløselig satellit.

Som det fremgår af figur 3.19 ses det, at de højopløselige satellitter direkte kan benyttes i forbindelse med en nøjagtighedsforbedring af COWI' DDO©sat. Endvidere kan billederne benyttes i forbindelse med Fødevareministeriets kontrol af hektarstøtteordninger. Ud over at de højopløselige satellitter kan benyttes i forbindelse med en produktion af de ovennævnte kortprodukter, ligger de højopløselige satellitter ikke langt fra Cowi' DDO©land. Dette kan måske betyde, at en så lille forringelse i billedernes geometriske nøjagtighed ikke har nogen væsentlig betydning for det samlede DDO©land.

3.8 Sammenfatning på foranalysen

Gennem foranalysen er der fundet frem til, at satellitterne Quickbird og Ikonos begge har den geometriske opløsning, der kræves for at kunne benytte dem til en fremtidig topografisk kortlægning. Dette skyldes, at satellitbillederne indeholder de samme mængder data som produkterne DDO[®]land og DDO[®]sat fra COWI. Ligeledes indeholder de en geometrisk nøjagtighed, der gør, at de kan benyttes i forbindelse med Fødevarerministeriets hektarkontrol hos landmanden.

Der er endvidere fundet frem til, at der findes adskillige programpakker på markedet, der kan benyttes i forbindelse med bearbejdningsprocessen af satellitbillederne. Dog er der en forskel i programpakkerne, idet de håndterer forskellige beregningsrutiner samt forskellige indlæsningsmuligheder. Derfor er det vigtigt, at der vælges netop det program, som løser den givne opgave bedst.

Der er efterfølgende fundet frem til, hvilke topografiske kortstandarder der på nuværende tidspunkt bliver fremstillet af Kort & Matrikelstyrelsen og bliver benyttet i både staten, amterne og kommunerne. På baggrund af dette er der fundet frem til, at billederne fra de højopløselige satellitter kan anvendes til ajourføring af størstedelen af de eksisterende kort. Dog opfylder billederne ikke den kvalitet, som gør, at de kan benyttes til opdatering af TOP10DK eller TK-standard. Grunden hertil er, at de mindst genkendelige objekter i Quickbird og Ikonos satellitbilledet har en størrelse på cirka 1,5 meter og 2 meter.

Det er ligeledes fundet frem til, at der ikke er en stor forskel i den geometriske nøjagtighed mellem den nuværende landsdækkende ortofotoserie DDO[®]land og scanningerne fra de højopløselige satellitter.

4 Problemformulering

I dette kapitel udarbejdes problemformuleringen, som skal danne baggrund for en videre analyse af, om de højopløselige satellitter kan benyttes i topografisk kortlægningsøjemed. Først samles op på resultater af foranalysen, hvorefter problemformuleringen udarbejdes. Problemformuleringen konkretiseres efterfølgende, og en beskrivelse af den mest ideelle analyse af problemet foretages. Endeligt foretages en afgrænsning af undersøgelsen, inden der arbejdes videre.

4.1 Resultat af foranalysen

Som udgangspunkt for foranalysen er det valgt at arbejde med følgende problemstilling:

Kan højopløselige satellitbilleder i fremtiden benyttes til topografisk kortfremstilling i Danmark?

Igennem foranalysen blev det konstateret, at både Quickbird og Ikonos er højopløselige satellitter. Dette skyldes, at begge satellitter har de nødvendige geometriske egenskaber. Endvidere er der fundet frem til, at der findes en række programmer, som gør det muligt at arbejde med sådanne satellitbilleder. Dette betyder, at teknikken til en fremtidig kortlægning ved hjælp af højopløselige satellitter er til stede i dag.

Sidst i foranalysen er det undersøgt, hvem der på nuværende tidspunkt fremstiller de ortofotos, som danner baggrund for den topografiske kortlægning, som foregår i dag. Yderligere er der fundet frem til, at de højopløselige satellitbilleder kan benyttes som grundlag for fremstillingen af de topografiske kortprodukter, som 1-, 2- og 4-centimeters kort. På baggrund af hele foranalysen kan det derfor konkluderes, at der ikke umiddelbart er meget til hinder for at producere topografiske kort udfra højopløselige satellitter. Om det er muligt i praksis, og i så fald hvordan det kan gøres, er vigtigt spørgsmål at undersøge.

Med udgangspunkt i foranalysen vil det derfor være interessant at arbejde videre med emnet kortlægning ved hjælp af satellitbilleder. Der skal undersøges, om der kan opnås et kortprodukt, som er mere økonomisk, da en del af de nuværende produktionsprocesser kan nedbringes væsentligt, eftersom de enkelte scanninger dækker større områder af gangen

4.2 Endelig problemformulering

Det initierende problem lægger endvidere op til en uddybende undersøgelse af, hvilke nøjagtigheder der kan opnås med højopløselige satellitbilleder. Endvidere bør det også overvejes, hvilke bearbejdningsteknikker der benyttes. Foranalysen har dermed resulteret i nedenstående problemformulering:

Er det muligt at opnå en geometrisk nøjagtighed og billedkvalitet i de højopløselige satellitbilleder, således de kan erstatte den eksisterende DDO[©]land fra COWI?

Herunder ønskes yderligere spørgsmål besvaret gennem projektet:

- Hvilket billedmateriale vil det være hensigtsmæssig at benytte i forbindelse med en produktion af en landsdækkende ortofotoserie?
- Hvad er den ”relative” pris for en ortofoto produktion ved brug af højopløselige satellitter?

Som beskrevet i foranalysen er der mange anvendelsesmuligheder for satellitter i kortlægningsprocessen. Det er derfor et emne, som er meget spændende og yderst relevant at belyse. Problemformuleringen lægger således op til en nærmere undersøgelse af billeder fra de højopløselige satellitter. Undersøgelsen rummer mange aspekter, som for eksempel hvorledes de bedst mulige resultater kan fremkomme, samt hvilke bearbejdningsteknikker der skal benyttes i denne sammenhæng.

4.3 Beskrivelse af kvalitetsundersøgelsen

I dette afsnit beskrives indholdet af kvalitetsundersøgelse, som skal ligge til grund for besvarelsen af problemformuleringen. Men på baggrund af manglen på tidsmæssige samt økonomiske ressourcer er det nødvendigt at afgrænse kvalitetsundersøgelsen efterfølgende i næste afsnit.

Helt overordnet er det relevant at undersøge billeder fra både Quickbird og Ikonos satellitten. Billedmaterialet fra hver satellit skal bestå af to enkelte scanninger med et nødvendigt overlap på cirka 60 procent, således det er muligt at opsætte en model til en videre undersøgelse.

Billederne fra Quickbird og Ikonos skal så vidt muligt optages på samme tidspunkt, for at området ikke ændrer for meget karakter. Ligeledes gælder det, at billederne skal tages over samme område, således der dannes et sammenligningsgrundlag.

Undersøgelsen skal omhandle den geometriske nøjagtighed af de multispektrale billeder, pankromatiske billeder samt en kombination af begge billeder. Grunden til, at kombinationsbilleder anvendes, er for at undersøge, om den geometriske nøjagtighed forringes.

Efter modtagelsen af scenerne skal de rigtige farvekanaler vælges på farvebillederne, hvorefter en radiometrisk opretning gennemføres for alle billederne. Dermed er billedmaterialet klar til ortofotoproduktionen. Dog skal de fornødne data, som eksempelvis paspunkter og kontrolpunkter indhentes i marken, inden ortofotoproduktionen kan påbegyndes. Denne dataindsamling kan foregå ved hjælp af GPS observationer, da denne målemetode kan give den fornødne nøjagtighed på punktet

I undersøgelsen af billedmaterialet vil det være relevant at analysere, hvor mange paspunkter der minimum skal benyttes for at opnå den optimale geometriske nøjagtighed, samt om placeringen af paspunkterne har nogen betydning for nøjagtigheden. Et antal kontrolpunkter indmåles sideløbende for at bestemme eventuelle deformationer i det oprettede satellitbillede. Kontrolpunkterne har yderligere til formål at kontrollere, hvor god den geometriske nøjagtighed i billedet er.

Det ønskes endvidere undersøgt, hvor nøjagtigt satellitbilledet stemmer overens med DDO[©]land. Dette gøres for senere at kunne konkludere, hvorvidt det er muligt at benytte satellitbilleder til fremstilling af DDO[©]land. Dette foretages ved at måle korresponderne punkter i billederne.

Til den videre bearbejdningsproces vil det være naturligt at arbejde med samtlige programpakker, som er omtalt i afsnit 3.5 *Programmer til behandling af satellitbilleder*. Der arbejdes med samtlige programpakker for at undersøge, hvorledes de forskellige programmer arbejder. Til slut kontrolleres det hvilken indflydelse de forskellige transformationstyper har på opretningen, som for eksempel affin og RPC transformationen.

Det er endvidere vigtigt at analysere, hvorledes satellitbillederne sættes sammen til en samlet mosaik. Billederne skal således kombineres på sådan en måde, at det ikke er muligt at se, hvor de overlapper hinanden. Denne undersøgelse vil derfor omhandle, hvorledes de enkelte billeder skal sammensættes. Endvidere undersøges, hvorledes billedet opnår en god radiometrisk kvalitet.

4.4 Afgrænsning

Som nævnt i foregående afsnit har det af tidsmæssige og økonomiske årsager været nødvendigt at fortage afgrænsninger fra en del af den ovenstående kvalitetsundersøgelse. Afgrænsningen er sket så de vigtigste emner, som for eksempel undersøgelsen af nøjagtigheden stadig er indeholdt i projektet.

Undersøgelsen vil kun komme til at indeholde to scener af ortho ready standard imagery fra Quickbird satellitten, da det ikke har været muligt at erhverve billeder over samme område fra Ikonos satellitten. Dette betyder for undersøgelsen, at det ikke er muligt, at bestemme alle de forskellige bearbejdningsrutiner. Endvidere har det også kun været muligt at fremskaffe programmet Erdas Imagine Advantage til bearbejdningsprocessen. Først blev ZI imaging erhvervet, men det vist sig, at programmet ikke kan benyttes til satellitscener af ovennævnte standard som ellers lovet. Dette betyder, at undersøgelsen ikke indeholder en sammenligning af de endelige resultater fra forskellige programpakker. Til sammenligning er DDO[®]land fra 1999 stillet til rådighed, da universitet har disse billeder liggende på deres netværk.

Det samlede materiale, der er til rådighed for den videre undersøgelse, omfatter:

- 2 Quickbird scener, der tilsammen dækker Læsø. Disse er multispektrale og pankromatiske scener. Scenerne er af Ortho ready standard imagery.
- Erdas Imagine Advantage.
- DDO[®]land fra 1999.

Herved bliver undersøgelsen ikke så omfangsrig, som ønsket. Det er dog stadig muligt igennem undersøgelsen at kunne besvare problemformuleringen. Undersøgelsen vil derfor komme til at indeholde følgende punkter:

- Planlægning og indmåling af paspunkter, kontrolpunkter samt fikspunkter.
- En kvalitetstest der bestemmer det optimale antal paspunkter i satellitbilledet, samt om placeringen af punkterne har betydning for oprettelsen.
- En transformation mellem det pankromatiske og multispektrale billede for at bestemme billedkvaliteten.
- En radiometrisk forbedring af billederne.
- En sammenligning mellem Quickbird billedet og DDO[®]land.
- En mosaik fremstilles af de to scener fra Læsø.
- En økonomisk beskrivelse af hvad en fuldstændig ortofotoproduktion af billeder over Danmark fra en højopløselig satellit vil koste.

5 Databeskrivelse

Dette kapitel har til formål at specificere rammerne for det videre forløb af undersøgelsen. Først i kapitlet er der en generel beskrivelse af testområdet. Testområdet er valgt ud fra den forudsætning, at det var det eneste satellitbillede der var til rådighed inden for projektets økonomiske rammer. Herefter beskrives de materialer, der skal benyttes i undersøgelsen. Med materialer menes eksempelvis programmer.

5.1 Områdebeskrivelse af Læsø

Læsø er placeret i den nordlige del af Kattegat midt imellem Danmark og Sverige. Læsø er den største ø i Kattegat med et samlet areal på 114 km². Længden på øen er 22 kilometer og bredden spænder fra 2 til 12 kilometer. På selve øen findes der fem byer. Disse er Østerby Havn, Gl. Østerby, Byrum, Vesterø Havn og Vesterø Mejeriby. Endvidere bor der godt 2.200 indbyggere på øen. På figur 5.1 er det muligt at se et oversigtskort over Læsø. [www.laesoe.dk, 03.05.2004]



Figur 5.1: Oversigtskort over Læsø i 1:100.000. [KMS,2001]

Størstedelen af Læsø er fredet på grund af den natur, der findes på øen. De store fredede klitplantager er årsagen til mangelfuld infrastruktur. Det meste af Læsø ligger kun få meter over havets niveau, og det højeste punkt, der findes på øen, ligger 24 meter over havniveau. [www.laesoe.dk, 03.05.2004]

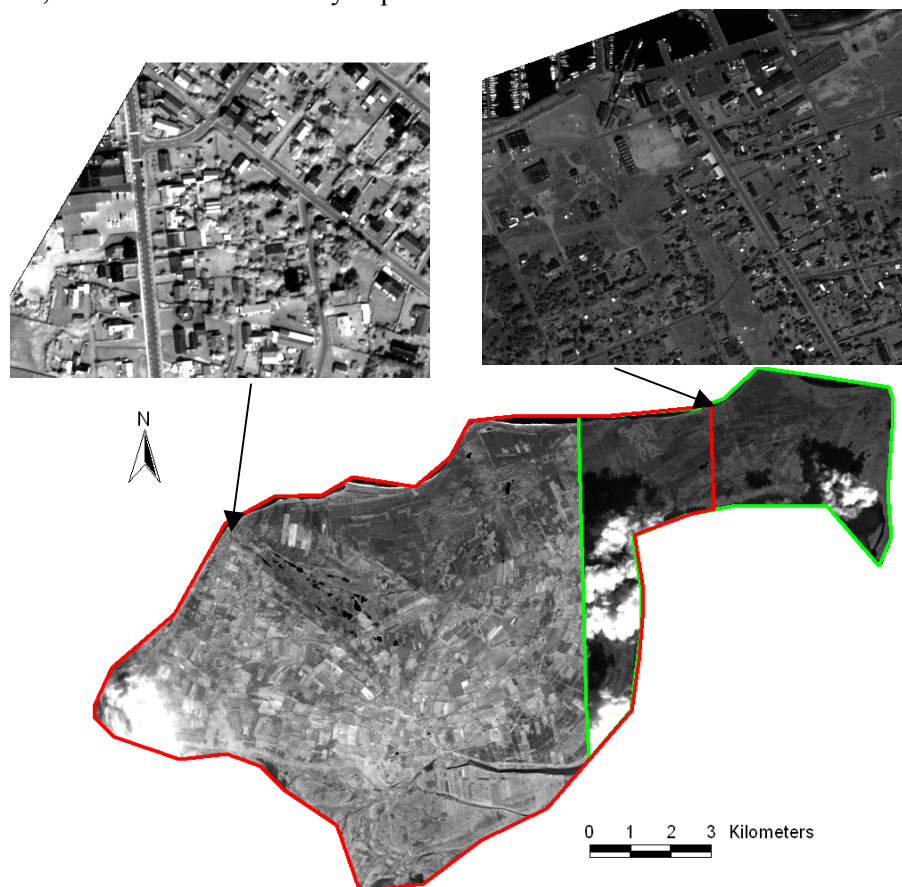
5.2 Materialer

De materialer, der benyttes i denne undersøgelse, består af en to satellitscener fra Quickbird, Erdas Imagine Advantage samt DDO[©]land. Disse materialer gennemgås yderligere i det følgende.

5.2.1 Billedmaterialet

Billedmaterialet er lånt af Danmarks Jordbrugsforskning, som er en afdeling under Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri. Danmarks Jordbrugsforskning har anvendt satellitbillederne i forbindelse med kontrol af landmændenes hektarstøtteordninger i 2003.

Billedmaterialet består af to scener fra Quickbird satellitten, der tilsammen dækker hele Læsø. Endvidere består hver scene af to billeder, et pankromatisk og et multispektral billede, jævnfør figur 5.2. Billederne har et overlap på cirka 3,5 kilometer, hvilket svarer til cirka tyve procent.



Figur 5.2: Illustration af de to Quickbird billeder samt deres overlap. I dette tilfælde vises de to pankromatiske billeder. Øverst ses to udsnit af billederne.

Begge billeder er af Ortho Ready Standard imagery, hvilket betyder, at billederne er halvkorrigerede, jævnfør Appendiks B. Eftersom billederne er halvkorrigeret, betyder det blandt andet, at billederne er leveret i UTM32/WGS84. Billederne er endvidere leveret i formatet GeoTiff, der har den fordel at billederne er *georefereret*. Endvidere er billederne blevet transformeret til en fast højde, der er beregnet fra et middel af terrænhøjden på Læsø. Højden for området er beregnet til at være 45 meter over ellipsoidehøjden. På figur 5.3 ses uddybende data om begge billeder.

Billede	Optagelsestidspunkt (UTC)	Skyer [procent]	Off Nadir [grader]	Nøjagtighed (GSD)	
				Pankromatisk [m]	Farve [m]
Vestlige Læsø	24 juli 2003 klokken 10:18,59	6	2	0,62	2,47
Østlige Læsø	29 juli 2003 klokken 10:24,05	5	14	0,65	2,58

Figur 5.3: Billedernes specifikationer.

5.2.2 Programmet

Det benyttede program Erdas Imagine Advantage 8.7 er lånt af Leica Danmark. Erdas er et GIS program, der kan anvendes i forbindelse med fotogrammetriske opgaver, og det kan både arbejde med almindelige flyvebilleder samt billeder fra en eller flere satellitter, heriblandt Quickbird. Erdas Imagine Advantage indeholder funktioner, der gør det muligt at analysere data fra billederne, fremstille mosaikker, interpolere overflader samt oprette avancerede billeder. [www.erdas.com, 15.05.2004]

Opbygningen af programmet er udformet således, at der arbejdes ovenpå Windows brugerfladen. Interfacet i programmet består af en menubjælke, som placeres øverst på skærmen. Dernæst er det gennem menuer, der vælges, hvilken funktion som skal benyttes. Når en funktion aktiveres, åbnes der et nyt vindue/nyt lille program.

5.2.3 DDO[®]land

Som sammenligningsgrundlag til Quickbird billederne benyttes COWI' DDO[®]land fra 1999, da denne billedsamling er tilgængelig på landinspektørudannelsen. Grunden til, netop dette billedprodukt er valgt, skyldes, at undersøgelsen skal kunne give svar på, om de højopløselige satellitbilleder kan afløse eller indgå i den landsdækkende DDO. DDO[®]land er optaget fra en flyver, hvor der benyttes et analogt kamera udstyret med en farvefilm. Flyene foretager optagelsen i en højde af cirka 4 kilometer over jordoverfladen, hvilket svarer til et målforhold i 1:25.000. Den

Kortlægning baseret på satellitbilleder

geometriske nøjagtighed i billederne regnes for at være 2,5 pixler, hvilket svarer til 1 meter. Det geografiske referencesystem, som DDO[®]land kan bestilles i, er enten System34/ED50 eller UTM32/ED50. I forbindelse med oprettelsen af alle billederne blev en højdemodel fremstillet på baggrund af billederne. Højdemodellens geometriske nøjagtighed kan forventes at være 2,5 meter. I afsnit 3.6.1 *Produkter*, kan der læses mere om Cowi's landsdækkende ortofoto. [www.geodata.dk, 4.06.2004]

6 Dataindsamling

I dette kapitel redegøres der for de overvejelser og valg, som er foretaget i forbindelse med planlægningen og etableringen af punktnettet på Læsø. Herunder tages der også stilling til, hvilken indsamlingsmetode der vil blive benyttet til bestemmelsen af punkterne. Endvidere beskrives forløbet af dataindsamlingen. Sidst i kapitlet gennemgås endvidere, hvorledes målingerne klargøres til den videre test. Der skal indsamles punkter på landjorden for gennem en test at bestemme de geometriske nøjagtigheder, som kan forventes i satellitbillederne.

6.1 Planlægning

Inden en opmåling i marken påbegyndes, er det vigtigt at planlægge denne for derigennem at være sikker på, at de rigtige data kommer med tilbage på kontoret. I dette tilfælde, hvor testområdet ikke er placeret således, at en eventuel supplerende måling kan foretages, er det endnu mere vigtigt at planlægge opmålingen nøje, inden den udføres i praksis. Planlægningen i dette tilfælde indeholder:

- Identificering af punkter
- Punktnummerstrategi
- Opmåling

6.1.1 Identificering af punkter

Det er vigtigt for den videre undersøgelse, at der bliver fundet egnede punkter. Punkterne kan opdeles i tre kategorier:

- Fikspunkter
- Paspunkter
- Kontrolpunkter

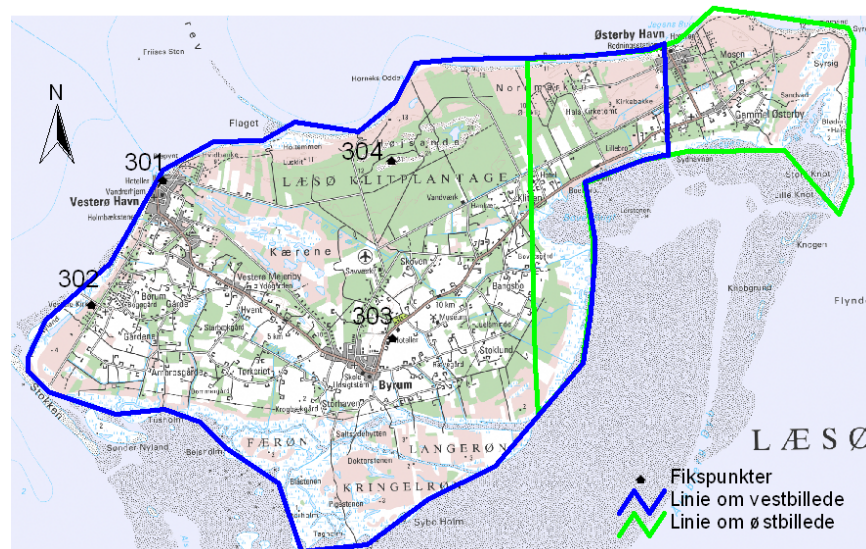
Fælles for alle punktyper er, at de skal placeres jævnt i hele billedet. Dette skyldes, at der ikke ønskes vridninger i φ -, ω - og λ - retningen under oprettelsen.

Fikspunkter

Formålet med fikspunkter er at knytte målingerne til et kendt koordinatsystem. Det vælges at indmåle fire af de fem REFDC punkter, som findes på øen. Punkterne er fundet i Valdemar, som er Kort & Matrikelstyrelsens register for fikspunkter i Danmark. Det sidste fikspunkt er fravalgt, fordi det findes for ustabil. REFDC er et nyt geodætisk datum, hvor punkterne angives i 3 dimensioner. Alle REFDC punkter har også den fordel, at de er GPS egnede. [www.kms.dk, 05.05.2004] Det

Kortlægning baseret på satellitbilleder

ses på figur 6.1, hvorledes de valgte fikspunkter er fordelt på Læsø. I bilag 1 kan beskrivelserne fra Valdemar ses.

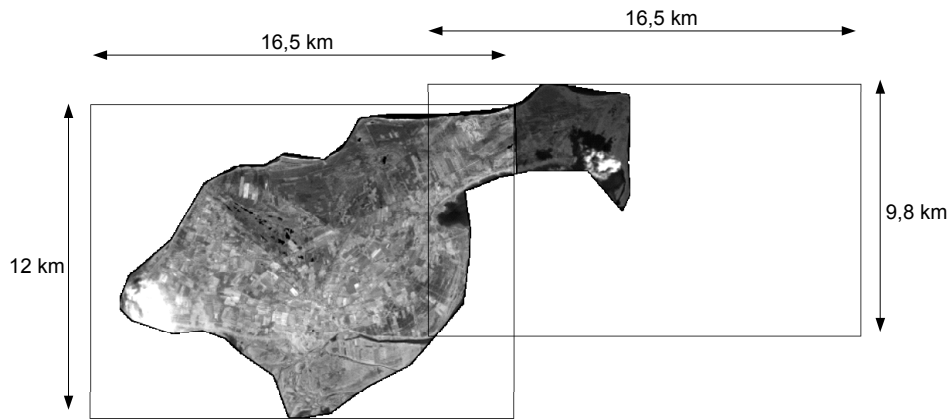


Figur 6.1: Oversigtskort for de benyttede fikspunkter. Det markerede område angiver billedets dækningsområde. [KMS, 2001]

Paspunkter

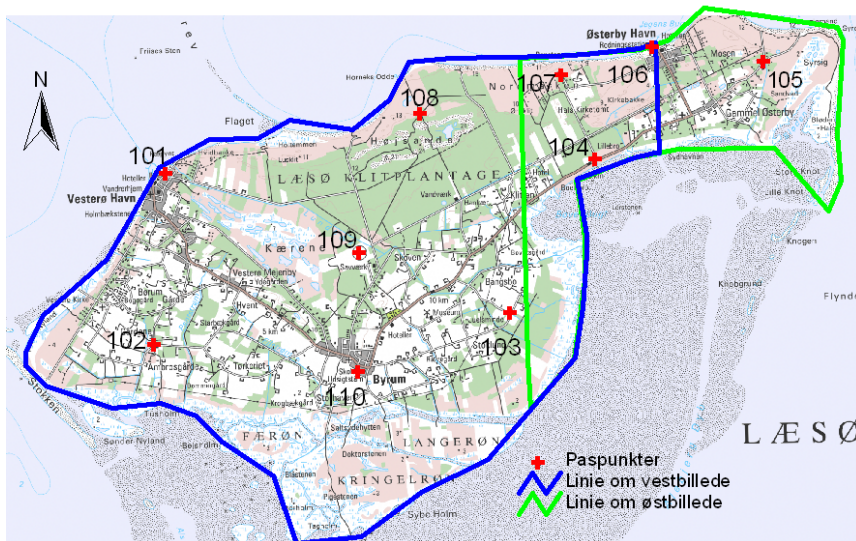
Som grundlag for oprettelsen af satellitbilledet har paspunkterne til formål at styrke billedet. I almindelig flyfotogrammetri viser erfaringer, at de bedste resultater ved opretning af enkeltbilleder opnås, hvis der placeres paspunkter i billedets fire hjørner. Eftersom denne undersøgelse har til formål at finde det bedst mulige antal samt placeringen af paspunkter i forbindelse med opretning af satellitbilleder, vælges det at indmåle 10 paspunkter fordelt i begge billeder.

Det er endvidere vigtigt at finde ud af, hvor i scanningsbilledet det bestilte område er placeret. Som allerede nævnt viser erfaringer, at det bedste resultat opnås hvis paspunkterne placeres i randen af hele scanningen. Det er derfor illustreret på figur 6.2, hvor det bestilte område er placeret i scanningen. Som tidligere nævnt foretages scanningen med 16,5 kilometer swath. Dette betyder, at vestbilledet dækker næsten hele scanningen. Det østlige billede dækker kun cirka halvdelen af scanningen, hvilket betyder, at det ikke er muligt at placere fikspunkter på den højre side af scanningsbilledet, da dette området er ude over vandet.



Figur 6.2: De originale scanningsstørrelser.

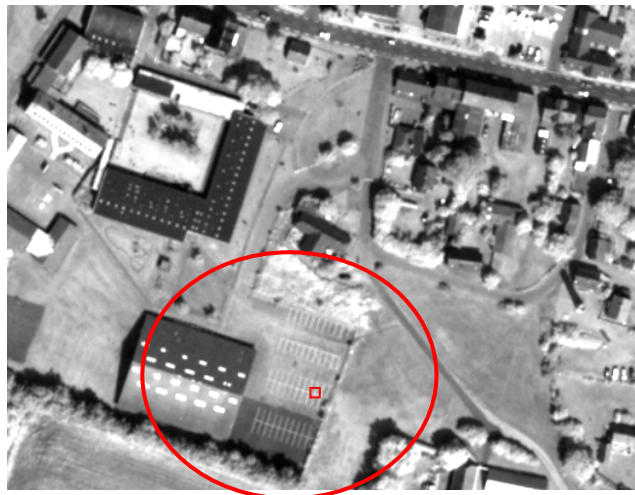
Egnede punkter er først identificeret i billederne ved at betragte disse på skærmen. Erfaringer viser, at for at kunne identificere punkter i digitale billeder, skal det valgte punkt i marken være større end cirka 3x3 pixels, hvilket svarer til cirka 2x2 meter i dette tilfælde. Dette krav har til tider været svært at opfylde, da størstedelen af øen består af skov og klitplantager. Derfor består størstedelen af de valgte paspunkter af centralsymmetriske punkter af mindre størrelse, eller punkter hvori der er stor kontrast. [Wolf, 2000, s. 363] Det ses på figur 6.3, hvorledes paspunkterne er fordelt på Læsø. I bilag 1 er hvert punkt beskrevet nærmere, og et foto viser det pågældende punkt.



Figur 6.3: Oversigtskort for de benyttede paspunkter. Det markerede område angiver billedets dækningsområde. [KMS, 2001]

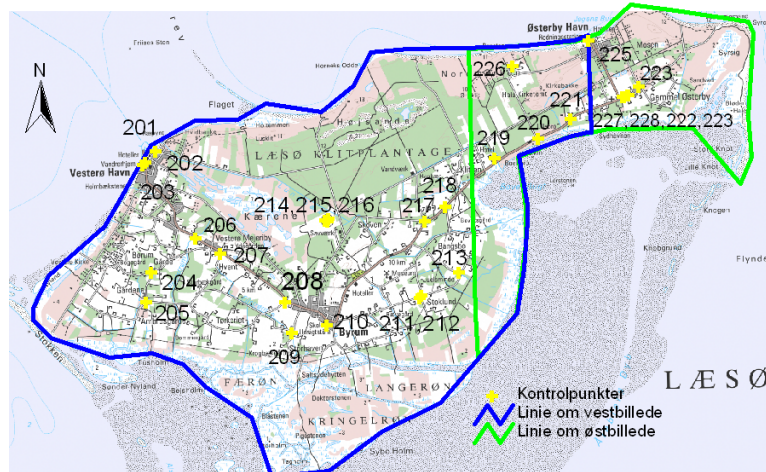
Kontrolpunkter

Kontrolpunkterne har til formål at undersøge for eventuelle deformationer i det oprettede billede, samt angive hvilken geometrisk nøjagtighed der kan forventes i billederne. Derfor er det vigtigt, at kontrolpunkterne placeres jævnt i billederne. [Wolf, 2000, s. 364] Antallet af kontrolpunkter afhænger af størrelsen på området samt antallet af paspunktsmålinger. Det er derfor vurderet, at der skal måles et minimum af 20 kontrolpunkter for at kunne kontrollere for eventuelle deformationer. Kontrolpunkterne er ligesom paspunkterne først fundet i billederne, inden de er fundet i marken og målt. Det lykkedes at finde 26 egnede kontrolpunkter fordelt over hele Læsø. Punkterne, der er blevet benyttet, består ligesom paspunkterne af mindre centralsymmetriske objekter som eksempelvis vejmidter, skæringer på parkeringsbåse jævnfør figur 6.4, eller punkter hvor der er stor kontrast.



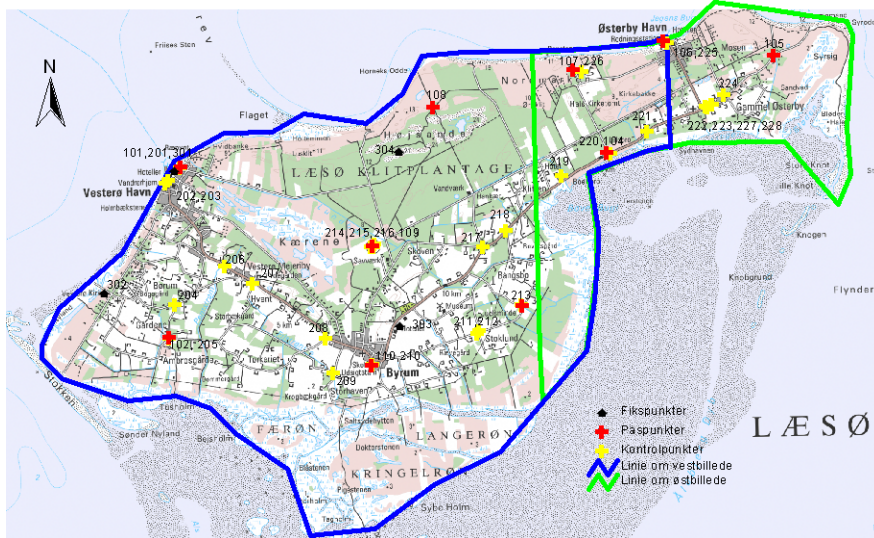
Figur 6.4: Eksempel på parkeringsbåse. Udsnittet illustrerer parkeringspladsen foran Byrum Skole.

Kontrolpunkterne ses på figur 6.5, og de nærmere beskrivelser findes i bilag 1.



Figur 6.5: Oversigtskort for de benyttede kontrolpunkter. Det markerede område angiver billedets dækningsområde. [KMS, 2001]

For at skabe et overblik over placeringen samt fordelingen af samtlige fiks-, pas- og kontrolpunkter placeres de nu i samme kort, jævnfør figur 6.6.



Figur 6.6: Fordelingen af fiks-, pas- og kontrolpunkter.

6.1.2 Punktnummerstrategi

Inden selve opmålingerne starter er det vigtigt at udarbejde en punktnummerstrategi. Dette gøres for at sikre en klar og entydig punktidentifikation. Det er yderst vigtigt, at denne punktnummerstrategi overholdes, således der ikke senere kan opstå problemer i forbindelse med beregningerne. På figur 6.7 er det muligt at se den udarbejdede punktnummerstrategi.

Paspunkter	100 - 199
Kontrolpunkter	200 – 299
Fikspunkter	300 - 399

Figur 6.7: Punktnummerstrategien.

6.1.3 Fremgangsmåde for dataindsamling

Inden der tages til Læsø for at indsamle data, er det vigtigt at bestemme en fremgangsmåde for, hvordan dataene skal indsamles.

Som allerede nævnt i beskrivelsen skal punkterne indmåles med GPS. Denne metode er valgt, da det er den hurtigste måde at indsamle de ønskede data på. Endvidere kan den nødvendige nøjagtighed opnås med denne måleteknik.

Med hensyn til nøjagtigheden har empiriske forsøg vist, at et punkt kan bestemmes i planen med en 1/3 pixel for almindelige flybilleder. Det har desværre ikke været muligt at finde frem til, hvor stor pixelstørrelsen i Quickbird billedet er, hvilket gør det svært at bestemme nøjagtigheden af de givne punkter. Endvidere vides det ikke, om det er muligt at måle punktet med 1/3 pixel i satellitbilledet. [Fraser, 2003]

Set ud fra den betragtning, at pixelstørrelsen er cirka 0,60 meter i billedet, bør det være muligt at måle bedre end 1/3 af pixelstørrelsen. Det vil sige, at nøjagtigheden på punktet skal være bedre bestemt end 20 centimeter. Det betyder at definitionsnøjagtigheden på punktet også er inkluderet i dette.

6.1.3.1 RTK-måling

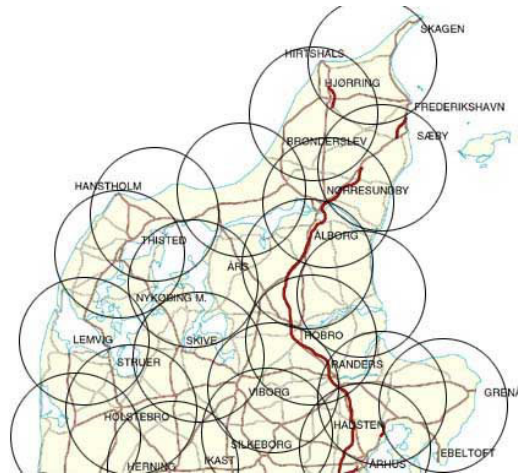
RTK-data kan indsamles ved hjælp af flere forskellige metoder, men fælles for dem alle er, at beregningerne foretages løbende i marken. RTK målemetoden indebærer en måling med minimum to modtagere, der er i stand til at måle på *fasen*. Derudover indebærer målemetoden, at der er løbende forbindelse ved hjælp af et datalink mellem masteren og roveren. Forbindelsen gør, at masteren udsender signaler til roveren, som gør det muligt for roveren at bestemme positionen på punktet mere nøjagtigt. [Dueholm, 2002, s. 87] Der findes i dag tre forskellige måder at indsamle RTK-målinger i Danmark. Disse er:

- Traditionel opstilling af masterstation, hvorefter GPS modtagerne sættes i forbindelse med hinanden ved hjælp af radiolink.
- Radio- eller Mobillink til GPS-Referencen
- Mobillink til GPSnet

Da det indmålte område er forholdsvis stort, er det fordelagtigt at anvende enten GPS-Referencen eller GPSnet. Ved anvendelse af radiolink skal der opstilles flere masterstationer, da radiolinket kun rækker et par kilometer.

GPS-Referencen

Teknikken bag GPS-Referencen bygger på et mobilopkald til den nærmeste permanente referencestation opstillet af GPS-Referencen, der i dette tilfælde er Frederikshavn, jævnfør figur 6.8. Producenten oplyser, at nøjagtigheden på positionen er få centimeter i en afstand af cirka 24 kilometer fra referencestationen. Dette er en acceptabel nøjagtighed, men der kan muligvis ikke initialiseres længere væk end 24 kilometer fra referencestationen, og Læsø ligger cirka 32 kilometer fra Frederikshavn. Hvis det endelig lykkes at initialisere, vil nøjagtigheden på positionen falde på grund af den afstandsafhængige fejl. [www.referencen.dk, 15.05.2004]



Figur 6.8: Dækningsområdet for Nordjylland med GPS.Referencen. [www.gps-referencen.dk, 14.05.2004]

Eftersom Læsø ligger længere væk end 30 kilometer fra Frederikshavn, benyttes denne RTK-tjeneste derfor ikke, da nøjagtigheden ikke kendes.

GPSnet

Teknologien bag GPSnet bygger på princippet om Virtuel Reference Station, der også kaldes VRS. GPSnet er baseret på, at et netværk af permanente GPS referencestationer konstant er i kontakt med en central beregningsenhed. Afstandene mellem referencestationerne kan være helt op til 100 kilometer. Der transmitteres således løbende rå GPS-data fra de permanente referencestationer til en central beregningsenhed. På baggrund af roverens positionen, der er bestemt ved absolut måling med en nøjagtighed på meterniveau, oprettes en midlertidig virtuel referencestation umiddelbart ved siden af roveren. Beregningsenheden genererer herefter korrektionsdata, som sendes til roveren og en ny RRS etableres. Herefter kan måling med centimeters nøjagtighed påbegyndes. VRS muliggør altså en ensartet nøjagtighed over hele landet med en plan nøjagtighed på 1 centimeter og en vertikal nøjagtighed på 2 centimeter. [www.gpsnet.dk, 03.05.2004]

6.1.3.2 Opmålingsprocedure

Til opmålingen benyttes det geografiske koordinatsystem WGS84. Dette gøres for at sikre at de netspændinger, som findes i system 34, undgås. Målingerne skal efterfølgende transformeres, da satellitbillederne samt fikspunkterne er givet i UTM32/WGS84.

Når både fiks-, pas- og kontrolpunkter skal indmåles er det vigtigt, at dette gøres uafhængigt af hinanden. Dette skal gøres, for at eventuelle fejl opstået under må-

lingen af kontrolpunktet ikke påvirker paspunktsmålingen. Ved at foretage nyt mobilopkald mellem hver måling, sikres denne uafhængighed mellem alle punkterne, da GPSnet beregner en ny fiktivt masterposition i nærheden af målingen.

Eftersom GPSnet kan benyttes i hele landet, vælges denne til indsamlingen af fikspas- og kontrolpunkterne. Det er vanskeligt at forudsige, om der er fuld mobildækning på Læsø, derfor vælges det at medbringe måleudstyr, således der kan etableres en masterstation med radiolink, hvis dette bliver nødvendigt.

Det er valgt at besøge alle punkter tre gange. Dette gøres for at kunne udjævne målingerne og derigennem sikre mod grove fejl i datasættet. Det vælges, at dele målingerne op i tre runder, hvor alle punkter besøges og indmåles fra vest mod øst. Dette skal sikre, at der måles til en anden konstellation af satellitter, for derigennem at få en ny position til punktet. Hermed sikres yderligere uafhængighed mellem målingerne i det enkelte punkt.

6.2 Databehandlingen

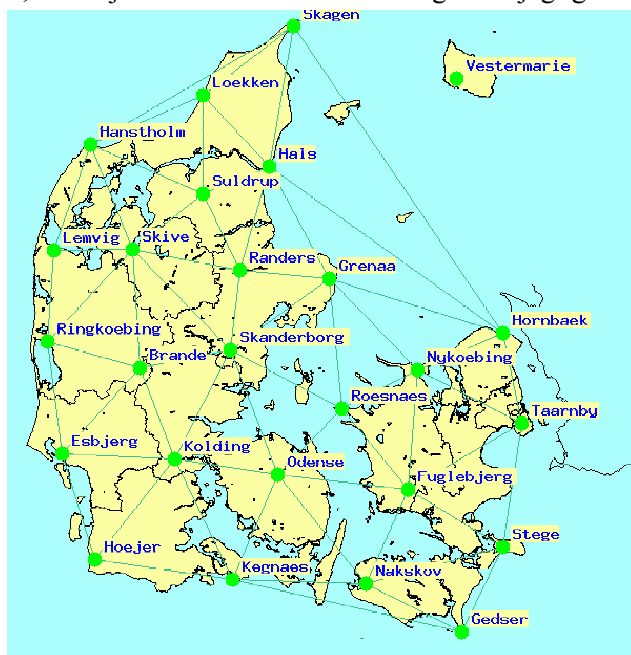
Først i dette afsnit beskrives, hvorledes dataindsamlingen er forløbet. Efterfølgende redegøres for, hvorledes databehandlingen forløber. Sluttelig gennemgås, hvorledes de rå observationer hentes ud af GPS-modtageren til en koordinatfil, som indeholder samtlige indmålte punkter, der efterfølgende kan hentes ind i Erdas.

6.2.1 Erfaringer fra opmålingen på Læsø

Målingerne er foretaget den 18. og 19. april 2004, og alle de egnede punkter, der blev fundet i billederne, var ligeledes at finde i naturen. Dog blev punkterne 222 og 223 registreret forkert de første to runder, da de lå ud for nabohuset. Dette medførte, at to nye kontrolpunkter 227 og 228 blev etableret umiddelbart ved siden af de forkert indmålte punkter på den tredje runde. For at sikre mod grove fejl blev punkterne 227 og 228 derfor indmålt på en fjerde runde, hvor kun disse to punkter blev målt. Der gik dog cirka $\frac{1}{2}$ time mellem de to runder, hvorved målingerne er uafhængige da der måles til en anden satellitkonstellation. De punkter, som blev indmålt, er 28 kontrolpunkter, 10 paspunkter og 4 fikspunkter.

Alle målingerne blev foretaget med GPSnet, hvilket ikke forløb uden problemer. Som illustreret på figur 6.9 ses det, at den vestlige del af Læsø ligger på kanten af dækningsområdet. Dette betyder, at når der ringes op til den dynamiske database, bliver den fiktive master i dette område ikke interpoleret men i stedet for ekstrapoleret. Dette har systemet nogle gange problemer med, hvilket gør, at roveren ikke var i stand til at initialisere på den vestlige del af Læsø. Sagt med andre ord betyder

det, at systemet ikke er i stand til at beregne det hele antal bølgelængder fra masten til roveren. Specielt på den tredje runde var det meget svært at få kontakt med tjenesten. Da alle punkter på nær 227 og 228 er målt 3 gange bør det ikke være noget problem, at tredje runde er bestemt med ringere nøjagtighed.

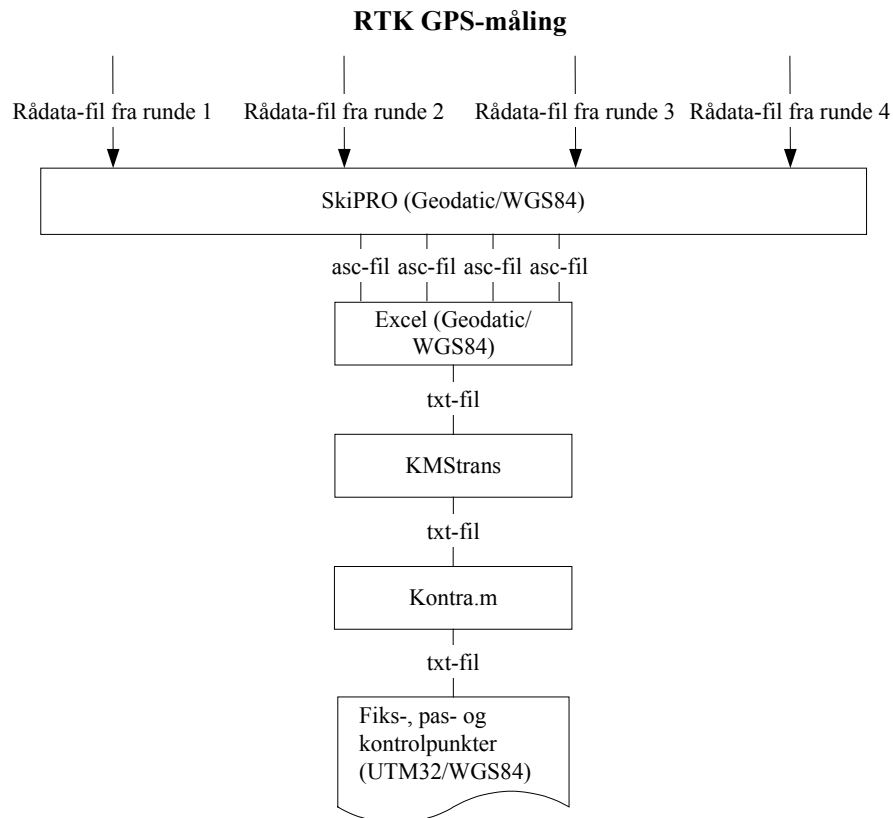


Figur 6.9: GPSnet dækningskort. [www.gpsnet.dk, 3.5.2004]

Under hver måling angiver GPS-udstyret en form for nøjagtighed. Denne nøjagtighed er værdien for den relative nøjagtighed altså en præcision af en måling. 3D nøjagtigheden lå og svingede på første runde imellem 4-7 centimeter, den anden imellem 7-10 centimeter og tredje imellem 7-11 centimeter. Denne unøjagtighed har dog ikke den store betydning, da det i bedste fald er med 20 centimeters nøjagtighed, der kan måles i billederne.

6.2.2 Klargøring af rådata

Før de indsamlede måledata kan benyttes som fiks-, pas- og kontrolpunkter i bearbejdningsprogrammet, er det nødvendigt at foretage en række processer. Disse er illustreret på figur 6.10, og alle datafilerne findes på vedlagte cd i mappen //Dataindsamling/.



Figur 6.10: Flowdiagram for databearbejdningen.

Beregningsprocedure:

- SKIpro omdanner de rå data fra GPS-modtageren til en læsbar ASCII fil.
- I Excel samles de fire rådata-filer i et dokument. Observationerne midles for at udjævne resultaterne samt eliminere eventuelle grove fejl.
- De udjævnede enkeltpunktskoordinater transformeres i Kort & Matrikelstyrelsen program KmsTrans til UTM32/WGS84.
- De samlede observationer af punkter transformeres efterfølgende til et kendt system ved hjælp af Matlabskriptet Kontra, som er udviklet på laboratoriet for landmåling. Den benyttede transformation er en 3D transformation uden målestoksændring. [Jensen, 2003, s. 156-157]

I Excel blev alle målingerne samlet, hvorefter der blev kontrolleret for grove fejl. På baggrund af følgende formel, der beregner punktspredningen samt den grove fejl, er det muligt at sortere fejlene væk:

$$\text{Spredningen: } \sigma_p = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}$$

$$\text{Grovfejlsgrænsen} = 3 \cdot \sigma_p$$

hvor,

x_i er den målte Easting koordinat

μ er middel af samtlige easting koordinater

n er antallet af observationer

[Jensen, 2003 s.14]

Spredningen i North samt Height udregnes efter samme princip.

Der blev fundet grove fejl på punkterne 102, 109, 215, 216, 217 og 218. Alle de grove fejl stammer fra runde tre, hvilket stemmer overens med de erfaringer, som blev iagttaget i forbindelse med opmålingen. Det kan til sidst konkluderes, at opmålingen samt de videre behandlingsprocesser af de indmålte punkter er forløbet uden problemer, og punkterne er nu klar til at blive indlæst i programmet Erdas til den videre behandling.

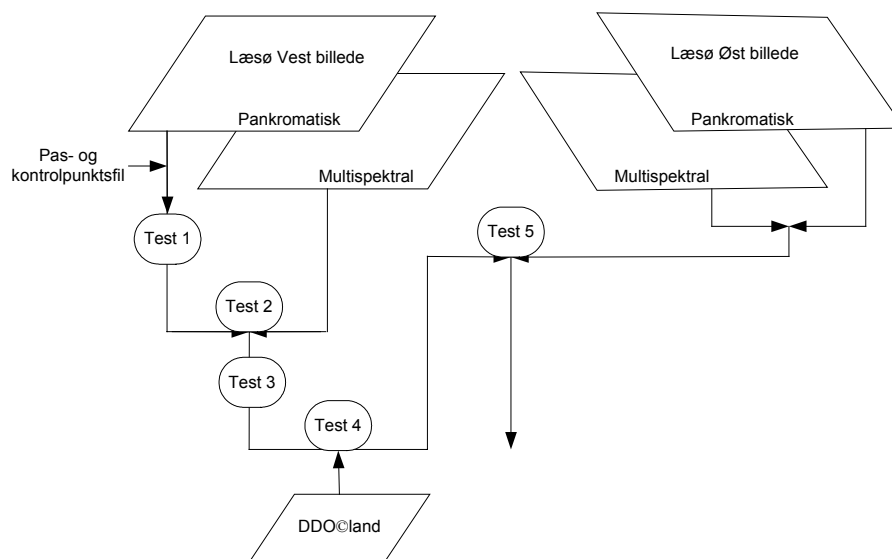
7 Udførelse af test

I dette kapitel undersøges satellitbilledet fra Quickbird gennem forskellige test, der gør det muligt at vurdere dets kvalitet samt anvendelighed til kortlægningsformål. I skemaet figur 7.1 kan det ses, hvilke test der bliver udført og med hvilket formål.

Navn på test	Formål
Test 1: Geometrisk nøjagtighed i det pankromatiske billede	At undersøge hvilken betydning antallet af paspunkter og deres placering har for den geometriske nøjagtighed.
Test 2: Billedtransformation	At undersøge hvorledes det pankromatiske billede transformeres sammen med det multispektrale billede.
Test 3: Radiometrisk opretning af de ukorrigerede billeder	At undersøge hvorledes der kan trækkes mere information ud af billederne.
Test 4: Sammenligning med DDO [®] land	At sammenligne den geometriske nøjagtighed samt billedkvalitet for satellitmodellen med DDO [®] land.
Test 5: Sammensætning af øst og vest billede	At undersøge hvorledes en mosaik fremstilles.

Figur 7.1: Oversigt over de udførte test.

Der er således fundet frem til fem forskellige test, der alle har det formål at anskueliggøre, om Quickbird kan erstatte DDO[®]land. På figur 7.2 tydeliggøres fremgangsmåden for de fem test.



Figur 7.2: Illustration af det grafiske forløb i de forskellige test.

Efter modtagelsen af Quickbird billederne og kontrollen af, om billedfilerne kan åbnes samt om pas- og kontrolpunktsfilen kan indlæses, kan Test 1 påbegyndes, jævnfør figur 7.2. Efterfølgende gennemgås hver enkelt test.

Opbygningen af alle test foregår ved, at formålet med testen forklares. Med dette menes, hvad der skal analyseres. Derefter gennemgås, hvilken teori testen bygger på samt forudsætninger for testen. Efterfølgende forklares den praktiske udførelse af testen, som eksempelvis hvilke funktioner i programmet Erdas der anvendes for at komme frem til resultatet. Herefter gennemgås resultatet af testen, og afslutningsvis gives en vurdering af resultaterne af testen.

7.1 Test 1 – Geometrisk nøjagtighed

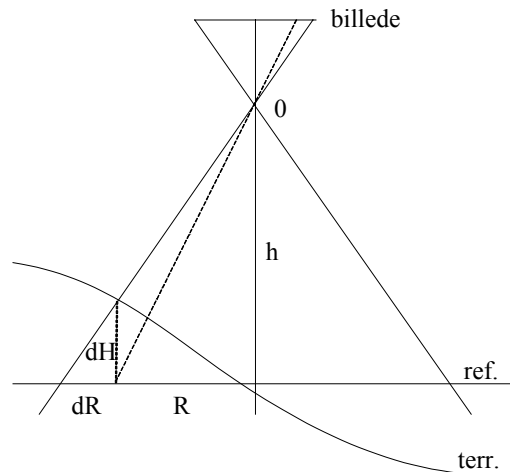
Formålet med denne test er at finde frem til, hvilken geometrisk nøjagtighed der findes i Quickbird billedet. Dette gøres ved at undersøge, om antallet af paspunkter samt beliggenheden af disse har nogen betydning for den endelige opretning. Derefter sammenstilles de forskellige muligheder, og på baggrund af dette er det muligt at finde det nøjagtigste resultat. Denne undersøgelse udføres kun på det pankromatiske vestbillede, jævnfør figur 7.2. Dette skyldes, at der er fundet frem til, at Erdas programmet kun kan oprette enkeltscener fra Quickbird satellitten. Der vælges derfor kun at bruge det vestlige billede, da dette billede indeholder det største datamateriale, hvilket vil sige den største del af Læsø er dækket af denne scene. Endvidere er der også i det billede indsamlet flest fiks-, pas- og kontrolpunkter.

7.1.1 Teori

Billedet skal oprettes ved hjælp af den tilhørende RPC-fil. Grunden hertil er, at der ikke oplyses værdier for hverken den indre eller den ydre orientering for dette billedprodukt.

Når den tilhørende RPC-fil benyttes i programmet bliver brugeren stillet overfor at skulle vælge en funktion, som gør, at opretningen kan optimeres. Dette er dog afhængig af de indsamlede paspunkter, samt antallet af paspunkterne. Brugeren kan vælge at forfine beregningen ved yderligere at benytte funktionerne; 2D translation, en affin transformation eller en andengrads transformation. Erdas oplyser dog, at en 2D translation eller affin transformation som regel reducerer de fejl, der eksisterer i den rationelle funktionsmodel. [Erdas, 2004] Brugen af transformationstyper er dog afhængig af antallet af paspunkter, da den affine transformation som minimum skal bruge tre paspunkter, mens anden ordens transformation skal bruge minimum seks paspunkter. Gennem udførelsen af testen er det derfor vigtigt at undersøge, hvilken metode der giver det bedste resultat for til sidst at kunne drage den rigtige konklusion.

Inden det er muligt at foretage denne oprettelsen af billedet, er det vigtigt at finde ud af, hvor stor en fejl der stammer fra den anvendte højdemodel. I denne test vælges det at oprette billedet på baggrund af en fast middelhøjde i området, da der ikke følger en højdemodel med datamaterialet. Dette giver ikke de store problemer, da Læsø ikke har de store afvigelser i terrænet. Eftersom billedet oprettes til en fast ellipsoidehøjde, er det vigtigt at undersøge, om den får indflydelse på opretningen af billedet. På figur 7.3 illustreres, hvordan højdeforskydning har indflydelse på punktets beliggenhed.



Figur 7.3: Illustration af hvorledes ét punkt forskydes på grund af højdeforskellen. [Lavridsen, 1993, s.59]

dR og dH er beregnet ud fra følgende formler:

$$dH = \text{terrænhøjden} - \text{ellipsoidehøjden}$$

$$dR = \frac{dH \cdot R}{h - dH}$$

Hvor,

- dR er forskydningen af punktet
- R er afstanden til billedmidtpunktet
- h er flyvehøjden

[Lavridsen, 1993, s.63]

Placeringen af punkterne er, som tidligere nævnt i kapitel 6 *Dataindsamling*, også af betydning for oprettelsen af billedet. Derfor testes samtidig forskellige kombinationsmuligheder for paspunkterne. Det indsamlede datamateriale, der dækker vest-

billedet består af 9 paspunkter og 23 kontrolpunkter, derfor benyttes alle disse til testen.

7.1.2 Udførelse

Inden den egentlige opretning foretages beregnes højdeforskydningen til alle de målte punkter. Dette gøres ved hjælp af det producerede Matlab-script Højde.m, der er vedlagt cd i mappen //test/test1 på cd'en.

Den praktiske udførelse af opretningen sker ved at benytte funktionen "Image Geometric Correction" i Erdas. I "Geometric Correction" guides brugeren nemt igennem opretningsproceduren. Da testen har til formål at bestemme, om antallet af paspunkter og den indbyrdes placering af disse har betydning, vælges det at oprette billedet 25 gange. I hver ny opretning ændres antallet af paspunkter eller placeringen af dem. Placeringen af punktet/punkterne er bestemt ud fra den forudsætning, at de skal fordeles symmetrisk i billedet, samt kombineres på så mange forskellige måder som muligt. Endvidere er de benyttede paspunkter placeret enten tæt på randen af billedet eller i midten af billedet. Testen foretages for at finde frem til, hvilket antal paspunkter samt placering af disse, som giver det bedste resultat. Samtidig skal testen også afsløre, om det er muligt at opstille nogle generelle retningslinier for, hvorledes et satellitbillede skal oprettes. Resultaterne præsenteres i form af en tabel, der viser de opnåede nøjagtigheder. Proceduren for gennemgangen af de mange opretninger, hvor der anvendes den tilhørende RPC-fil, er:

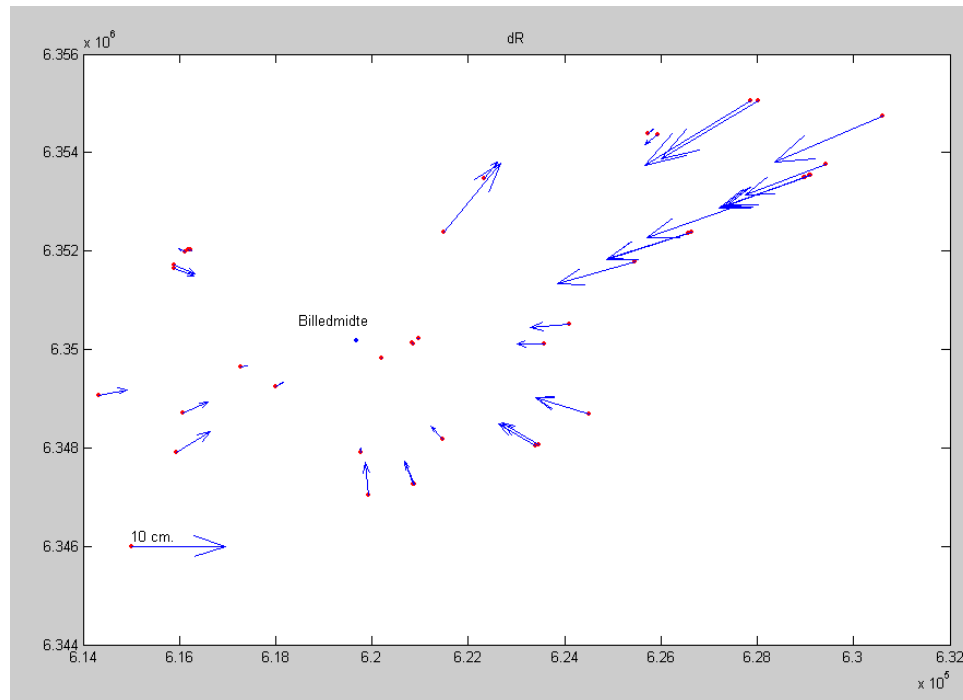
- Anvendelse af nul paspunkter.
- Anvendelse af ét paspunkt. Endvidere undersøges det samtidig om placeringen af paspunktet har nogen betydning for nøjagtigheden. Deltesten gentages ni gange med paspunkterne 101-109, da de er fordelt i hele billedet.
- Anvendelse af to paspunkter. Yderligere testes betydningen af paspunkternes placering. Dette gøres ved at benytte paspunkterne 101-104, 108 og 110 i forskellige kombinationer.
- Anvendelse af tre paspunkter. Endvidere testes placeringens betydning med punkterne 101-103, 106 og 109 i forskellige kombinationer.
- Anvendelse af fire paspunkter. Denne opretning foretages med punkterne 101-103 og 106, da de er placeret i billedets hjørner.
- Anvendelse af fem paspunkter, hvor de fire punkter er placeret i hjørnerne og det sidste i midten af billedet. De omhandlede punkter er 101-103, 106 og 109.
- Anvendelse af seks paspunkter. Oprettelsen foretages med punkterne 101-103, 106, 108 og 110.

- Anvendelse af syv paspunkter. Endvidere testes betydningen af paspunkternes placering. Dette gøres ved at benytte paspunkterne 101-104, 106-110 i forskellige kombinationer.
- Anvendelse af otte paspunkter. De brugte paspunkter er 101-104, 106-108 og 110.
- Oprettningen foretages med alle ni indmålte paspunkter

Under hver opretning benyttes punkterne 201-221 og 226 som kontrolpunkter. Disse punkter skal sikre, at oprettningen foregår som planlagt. Endvidere skal de give et signal om, hvilken geometrisk nøjagtighed der kan forventes i billedet. Under hver test undersøges endvidere, hvilken transformationsmodel der giver det bedste resultat. Denne transformationsmodel anvendes efterfølgende i testen, hvilket gøres for at opnå det bedst mulige resultat. Endvidere er det vigtigt at påpege, at til alle 25 opretninger foretages med det samme datamateriale.

7.1.3 Resultater

Den første del af undersøgelsen består i at vise, om det er muligt at oprette billedet til en middeltærrænhøjde. På baggrund af formlen i figur 7.3 beregnes højdeforskydningen. Flyvehøjden for dette billede er ikke opgivet fra producenten. Derfor vælges det at benytte den oplyste flyvehøjde i deres produktguide, der er 450 km. Af figur 7.4 ses det grafisk, at fejlene er så små, at de ikke får nogen betydning for det endelige resultat. Den største fejl er 0,13 meter, hvilket betyder, at der ikke påføres væsentlige fejl ved oprettelsen. Dette understreges også i afsnit 3.3.5 *Fejl på grund af kameraets drejefunktion*, hvor producenten har undersøgt, hvor stor en højdeforskel i terrænet der skal være for, at det går ud over den plane nøjagtighed. Det ses på figur 3.12, at terrænet skal have 29 meter i højdeforskel, før det får nogen betydning. Derfor har højdemodellen ingen betydning på Læsø, da det højeste punkt på Læsø kun er 24 meter. [DigitalGlobe, 2003, s. 4]



Figur 7.4: Fejlbidragene i planen på grund af højdeforskydningen. Den valgte flyvehøjde er 450 km.

Da den nøjagtige højde af satellitten ikke er opgivet for selve scanningen er dR beregnet for højderne 400, 450 og 500 km. Disse højder er benyttet på grund af, at satellitten er opgivet til at have sin bane 450 km over jorden. Det ses af bilag 2, at fejlen ikke vokser betydeligt. I værste fald ændres dR 2 cm. fra 400 km til 500 km.

Inden en opretning af billedet over den vestlige del af Læsø kan påbegyndes i Erdas, importeres de indmålte fiks-, pas- og kontrolpunkter i programmet. Herefter måles de korresponderende punkter i billederne.

Når punkterne er målt i billederne, udføres oprettelsen i Erdas. Herefter er det muligt at iagttage resultaterne, der består af en afvigelse i x- og y-retningen samt en RMS værdi for det enkelte punkt. Afvigelsen i x- og y-retningen er afstanden mellem de målte billedpunkter og de indmålte punkter i marken. Yderligere beregnes den totale afvigelse i x- og y-retningen samt den totale RMS. Den totale RMS, som også kaldes RMS_p er beregnet ud fra følgende formel:

$$RMS_p = \sqrt{RMS_x^2 + RMS_y^2}$$

Endvidere oplyses der en værdi, som er et udtryk for, hvor meget det enkelte punkt bidrager til det samlede resultat. Denne værdi er beregnet ud fra følgende formel:

$$\text{Contrib.} = \frac{RMS_{\text{måling}}}{RMS_p}$$

[Erdas, 2004]

Et eksempel på en resultatfil ses i figur 7.5. Skærmdumps af alle resultatfiler er vedlagt på medfølgende CD i mappen \\Test\Test1. Endvidere kan alle parametre og beregninger ligeledes findes i samme mappe.

Point #	Point ID	Color	X Input	Y Input	X Ref	Y Ref	Z Ref	Type	X Residual	Y Residual	RMS Error	Contrib.
1	101		616178.961	6352017.125	616186.386	6352021.955	44.774	Control	-0.287	-0.478	0.557	0.536
2	102		615928.517	6347895.822	615933.322	6347899.868	40.620	Control	-0.583	0.815	1.001	0.962
3	103		624511.583	6348679.977	624516.994	6348684.529	39.647	Control	-0.519	-0.815	0.966	0.929
4	104		626554.935	6352357.704	626562.305	6352360.973	39.312	Control	-0.051	1.011	1.013	0.973

Figur 7.5: Screen dump fra Erdas, der viser et eksempel på resultaterne ved en oprettelse.

Inputkoordinaterne repræsenterer de målte billedkoordinater, og Ref. er de indlæste GPS observationer. Det ses i figuren, at programmet beregner residualerne imellem punkterne samt den lokale RMS Error og den totale RMS der også kaldes punktfejlen (RMS_p).









En opsummering på alle totale afvigelser i x- og y-retning samt RMS for både pas- og kontrolpunkter er illustreret på figur 7.6. Det, der skal lægges mærke til i figuren, er, at nøjagtigheden forbedres i takt med at antallet af paspunkter der øges.

Første kolonne angiver den benyttede transformationsmodel, der er anvendt for at forfine det endelige resultat. De anvendte signaturer betyder følgende

- 0 betyder, at der er blevet benyttet en 2D translation.
- 1 betyder, at der er blevet benyttet en affin transformation.
- 2 betyder, at der er blevet benyttet en andengrads polynomium transformation.

Kortlægning baseret på satellitbilleder

Be-regnings-metoder	Antal punkter	Anvendte punkter	Resultater (RMS)						Placeringen af paspunkter på billedet
			Paspunkter [m]			Kontrolpunkter [m]			
			r_x	r_y	RMS _P	r_x	r_y	RMS _P	
0	0	-	-	-	-	14,67	5,85	15,79	
0	1	101	-	-	-	1,67	0,83	1,87	
0	1	102	-	-	-	3,66	0,61	3,71	
0	1	103	-	-	-	2,61	0,90	2,76	
0	1	104	-	-	-	2,13	1,90	2,85	
0	1	106	-	-	-	3,57	1,26	3,79	
0	1	107	-	-	-	4,58	2,57	5,25	
0	1	108	-	-	-	4,05	1,31	4,26	
0	1	109	-	-	-	1,97	0,69	2,09	
0	2	102,106	3,21	0,48	3,25	1,67	0,87	1,88	
0	2	101,103	1,06	0,05	1,05	1,92	0,86	2,11	
0	2	102,104	2,29	0,83	2,43	1,93	1,14	2,43	
0	2	108,110	3,35	0,12	3,35	1,70	1,21	2,09	
0	3	102,106,109	2,67	0,61	2,74	1,70	0,67	1,82	
0	3	101,103,109	0,54	0,73	0,58	0,59	0,29	0,65	
0	3	101,102,106	2,62	0,69	2,72	1,67	0,64	1,79	
0	3	102,103,106	2,78	0,73	2,87	1,81	0,63	1,95	

1	4	101,102, 103,106	0,04	0,55	0,55	1,26	0,55	1,38	
1	5	101,102, 103,106, 109	0,79	0,68	1,04	0,88	0,54	1,03	
1	6	101,102, 103,106, 108,110	0,07	0,70	1,0095	0,96	0,66	1,16	
2	7	101,102, 103,106, 108,109, 110	0,03	0,15	0,15	0,77	0,60	0,97	
2	7	101,102, 103,104, 106,108, 110	0,06	0,28	0,29	0,77	0,59	0,97	
2	7	101,102, 103,106, 107,108, 110	0,18	0,74	0,76	0,81	1,44	1,65	
2	8	101,102, 103,104, 106,107, 108,110	0,20	0,83	0,86	0,79	0,61	0,99	
2	9	101,102, 103,104, 106,107, 108,109, 110	0,12	0,79	0,81	0,79	0,61	0,99	

Figur 7.6: Resultater af Test 1.

7.1.4 Vurdering

Ud fra Test 1 er det muligt at konkludere, at ved kun at anvende den tilhørende RPC-fil er det muligt at oprette billedet, således det opnår en geometrisk nøjagtighed på 15,8 meter, jævnfør figur 7.6. Dette må siges at være ganske fornuftigt taget i betragtning, at satellitten flyver i en højde af 450 kilometer over havniveau. Erfaringer viser, at ved brug af INS og GPS-målinger ved almindelig flyfotoopmåling kan der opnås en geometrisk nøjagtighed på cirka en meter. Her flyves der i 3.800 meters højde og med en væsentlig lavere hastighed end satellitten. Hastigheden på

flyveren er cirka 200 km/t, hvorimod satellittens hastighed er 25.560 km/t. [Strunck, 25.05.2004], [DigitalGlobe, 2003, s. 3]

Indmåles kun ét paspunkt bliver den geometriske nøjagtighed forbedret med en faktor 4 i forhold til paspunkterne, hvilket ses ud fra beregningerne af kontrolpunkterne. Placeringen af paspunkterne spiller dog kun en mindre rolle. Det fremgår af beregningerne, som er vedlagt i filen *Resultater fra Test 1* på cd'en i mappen \\Test\Test1, at kontrolpunkterne i modsatte ende af paspunktet får en større betydning, end de kontrolpunkter der ligger tæt på. Det generelle billede viser, at det bedste resultat forekommer, hvis der måles et paspunkt i midten af billedet.

Ved brugen af to paspunkter forbliver den geometriske nøjagtighed cirka den samme som ved brugen af ét paspunkt. Dog ligger kontrolpunkterne mere stabilt omkring 2 meter i nøjagtigheden. Placeringen spiller en mindre rolle i det endelige resultat. Det er igen vigtigt at placere paspunkterne i hver ende af billedet for at opnå det bedste resultat.

Når der benyttes tre punkter til oprettningen, er det svært at finde systematik i testen. Med systematik menes, at placeringen ikke synes at have betydning for det endelige resultat. Den geometriske nøjagtighed for kontrolpunkterne styrkes dog i forhold til at benytte nul til to paspunkter. Dette kan blot være et udslag af, at et ekstra paspunkt benyttes. Det har dog vist sig, at det bedste resultat fremkommer ved brug af en simpel 2D translationen, selvom det er muligt at benytte den affine transformation, da der indgår tre punkter i oprettelsen.

Som tidligere nævnt opnås den bedste geometriske nøjagtighed i almindelig fotogrammetri, hvis fire paspunkter placeres i hver sit hjørne. I dette tilfælde bliver nøjagtigheden ligeledes forbedret ved en sådan placering af paspunkterne. Som det ses på figur 7.6 bliver det nu muligt at indmåle punkter bedre end en pixel. Her har det endvidere vist sig, at det bedste resultat fremkommer, hvis der benyttes en affin transformation til at forfine RPC-modellen.

Når der benyttes fem paspunkter til oprettningen ses det, at den geometriske nøjagtighed bliver en smule dårligere. Dette kan skyldes, at punkt 109, der er placeret i midten, er dårligere bestemt. Endvidere kan det skyldes, at de andre fire trækker for meget i billedet. Alligevel ses det af kontrolpunkterne, at den geometriske nøjagtighed forbedres i hele billedet, hvis den affine transformation benyttes, da det bedste resultat fremkommer ved brugen af denne.

Ved at benytte seks paspunkter i oprettningen forbedres den geometriske nøjagtighed ikke væsentligt i forhold til brugen af fem punkter. Det bedste resultat fore-

kommer ved brug af den affine transformation, selv om det er muligt at benytte en andenrads transformationen. Grunden til dette kan skyldes, at der ikke er nogle overbestemmelser.

Ved at benytte syv paspunkter til opretningen ser det ud til, at placeringen spiller en rolle. Hvis ikke punkterne placeres således, der er ligevægt i billedet, forringes den geometriske nøjagtighed. Alligevel er der sket et stort spring i den geometriske nøjagtighed. Dette kan skyldes, at der er blevet benyttet en andenrads transformation i stedet for den affine transformation. Ligevægten i placeringen af paspunkterne i billedet medfører, at det er muligt at indmåle paspunkterne bedre end 1/3 pixel, da den opnåede nøjagtighed på paspunkterne er på 15,5 cm. Ligeledes ses der en forbedring i kontrolpunkterne, da de ligger under en meter i nøjagtigheden.

Ved at anvende otte eller ni paspunkter til opretningen, ses det, at paspunkternes samlede geometriske nøjagtighed stiger i forhold til brugen af syv. Dog ses der ikke nogen forbedring i den geometriske nøjagtighed for kontrolpunkterne, hvilket kan tyde på, at der ikke kan måles bedre end 1 meter i billedet. Igen er der blevet benyttet en andenrads transformation, da dette giver det bedste resultat.

Generelt for testene i forsøg 1 kan det konkluderes, at det bedste resultat forekommer ved at anvende syv paspunkter, da der ikke opnås nogen væsentlig forbedring i den geometriske nøjagtighed af kontrolpunkterne ved at anvende flere end syv paspunkter. Det forudsætter dog, at punkterne er placeret symmetrisk i hele billedet for at undgå vridninger i billedet.

Eftersom den geometriske nøjagtighed svinger meget ved brug af et eller to paspunkter kan det konkluderes, at sådanne opretninger ikke bør foretages i fremtiden. Endvidere skal der være sikkerhed for, at en opretning ikke indeholder grove fejl, hvilket sikres ved at have overbestemmelser. Yderligere kan det derfor også konkluderes, at brugen af transformationerne, affin transformation og andenrads transformation først skal benyttes, når der er overbestemmelser tilstede. Ligeledes ses det i figur 7.6, at ovennævnte transformationer først giver bedre resultat i opretningen, hvis der som minimum er en overbestemmelse.

Set med økonomiske øjne er det ikke muligt at opsætte retningslinier for, hvor mange paspunkter der benyttes til opretning af et satellitbillede. Dette skyldes, at det benyttede område har en meget speciel karakter, idet Læsø har et meget fladt terræn. Der er endvidere fundet frem til, at det er nok at beregne en gennemsnitshøjde for området. En højdemodel er derfor nødvendig på Læsø grund af det flade terræn. Retningslinierne er endvidere svære at opstille, eftersom testen kun er foretaget i et billede, hvilket ikke kan give et statistisk bud.

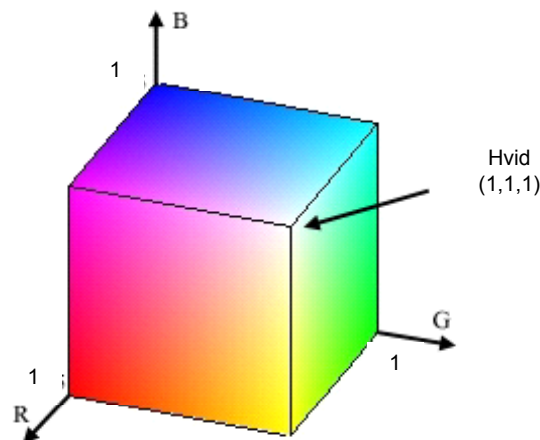
7.2 Test 2 - Billedtransformation

Gennem Test 1 er der taget udgangspunkt i det pankromatiske vestbillede fra Quickbird satellitten. Da satellitbilledet senere skal sammenlignes med den eksisterende DDO[®]land fra 1999, er det nødvendigt, at satellitbilledet også præsenteres i farver. Denne test har derfor til formål at beskrive, hvorledes der foretages en transformation mellem det pankromatiske billede og det multispektrale billede. Denne transformation resulterer i, at satellitbilledet kan præsenteres i farver med den samme geometriske nøjagtighed, som er præsenteret i Test 1.

7.2.1 Teori

Som tidligere nævnt har Quickbird satellitten under scanningen af det pankromatiske billede også scannet billedet i det multispektrale bånd. Desværre indeholder det multispektrale billede ikke samme geometriske nøjagtighed som det pankromatiske billede. Det er derfor nødvendigt at transformere intensitetsværdierne fra det pankromatiske billeder over i det multispektrale billede. Dette gøres for at opnå en bedre geometrisk nøjagtighed i billederne samt forøge billedkvaliteten.

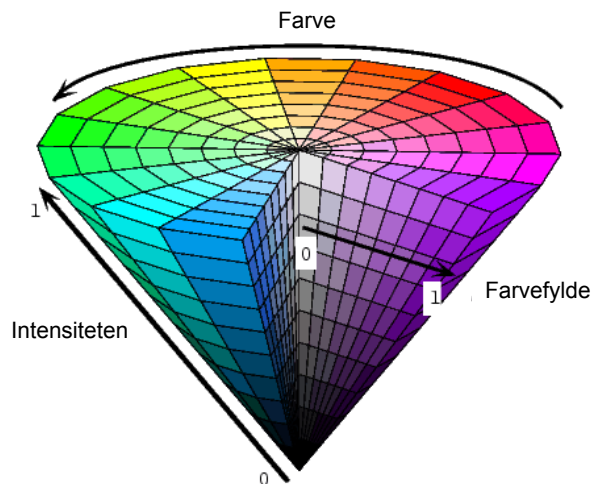
Det multispektrale billede består af båndene rød, grøn, blå og infrarød, men visualiseres i farvespektret RGB. Hvert farvebånd angives med værdier mellem 0 og 65535 ved 16-bit billeder. Disse værdier repræsenterer den tildelte lysmængde i farvebåndet. Afhængigt af, hvorledes disse værdier sammensættes, fremkommer en farve. På figur 7.7 fremgår det, hvorledes et RGB-billedes farver fremkommer på baggrund af de forskellige båndes pixelværdier. Måden, den enkelte pixels farve fremkommer på, er altså produktet af de tre farvebånd sat sammen. [mróz, 2003]



Figur 7.7: Illustration af RGB spektret. [The Mathworks. 2001. s.13-91]

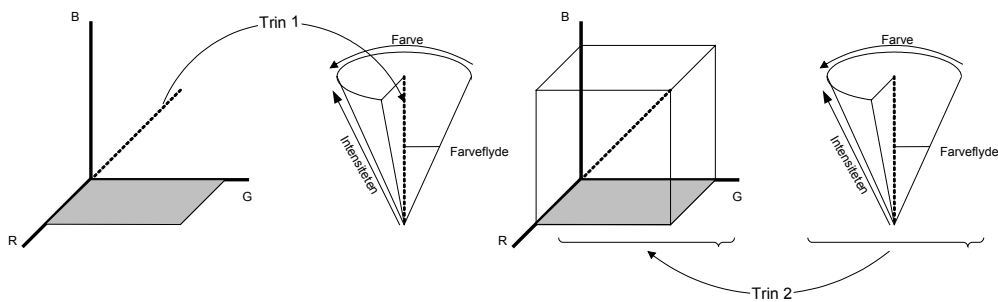
Figuren viser hvordan RGB spektret er defineret. Det pankromatiske spektrum findes i den diagonale linie mellem sort (0,0,0) og hvid (1,1,1), hvilket er vigtigt i denne sammenhæng. Grunden til dette er, at det pankromatiske billede kun er repræsenteret i denne linie, da billedet ikke indeholder farver. [mróz, 2003]

Fremgangsmåden for transformationen udføres i to trin. I første trin transformeres RGB farverne over i et farvespektret IHS, som står for Intensitet, Hue (farve) og Saturation (farvefylde). IHS spektret er en anden måde at opsætte farvespektret på, som illustreret på figur 7.8. [mróz, 2003]



Figur 7.8: Illustration af IHS spektret. [Stahlberg, 2002, s. 56]

I IHS spektret erstattes intensiteten af komponenten med det pankromatiske billede. I trin to foretages den inverse transformation for at komme tilbage i RGB spektret, jævnfør figur 7.9. Resultatet af denne proces bliver et pan-sharpe billede. Hele formålet med denne proces er at forbedre det nuværende billede, således der kan trækkes flere oplysninger ud af billedet.



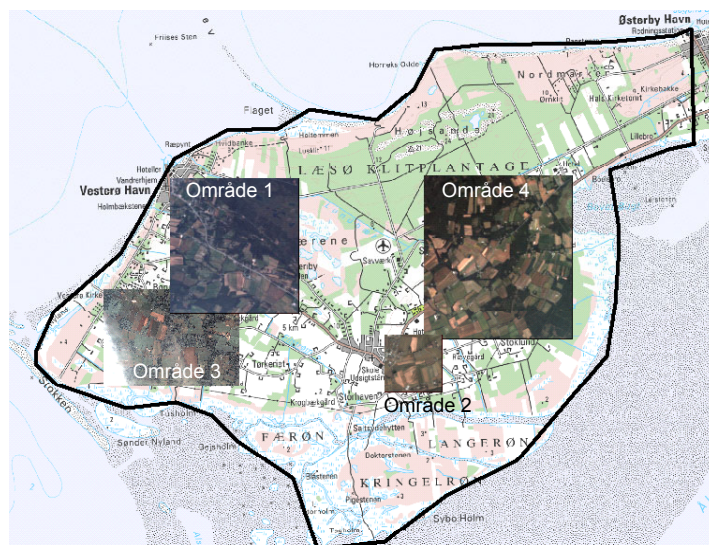
Figur 7.9: Transformationsforløbet.

7.2.2 Udførelse

Før det er muligt at transformere de to billeder sammen, skal det multispektrale billede også oprettes. Dette gøres efter samme principper som i Test 1, hvilket betyder, at opretningen af det multispektrale billede også er foretaget med syv paspunkter symmetrisk fordelt i billedet. Eftersom det ikke er muligt at overføre de beregnede parametre, som er fundet under oprettelsen i Test 1, benyttes de samme målinger i billederne. Efter begge satellitbilleder er oprettet, er det nu muligt at transformere dem. Den praktiske udførelse sker ved at benytte funktionen ”Interpreter” i Erdas.

Programmet åbner en dialogboks, hvor det pankromatiske billede først udpeges. Herefter angives det multispektrale billede, og til sidst skrives navnet på det nye pan-sharpe billede. Efterfølgende foretager programmet transformationen, og pan-sharpe billedet er nu blevet produceret og er klar til brug.

Da de enkelte billedfiler fra Quickbird satellitten er større end 1 gigabyte, vælges det kun at transformere fire mindre områder af billedet. Dette gøres på grund af manglende computerkraft, da Erdas er installeret på egen computer. Områderne vælges således at, de repræsenterer et bredt udsnit af Læsø. Før det er muligt at udføre transformationen, er det nødvendigt at gemme det ønskede udsnit, hvilket gøres ved at benytte funktionen ”Subset Image”. Det første område i vestbilledet er taget i udkanten af Østerby. Næste område dækker den østlige del af Byrum, mens tredje område dækker et område på den sydøstlige del af øen, og det sidste område dækker et landområde midt på øen, jævnfør figur 7.10.



Figur 7.10: Illustration af områdernes placering. Den sorte linie viser billedrammen. Målforsholdet er cirka 1:82.000.

7.2.3 Resultater

Efter Erdas har foretaget transformationen, ses et udsnit fra alle fire områder på figurene 7.11, 7.12, 7.13 og 7.14.



Figur 7.11: Illustration af fremgangsmåden for billedtransformationen. Billedudsnittene viser udkanten af Østerby. Målførholdet i billederne er 1:3.000 (240 μ m).

Det ses på figur 7.11, at der ikke er sket nogen større forbedring i billedkvaliteten. Det eneste, der syntes at være sket er, at farverne er blevet lidt matte. De detaljer, som findes i det pankromatiske billede kan ikke findes i det nye billede.



Figur 7.12: Illustration af fremgangsmåden for billedtransformationen. Billedudsnittene viser udkanten af Byrum. Målförholdet i billederne er 1:2.500 (240 μ m).

På figur 7.12 ses det igen, at der ikke er sket den store forandring fra det multispektrale billedet til pan-sharpe billedet. Der sker endvidere en forringelse i farverne, da den grønne farve bliver transformeret til lilla.



Figur 7.13: Illustration af fremgangsmåden for billedtransformationen. Billedudsnittene viser en gård, der ligger nede på den sydøstlige del af Læsø. Målforholdet i billederne er 1:1.500 (400 μ m).

På figur 7.13 ses et eksempel på, at transformationen er gået godt. Der ses tydeligt hvorledes den geometriske nøjagtighed er bibeholdt i billedet, og samtidig har billedet fået tilført farver. Dog virker det som om, farverne har et rødt skær, og igen ser billedet ud til at være lidt mat.



Figur 7.14: Illustration af fremgangsmåden for billedtransformationen. Billedudsnitte-
ne viser Østerbyvej cirka midt på Læsø. Målforsholdet i billederne er 1:3500
(171 μ m).

På figur 7.14 ses det igen, hvorledes detaljeringen i pan-sharpe billedet mangler. Med hensyn til farverne er den grønne farve stadig grøn, men billedet er igen blevet lidt mat.

7.2.4 Vurdering

Det kan konkluderes, at resultaterne af transformationerne er meget svingende. Specielt figur 7.13 skiller sig væsentlig ud fra de andre område. I dette område er transformationen forløbet uden problemer. Dette ses tydeligt, da billedet har bibeholdt den geometriske nøjagtighed fra det pankromatiske billede og fået farvebåndene fra det multispektrale billede. Resultaterne på figurerne 7.11, 7.12 og 7.14 er derimod forskellige. Specielt i byområderne kan der ikke engang ses en ændring i

billedet fra det multispektrale til pan-sharpe billedet. Dette kan skyldes, at de multispektrale billeder er blevet overbelyste i optageøjeblikket. Dette kan specielt ses på vejene, som optræder meget hvide.

Fejlen i transformationen kan også skyldes, at billederne ikke er oprettet ens, hvilket betyder, at pixelværdierne ikke transformeres tilbage til samme position i billedet. Endvidere kan det skyldes en regnefejl i programmet, idet billedet består af alt for mange lyse pixels. Det er dog muligt at kompensere for nogle af kontrastfejlene, hvilket undersøges i Test 3.

7.3 Test 3 – Radiometrisk opretning

Noget af det sværeste, når der arbejdes med farvebilleder, er at opnå en pæn farvesammensætning, samtidig med den geometriske nøjagtighed ikke forringes. Derfor er det vigtigt at oprette billederne radiometrisk. Der eksisterer teknikker, som gør det muligt at forfine farvebillederne, hvis enten de er underbelyst eller overbelyst. Denne test har derfor til formål at tydeliggøre eksempler på disse teknikker. Endvidere har testen til formål at finde frem til, hvilken metode, som er bedst at benytte i forbindelse med de overbelyste billeder, der er fundet frem til i test 2.

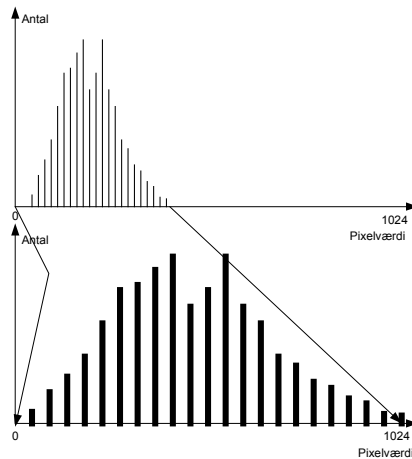
7.3.1 Teori

Der findes flere måder at forbedre billedets kvalitet på. For eksempel kan brugeren vælge at strække det nuværende histogram, samt fjerne eller fremhæve objekter i billedet ved hjælp af filtrering. I denne test undersøges, hvorledes billedet kan forbedres ved at strække billedets histogrammet. Histogrammet viser, hvorledes de forskellige farver er fordelt i RGB spektret. Princippet i strækningen er at transformere de originale pixelværdier, således der kommer flere detaljer til syne i billedet. Der findes flere forskellige metoder til strækning af histogrammet. De mest anvendte metoder, som også findes i Erdas, er:

- Min-Max
- Gaussian
- Linear

7.3.1.1 Min-Max

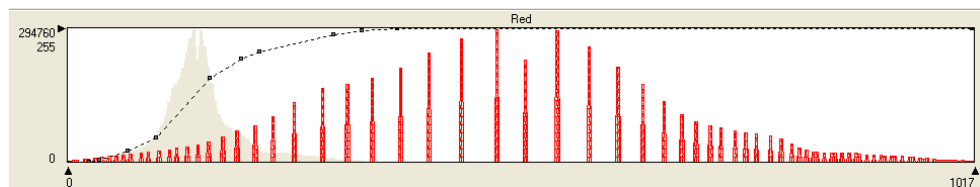
Denne procedure er opbygget således, at den tager de laveste og højeste lysintensitetsværdier i originalbilledet, og transformerer dem til de laveste og højeste pixelværdier i datasættet, jævnfør figur 7.15. På den måde strækkes histogrammet, således der bliver en større afstand mellem de enkelte farver, og flere detaljer kommer til syne i billedet. [Erdas, 2004]



Figur 7.15: En illustration af Min - Max strækningen.

7.3.1.2 Gaussian

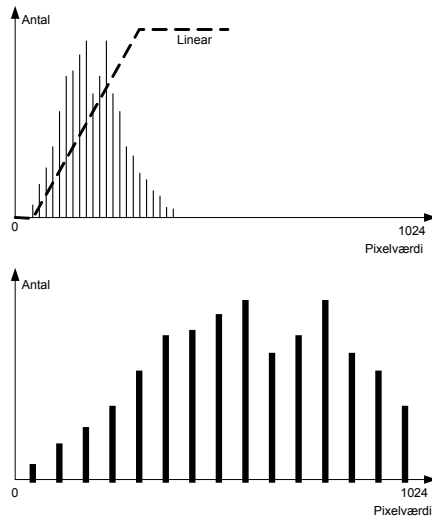
Den Gausiske funktion benyttes i stor strækning, hvis der er en naturlig variation i billedet. Variationen betyder, at der ikke optræder de samme nuancer i billedet. Funktionen benytter en intensitetstransformation, som tilpasses inputbilledets histogram. Dette betyder for outputbilledet, at pixelværdierne i midten af spektret bliver spredt ud over et større område. [Erdas, 2004] Et eksempel på den gausiske kurve er illustreret på figur 7.16.



Figur 7.16: Et udsnit fra Erdas, hvor den Gausiske funktion er benyttet. Det bagved liggende grå histogram er det originale histogram, men ved at benytte den Gausiske funktion udbredes pixelværdierne i hele farvespektret. Resultatet ses i det røde histogram.

7.3.1.2 Linear

Den lineære strækning bygger på samme princip som Min - Max strækningen. Dog er der her mulighed for at flytte det koncentrerede område, hvis enkelte objekter ønskes fremhævet. Endvidere er det muligt at udlade støj i starten eller slutningen på histogrammet. Strækningen foretages ved at indlægge en ret linie i input histogrammet, der efterfølgende tilpasses, jævnfør figur 7.17. Hældningen på linien er et udtryk for, hvor skarpe kontrasterne skal være.



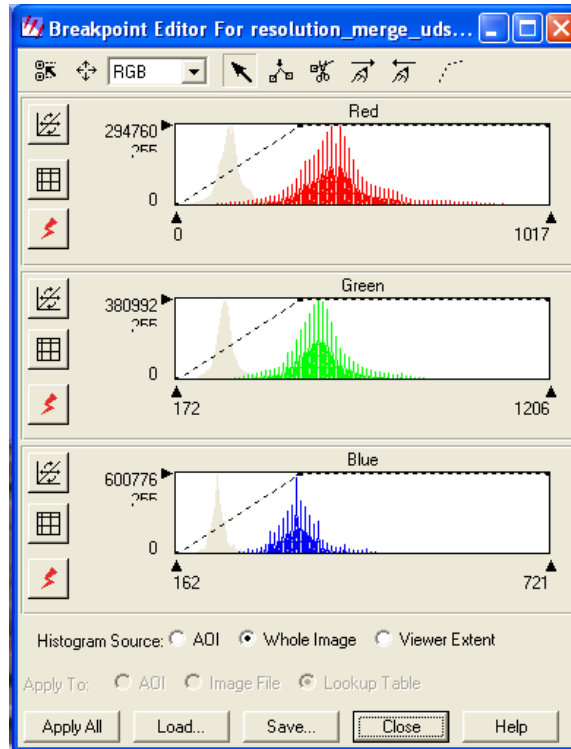
Figur 7.17. Illustration af fremgangsmåden for den lineære strækning. Det øverste billede viser original histogrammet tilført den lineære strækning, og det nederste viser histogrammet efter strækningen.

7.3.2 Udførelse

Det vælges at arbejde videre med tre af de fire valgte områder fra test 2. Område tre behandles ikke, da billedkvaliteten ikke blev væsentligt forringet efter produktionen af pan-sharpe billedet.

Til denne proces benyttes funktionen ”General Contrast”, som er placeret øverst i Viewer vinduet i Erdas. Derefter er der mulighed for at vælge, hvilken strækningstyper der skal benyttes. Det er endvidere muligt at ændre de faste indstillinger, hvis det ønskes at finjustere udstrækningen, jævnfør figur 7.18. Heriblandt kan hældningen på linien i linear fastsættes.

Erfaringer viser, at det ofte er et spørgsmål om finjusteringer, som medfører, at billedet opnår flere detaljer. I teorien bør den Gausiske model være den bedste, da den er beregnet til områder med variation. Men inden testens begyndelse er der fundet frem til, at den ikke virker på 16 bit billeder i Erdas. Desværre er de anvendte satellitbilleder 16-bit billeder, hvorfor denne funktion ikke kan anvendes i programmet. Et eksempel på hvor uskarpe og mørke billedet bliver ved brug af denne model, fremgår af Bilag 3



Figur 7.18: Screen-dump af funktionen Breakpoint editor i Erdas.

7.3.3 Resultater

Det endelige resultat af område 1 kan ses på figur 7.19. Efter at have prøvet samtlige strækningsmuligheder blev det bedste billede fundet ved at benytte den lineære strækning. Det ses tydeligt, hvordan der er tilført flere detaljer i billedet, og at lysmængden er nedtonet. I forbindelse med strækningen justeres der på hældningen af linien, da den som udgangspunkt ikke fortager nogen forbedring. Der er fundet frem til, at hvis linien får hældningen 3 under indtastningen "Slope", kommer fleste detaljer til syne. Grunden til, at netop denne værdi giver det bedste resultat, er, at hovedvægten af pixelværdierne herved bliver fordelt i hele spektret.



Figur 7.19: Det øverste er resultatet fra Test 2, og det nederste billede illustrerer, hvorledes billedet ser ud efter en lineær strækning. Begge billedet er i målforholdet 1:3.000 (200 μ m).

Resultatet efter histogramstrækningen for område 2 fremgår af figur 7.20. Igen kommer det bedste resultat frem, når den lineære strækning benyttes. De endelige justeringer betyder igen, at det bedste resultat fremkommer, hvis "Slope" værdien på linien er 3. Det ses, hvordan farvebalancen er skiftet i billedet, og flere detaljer er kommet til syne.



Figur 7.20: Det øverste er resultatet af Test 2, det nederste billede illustrerer, hvorledes det ser ud efter en lineær strækning. Begge billedet er i målforsholdet 1:2.500 (240 μ m).

Område 4 er vist på figur 7.21, og det område består primært af skove og veje, men det er tydeligt at se, hvorledes kontrasten er forbedret og flere detaljer er kommet til syne. Specielt ses det, at detaljeringsniveauet er blevet bedre for de enkelte gårde. Igen er den lineære strækning med en "Slope" værdi på 3 blevet benyttet, da dette giver det bedste resultat.



Figur 7.21: Det øverste er resultatet af Test 2, og nederste billede illustrerer, hvorledes billedet ser ud efter en lineær strækning. Begge billedet er i målforsholdet 1:3.500 (240 μ m).

7.3.4 Vurdering

Der er fundet frem til, at den lineære strækningsmodel er den bedste i forbindelse med strækning af flere oplysninger i pan-shape billederne fra Quickbird. Grunden til, at Min - Max metoden ikke giver gode resultater, er, at den er en forenkling af den lineære model. I den lineære model er det muligt selv at definere, hvor linien skal starte samt hældningen af linien. I Min - Max transformeres automatisk den laveste og højeste pixelværdi i billedet til histogrammets ender. Dette betyder, at hvis der ligger noget støj i starten eller slutningen af histogrammet, kan dette udlades ved at benytte den lineære strækning.

Generelt kan det konkluderes, at billederne er blevet væsentligt forbedret, både hvad angår geometrisk opløsning samt billedkvalitet. Men der er stadig sket en forringelse fra det originale pankromatiske billede til pan-sharpe billedet. Dette betyder, at der er mistet en del tematisk indhold i billedet.

7.4 Test 4 – DDO[®]land

Formålet med Test 4 er at foretage en sammenligning mellem DDO[®]land fra 1999 og ortofotoet fra Quickbird satellitten. Dette undersøges for til sidst at kunne konkludere, om Quickbird billedet kan erstatte produktionen af DDO[®]land. Gennem testens første del sammenlignes billedkvaliteten af DDO[®]land og ortofotos fra Quickbird. Dernæst undersøges den geometriske nøjagtighed samt den absolutte nøjagtighed i Quickbird billederne. Dette foretages ved at måle korresponderende punkter fordelt i begge billeder for dermed at afsløre, hvorvidt billederne stemmer overens. Målingerne kan afsløre eventuelle systematiske fejl i Quickbird billedet, og unøjagtigheder på grund af billedernes kvalitet. Gennem testen benyttes fortsat de fire områder, der blev valgt i Test 2.

7.4.1 Teori

I denne test er det nødvendigt at transformere Quickbird billedet over i samme referencesystem og datum, som DDO[®]land billederne er produceret i. Indtil denne test har Quickbirdbilledet været placeret i UTM32/WGS84, men da DDO[®]land er placeret i UTM32/ED50 foretages denne transformation. Forskellen mellem ED50 og WGS84 beskrives i det følgende:

ED50, der står for European Datum af 1950, er et 3 dimensionalt europæisk datum. Det er defineret ved en kombination af astronomiske observationer samt afstands- og retningsmålinger mellem en række fundamentalstationer fordelt over hele Europa. Den ellipsoide, der er benyttet i forbindelsen med beregningen af datummet, er den Internationale Ellipsoide 1909/1924. [Jensen, 2001 s.136]

WGS84 er et globalt datum, der er blevet defineret i forbindelse med opbygningen af GPS. Datummet er et jordcenteret datum, hvilket betyder, at koordinatsystemets origo er tilstræbt sammenfaldende med jordens massemidtunkt. WGS84 er endvidere et 3 dimensionelt datum og er defineret ved observationer mellem nogle få fundamentalstationer fordelt over hele jorden. Under opbygningen af datummet er det tilstræbt, at nøjagtigheden er den samme over hele jorden. [Jensen, 2001 s.137]

Problemet med ED50 er, at det indeholder spændinger i koordinatsystemet blandt andet på grund af alderen, hvilket betyder, at ED50 langsomt udfases i Danmark. Men eftersom DDO[©]land er opgivet i dette datum, transformeres Quickbird billedet til ED50.

Til at vurdere de unøjagtigheder, som kan optræde mellem DDO[©]land og Quickbird billedet, vælges det at udregne en RMS værdi. RMS værdien angiver den længde, der er imellem de to målte:

$$RMS = \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2}$$

hvor,

x_1 og y_1 er koordinater fra DDO[©]land
 x og y er koordinater fra Quickbird billedet

[Erdas, 2003]

For at anskueliggøre dette er Matlab scriptet Vektor.m udarbejdet. Dette script kan visualisere afvigelse i form af en vektor samt retningen på vektoren. Scriptet findes på vedlagte cd i mappen \\Test\Test 4.

7.4.2 Udførelse

Transformationen af ortofotoet fra UTM32/WGS84 til UTM32/ED50 udføres med funktionen *Reprojekt image* i Erdas. Ved hjælp af denne funktion er det muligt at transformere mellem projektioner og datum. Resultatet af transformationen åbnes sammen med DDO[©]land i programmet ArcView 3.2, som benyttes til den videre bearbejdning.

Datamaterialet, der anvendes i forbindelse med sammenligningen af de to billeders nøjagtigheder, er indsamlet ved at digitalisere tyve nye punkter fordelt i de fire områder. Punkterne er først fundet i DDO[©]land, hvorefter de er fundet i Quickbird billedet. Præsentationen af resultaterne til denne test, udføres med scriptet Vektor, der kan vise resultaterne grafisk.

7.4.3 Resultater

Da testen er opdelt i to dele, hvor første del omhandler billedkvaliteten og den næste del nøjagtigheden i billederne, vælges det at præsentere resultaterne i hvert sit afsnit.

7.4.3.1 Farvesammensætning

Selv efter Quickbird billederne er blevet radiometrisk forbedret i Test 3, er det tydeligt at se forskel mellem DDO[®]land og satellitbilledet. Dette fremgår af figur 7.22



Figur 7.22: Illustration af hvor forskellige Quickbird billederne er fra hinanden samt hvordan de varierer fra DDO[®]land. Målforholdet er cirka 1:15.000 (40 μ m).

Det ses tydeligt, hvordan farvesammensætningen ikke stemmer overens mellem Quickbird billedet og DDO[®]land. Noget kan tyde på, at det i Quickbird billedet er vanskeligt at ramme den samme grønne farve i billedet. Det skal dog nævnes, at billederne ikke er taget på samme tid. DDO[®]land er optaget i maj og juni 1999, og Quickbird billedet er fra den 4. juli 2003. Dette kan have en væsentlig betydning for markernes farver. Endvidere kan de atmosfæriske forhold have en betydning for Quickbird billedet, eftersom det er optaget i cirka 450 kilometers højde.

Af figur 7.23 fremgår det, hvorledes farvesammensætningen er i byområdet. Farverne i Quickbird billedet stemmer igen ikke helt overens med de klare grønne farver i DDO[®]land billedet. Endvidere ser vejene i Quickbird billedet stadig ud til at være meget overbelyste.



Figur 7.23: Farveforskellen mellem DDO[®]land og Quickbirdbilledet. Målforholdet er 1:8.000.

En forstørrelse af udvalgte områder af figurerne 7.22 og 7.23 kan ses på figurerne 7.24 og 7.25. Billederne viser, hvorledes der er forskel i mængden af detaljer mellem DDO[®]land og Quickbird billedet. Dette skulle også være tilfældet, eftersom DDO[®]land's pixelstørrelse er 0,40 meter, og Quickbird billedet er 0,60 meter.



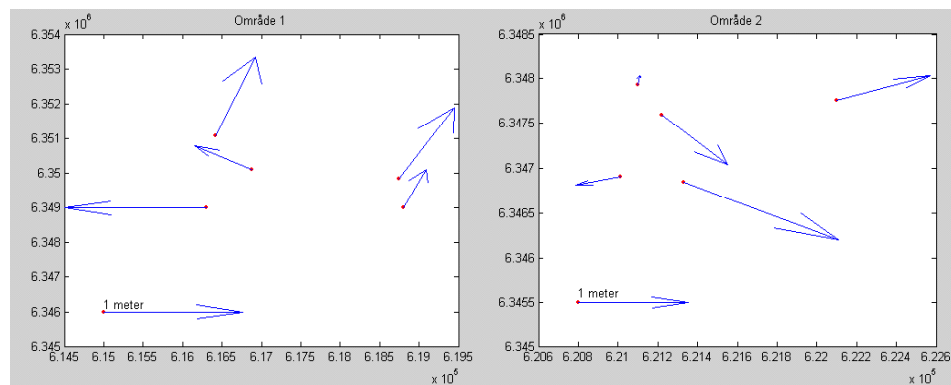
Figur 7.24: En forstørrelse af et område i figur 7.23. I billederne kan de forskellige detaljeringsgrader ses. Det venstre billede er et udsnit af DDO[®]land, og det højre er fra Quickbird satellitten. Målforholdet for billederne er 1:1.600 (375 μ m).

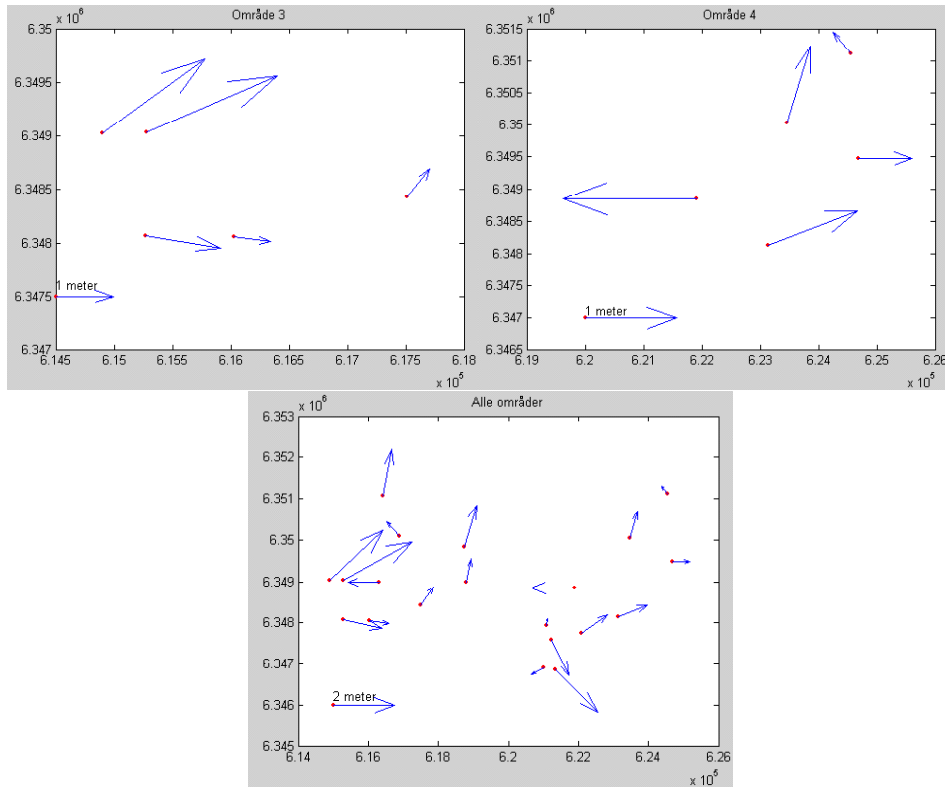


Figur 7.25: En forstørrelse af et område i figur 7.22. I billederne kan de forskellige detaljeringsgrader ses. Det venstre billede er et udsnit af DDO[®]land, og det højre er fra Quick-bird satellitten. Målforholdet for billederne er 1:1.700 (350 μ m).

7.4.3.2 Nøjagtighed

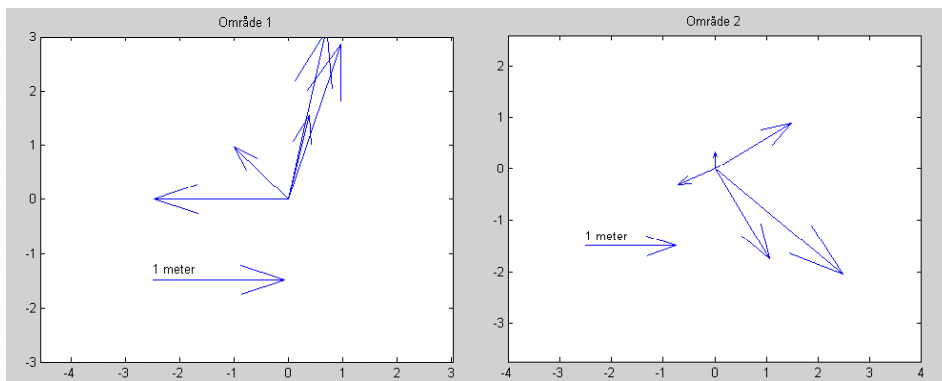
De tyve valgte punkter, der er benyttet i forbindelse med anden del af testen, består primært af vejhjørner eller andre let genkendelige punkter på jorden. Grunden til, at sådanne store veldefinerbare punkter er valgt, skyldes, at den geometriske nøjagtighed ikke er den samme i begge billeder. Dette har betydet, at der er opstået nogle store afvigelser i punkterne på grund af den dårlige definitionsnøjagtighed. Som det fremgår af bilag 3, er den maksimale RMS værdi 2,49 meter. Endvidere vises på figur 7.26 fejlbidragene på alle punkterne i hver af de fire områder. Efter de fire områder er præsenteret enkeltvis, sættes fejlvektorerne efterfølgende sammen.

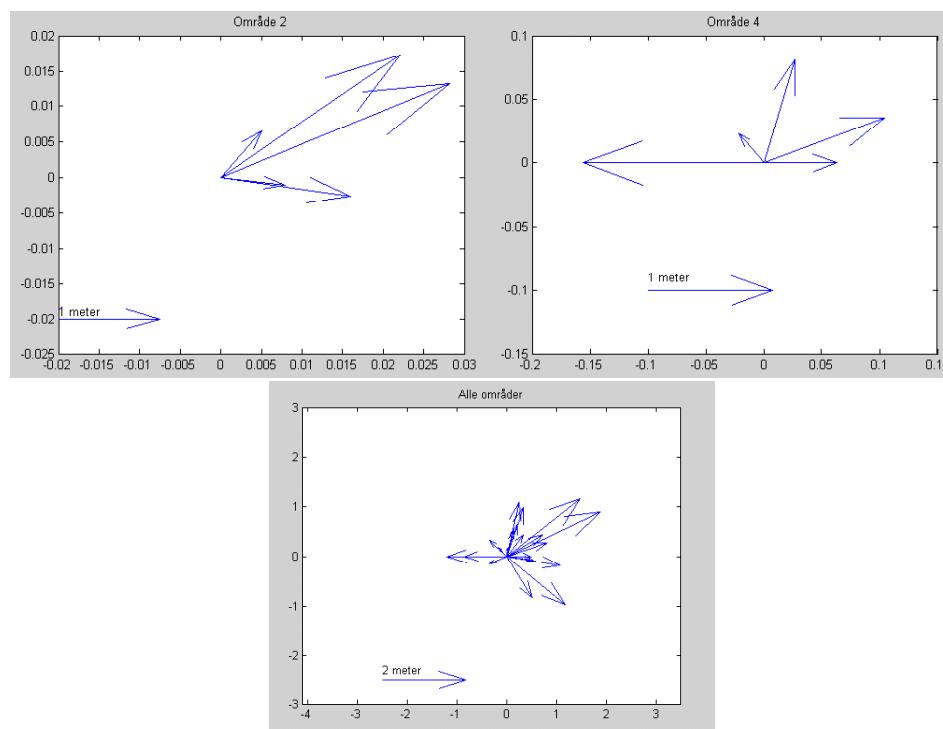




Figur 7.26: De øverste fire figurer illustrerer de fejlvektorer, der findes i hvert område. På den nederste figur er alle vektorerne samlet i et diagram.

Da det er vanskeligt at afgøre, om der er systematiske fejl på baggrund af figur 7.26, vælges det at samle alle vektorerne, så de får samme udgangspunkt. På denne måde er det muligt at afgøre, om der eventuelt findes systematik i de enkelte områder. På figur 7.27 er vektorer fra alle fire områder samlet og afbilledet.





Figur 7.27: De øverste fire figurer illustrerer de fejlvektorer, der findes i hvert område. På den nederste figur er alle vektorene samlet i et diagram.

Der synes at være en form for systematik i hvert område, hvilket også kan ses i den samlede figur. Hvis en middelværdi i E- og N-retningen beregnes, viser den en forskydning i E på 0,42 meter og en forskydning i N på 0,30 meter, jævnfør bilag 4. Dette betyder for satellitbilledet, at det skal flyttes mod nordnøst for, at det stemmer overens med DDO[®]land. En del af unøjagtighederne kan også stamme fra definitionsnøjagtigheden, eftersom billederne ikke indeholder den samme billedkvalitet.

7.4.4 Vurdering

Det kan konkluderes, at det endelige satellitbillede ikke lever op til samme standard som DDO[®]land med hensyn til farvesammensætning. I DDO[®]land benyttes meget klare farver, mens farverne i satellitbillederne er mørke, selv efter billederne er blevet radiometrisk korrigeret. Grunden til de mørke farve kan skyldes atmosfæriske forstyrrelser. De atmosfæriske forstyrrelser kan være opstået fordi afstanden til jordoverfladen er meget stor, hvilket betyder at lyset forringes. [Sabins, 2000]

Endvidere kan der konkluderes, at den absolutte nøjagtighed er meget svingende i satellitbillederne afhængig af, hvilket område der er målt i. Dog viser resultaterne, at satellitbilledet bør flyttes mod nordøst. Den præcise afstand, satellitbilledet bør

translateres, kan ikke beregnes på baggrund af Test 4, da der er målt for få punkter i det samlede billede til at give et statistisk bud. Der er dog fundet frem til, at satellitbilledet er absolut bestemt i forhold til DDO[®]land med en nøjagtighed bedre end en meter. Det ses ud fra begge deltest, at område tre skiller sig væsentlig ud fra de andre områder. Hvis der ses bort fra den farvesammensætning Quickbird billedet har, kan det konkluderes, at område tre indeholder samme mængde informationer i billedet. Det vil sige, at hvis der kan fremstilles ortofotos af samme standard som område tre, kan Quickbird satellittens billeder erstatte DDO[®]land billederne.

7.5 Test 5 - Mosaikdannelse

Frem til nu har alle testene kun omhandlet den samme scene fra Quickbird satellitten. Hvis der skal fremstilles en landsdækkende ortofotoserie, er det nødvendigt at bestemme, hvorledes der dannes en mosaik mellem billederne. Derfor er formålet med denne test at anskueliggøre, hvorledes en mosaik fremstilles. Der tages udgangspunkt i de to scener, der tilsammen dækker Læsø. På grund af manglene computerkraft er det ikke muligt at fortage testen med pan-sharpe billederne, derfor benyttes de pankromatiske billeder, hvilket ikke forringer testens indhold, da det er de samme overvejelser, der skal foretages.

7.5.1 Teori

Når en mosaik fremstilles mellem to billeder, er det nødvendigt, at billederne har et tilpas overlap. Empiriske forsøg viser, at en mosaik kan fremstilles, hvis der eksisterer et overlap på mellem 10 og 20 procent. Alligevel vil der altid være en risiko for, at der opstår fejl i resultatbilledet. Som minimum skal følgende tre forhold overvejes ved fremstilling af en mosaik:

- Fejlbidrag fra den geometriske model
- Sømlinie
- Farvebalancen i billederne

Da billederne ikke behøves at være oprettet ens, kan det betyde, at der vil være geometriske fejlbidrag i billedet, som hovedsageligt kommer fra den ydre orientering. Fejlbidragene består af vridninger i retningerne ϕ , ω og κ . Eftersom mosaikprocessen ikke tager højde for vridningsfejl, er det nødvendigt selv at kontrollere mosaikken for geometriske fejl. Hvis fejlbidragene er så store, kan det være nødvendigt at foretage hele opretningen på ny, inden billederne kan sammensættes. Det er dog muligt at fortage små æstetiske forbedringer for at undgå en ny opretning. Dette kan gøres ved at måle fællespunkter i overlappet. Endvidere skal billederne være placeret i samme koordinatsystem, for at sikre den geometriske model. Hvis billederne ikke ligger i samme koordinatsystem vil programmet sam-

mensætte billederne et helt forkert sted i planen, eller også vil programmet melde fejl. [Fraser, 2003]

Det skal ligeledes overvejes, hvorledes billederne sættes sammen. Når billederne danner en mosaik vil det bedste resultat være, at overlappet ikke kan ses i det nye billede. For eksempel er det tydeligt at se, hvis en vej fra et billede til et andet pludselig er forskudt, jævnfør figur 7.28.



Figur 7.28: Illustration af hvorledes to billeder er forkert sat sammen.

I mange programmer er det muligt for brugeren selv at definere den *sømlinie*, der er mellem to billeder. Ved for eksempel at lægge sømlinien så vidt som muligt langs skove eller veje er det måske muligt at forbedre mosaikken, da sømlinien er sværere at se i disse områder.

En tredje meget vigtig faktor, der skal tages hensyn til, er farvebalancen i det producerede billede. Grunden til dette er, at hvert billede har et histogram, hvori farvebalancen er defineret. I det øjeblik billederne sættes sammen, fremstilles et nyt histogram for det samlede billede. Det betyder for det nye billede, at der sandsynligvis skal justeres på billedets kontraster endnu en gang. En af de væsentligste årsager til, at farvebalancen ændres er, at billederne er optaget på forskellige tidspunkter. Det vil sige, at lyset i scanningsøjeblikkene er forskellige. Endvidere kan det skyldes, at der forekommer skyer i et af billederne.

7.5.2 Udførelse

Inden det er muligt at producere en mosaik mellem det pankromatiske vest- og østbillede af Læsø, er det nødvendigt at oprette østbilledet, da østbilledet endnu ikke er blevet benyttet i undersøgelsen.

Oprettelsen udføres på samme måde som Test 1. Dog skal det nævnes, at billedet bliver oprettet på baggrund af fire paspunkter og otte kontrolpunkter, da der ikke findes mere datamateriale for området, jævnfør figur 6.6.

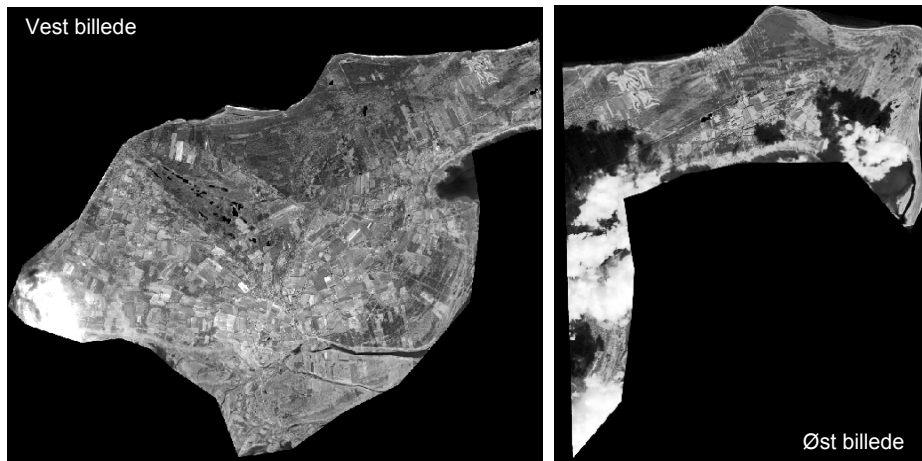
Efter begge pankromatiske billeder er oprettet er det muligt at benytte funktionen "mosaic images" i menuen "data preparation". Funktionen åbner et lille program, som gør det muligt at sætte to billeder sammen. I Erdas er det ikke muligt at definere sin egen sømlinje, derimod udpeges et billede som reference. Denne benyttes til at starte beregningen fra. Endvidere placeres referencen som udgangspunkt øverst i det nye billede.

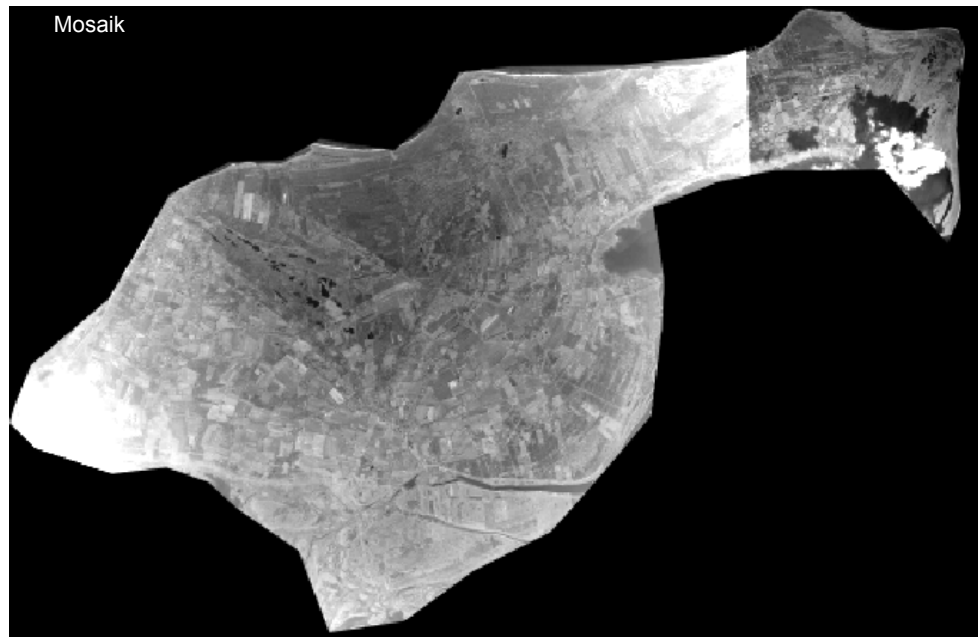
Efter programmet har fremstillet mosaikken er det nødvendigt at justerer på farvebalancen igen, da det samlede billede har fået et nyt histogram. Dette foretages efter samme principper som i Test 3.

7.5.3 Resultater

Inden den egentlige mosaik kan fremstilles, bliver det østlige satellitbillede oprettet. Alt det indsamlede datamateriale benyttes, og resultatet af oprettelsen kan ses i bilag 4 eller på vedlagte cd i mappen \\Test\Test 5. Her ses det, at kontrolpunkternes residualer har en samlet RMS værdi på 0,95 meter.

Selve beregningen af mosaikken er forløbet uden problemer. Resultatet af mosaikken kan ses på figur 7.29. Først illustreres hvert billede, hvorefter det sammensatte billede vises.

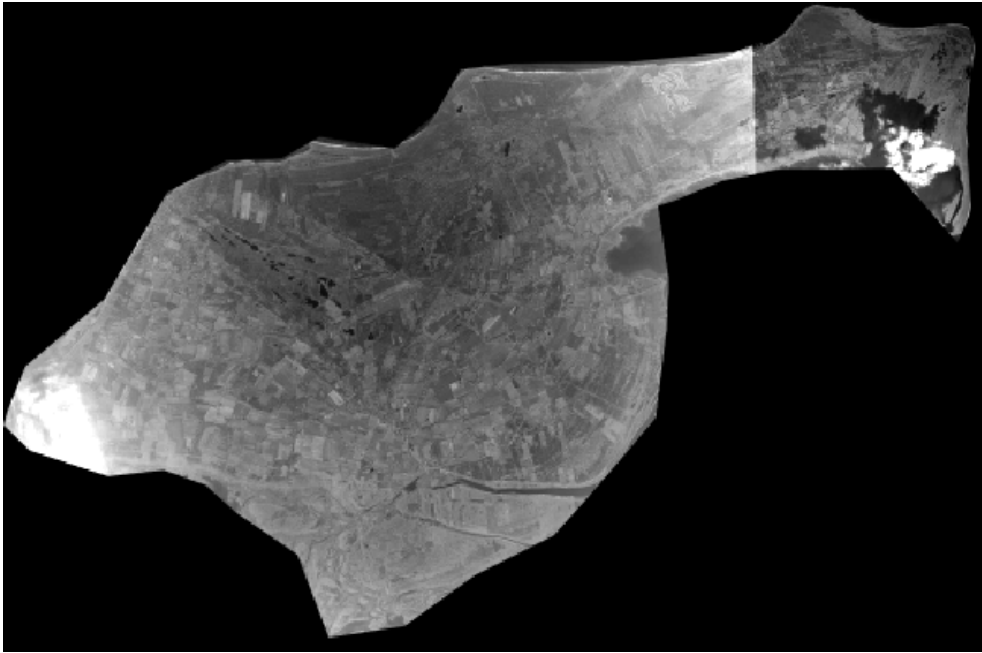




Figur 7.29: De to pankromatiske billeder sammensættes til et billede.

I fremstillingen af mosaikken er det vestlige billede valgt som reference. Grunden til dette, er at det østlige billede har mange skyer i overlappet. Som tidligere nævnt indeholder det østlige billede seks procent skyer, og det vestlige billede indeholder fem procent skyer. Det ses på mosaikken, at skyerne har fået en stor indflydelse på farvebalancen i det samlede billede. Endvidere ses det på vestbilledet, at den sky, som er placeret i den vestlige del af billedet, får en stor indflydelse på kontrasten i billedet i hele den vestlige del af Læsø. Det ses også, at sølinien tydeligt kan ses, hvilket må betegnes som en stor fejl i mosaikken.

For at opnå et bedre mosaik foretages der endnu en kontrast strækning. Det bedste resultat forekom igen, hvis der benyttes en lineær strækning. Resultatet er illustreret på figur 7.30.



Figur 7.30: Illustration af hvorledes den lineære strækning har nedtonet farvebalancen.

Som det ses på figur 7.30 er det stadig muligt at se, hvor de to billeder er sat sammen. På figur 7.31 ses et mindre udsnit af billedet.



Figur 7.31: Illustration af den sømlinie Erdas benytter.

Det ses endvidere af figur 7.31, at sammensætningen af billederne er foretaget korrekt. Dette ses i og med, at vejen i billedet ikke ligger forskudt.

7.5.4 Vurdering

Helt overordnet kan det konkluderes, at mosaikfunktionen i Erdas Image Advantage ikke kan benyttes i en produktion af en landsdækkende ortofotoserie. Grunden til dette er, at brugeren ikke selv har mulighed for at ændre sømlinien. Hvis en sømlinie går gennem en by, får det stor betydning, da de høje bygninger vil være vanskeligere at få tilpasset hinanden. Dette ses også på figur 7.31, hvor det kan anes, at det øverste hustage ikke passer helt.

Det kan også konkluderes, at hvis der optræder skyer i billederne, vil dette have en stor indflydelse for mosaikken. Denne test er kun foretaget på to pankromatiske billeder, men forholdene vil være de samme i farvebillederne.

7.8 Sammenfatning på testene

I Test 1 undersøges, hvorledes den bedste geometriske nøjagtighed fremkommer i Quickbird billedet ved at benytte den medfølgende RPC-model. Testen viser, at der sker en tydelig forbedring i den geometriske nøjagtighed, indtil der anvendes mere end syv paspunkter i oprettningen. Dog bliver kontrolpunkternes geometriske nøjagtighed allerede konstant omkring 1 meter ved brugen af kun 4 paspunkter. Endvidere viser testen, at placeringen af paspunkterne har en indflydelse på det endelige resultat, og det har vist sig, at paspunkter placeret symmetrisk i forhold til området, giver det bedste resultat. Ved symmetrisk forstås, at paspunkterne skal placeres langs randen på billedet, samt i centeret af billedet. Endeligt viser testen, at det er nok at benytte en middelhøjde for området i oprettelsen, da højdeforskydningsfejlen ikke har nogen betydning for oprettelsen.

Der er gennem Test 1 taget udgangspunkt i det pankromatiske billede, eftersom dette billede indeholder de fleste detaljer. Grunden hertil er, at der er forskel på den geometriske nøjagtighed i det pankromatiske og multispektrale billede. Da satellitbilledet skal sammenlignes med DDO[®]land, er det nødvendigt, at Quickbird billedet ligeledes er i farver. Derfor undersøges det i Test 2, hvorledes det er muligt at sammensætte et pankromatisk billede med et multispektral billede og samtidig beholde den geometriske nøjagtighed. Da det på grund af manglende computerkraft ikke har været muligt at benytte hele billedet, er fire områder valgt. Test 2 giver ikke noget entydigt resultat, da de fire områder er meget forskellige med hensyn til den geometriske nøjagtighed samt mængden af detaljer i billederne. Område tre skiller sig dog ud fra de tre øvrige områder, da det ser ud til, at området ikke har mistet mange af billedets detaljer og samtidig er i farver. Generelt kan det i Test 2 konkluderes, at områderne har mistet mange detaljer efter at have fået tilført farver.

Formålet med Test 3 er at undersøge, hvordan det er muligt at forbedre de områder, der har mistet mange detaljer samt har fået en dårlig farvebalance. Testen viser, at ved at benytte enkelte radiometriske teknikker er det muligt at forbedre den geometriske nøjagtighed samt mængden af detaljer i billedet. Der er fundet frem til, at det bedste resultat opnås ved at benytte en lineær strækning i hele billedet.

For at kontrollere hvorledes ortofotoet fra Quickbird satellitten stemmer overens med DDO[®]land, udføres Test 4. Testen første del viser, at der er en meget stor forskel i farvebalancen. Selv efter satellitbillederne er blevet radiometrisk forfinet, er de stadig meget mørke i forhold til DDO[®]land. Anden del af testen viser, at der er en systematisk fejl i Quickbird billedet, eftersom middelfvigelsen af de tyve valgte punkter viser, at satellitbilledet skal flyttes mod nordvest for at stemme overens med DDO[®]land. Med hensyn til den geometriske nøjagtighed i billederne er det fundet, at område tre har samme mængde detaljer i billedet. Det betyder, at et landsdækkende Quickbird billede af denne standard kan erstatte DDO[®]land. Der skal dog gøres opmærksom på, at farvebalancen i område tre, og DDO[®]land ikke er den samme. Derfor vil der skulle erstattes nogle farver i satellitbilledet for, at det kommer til at virke mere naturlige.

I forbindelse med en landsdækkende ortofotoserie, er det nødvendigt at være klar over, hvorledes satellitbillederne sættes sammen til en mosaik. Derfor udføres Test 5. Testen viser, at hvis der optræder skyer i billederne får de en stor indflydelse på det endelige resultat, da mosaikken bliver meget lys. Endvidere har det ikke været muligt at fremstille en mosaik, hvor sømlinien ikke kan ses. Hvad angår geometrisk nøjagtighed, viser mosaikken, at den har sat de to billeder rigtig sammen.

På baggrund af ovenstående test kan det konkluderes, at der er en lille forskel imellem DDO[®]land serien og Quickbird billedet hvad angår den geometriske nøjagtighed. Ligeledes er der fundet frem til, at Quickbird billedet mister en del af det tematiske indhold, når det pankromatiske billede sættes sammen med det multispektrale billede. Endvidere viser testene, at hvis der er skyer tilstede i billederne, får de meget stor indflydelse på mosaikkens farvebalancer. Mosaikken får et meget hvidt skær, og det er vanskeligt at få justeret kontrastene, således at skæret fjernes.

8. Økonomiske overvejelser

Hvis der skal produceres en landsdækkende ortofotoserie fra den højopløselige satellit Quickbird, er det vigtigt at se på, hvordan økonomien for en sådan produktion vil være. Endvidere forsøges det også at udfærdige en salgspris for serien. I enhver virksomhed foretages en sådan vurdering, inden en produktion sættes i værk. Dette gøres for at finde ud af, om ortofotoserien overhovedet vil kunne leveres til en konkurrencedygtig pris.

Kapitlet er opdelt, således at der først ses på anskaffelsesomkostningerne af billedmaterialet. Derefter fastsættes omkostningerne for bearbejdningsprocessen. Herefter bliver de markedskræfter, der er med til at fastlægge prisen for billedserien, gennemgået. Gennem hele kapitlet ses der bort fra rettighedsspørgsmålet til billederne, da de som hovedregel ikke må videre sælges eller anvendes af andre end køberen selv. For at simplificere opgaven vælges der at benytte Læsø billederne som eksempel i regnestykket. Grunden til, at Læsø benyttes, er, at antallet af billeder fra DDO[®]land er kendt i det område, og der på den måde kan laves en sammenligning. Eftersom DigitalGlobe tilbyder flere forskellige produkter, som omtalt i appendiks B, afgrænses der til kun at bruge Bundle billedet i undersøgelsen. Bundle billedet er det samme billedmateriale, som er benyttet igennem testafsnittet.

8.1 Billedmaterialet fra DigitalGlobe

DigitalGlobe har som et af de eneste kortlægningsfirmaer i verden en prisliste for deres billedprodukter liggende på deres hjemmeside. Det betyder, at enhver kan se, hvad det vil koste at få et område scannet med Quickbird satellitten. Læsø er opgivet til at være 114 km² stort. Endvidere har det en maksimal længde på 22 kilometer og en maksimal bredde på 12 kilometer. På baggrund af disse oplysninger kan det udregnes, hvad det vil koste at få kortlagt Læsø. Priserne på DigitalGlobes forskellige produkter samt beregningen er illustreret på figur 8.1. Her angives endvidere en ”Order priority”, som er et udtryk for, hvor hurtigt billedet ønskes leveret. I denne undersøgelse benyttes det laveste niveau, ”Standard priority”. Det betyder, at fra billederne er bestilt, til de leveres hos kunden, kan der gå fra 15 til 365 dage. [DigitalGlobe, 2003, s. 6]. Til bestemmelsen af den samlede købssum af satellitbillederne er der fundet frem til, at en scanningscene kan dække et område på 272 km² hvilket betyder, at der skal tages 2 scener for at dække Læsø. [DigitalGlobe B, 2004] Som omregningsfaktor mellem valutaerne er 1 dollars sat til 7 kr.

Produkttyper	Bundle	Order priority	Udregning	Total [kr.]
Basic Imagery	\$6.528/scene	\$ 1,088/scene	$((2 \cdot 6.528) + (2 \cdot 1.088)) \cdot 7$	106.624
Standard Imagery	\$ 24/km ²	\$ 4/km ²	$((114 \cdot 24) + (114 \cdot 4)) \cdot 7$	22.344
Orthorectified Imagery 1:50.000	\$ 36/km ²	\$ 4/km ²	$((114 \cdot 36) + (114 \cdot 4)) \cdot 7$	29.184
Orthorectified Imagery 1:5.000	\$ 40/km ²	\$ 4/km ²	$((114 \cdot 40) + (114 \cdot 4)) \cdot 7$	32.376

Figur 8.1: Oversigt over prisen for de forskellige billedprodukter fra Quickbird satellitten. Til beregningen er Læsø benyttet som eksempel. [DigitalGlobe B, 2004]

Det ses på figur 8.1, at der er meget stor forskel i prisen på de forskellige billedprodukter. Den største forskel ligger mellem Basic Imagery og Standard imagery. Forskellen imellem disse produkter er, at til Basic Imagery medfølger de originale parametre, hvilket gør, at brugerne kan opnå meget stor kontrol med billederne. Prisforskellen mellem Standard Imagery og Orthorectified Imagery i 1:5.000 er cirka 7.000 kr. Forskellen imellem dem er, at ved Orthorectified imagery i 1:5.000 er opretningen af billedmaterialet allerede foretaget, mens ved Standard imagery skal kunden selv udføre opretningen. Fælles for begge produkter er dog, at kunden selv skal indsamle paspunkter og en eventuel højdemodel. Det kan således ses, at DigitalGlobe skal have 7.000 kr. for opretningen. Det fremgår endvidere af oplysninger på DigitalGlobes produktguide, at alle produkttyperne kan indeholde op til tyve procent skyer. Dette betyder, at producenten ikke kan garantere for helt klare satellitscener. Denne faktor forsøges dog altid minimeret. [DigitalGlobe, 2003]

8.2 Bearbejdningsprocessen

Hvis ikke et Orthorectified Imagery bestilles, skal brugeren selv være i stand til at oprette billederne. Det betyder, at der som minimum skal være adgang til et program, der kan håndtere en sådan opgave. Som tidligere nævnt i kapitlet 3.5 *Programmer til behandling af satellitbilleder* findes der flere af disse programmer på markedet. Da der gennem dette projekt kun er blevet benyttet Erdas Imagine Advantage vælges der at bruge det i priseksemplet. Prisen kan således variere meget alt efter det valgte program. Erdas Imagine Advantage koster 44.000 kr. i anskaffelsespris. Det er gennem dette projekt fundet frem til, at Erdas Imagine Advantage, kun kan indlæse et billede ad gangen. Hvis flere billeder skal indlæses på én gang, er det nødvendigt at købe en ekstra applikation til programmet. Applikationen hedder Ortho Base og koster 55.000 kr.. Her får brugeren mulighed for at op-

rette flere billeder af gangen [Schelke, 25.05.2004]. Alene prisen på programmet gør, at produktionen af en landdækkende billedserie er yderst omkostningsfuld.

Inden programmet bruges i forbindelse med oprettelse af billeder, skal der endvidere indsamles datamateriale for det område, billederne dækker. Med dette menes, at der skal indsamles pas- og kontrolpunkter for at opnå så god en *absolut nøjagtighed* som muligt. Denne del af bearbejdningsprocessen er meget svær at prissætte, da det ligger uden for projektets rammer. Endvidere er det også vanskeligt at fastsætte, hvor mange arbejdstimer det vil tage at oprette billederne. Egne erfaringer viser, at med kendskab til programmet kan et område som Læsø færdigbearbejdes i løbet af et par dage, hvorefter det endelige ortofoto ligger klar. Eftersom Erdas kun er i stand til at indlæse et billede ad gangen er der ikke kendskab til om det er muligt at automatisere nogle af bearbejdningsprocesserne, hvis Ortho Base benyttes.

8.3 Prisen for satellitbilleder

Prisen for selve Quickbird billederne styres af konkurrencen på markedet. En kunde vil normalt vælge at købe det produkt, hvor der fås mest for pengene. Derfor holdes prisen af produktionen af ortofotoet fra Quickbird op mod prisen på DDO[®]land. På baggrund af disse undersøgelser, kan det vurderes, om der er økonomiske fordele forbundet med anvendelsen af Quickbird billederne.

Prisen for DDO[®]land afhænger af, hvor stort et område der købes rettigheder til. Endvidere afhænger prisen også af, hvorledes køberen vælger at benytte billederne. For eksempel er billederne dyrere, hvis kunden ønsker at benytte dem på Internettet. Hvis Læsø Kommune ønsker at opdatere deres ortofotos, koster det et sted mellem 25.000 og 29.000 kroner for DDO[®]land. Erhverves DDO[®]land for hele Danmark, vil prisen ligge i størrelsesordenen 2.000.000 kroner. Prisen for produktionen af den landsdækkende billedsamling vil COWI ikke oplyse, men i planlægningsfasen beregnes en flyvetime til cirka 15.000 kroner. Hele Danmark består af 5.500- 6.000 billeder, og alene Læsø består af 37 billeder. Det oplyses endvidere af COWI, at det tager cirka 15 minutter at fotografere Læsø. Dette betyder, at alene optagelsen af billederne over Læsø vil koste cirka 3-4.000 kroner. Denne pris inkluderer kun eksponeringen af billederne. Herefter kommer omkostninger til dataindsamlingen og bearbejdningsprocessen. Disse omkostninger vil firmaet ikke yderligere oplyse om. [Strunck, 25.05.2004], [Petersen, 25.05.2004]

Ønsker Læsø Kommune i stedet billederne leveret fra Quickbird satellitten, vil prisen alene for Orthorectified Imagery i 1:5.000 være omkring 32.000 kr. Mens prisen for Standard Imagery vil være 22.000 kr. Herudover tillægges prisen for indsamling af data samt arbejdstimer.

8.4 Sammenfatning

Som nævnt tidligere er der ingen reel mulighed for at vurdere, hvorvidt en landsdækkende ortofotoserie med billeder fra Quickbirdsatellitten vil være konkurrencedygtig på markedet. Grunden hertil er, at det er svært at prisfastsætte mange af de medvirkende faktorer, der spiller ind på det endelige resultat. Den sværeste faktor er bestemmelsen af arbejdstiden, der er afhængig af den givne arbejdsplads. Endvidere er det også svært at lave en landsdækkende billedserie, hvis DigitalGlobe ikke kan love helt skyfrit vejr.

Med de oplysninger, der er fundet frem til i ovennævnte afsnit, konkluderes det, at der er stor forskel i prisen mellem COWI og DigitalGlobe's produkter for Læsø. Det betyder, at inden en eventuel landsdækkende produktion af en ortofotoserie fra Quickbird satellitten kan sættes i gang, er det vigtigt at undersøge, om der reelt er et marked for serien. Alene billedmaterialet fra Quickbird satellitten vil koste et sted mellem 1.200.000 kr. og 8.500.000 kr. for hele Danmark, hvis der beregnes med, at Danmark har et areal på 43.093 km². [www.kms.dk, 05.06.2004], [DigitalGlobe, 2003]

9. Konklusion

Som det er beskrevet i kapitel 2, er det i konklusionen, hovedlinierne præsenteres. Derfor indeholder kapitlet en præsentation af de resultater og konklusioner, der er fremkommet gennem projektet. Endvidere beskrives, hvilke erfaringer der er erhvervet gennem arbejdet med emnet kortlægning baseret på satellitbilleder. Der er gennem projektets kapitler udarbejdet forskellige analyser og undersøgelser af satellitbillederne og kortlægningen ud fra disse. Med udgangspunktet i dette er det muligt at besvare problemformuleringen, som lyder således:

Er det muligt at opnå en geometrisk nøjagtighed og billedkvalitet i de højopløselige satellitbilleder, således de kan erstatte den eksisterende DDO[®]land fra COWI.?

Endvidere har det været et ønske at undersøge, hvilket billedmateriale der bedst egner sig til en produktion af en landsdækkende ortofotoserie. Yderligere gennemgås, hvilke overvejelser der skal foretages for at udregne den relative pris for produktionen af ovennævnte serie. I det efterfølgende afsnit vil problemformuleringen først blive besvaret, hvorefter følgende emner vil blive uddybet:

- Geometrisk nøjagtighed og billedkvalitet
- Avendelse af satellitbilleder til DDO[®]land

9.1 Svar på problemformulering og underspørgsmål

På baggrund af testene konkluderes det, at med en geometrisk nøjagtighed på 0,97 meter samt detaljeringsgraden i billedet, kan den højopløselige satellit Quickbird godt erstatte billederne fra DDO[®]land fra 1999, jævnfør figur 9.1. Dog skal det nævnes, at kvaliteten af satellitbillederne skal være af samme standard som område tre. Ligeledes skal der gøres opmærksom på, at farverne skal ændres, eftersom de ikke ligner DDO[®]lands farve sammensætning. Endvidere kan det konkluderes, at det billedmateriale, der skal benyttes til en landsdækkende ortofotoserie, bør være produktet ”Bundle”, da det indeholder både det pankromatiske og det multispektrale billede. Dette skyldes, at pan-sharpe billedet mister nogle af de detaljer, der benyttes i paspunktsudvælgelsen i det pankromatiske billede.

Ud fra kapitlet med de økonomiske overvejelser er det muligt at konkludere, at der er mange faktorer, der spiller ind på markedsprisen for et billedprodukt af den størrelse. Det har ikke været muligt at fastlægge en købspris, da det er svært at opstille overslag over eksempelvis arbejdstimerne i bearbejdningsprocessen. Det er kun lykket at opstille de mere håndgribelige beløb som for eksempel prisen på billedmaterialet eller programmet til bearbejdningsprocessen. Alene ud fra disse faktorer

Kortlægning baseret på satellitbilleder

kan det konkluderes, at prisen for satellitbillederne overskrider COWI's pris på DDO[®]land. Derfor er det meget vigtigt at undersøge til bunds, om der på nuværende tidspunkt er et marked for en ny ortofotoserie, taget fra en højopløselig satellit.



Figur 9.1: De to billedprodukter stillet overfor hinanden.

En ting er, at kvaliteten er til stede i billederne, men praktisk set må det konkluderes, at det bliver meget vanskeligt at benytte de højoypløselige satellitter til en landsdækkende ortofotoserie på nuværende tidspunkt. Dette skyldes flere faktorer. For det første er det ikke direkte muligt for kunden at bestemme hvornår, satellitten skal scanne Danmark, da den løber i sit faste kredsløb. Et andet forhold er, at producenterne kan ikke garantere skyfrit vejr under scanningen. Den tredje grund til, at det vil blive svært med en total scanning af Danmark, er at mellem bare de to scener over Læsø er der gået fem dage mellem optagelserne, og begge scanninger har cirka 5 procent skyer i dem. Tiden er en anden afgørende faktor, da billederne skal ende op med at have samme nuancer, hvilket kan være vanskeligt, da de ikke med sikkerhed bliver taget på samme årstid. Endvidere skal det samlede resultat fremstå som et øjebliksbillede af Danmark. Det er selvfølgelig muligt at betale sig fra at erhverve billederne hurtigere, men set ud fra de økonomiske aspekter, jævnfør kapitel 8, er satellitscanningerne stadig forholdsvis dyre i forhold til, hvad det koster for at få et fly til at tage billederne.

Set på et mere generelt niveau kan det konkluderes, at de højoypløselige satellitter ikke egner sig til at erstatte den eksisterende DDO[®]land. Selv om det tematiske indhold er tilstede i satellitbillederne vil en landsdækkende ortofotoserie blive vanskelig, eftersom der bliver scannet et øjebliksbillede af hele Danmark. Satellitbillederne egner sig bedre til kortlægning af mindre områder. Endvidere skal det nævnes, at scanningerne rummer mange andre muligheder og fordele. Disse beskrives nærmere i næste kapitel.

For yderligere at begrunde konklusionen er følgende emner belyst nærmere

9.2 Den geometriske nøjagtighed og billedkvalitet

Det benyttede billedmateriale til testene består af to scener fra den højoypløselige satellit Quickbird. Disse er af Orthoready Standard, hvilket betyder, at der ikke medfølger de originale parametre med, som for eksempel de indre og ydre orienteringsparametre. Der er foretaget en række test, der tilsammen bestemmer satellitbilledernes kvalitet og geometriske nøjagtighed.

Den første test har til formål at finde frem til, hvilken geometrisk nøjagtighed der kan forventes i billeder fra Quickbird. Derfor opstilles der række retningslinier for, hvorledes scenen fra Quickbird satellitten på bedst mulig vis oprettes ved hjælp af den medfølgende RPC-fil. Det skal dog understreges, at det ikke er muligt at angive klare retningslinier for dette, da der ikke er arbejdet med et statistisk materiale. Dog er der fundet frem til, at oprettelsen af vestbilledet af Læsø bliver bedst, hvis der benyttes syv paspunkter fordelt symmetrisk i billedet. Resultatet af oprettningen viser, at der kan forventes en geometrisk nøjagtighed på 0,97 meter i planen. Lige-

ledes er der fundet frem til, at opretningen kan styrkes ved at benytte en 2D translation, affine transformation eller en andenordens transformation. Dog kan det konkluderes, at opretningen kun bliver bedre i de tilfælde, hvor der er overbestemmelser i brugen af transformationstypen. Det kan ligeledes konkluderes, at en højdemodel ikke nødvendigvis behøves anvendt i områder, hvor terrænet er meget jævnt, eftersom højdeforskydningsfejlen ikke får nogen indflydelse i oprettelsen.

Test 2 og 3 har begge til formål at bestemme billedkvaliteten i Quickbird billederne. Da det ønskes at beholde den gode geometriske kvalitet, der er fundet i Test 1, sammensættes det pankromatiske billede med det multispektrale billede for at undersøge billedkvaliteten af pan-sharpe billedet. Det kan konkluderes, at en stor del af detaljerne er forsvundet, når billederne sammensættes. Dog viser område tre, at der her kun mistes en lille del af detaljerne.

Det kan konkluderes, at det er nødvendigt at justere på farvebalancen, når der arbejdes med digitale billeder. Ved at strække histogrammet er det muligt at få et bedre billede. Det skal dog altid vurderes i den enkelte situation, hvilken metode der bedst kan fremhæve billedets detaljer. Det kan sammenfattes, at når en lineær strækning benyttes, kommer der flere detaljer til syne i pan-sharpe billedet. Det kan endvidere konkluderes, at farvebalancen i billederne virker meget mat efter den lineære strækning. Dette kan skyldes atmosfæriske forstyrrelser.

På baggrund af Test 2 og 3 kan det konkluderes, at når et pankromatisk og multispektralt billede sammensættes vil det i alle tilfælde medføre, at billedkvaliteten forringes. Endvidere kan det konkluderes, at hvis Quickbird satellittens billeder skal benyttes til en erstatning af DDO[®]land, er det nødvendigt at sikre sig, at satellitbillederne er af samme standard som område 3. Hvordan dette sikres, har det ikke været muligt at finde frem til gennem dette projekt.

9.3 Anvendelse af satellitbilleder til DDO[®]land

For at undersøge om Quickbird billederne kan erstatte DDO[®]land billedserien sammenlignes de to produkter i Test 4 og 5.

I Test 4 bliver den egentlige sammenligning mellem Quickbird billedet og DDO[®]land foretaget. Testen konkluderer, at farvebalancen er meget forskellig mellem de to billedprodukter. Dette betyder, at hvis Quickbird billederne skal benyttes til anvendelse i DDO[®]land, skal de erstattes med andre farver, hvilket gøres ved at benytte erstatningsfarver til hver pixelværdi. Testens anden del viser, at der er en lille systematisk fejl i Quickbird billedet, da det er forskubbet cirka en halv meter i sydvestlig retning. Denne fejl kan der dog kompenseres for, hvilket gøres ved at benytte en translation.

Igennem Test 5 undersøges det, hvorledes en mosaik fremstilles. Det kan konkluderes at da der optræder skyer i nogle af billederne, vil dette få en indflydelse på mosaikken. Endvidere kan det konkluderes, at hvis der optræder skyer i overlappet mellem to satellitbilleder, vil den sømlinie, der benyttes, blive meget vanskeligt at skjule. Generelt vil mosaikken få et meget lyst skær, hvilket er vanskeligt at kompensere for.

10. Perspektivering

Dette kapitel vil først og fremmest tage udgangspunkt i alle de øvrige anvendelsesmuligheder, de højopløselige satellitbilleder har. Indledningsvis vil det dog først blive diskuteret, hvilke forbedringsmuligheder den nuværende Quickbird scene har.

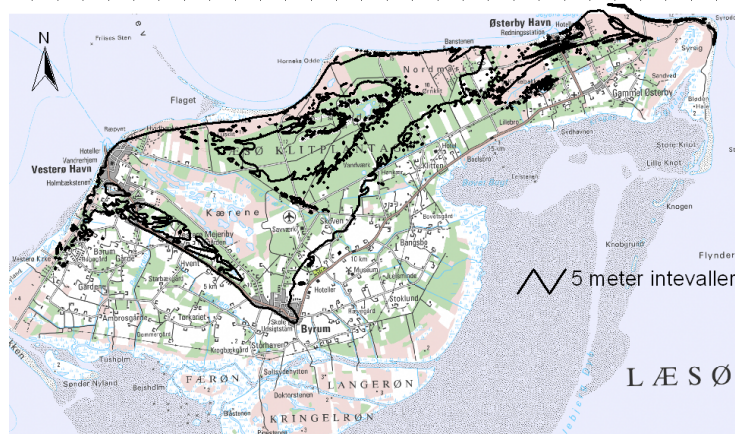
10.1 Forbedringsmuligheder for Quickbird scenen

Igennem projektførløbet er der fundet frem til flere forbedringsmuligheder for de behandlede Quickbird scene. På grund af tidsmæssige begrænsninger er disse forbedringsmuligheder udeladt af projektførløbet. De tre væsentligste emner er følgende:

- Anvendelse af højdemodel over Læsø
- Billedopretninger i større produktioner
- Brug af den infrarøde kanal

10.1.1 Anvendelse af højdemodel over Læsø

I projektets test afsnit er fundet frem til at det ikke er nødvendigt at beskæftige sig med højden på Læsø. Men set i et landsdækkende perspektiv vil en højdemodel være nødvendig. Erfaringer viser at Erdas kan indlæses en højdemodel for at opnå et bedre resultat. Data til en sådan højdemodel kan indsamles på mange måder. For eksempel kan dette ske ved hjælp af laserscanning eller gennem målinger i en stereomodel. Endvidere er det også muligt at erhverve flere landsdækkende højdemodeller. En af de mere passende er udarbejdet af Kort & Matrikelstyrelsen, og denne højdemodel har en kurveækvidistance på fem meter, jævnfør figur 10.1. [www.kms.dk, 03.05.2004], [www.geodata-info, 03.05.2004]

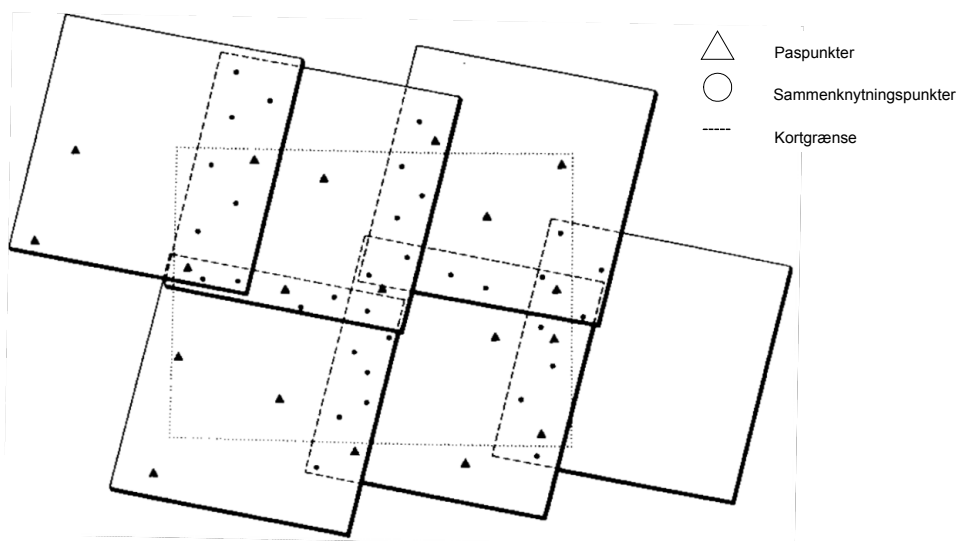


Figur 10.1: Kort & Matrikelstyrelsens højdemodel over Læsø. [www.kms.dk, 03.05.2004], [www.geodata-info.dk, 03.05.2004]

Grunden til kort & matrikelstyrelsens højdemodel passer godt ind i denne sammenhæng er at de højopløselige satellitter har en pixelstørrelse på 0,60 meter. Hvis der ønskes en bedre nøjagtighed i scenerne skal det nævnes at det er vigtigt at have en højdemodel over det scannede område

10.1.2 Billedopretninger i større produktioner

Erfaringer gennem projektet har vist, at Erdas Imagine Advantage kun er i stand til at oprette et enkelt billede ad gangen. Hvis der skal produceres flere billeder, bliver det en meget langsommelig proces ved brugen af dette program. Endvidere vil menneskelige fejl nemt kunne påføres billederne. En forbedring til dette kan være at se efter andre programmer. Gennem foranalysen er der fundet frem til, at der også er andre programmer på markedet, som er i stand til at indlæse Quickbird scener. Som eksempel kan nævnes, at Z/I Imaging har produceret et program, der kan foretage en opretning af flere billeder på en gang. Fremgangsmåden for denne proces er den samme, som kendes fra almindelig luftfotogrammetri. Af figur 10.2, ses det, hvorledes der opbygges en model med flere billeder, og hvilke målinger der skal foretages. [www.ziimaging.dk, 14.03.2004], [Erdas, 2003]



Figur 10.2: Illustration af modellens opbygning.

Grunden til, at Z/I Imaging ikke er benyttet i dette projekt, er, at programmet ikke kan indlæse halvkorrigerede scener fra Quickbird satellitten. På nuværende tidspunkt kan programmet kun indlæse de ukorrigerede scener. På det tidspunkt hvor programmet opdateres, således denne funktion er inkluderet i programmet, kan flere billeder indgå i samme opretning. Dette vil gøre en større produktion langt mere homogen opretning samt en besparelse paspunkter.

I forbindelse med en større produktion, er det ligeledes vigtigt at indføre nogle rutiner, der skal sikre, at kvaliteten i billederne bliver så høj som muligt. Erfaringer gennem projektet har vist, at billedkvaliteten kan svinge væsentligt fra billede til billede. Eksempler på sådanne rutiner, der kan sikre en høj billedkvalitet i alle billederne, kan for eksempel være en manuel visualisering af billederne, eller en rutine, der automatisk går ind og sammenligner om de samme objekter er tilstede i billedet.

10.1.3 Brug af den infrarøde kanal

Gennem projektet er det blevet oplyst, at de højopløselige satellitter også scanner med en infrarød kanal. Hvilken betydning, den infrarøde kanal har for det endelige scan, samt hvilke muligheder disse scanninger giver, gennemgås i det følgende.

Arbejdet med digitale farvebilleder gør, at det er muligt at få dem vist i forskellige kombinationer. Dette er specielt interessant i det tilfælde, hvor en eller flere af kombinationerne ligger uden for det synlige spektrum. Herved får brugeren større mulighed for at skelne mellem de forskellige objekter på landjorden. Billedet får med andre ord tilført flere oplysninger. Et eksempel på dette er brugen af Color Infra Red billeder, herefter betegnet CIR-billeder. CIR-billederne er farvebilleder, hvor den infrarøde kanal benyttes. [Erdas, 2003] CIR billedet er opbygget på følgende måde:

- I den røde kanal indlæses det infrarøde bånd
- I den grønne kanal indlæses det røde bånd
- I den blå kanal indlæses det grønne bånd

Den infrarøde kanal bevirker, at sund vegetation i billedet reflekteres stærkt. Sammen med de andre kanaler kan CIR billedet benyttes til at skelne mellem infrastruktur og vegetation, jævnfør figur 10.3. [Erdas, 2003]



Figur 10.3: Et eksempel på et CIR billede, og billedet stammer fra område tre i Test 2.

Endvidere er det muligt på baggrund af CIR billederne at beregne et vegetationsindeks. Vegetationsindekset indikerer, hvor i billedet der findes vegetation, og hvor kraftig den er.

Da, den infrarøde kanal kan leveres med et Quickbird billede, kan billederne benyttes af mange faggrupper. Specielt landbruget vil kunne anvende sådanne billeder til analyse af, hvor sunde afgrøder er. Ved at benytte CIR billederne er det muligt at se, om afgrøderne er ved at blive syge, eller om de mangler næringsstoffer.

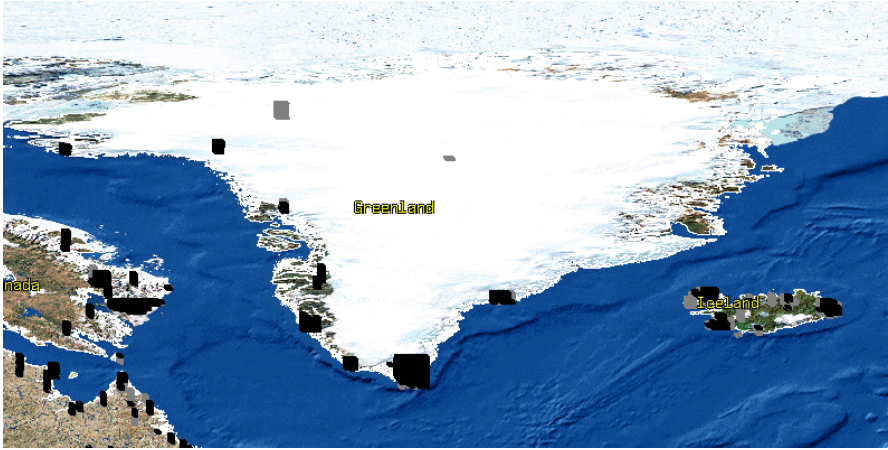
10.2 Andre applikationsmuligheder

Det er svært at forudsige, hvad fremtiden kan bringe for den høopløselige satellit-teknologi. Den manglende brug af de høopløselige satellitter hænger meget sammen med det økonomiske perspektiv. Billederne er stadig meget dyre at erhverve, hvilket betyder, at de endnu ikke rigtig benyttes herhjemme. Ses der bort fra økonomien, kan denne teknologi blive benyttet til mange formål. En række vil blive præsenteret herefter.

10.2.1 Kortlægning af Grønland

Da, de høopløselige satellitter er i stand til at scanne det meste af Grønland, kan det være fornuftig at benytte denne teknologi i tilfælde af, at delområder eller hele Grønland skal kortlægges på ny. Satellitbilleder vil være fordelagtige til dette. Nedenstående oplyses hvorfor dette er tilfældet.

- Områdets størrelse og landskab betyder, at det er meget vanskeligt at komme frem med fly. Endvidere vil mængden af billeder vil være enorm i tilfælde af flyfotogrammetri.
- Nøjagtigheden i billederne, er en meter, hvilket er acceptabelt.
- Ved traditionel fotogrammetri vil mængden af pas- og kontrolpunkter være uoverkommelig. Arbejdes der i stedet med satellitbilleder, kan afstanden mellem pas- og kontrolpunkterne være større. Herved sænkes antallet af arbejdstimer, hvilket minimerer de økonomiske omkostninger.
- Satellitbilleder kan erhverves hurtigt, da satellitten alligevel flyver over området med jævne mellemrum. Det ses på figur 10.4, hvorledes nogle områder allerede er blevet scannet af Quickbird satellitten.



Figur 10.4: Et screendump fra DigitalGlobe's hjemmeside, som viser, hvor på Grønland der allerede er blevet scannet. De sorte og grå pletter viser, hvor scanningerne er foretaget. [www.DigitalGlobe.com, 30.05.2004]

10.2.2 Gødningsplaner

For nogle år tilbage fik landmanden mulighed for at få tegnet sine marker i et GIS program. I dag tilbydes landmændene endvidere at få lavet afgrødningsplaner, der også bliver lagt ind i GIS programmet. Afgrødningsplanerne er lavet på baggrund af CIR billederne, der på nuværende tidspunkt bliver specialfremstillet fra flyoptagelser til den enkelte landmand. Efter billedoptagelsen beregnes vegetationsindekset, der tidligere nævnt indikerer, hvor sunde landmandens afgrøder er. Sammen med GPS'en, som er påmonteret traktoren, er det herefter muligt at tilføre den rette mængde gødning, plantebeskyttelse eller kalk på marken. [www.kemira.dk, 09.06.2004]

Med en videreudvikling og forbedring kan de højopløselige satellitter erstatte flyoptagelser. Fordelen ved dette er, at det er langt hurtigere og nemmere at hente nye billeder hjem over markerne. Endvidere er det muligt at følge udviklingen i afgrøderne, hvis billederne løbende bliver opdateret. Ved at kunne følge med afgrødernes plantevækst og derigennem give dem den rigtige mængde gødning, vil dette betyde et større udbytte ved høsten. Derudover kan forureningen, som landbruget ofte beskyldes for, nedbringes, da markerne ikke fejlagtigt vil blive overgødet. I starten vil denne teknologi nok være forbeholdt de store landbrug, men set ud i fremtiden vil det også være fordelagtig for det mindre landbrug. Her er det igen økonomien, der er afgørende for satellitbilledernes fremtidige anvendelse.

10.2.3 Monitorering af de danske kystlinier

Da Danmark næsten er omgivet af vand er det meget vigtigt at følge med i udviklingen af de danske kyster, hvilket i dag foretages af Kystdirektoratet. Kystdirektoratet sørger for, at der ydes kystbeskyttelse på de strækninger, hvor oversvømmelse af baglandet vil undgås, og/eller hvor det vil undgås, at kysten nedbrydes og rykker tilbage. Der eksisterer en række forskellige typer af kystbeskyttelse, som kan benyttes i denne sammenhæng. For eksempel kan bølgebrydere, diger, klitter, kystdræn og skræntfodsbeskyttelse anvendes. [www.kyst.dk, 13.06.2004]

For at finde frem til den rigtige type beskyttelse, der skal benyttes i den enkelte sag, indmåles de danske kyster løbende. På nuværende tidspunkt er de mest benyttede målinger til at undersøge, hvorledes de danske kyster "flytter" sig er GPS-målinger. Ved at supplere GPS-målinger med billeder fra en højopløselig satellit har Kystdirektoratet flere muligheder for at følge med udviklingen, idet kysten visualiseres. Det vil dermed give større mulighed for at se, hvorledes kysten ændrer sig over tid. Endvidere har billederne den fordel, at de med den infrarøde kanal kan være med til at indikere, om bevoksningen skal skiftes ud i klitterne eller digerne. Her er det selvfølgelig igen vigtigt for anvendeligheden af satellitbilleder til kortlægningen af udviklingen langs de danske kyster, at det er muligt skaffe satellitbillederne løbende. Denne problematik skyldes endnu en gang, at det ikke muligt at bestemme, hvornår satellitten skal scanne de danske kyster.

10.2.4 Hasteopgaver

I dag benyttes de højopløselige satellitter scanninger af katastrofeområder. Scanningen kan senest foregår tre dage efter, at ulykken er sket. Dette betyder, at redningsindsatsen kan sættes hurtigt ind. Endvidere bliver satellitbillederne også benyttet til at monitorere katastrofeområderne efterfølgende for at følge udviklingen. Eksempler på dette kan være skovbrænde, oversvømmelser eller jordskælv.

De højopløselige satellitter bliver også anvendt i forbindelse med militære hasteoperationer. Grunden til dette er, at scanningerne kan erhverves meget hurtigt over det ønskede område. Der kan dog stilles spørgsmål ved, hvorvidt én meters nøjagtighed er nok i billederne. Dette frembringer spørgsmålet om, hvorvidt de store militærmagter har satellitter udstyret med endnu bedre sensorer. En ting er dog givet, hvis DigitalGlobes hjemmeside betragtes. Her ses det, hvorledes der er blevet taget ekstra mange satellitbilleder i forbindelse med USA's indtrængen i Irak.

10.3 Fremtidsplanerne for de højopløselige satellitter.

Det at producere en satellit udstyret med et kamera, der har en opløsning bedre end én meter, har været et stort vendepunkt indenfor satellitindustrien. Som behandlet i nærværende projekt har det været muligt at hente billeder med én meters opløsning siden årtusindskiftet, men udviklingen af nye satellitter med bedre scannere er ikke stoppet. USA har i 2003 frigivet en licens til at fremstille en ny kommerciel satellit, der er navngivet NEXTVIEW. Denne satellit er udstyret med en scanner, som har en opløsning på 0,5 meter. Yderligere vil det være muligt at erhverve sig scanninger med 0,25 meters opløsning fra samme satellit. Dette kommer kun til at berører kunder, der har en særlig tilladelse. Endvidere har USA også opsat en række andre betingelser for, at NEXTVIEW kan opsendes. For eksempel vil offentligheden først få adgang til billederne 24 timer efter scanningen. Satellitten forventes at være funktionsdygtig sidst i 2005. [www.geointel.com, 30.05.2004].

Konkurrencen indenfor kortlægningsbranchen gør, at producenterne af satellitbilleder hele tiden bør tænke i nye perspektiver for at følge med. Det er således muligt at forstille sig, at satellitterne udvikles til at være dynamiske. Med dynamisk menes, at det vil være muligt at få dem til at skifte kredsløb, hvis det ønskes. Fordelen ved dette er, at hvis et specielt område ønskes særligt overvåget, kan satellitten flyttes, hvilket betyder, at intensiteten forøges netop i dette område. På denne måde elimineres en af de ulemper, der har været forbundet med anvendelsen af satellitbilleder i produktionen af DDO[®]land. Hvis satellitterne gøres dynamiske vil de uden tvivl være anvendelige til mange andre formål, end der er beskrevet gennem dette projekt.

De højopløselige satellitter så dagens lys for fem år siden, og der er stadig mange forbedringer, der kan tilføres. Den eneste faktor, der holder denne teknologi på afstand fra offentligheden, er de meget høje priser, billederne har. Efterhånden som teknikken bliver bedre, kan det kun håbes på, at prisen falder, så satellitbilleder for alvor kan anvendes til flere kortlægningsformål.

Begrebsliste

Begreb	Beskrivelse
Absolut nøjagtighed	Absolut nøjagtighed for en størrelse er udtryk for en afvigelse i forhold til størrelsens sande værdi.
Billede scanning	I en billede scanning omsættes billedet til en række gråtoneværdier. I et 8-bit billede er hver gråtoneværdi er givet ved et nummer fra 0 til 255, hvor 0 er sort mens 255 er hvid. [Mikhail, 2001, s.156]
CCD	Som står for Charge-Coupled Device. Dette modul består af lysfølsomme elektroniske kredse. CCD'en sidder i scannere, videoapparater og digitale kameraer og bruges til at opfange reflekteret lys fra originalmateriale og konvertere det til elektroniske impulser.
Datum	En matematisk beskrivelse af formen på jorden.
Fase måling	Ønskes den højeste grad af nøjagtighed når der måles med GPS, er det nødvendigt at måle på fasen. Ved fasemåling måles der direkte på den ene af de to bærebølger. For at kunne gøre dette er det nødvendigt at have to modtagere.
Georefereret billede	Billedet er placeret i et kendt koordinatsystem.
GPS	Et positioneringssystem der gør det muligt at bestemme positionen ved hjælp af satellitter.
Kortprojektion	En projektion er den metode, som bruges til at afbilde den 3-dimensionale overflade af Jorden over på et 2-dimensionalt kort.
Multi CCD kamera	Et digitalt kamera, der består af flere CCD'er sat sammen.
Projektionscenteret	Billedets midtpunkt.
Resample	At ændre på størrelsen af en fil.
Scanne	Det som en satellit gør, når den optager et ønsket område. En scanning kan godt bestå af flere billeder.
Star trackers	Ved at måle til andre stjerner kan en satellits positionen bestemmes.
Sømlinie	Den linie der vælges at sætte to billeder sammen med.
Passive scanner	En scanner der registrerer den naturlige refleksion.

Litteraturliste

Litteraturlisten er opdelt under følgende afsnit

- Bøger og artikler
- Interview
- Elektroniske publikationer
- Programmer

Bøger og artikler

[Andersen, 1997]

Ib Andersen

Den skinbarlige virkelighed - om valg af samfundsvidenskabelige metoder

Samfundslitteratur, 1997

[Cowi, 2003]

DDO©land - Danmarks Digitale Ortofoto

Produktpeje fra COWI

Cowi, 2003

[Dial, 2003]

Gene Dial og Jacek Grodecki

Applications of Ikonos Imagery

ASPRS 2003 Annual Conference Proceedings

Space Imaging, 2003

[DigitalGlobe, 2003]

DigitalGlobe

Quickbird Imagery Products, Product Guide revision 4.0

DigitalGlobe, 2003

[DigitalGlobe, 2004]

DigitalGlobe

Quickbird imagery products FAQ,

DigitalGlobe 2004

[DigitalGlobe B, 2004]

Digitalglobe

Prisliste gældende fra marts 2004

DigitalGlobe, 2004

[Dueholm, 2002]

Keld Dueholm og Mikkel Laurentz

GPS

Ingeniøren bøger, 2 udgave 2002

[Erdas, 2004]

Leica Geosystems

Online brugervejledning fra Erdas

Imagine Advangtage

Erdas, 2004

[European Commission, 2004]

European Commission, ISPRA

Common Technical Specifications

European Commission, 2004

Kortlægning baseret på satellitbilleder

[Fraser, 2003]
Dr. Clive Fraser
Class notes from subject 451-447
Photogrammetry
University of Melbourne, 2003

[Grodecki, 2002]
J. Grodecki og G. Dial
Ikonos geometric accuracy
Space Imaging, 2002

[Grodecki, 2003]
J. Grodecki og G. Dial
Applications of Ikonos Imagery
Space imaging, 2003

[Hye-jin, 2000]
Kim Hye-jin, Kim Dae-sung, Lee
Hyo-sung og Kim Yong-il
A study on the generation og the
kompsat-1 RPC model
Seoul National university, 2000

[Jacobsen, 2003]
Karsten Jabobsen
Comparison of Quickbird and Ikonos
for generation of Orthoimages
University of Hannover, 2003

[Jacobsen, 2002]
Karsten Jacobsen
Geometric aspects of the handling of
space images
University of Hannover, 2002

[Jensen, 2003]
Karsten Jensen
Landmåling i teori og praksis
Laboratoriet for Geoinformatik, 2003

[Jensen, 2001]
Anna B. O. Jensen og Karsten engsa-
ger
GPS og koordinattransformationer II
Landinspektøren 2001

[KMS, 2001]
Kort og Matrikelstyrelsen
Kortdata fra Visits oversigtskort
1:100.000
KMS, 2001

[Lavridsen, 1993]
O. Bande Lavridsen
Fotogrammetri, 1993
Aalborg Universitetscenter

[Mikhail, 2001]
Edward M. Mikhail, James S. Bethel,
J. og Chris McGlone
Introduction to Modern Photogram-
metry
Wiley, 2001

[Mróz, 2003]
M. Mróz
Radiometric and textural fusion of
multiresolution landsat 7 etm+ chan-
nels for the improvement of visual
image interpretation and land cover
classification
University of Warmia and Mazury in
Olsztyn, Poland, 2003

[Sabins, 2000]
Floyd F. Sabins
Remote sensing principles and inter-
pretation
Freeman, 2000

[Space imaging, 2003]
 Space Imaging
 Imagery products and product guide
 Space Imaging, 2003

[Stahlberg, 2002]
 H. Stahlberg, R. Zumbrunn, og A. Engel
 Digital Image Processing In Natural Sciences and Medicine
 Version 09.07.2002

[Surveying Engineering Department, 2003]
 Surveying Engineering Department,
 Ferris State University
 History of photogrammetry
 Ferris State University, 2003

[The Mathworks, 2001]
 Matlab 6.0
 Onlinehjælpen
 Mathworks 2001

[TK99, 2000]
 Et udvalg under kommunalteknisk chefforening
 Specifikationer for tekniske kort 2. udgave
 Kommunalteknisk chefforening, 2000

[Vozikis, 2003]
 George Vozikis, Clive Fraser og Josef Jansa
 Alternative sensor orientation models for high resolution satellite imagery
 Vienna University of technology, 2003

[Wolf, 2000]
 Poul R. Wolf og Bon A. Dewit
 Elements of Photogrammetry with applications in GIS
 McGraw-Hill, 2000

[Z/I Imaging, 2003]
 Z/I Imaging an intergraph Company
 Creating the future of Earth Imaging
 Z/I Imaging, 2003

Interview

[Schelke, 25.05.2004]
 Bjarke Sjelke
 Sælger af Erdas hos InformiGIS
 Information på Erdas programmet
 Telefonsamtale den 25.05.2004

[Strunck, 25.05.2004]
 Max Strunck
 Projektleder i COWIs
 Kortlægningsafdeling
 Information om DDO[©]land
 Telefonsamtale den 25.05.2004

[Petersen, 25.05.2004]
 Yvonne Morville Petersen
 Salgsmedarbejder i COWIs salgsafdeling af DDO[©]land
 Information om priser på DDO[©]land
 Telefonsamtale den 25.05.2004

Elektroniske publikationer

[www.blominfo.dk, 18.02.2004]
 Kortlægingsfirma
 Besøgt den 18.02.2004
<http://blominfo.dk>

Kortlægning baseret på satellitbilleder

[www.cowi.dk, 18.02.2004]
Ingeniørfirmaet COWI A/S
Besøgt den 18.02.2004
http://www.cowi.dk/Div04/Profiles/div04_2.asp

[www.DigitalGlobe.com,
24.03.2004]
Leverandør af satellitbilleder
Besøgt den 24.03.04
<http://www.digitalglobe.com>

[www.digitalGlobe.com, 30.05.2004]
Leverandør satellitbillede-billedarkiv
Besøgt den 30.05.2004-05-30
<http://archivetool4.digitalglobe.com/ot/Map.jsp;jsessionid=wsubs15nv1>

[www.dot.state.oh.us, 20.02.2004]
Ohio State University
Besøgt den 20.02.2004
<http://www.dot.state.oh.us/aerial/HistoryYear.asp?Y=1948>

[www.erdas.com, 15.05.2004]
Erdas' hjemmeside
Besøgt den 15.05.2004
<http://gis.leica-geosystems.com/>

[www.ggy.uga.edu, 16.02.2004]
Department of Geography, University of Georgia
Besøgt den 16.02.2004
www.ggy.uga.edu/courses/geog4430_chpanglo/lecture.html

[www.geodata-info.dk, 03.05.2004]
Geodata information
Besøgt den 03.05.2004
<http://www.geodata-info.dk/keywords.asp?ID=128>

[www.geointelماج.com, 30.05.2004]
Fagteknisk magasin
Besøgt den 30.05.2004
<http://www.geointelماج.com/geointelligence/article/articleDetail.jsp?id=78515>

[www.gis.leica-geosystems.com,
02.04.2004]
Erdas' hjemmeside
<http://www.gis.leica-geosystems.com>

[www.gpsnet.dk, 03.05.2004]
GPSnets hjemmeside
Besøgt den 03.05.2004
<http://www.gpsnet.dk>

[www.gps-referencen.dk,
14.05.2004]
GPS-referencens hjemmeside
Besøgt den 15.05.2004
www.gps-referencen.dk/maaledata/

[www.kemira, 09.06.2004]
konsulent firma for landbrug
Besøgt 09.06.2004
<http://www.kemira-growhow.com/DK/Produkt/Landmand/Godning/>

[www.kms.dk, 10.03.2004]
Kort & Matrikelstyrelsen
Besøgt den 10.03.2004
[http://www.kms.dk/C1256AE30031A4DC/\(AllDocsByDocId\)/BA829E7A25606DCFC1256AF5004A9088?open&omr=ERPRODUKT](http://www.kms.dk/C1256AE30031A4DC/(AllDocsByDocId)/BA829E7A25606DCFC1256AF5004A9088?open&omr=ERPRODUKT)

[www.kms.dk, 03.05.2004]
Kort & Matrikelstyrelsen
Besøgt den 03.05.2004
[http://www.kms.dk/C1256AE30031A4DC/\(AllDocsByDocId\)/1BD40E01A2992304C1256AF5004A909E?open&omr=ERPRODUKT](http://www.kms.dk/C1256AE30031A4DC/(AllDocsByDocId)/1BD40E01A2992304C1256AF5004A909E?open&omr=ERPRODUKT)

[www.kms.dk, 05.05.2004]
Kort & matrikelstyrelsen
Besøgt den 05.05.2004
[http://www.kms.dk/C1256AED004E87BA/\(AllDocsByDocId\)/0206D7A1555C735DC1256BC7002A5A51?open&omr=ERVGRUNDLAG](http://www.kms.dk/C1256AED004E87BA/(AllDocsByDocId)/0206D7A1555C735DC1256BC7002A5A51?open&omr=ERVGRUNDLAG)

[www.kms.dk, 05.06.2004]
Kort & matrikelstyrelsen
Besøgt den 05.06.2004
[http://www.kms.dk/C1256AED004EA666/\(AllDocsByDocId\)/B825612735012CB1C1256AEF002C0B2C?open&omr=KORT_DK_I_TAL](http://www.kms.dk/C1256AED004EA666/(AllDocsByDocId)/B825612735012CB1C1256AEF002C0B2C?open&omr=KORT_DK_I_TAL)

[www.kyst.dk, 13.06.2004]
Kystdirektoratet
Besøgt den 13.06.2004
http://www.kyst.dk/kystbeskyttelse/index.asp?cat_id=286

[www.laesoe.dk, 03.05.2004]
Læsø Kommunes hjemmeside
Besøgt den 03.05.2004
<http://www.laesoe.dk/>

[www.leica.com, 16.02.2004]
Instrument grossist
Besøgt den 16.02.2004
http://gis.leica-geosystems.com/productunits/airborne_data_acquisition/default.asp

[www.pcigeomatics.com, 02.04.2004]
Software leverandør af PCI
Besøgt den 02.04.2004
<http://www.pcigeomatics.com>

[www.referencen.dk 16.05.2004]
GPS-referencen's hjemmeside
Besøgt den 16.05.2004]
<http://referencen.dk>

[www.rummet.dk, 31.05.04]
Hjemmeside om rummet
Besøgt den 31.05.2004
<http://www.rummet.dk>

[www.scankort.dk, 18.02.2004]
Scankort A/S
Besøgt den 18.02.2004
<http://www.scankort.dk>

[www.spotimage.com, 24.02.2004]
Satellitbillede leverandør
Besøgt den 24.02.2004
http://www.spotimage.com/html/_167_171_181_.php

[www.ziimaging.dk, 14.03.2004]
Software leverandør
Besøgt den 14.03.2004 og 02.04.2004
<http://www.ziimaging.dk>

Programmer

Microsoft Officepakken
Version 2000
Microsoft, USA

Microsoft Visio
Version 2002
Microsoft 2002

Matlab 6.5
Version 6.5 Release 12
The mathWorks Inc. USA 2002

Kontra
Matlab script, af Karsten Jensen
Institut for samfundsudvikling og
planlægning

Leica SkiPro 3.0
Version 3.0
Leica Geosystems, 2003

Arc View 3.2
Version 3.2
ESRI 2000

ERDAS Imagine Advantage 8.7
Leica Geosystems 2003

A.1 Den rationelle funktionsmodel

Dette appendiks har til formål at beskrive, hvad den rationelle funktionsmodel er, hvorledes den beregnes, samt hvordan den benyttes.

Den rationelle funktionsmodel, der efterfølgende vil blive kaldt RFC, er en polynomium baseret model, som gør det muligt at oprette satellitbilleder. Hvis modellen benyttes alene, kan dette gøres med en nøjagtighed bedre end 25 pixel i billedet. Dette forudsætter dog, at den ikke styrkes af paspunkter. RFC er kun baseret på oplysninger fra den indre og ydre orientering, hvilket gør, at RFC er afhængig af, hvilken satellit der benyttes. [Vozikis, 2003, s.186]

Oplysninger om den indre orientering fremkommer i form af kamerakonstanten, hovedpunktet, linsefortegning og projektionscentret. Oplysninger om den ydre orientering består af GPS-data, der bestemmer satellittens position, efemeridedata, som angiver, om satellitten afviger fra sit kredsløb, star trackers samt data fra en gyro. Sidstnævnte ting bestemmer, hvorledes satellitten drejer omkring phi, omega eller kappa. Dette giver tilsammen 80 parametre, der alle er bestemt ved hver scanning. RPC'erne er opbygget således, at det ikke er muligt for brugerne selv at genskabe de originale parametre. Når satellitbilledet skal oprettes ved hjælp af RPC, beregnes det på følgende måde:

$$x_{ij} = \frac{P_{i1}(X, Y, Z)_j}{P_{i2}(X, Y, Z)_j}$$

Hvor,

$$y_{ij} = \frac{P_{i3}(X, Y, Z)_j}{P_{i4}(X, Y, Z)_j}$$

$$\begin{aligned} P_{i1}(X, Y, Z) &= a_1 + a_2 \cdot Y + a_3 \cdot X + a_4 \cdot Z + a_5 \cdot Y \cdot X + a_6 \cdot Y \cdot Z + a_7 \cdot X \cdot Z \\ &+ a_8 \cdot Y^2 + a_9 \cdot X^2 + a_{10} \cdot Z^2 + a_{11} \cdot X \cdot Y \cdot Z + a_{12} \cdot Y^3 + a_{13} \cdot \\ &Y \cdot X^2 + a_{14} \cdot Y \cdot Z^2 + a_{15} \cdot Y^2 \cdot X + a_{16} \cdot X^3 + a_{17} \cdot X \cdot Z^2 + a_{18} \cdot \\ &Y^2 \cdot Z + a_{19} \cdot X^2 \cdot Z + a_{20} \cdot Z^3 \\ P_{i2}(X, Y, Z) &= b_1 + b_2 \cdot Y + b_4 \cdot Z \dots + b_{19} \cdot X^2 \cdot Z + b_{20} \cdot Z^3 \\ P_{i3}(X, Y, Z) &= c_1 + c_2 \cdot Y + c_4 \cdot Z \dots + c_{19} \cdot X^2 \cdot Z + c_{20} \cdot Z^3 \\ P_{i4}(X, Y, Z) &= d_1 + d_2 \cdot Y + d_4 \cdot Z \dots + d_{19} \cdot X^2 \cdot Z + d_{20} \cdot Z^3 \end{aligned}$$

x, y : er skalerede og forskudte billedkoordinater

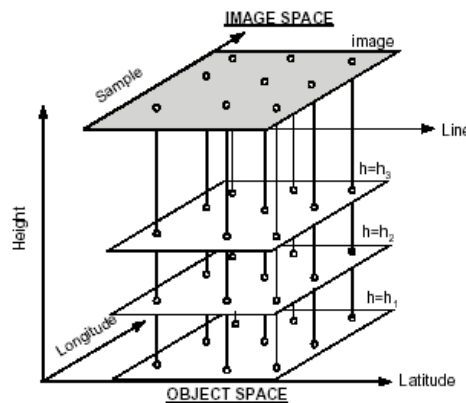
X, Y, Z : er skalerede og forskudte objektkoordinater

[Hye-jin, 2000]

RFC kan både benyttes i forbindelse med oprettelse af enkelt scener og stereo scener.

RFC beregnes af leverandøren og stammer fra en rigoristisk model. Den rigoristiske model minder meget om de velkendte stråleligninger, der benyttes i almindelig fotogrammetri. Grunden til, at stråleligningerne ikke kan benyttes, er, at billedet består af forskellige scanninger, som efterfølgende er blevet sat sammen. Disse scanninger har derfor alle forskellig indre og ydre orientering. Hvorledes RFC beregnes forklares i det følgende:

1. Over området, som det ønskede satellitbillede dækker, etableres et "objektrum". Selve objektrummet centrerer over området, som satellitbilledet dækker. På denne måde vil det være muligt at lokalisere XYZ koordinater i objektrummet. Dette fænomen kan iagttages på figur A1.



Figur A1: Objektrummet indeholder alle punkter i satellitbilledet.

2. Ved hjælp af den rigoristiske model måles der automatisk nu flere hundrede punkter i satellitbilledet. Disse billedkoordinater (x,y) skal korrespondere med objektrumets koordinater (X,Y,Z) , ved at inddele objektrummet i flere niveauer beregnes nu alle punkterne ud fra følgende formel:

$$x,y = (Ydre orientering, X,Y,Z)$$

3. Der eksisterer nu flere hundrede objektrumskoordinater, som korrespondere med billedkoordinaterne. På baggrund af dette er det efterfølgende muligt ved hjælp af mindste kvadraters princip at beregne de 80 parametre, som udgør den rationelle funktionsmodel. Inden dette kan gøres, er det dog vigtigt at skalere og forskyde koordinaterne således, de ligger imellem -1 og 1 . Dette gøres for at stabilisere beregningen, da mindste kvadraters princip er kendt for at regne forkert, hvis der benyttes alt for høje tal.

[Fraser, 2003, s.17-18]

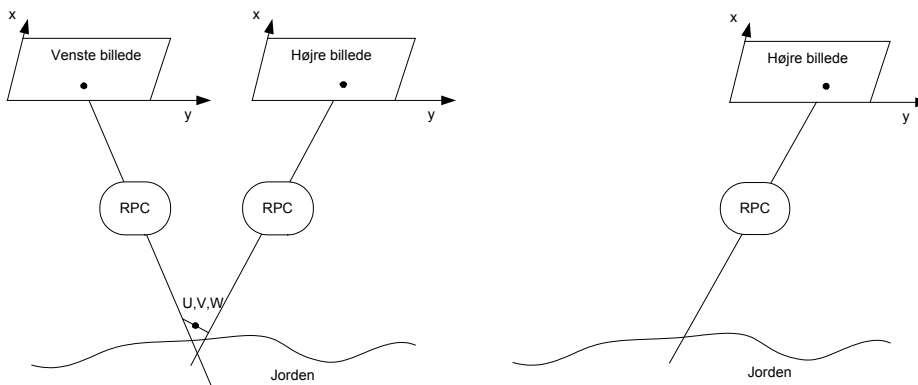
Når RPC'en anvendes til oprettelse af satellitbilledet, indlæses den medsendte fil i det anvendte program. Se figur A2 for et udsnit af filen.

```

BEGIN_GROUP = IMAGE
    errBias = 16.90;
    errRand = 0.12;
    lineOffset = 10711;
    sampOffset = 12963;
    latOffset = 57.2730;
    longOffset = 11.0001;
    heightOffset = 45;
    lineScale = 10733;
    sampScale = 12987;
    latScale = 0.0598;
    longScale = 0.1319;
    heightScale = 500;
    lineNumCoef = (
                                +2.596051E-03,
                                -3.627620E-02,
                                -1.033384E+00,
                                +1.392624E-03,
                                .....
    )
    
```

Figur A2: Et udsnit af en RPC-fil. Se originalfil på vedlagte CD i mappen \\Quickbirdparametre\vestbilledet*.rpc

Linien lineNumCoef på figur A2 er starten på de 80 parametre, der gør det muligt at oprette satellitbilledet. De 80 parametre kan anvendes både til enkelt scener samt til stereo scener, jævnfør figur A3.



Figur A3: Venstre figur illustrerer brugen af RPC i stereobilleder, mens højre figur viser brugen af en enkelt scene. [Dial, 2003, s.7 og 11]

B.1 Satellitbilleder fra DigitalGlobe

DigitalGlobe er et amerikansk eget firma, der er grundlagt af en sammenslutning af GIS og kortbrugere. Firmaet opsendte Quickbird satellitten i 2001, hvorefter firmaet tilbyder Quickbird billeder med forskellige specifikationer til alle, der måtte have en interesse.

Dette appendiks har til formål at beskrive de forskellige billedniveauer, der tilbydes af DigitalGlobe. Alt litteratur anvendt i dette appendiks stammer fra DigitalGlobes hjemmeside. [www.DigitalGlobe.com, 24.03.04]

B.1.1 Behandlingsmuligheder

DigitalGlobe har valgt at tilbyde kunderne tre former for satellitbilleder. Forskellen mellem disse tre satellitbilleder afhænger af deres anvendelsesformål. De tre produkter er:

1. Basic imagery
2. Standard imagery
3. Orthorectified imagery

Alle tre billedniveauer kan bestilles som enkelt scener eller scener med overlap. Dog skal der gøres opmærksom på, at følgende gennemgang kun vil omhandle enkelt scener, da der gennem dette projekt kun arbejdes med disse. Fælles for alle tre billedniveauer er, at de kan bestilles ud fra forskellige parametre.

Når kunden skal bestille et billede, kan dette enten foregå over Internettet eller via telefon. Kunden skal tage stilling til hvilket *datum*, *kortprojektion* samt fil-format, der ønskes for netop at opfylde, det ønskede behov. De forskellige datum, der kan vælges imellem er; WGS84, GRS 80, NAD 83, NAD 27 og GDA1994. Kortprojektion kan enten være en Universal Transversal Mercator projektion (UTM) eller en geografisk projektion. Fil-formatet er af afgørende betydning for, hvilket program bearbejdningsprocessen skal foregå i. Fælles for formaterne geoTIFF 1,0, NITF 2,0 og NITF 2,1 er, at billederne placeres geografisk. Med dette menes, at fil-formatet indeholder en række koordinater, således billedet bliver placeret i et givent koordinatsystem. En anden vigtig faktor, som skal defineres, når billedet bestilles, er det ønskede områdes størrelse og placeringen. Alt afhængig af, hvilket billedprodukt der bestilles, er der fastsat en minimumsstørrelse af billeddækningen, hvilket skyldes selskabets omkostninger. Fælles for de tre billedprodukter er, at det ønskede billede angives i form af hjørnepunkterne, der til sidst danner en polygon.

Kortlægning baseret på satellitbilleder

Det sidste skridt i bestillingen er at definere, hvilket medie satellitbilledet skal leveres på. Billederne kan leveres på DVD, bånd eller via FTP.

Med til billederne følger en række metadata filer, som brugen skal benytte til den videre behandlingsproces. Disse filer er afhængig af, hvilke billedtype der købes, jævnfør figur B1.

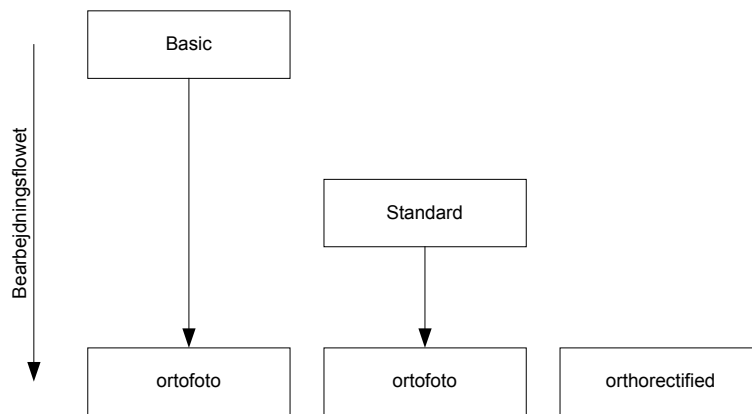
Fil navn	Beskrivelse	Basic imagery	Standard imagery	Orthorectified imagery
Top level readme file	Indeholder copyright info.	X	X	X
Produkt readme file	En oversigt over hvilke filer der følger med.	X	X	X
License file	Beskriver hvilket licensniveau billedet er bestilt på.	X	X	X
Image metadata file	Beskriver hovedattributterne, billedeproduktet, hjørnekoordinaterne, projektion information og tidspunktet for optagelsen.	X	X	X
Shapefiles	En kopi af ordrepolygonen.	X	X	X
Image layout JPEG	JPEG billede til oversigtsbrug.	X	X	X
Product browse file	JPEG billede.	X	X	X
Tile map file	Oversigtsfigur, der illustrerer, hvis flere billeder er sat sammen.		X	X
Attitude file	Indeholder højdeinformation fra hver enkelt optagesscanning samt tidsintervallet imellem.	X		
Ephemeris file	Indeholder efemerideinformation fra hver enkelt optagesscanning samt tidsintervallet imellem.	X		
Geometric calibration file	Indeholder de almindelige standardparametre for et virtuel kamera, der minder om Quickbird kameraet.	X		
RPC00B file	Info der kan benyttes til at oprette billedet.	X	X	

Figur B1: Filoversigt, der viser hvilke filer, som medsendes billedet. [DigitalGlobe, 2003, s.29]

Fælles for alle tre typer billeder er, at det ikke er muligt at genskabe satellittens nøjagtige position ud af de ovenstående filer. Dog kan den geometriske nøjagtighed være afhængig af, hvilken billedtype der vælges. Se senere i appendikset.

DigitalGlobe har netop valgt at dele sine produkter op i de tre grundstammer, Basic, Standard og Orthorectified for at kunne tilbyde billeder til så mange kunder

som muligt. På figur B2 ses længden af bearbejdningsprocessen i de forskellige grundstammer.



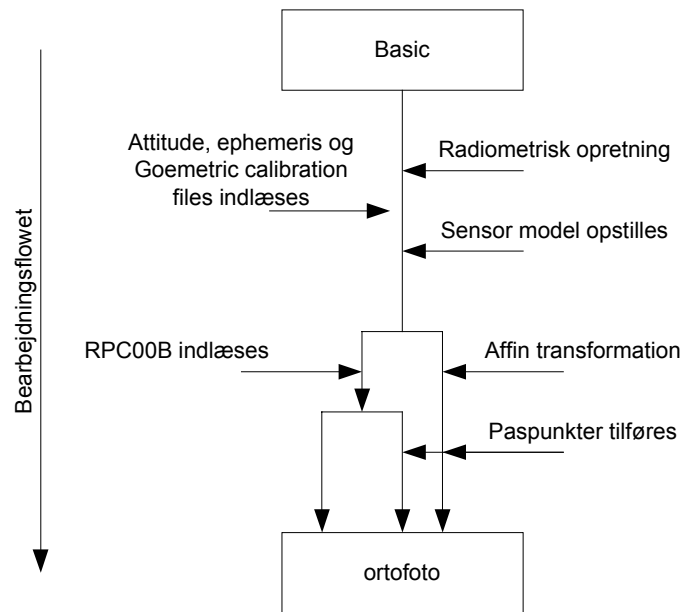
Figur B2: Bearbejdningsflowet for de tre forskellige billede produkter.

De forskellige anvendelses- og bearbejdningsrutiner for de tre billedprodukter beskrives nærmere i det følgende afsnit.

B.1.1.1 Basic imagery

Basic imagery er designet til brugeren, der selv ejer/abonnerer på et avanceret fotogrammetriprogram. Årsagen til dette er, at billedet afleveres uden særlige korrektioner. Med til billedet følger dog data omkring højden, efemeriderne samt scannerens indre og ydre orientering. Alt dette medfører, at dette produkt er til brugeren, der ønsker stor kontrol i bearbejdningsprocessen. Det primære formål med Basic imagery produktet er at fremstille avancerede fotogrammetriske produkter som for eksempel ortofoto.

Det traditionelle bearbejdningsforløb for Basic imagery er vist på figur B3.



Figur B3: Bearbejdningsflowet for Basic imagery. Til venstre for hovedlinien vises, hvilke filer der tilføres processen.

B.1.1.2 Standard imagery

Standard imagery henvender sig til brugeren, som ønsker en høj absolut geometrisk nøjagtighed i billedet eller en stor områdedækning i billedet. Brugeren af sådanne billeder har som regel kendskab til værktøjer og viden, der gør, at vedkommende kan udnytte billedet til at fremstille mange forskellige applikationer.

Standard imagery billederne er halvkorrigeret ved modtagelsen. Billedet er radiometrisk, sensor og geometrisk korrigeret. Derudover er billedet transformeret ved hjælp af en kartografisk projektion til objektrummet.

Inden for Standard imagery findes der to forskellige standarder:

2.1 Standard imagery1

2.2 Ortho Ready Standard imagery

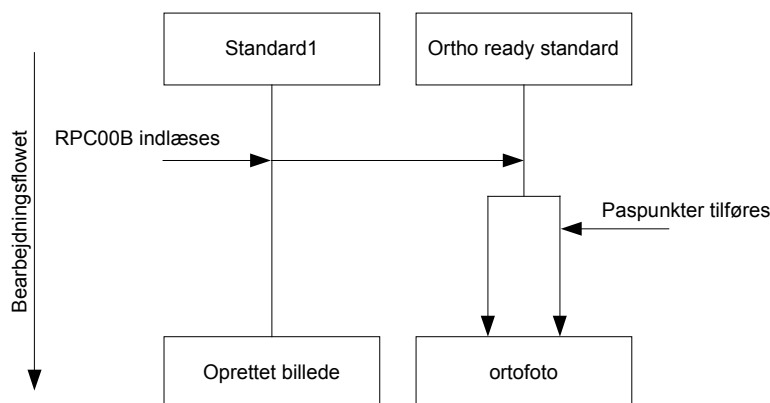
I Standard imagery1 bliver der yderligere tilført en generel højdemodel, som DigitalGlobe har fremstillet. Denne model er gældende for hele verden, hvilket betyder, at nøjagtigheden af højdemodellen ikke er særlig god. Grunden til, at der er tilført en højdemodel, er for at hjælpe med til at eliminere eventuelle topografiske fejl med respekt for den given referenceellipsoide. Dette gør, at billedet ikke egner sig til en videre ortofotoproduktion, men derimod er billedet fortrinlig til brug i forbin-

delse med visualisering af store områder som for eksempel skove. Dette skyldes, at den relative nøjagtighed stadig er god efter brugen af en almindelig opretning.

Ortho ready standard imagery indeholder ikke topografiske korrektioner. Billedet er georefereret til en position ± 23 meter fra den originale position. Højden i billedet er ligeledes blevet projiceret til en samlet gennemsnitshøjde af det bestilte terræn, hvilket gør produktet egnet til en videre ortofotoproduktion.

Hvis der ønskes en bedre absolut geometrisk nøjagtighed end ± 23 meter, kan der suppleres med paspunkter. Ved at benytte paspunkter opnås en bedre relation til objektrummet og derved en bedre geometrisk nøjagtighed.

Det traditionelle bearbejdningsforløb for Standard imagery er vist på figur B4.



Figur B4: Bearbejdningsflowet for Standard imagery. Til venstre for hovedlinien vises, hvilke filer der tilføres processen.

B.1.1.3 Orthorectified imagery

Dette produkt er klar til at blive anvendt i forbindelsen med GIS. Med det menes, at brugeren kan indlæse billedet direkte i et GIS program. Produktet er ideelt som baggrundsbillede til en allerede eksisterende GIS platform. Platformen kan bestå af eksisterende kort, som brugeren har eller i forbindelse til en ny kortlægning. Endvidere kan Orthorectified imagery også benyttes i forbindelse med ajourføring af brugernes eksisterende kort, som behøver en høj absolut nøjagtighed. Orthorectified imagery er et produkt, der er fuldt korrigeret og klar til brug.

Når billedet bestilles som Orthorectified imagery, skal det vælges i enten 1:25.000, 1:12.000 eller 1:4.800. DigitalGlobe afgør i bestillingsøjeblikket, om de selv er i stand til at skaffe det nødvendige data til produktionen, eller om køberen selv skal

levere data i form af koordinater til paspunkter og en given højdemodel for at kunne opnå den ønskede nøjagtighed.

1.2 Billedtyper

Ud over at billederne kan bestilles i de tre ovennævnte niveauer, tilbyder DigitalGlobe endvidere at give køberen mulighed for at vælge, hvilken billedetype der ønskes. Denne er ligeledes afhængig af, hvilke formål billedet skal anvendes til. Billedtyperne er opdelt i fem forskellige klasser. Disse klasser er Pankromatisk, Multispektral, Bundle (pankromatisk og multispektral), Farve og Pan-sharpened.

Det pankromatiske billede er overlegen til visuelle analyser, da der er en stor geometrisk nøjagtighed i billedet. Det multispektrale billede indeholder de tre synlige farvekanaler samt den indfrarøde. Denne kombination er god til multispektrale analyser, hvor brugeren selv kan sammensætte sine kanaler for der igennem at ende op med det ønskede billede. Dette kunne for eksempel være et CIR-billede, der er god til at fremhæve vegetation i billedet. I bundle produktet får brugeren både det pankromatiske samt det multispektrale billede. Farvebilledet sammensættes selv af brugeren ud fra de fire farvekanaler, mens pan-sharpened billedet er en kombination af det pankromatiske billede samt det multispektrale. Fremgangsmåden for denne proces er at transformere det multispektrale billede over i det pankromatiske. Efterfølgende transformeres det så tilbage igen. Ved at benytte denne teknik opnås den samme geometriske nøjagtighed som i det pankromatiske billede, mens billedet har fået tilført farver. Dette gør, at billedet kan benyttes til både multispektrale analyser samt til analyser, hvor der kræves meget høj geometrisk nøjagtighed. [Mróz, 2003]

1.3 Ordreprioritering for Quickbird

Ønskes et område scannet af Quickbird satellitten kan ordreprioriteringen angives på flere forskellige måder. Er det ønskede område tidligere blevet scannet, kan det findes i DigitalGlobes bibliotek. Hermed afsendes billederne fra DigitalGlobe i løbet af en dag. Ønskes et område scannet på ny eller ønskes et helt nyt område scannet skal ordren afgives ved prioritering for scanningen. Der skelnes i ordren mellem, hvor hurtigt produktet ønskes. Jo hurtigere et produkt ønskes leveret, jo dyrere bliver det. De tre ordretyper er:

- Rush
- Priority
- Standard

Det dyreste produkt, der kan bestilles, er ordren Rush, hvilket skyldes den hurtige levering. Før satellitten kan begynde at scanne området, skal bestillingen være indgået hos DigitalGlobe senest 48 timer før, der kan scannes. Dette resulterer i, at det færdige billedprodukt kan afstedsendes 1 til 14 dage efter ordren er indgået. Dette produkt scannes således kun første gang satellitten passerer over det ønskede område. Scanningerne kan endvidere kun bestilles i Basic eller Standard imagery.

I forbindelse med Priority, der er det næstdyreste produkt, foretages scanningen tidligst 4 dage efter bestillingen er indgået hos DigitalGlobe. Der scannes op til tre gange for at opnå et så godt resultat som muligt. Dette betyder også, at der kan gå mellem 7 og 365 dage, før kunden kan forvente at se det færdige billedprodukt.

I forbindelse med Standard foretages scanningen tidligst 5 dage efter bestillingen er indgået hos DigitalGlobe. I denne ordre scannes et område op til fem gange for at opnå det bedste resultat. Dette betyder, at det færdige billedproduktet først kan forventes at være kunden i hænde 15 til 365 dage efter ordren er indgået.

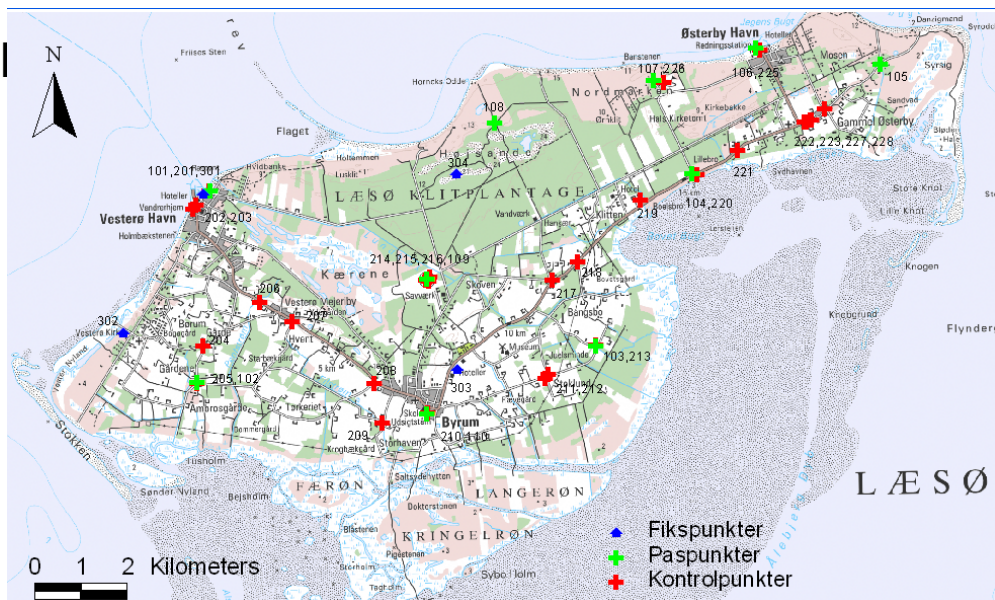
Målinger på Læsø

Dette bilag skitser, hvorledes udvælgelsen samt indsamlingsmetoden af fikspunkter, pas- og kontrolpunkterne er foretaget. Punkterne er beskrevet i den rækkefølge, dataindsamlingen er forgået på.

Punktnummerstrategien er følgende:





- 100-199 Paspunkter
- 200-299 Kontrolpunkter
- 300-399 Fikspunkter





Opbygningen af beskrivelserne foretages ved at præsentere punktnummeret, herefter kommer en kort beskrivelse af beliggenheden af punktet, og til sidst vises et nærbillede af placeringen af punktet. Sidst i bilaget er fikspunktsskitserne fra de benyttede punkter vedlagt. Disse er hentet på fikspunktsregistret, Valdemar. For overskuelighedens skyld kan alle punkternes omtrentlige placering ses på figur 1. På vedlagte cd i mappen \\dataindsamlin\1 GPS-målinger, findes der to billeder af hvert punkt





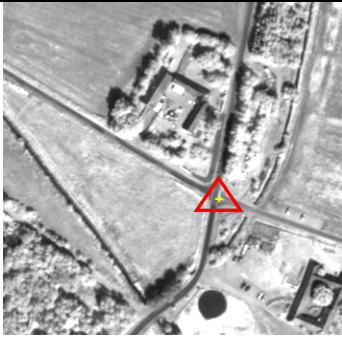

Figur 1: Oversigtkort der illustrerer placeringen af alle de indmålte punkter.





Kortlægning baseret på satellitbilleder

Punktnr.	Beskrivelse	Billede
101	Spildevandsanlæg i Vesterø Havn. Sidevej til Plantagevej. Vestlige hjørne.	
201	Spildevandsanlæg i Vesterø Havn. Sidevej til Plantagevej. Østlige hjørne	
303	Se 59-03-00816 fikspunktsbeskrivelse sidst i bilaget.	
202	Vejmidte af tilslutningsvej i Vesterø havn.	
203	Parkeringsplads ved siden af Super brugsen i Vesterø havn. 3 kryds fra begge sider.	
302	Se 59-03-00809 fikspunktsbeskrivelse sidst i bilaget.	


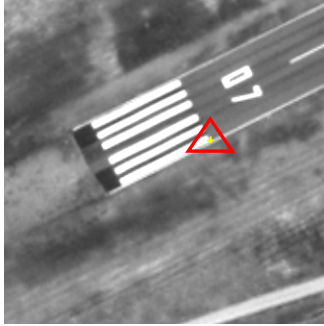
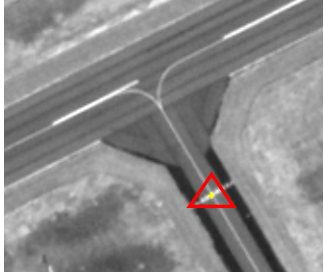

204	T-kryds mellem Præstevejen og Sdr. skolevej.	
205	T-kryds ved Sdr. skolevej og Tørkenvej/ bankegårdsvej. Sidste hjaltand væk fra midten.	
102	T-kryds ved Sdr. skolevej og Tørkenvej/ bankegårdsvej. Første hjaltand væk fra midten	
206	Vejmidte. Stribe –midte ud fra gård. Ligger på Byrumvej fra Vesterø havn til Byrum.	

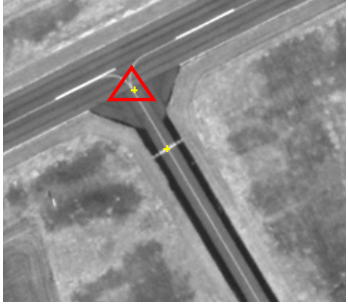



Kortlægning baseret på satellitbilleder

<p>207</p>	<p>Vejmidte. Stribe –midte ud fra gård. Ligger på Byrumvej fra Vesterø havn til Byrum.</p>	
<p>208</p>	<p>T-kryds mellem Byrumvej og Tørkerivej. Vej midte.</p>	
<p>209</p>	<p>Vejkryds mellem Storhavevej og Skovegårdsvej. Midte ved hjåjtænder.</p>	
<p>210</p>	<p>Parkeringsplads i Byrum. Kryds mellem parkeringsbåse. Den sydlige punkt tre kryds fra venstre.</p>	

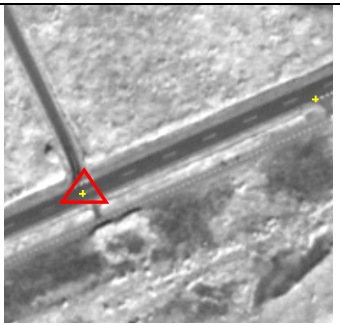

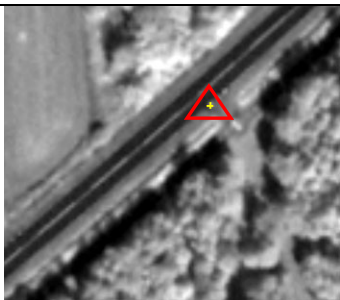
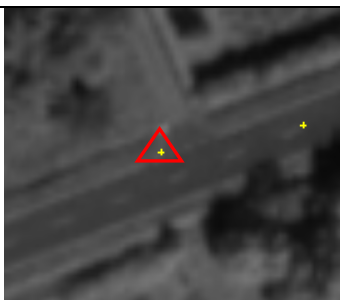
110	Parkeringsplads i Byrum. Kryds mellem parkeringsbåse. Den nordlige punkt seks kryds fra venstre.	
303	Se 59-01-00809 fikspunktsbeskrivelse sidst i bilaget.	
211	T-kryds mellem Juelsmindevej og Stoklundsvejen. Det østlige punkt i billedet. Vej midte.	
212	T-kryds mellem Stoklundsvejen og Lille Stoklundsvej. Det vestlige punkt i billedet. Vej midte.	
213	T-kryds mellem Stoklundsvejen og Håls Skolevej. Hajtand fra vejmidten.	





Kortlægning baseret på satellitbilleder

103	T-kryds mellem Stoklundsvejen og Håls Skolevej. Vej midte	
214	Læsø landingsbane. Den vestlige ende i højreside af striber.	
215	Læsø landingsbane. Kryds på stribe ved til kørselsbanen	
216	Læsø landningsbane. Den østlige ende i venstreside af striber.	

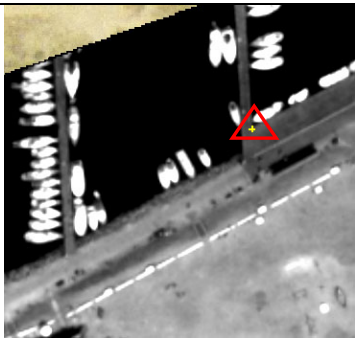


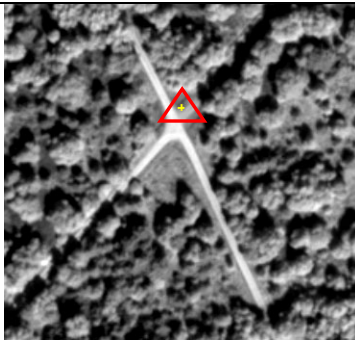
109	Læsø lufthavn. Punkt hvor de to hvide striber skilles.	
217	Østerbyvejen fra Byrum til Gammel Østerby. Vejmidte på tilkørselsvej.	
218	Østerbyvejen fra Byrum til Gammel Østerby. Vejmidte ud for nr. 32	
219	Østerbyvejen fra Byrum til Gammel Østerby. Midte af sandkasse	



Kortlægning baseret på satellitbilleder

104	T-kryds mellem Østerbyvejen og Hals kirkevej. Vej midte.	
220	Østerbyvejen fra Byrum til Gammel Østerby. Ved indkørsel til parkeringsplads.	
221	Østerbyvejen fra Byrum til Gammel Østerby. Højteud i t kryds. Ud for nr. 42	
222	Østerbyvejen fra Byrum til Gammel Østerby. Højteud fra indkørsel.	

223	Østerbyvejen fra Byrum til Gammel Østerby. vejmidte ud for indkørsel.	
224	Kryds mellem Tyvhulevejen og Østerbyvejen Punkt er forenden af striben.	
105	Krydset mellem Jegensvej og Danzigmannvej.	
225	Østerby Havn. Hvid streg nede på havnen	

Kortlægning baseret på satellitbilleder

106	Østerby havn. Hjørne ved den venstre bådbrø.	
107	Læsø golfbane. Midte på beholder til golfbolde.	
226	Læsø Golfbane. Midten på den sidste hvide sten. Ved parkeringspladsen	
P 8	Sti kryds i Højsande klitplantage.	
304	Se 59-03-00002 fikspunktsbeskrivelse sidst i bilaget.	

227	Østerbyvejen fra Byrum til Gammel Østerby. hajtand på sidevej.	 An aerial photograph showing a road intersection. A red triangle with a yellow cross inside is positioned on the side road, and another yellow cross is on the main road.
228	Østerbyvejen fra Byrum til Gammel Østerby. vejmide ud for sidevej.	 An aerial photograph showing a road intersection. A red triangle with a yellow cross inside is positioned on the side road, and another yellow cross is on the main road.

Fikspunkt 301

Fikspunktsbeskrivelse

For 59-03-00816
Udskrevet 2004 04 20, 14.58

Afmærkning

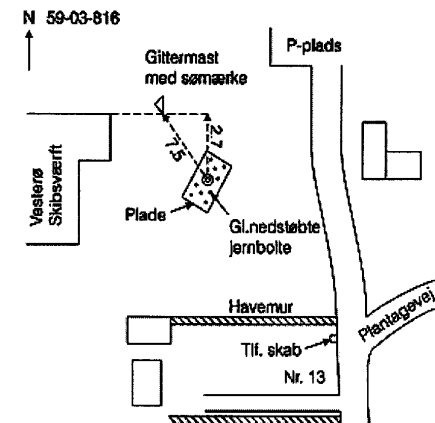
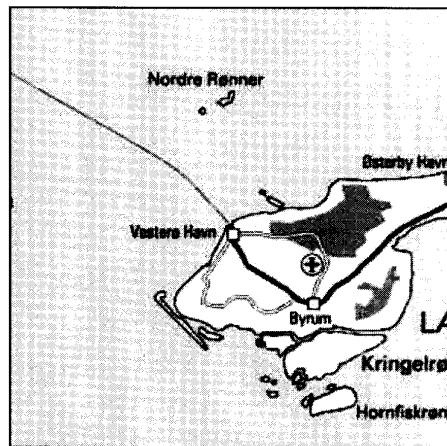
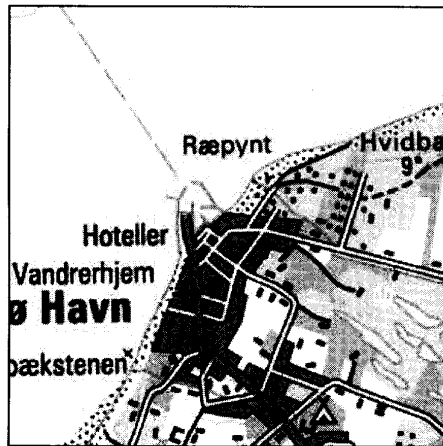
Plade mærket G.I.
0.40 m over terræn.

Koordinater

System utm32Euref89
N 6 351 975.945 m
E 616 117.640 m
H 45.824 m
Beregnet 1997 01 17, 11.49

REFDK punkt.
Vesterv Havn.
Plantagevej 13.
Punkt i gammelt fundament til sømærke.
Udfærdiget 2003

GPS egnet



Fikspunkt 302

Fikspunktsbeskrivelse

For 59-03-00809
Udskrevet 2004 04 20, 14.57

Koordinater

System utm32Euref89
N 6 349 063.342 m
E 614 329.388 m
H 42.438 m
Beregnet 1997 01 17, 11.49

Afmærkning

Centreringsbolt i betonfundament.
Til jordoverfladen.

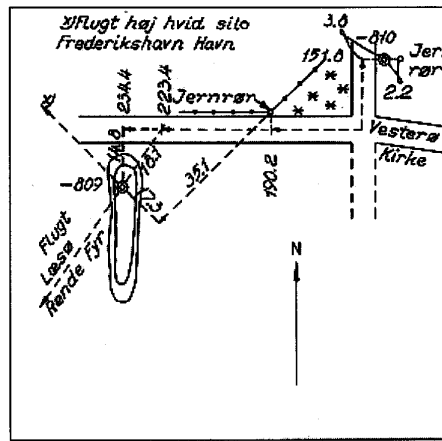
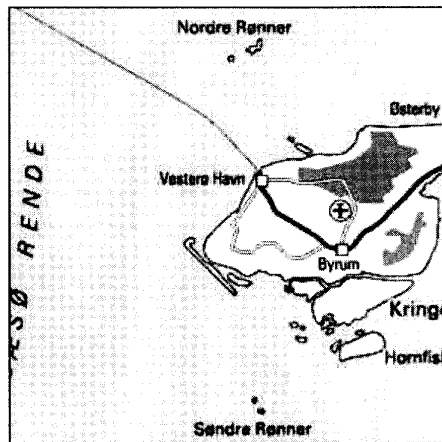
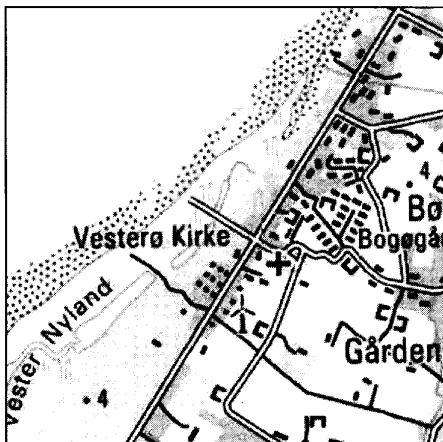
Kommunevejen Vesterøhavn - Vesterø Kirke,
Strandvejen.

Ca. 440 m NV. for Vesterø Kirke og ca.
15 m SV. for markvej mod NV. til stranden.

Punkt på lille bakke.

Udfærdiget 2000

GPS egnet



Fikspunkt 303

Fikspunktsbeskrivelse

For 59-01-00809
 Udskrevet 2004 04 20, 14.57

Afmærkning

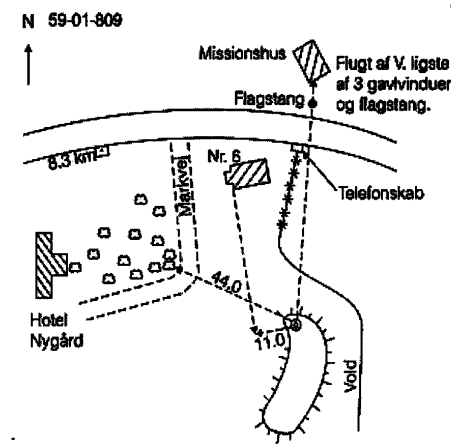
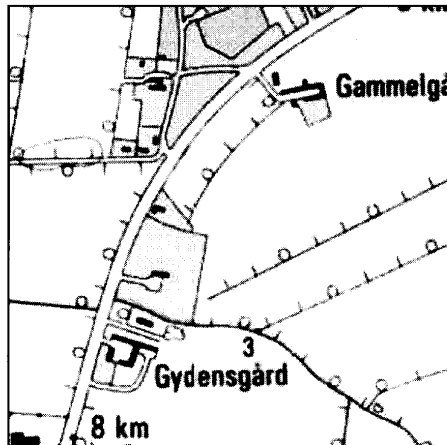
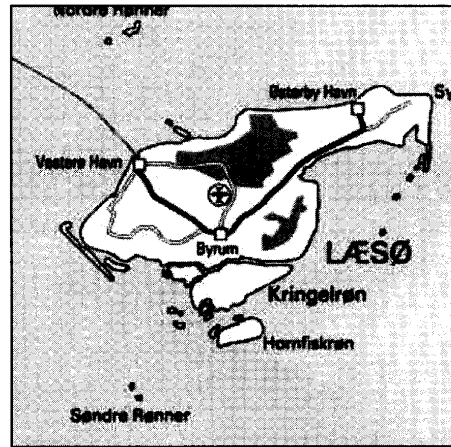
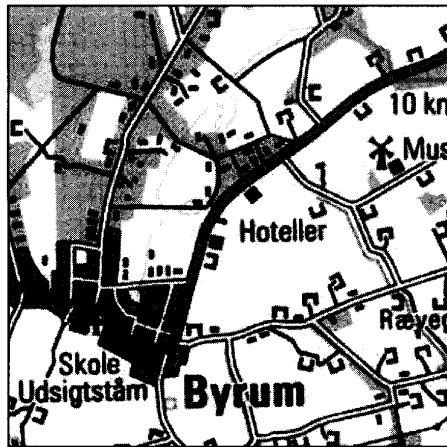
Skruepløk, 1.5 m lang.
 0.40 m under terræn.

Koordinater

System utm32Euref89
 N 6 348 177.195 m
 E 621 472.389 m
 H 41.889 m
 Beregnet 1997 01 17, 11.49

Læsø.
 Byrum By.
 Østerbyvejen 6.
 Punkt på højeste klit.
 Udfærdiget 2003

GPS egnet



Fikspunkt 304

Fikspunktsbeskrivelse

For 59-03-00002
Udskrevet 2004 04 20, 14.57

Koordinater

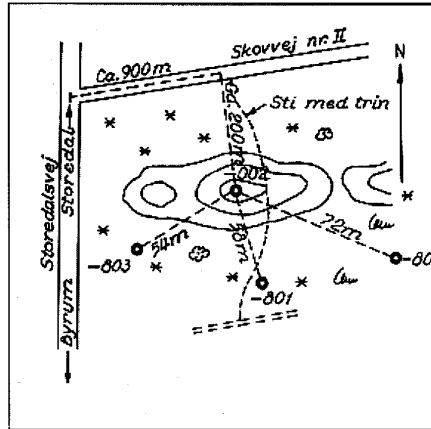
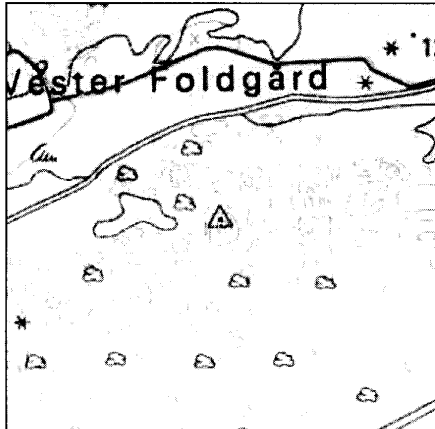
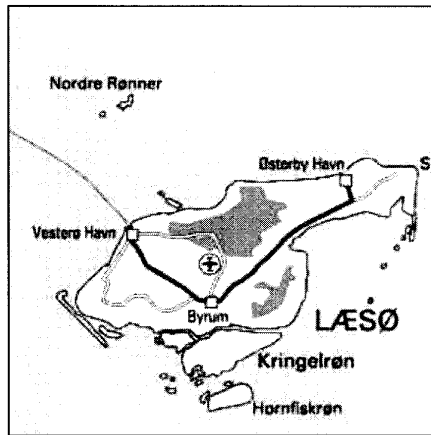
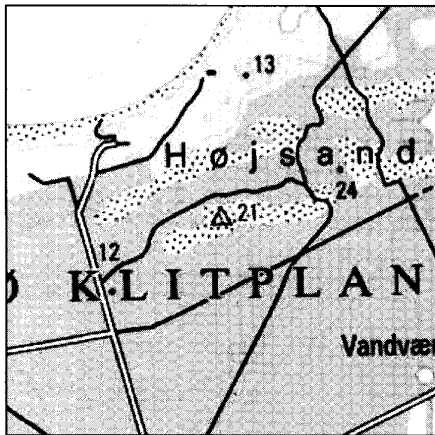
System utm32Euref89
N 6 352 377.644 m
E 621 500.498 m
H 59.651 m
Beregnet 1997 01 17, 11.49

Afmærkning

Postament ca. 34x34 cm.
0.90 m over terræn.

Ca. 5 km NNØ. for Byrum Kirke et klitområde, Højsande.
Klitrækken S. for lavtliggende areal Vester Foldgård.
Punkt på klitrækkens højeste sted.
Udfærdiget 2003

GPS egnet



Bilag 2 – Beregning af højdeforskydninger

Beregning af dR

Center i scanningen
N 6350176,770
E 619671,097

Pkt. nr.	N	E	Height	Residual i N	Residual i E	R (RMS)	ellipsoidehøjde			dR=(dH*R)/(h-dH)		
							45 meter	400 km	450 km	Flyvehøjde	Flyvehøjde	Flyvehøjde
							dH	dR	dR	dR	dR	dR
101	6352021,96	616186,39	44,77	1845,185	-3484,711	3943,08	-0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
102	6347899,87	615933,92	40,62	-2276,902	-3737,175	4376,16	-4,38	-0,05	-0,05	-0,04	-0,04	-0,04
103	6348684,53	624516,99	39,65	-1492,241	4845,897	5070,45	-5,35	-0,07	-0,07	-0,06	-0,06	-0,05
104	6352360,97	626562,31	39,31	2184,203	6891,208	7229,07	-5,69	-0,10	-0,10	-0,09	-0,09	-0,08
105	6354739,44	630605,10	40,25	4562,674	10934,003	11847,80	-4,75	-0,14	-0,14	-0,13	-0,13	-0,11
106	6355051,21	627865,60	38,81	4874,441	8194,504	9534,68	-6,19	-0,15	-0,15	-0,13	-0,13	-0,12
107	6354355,44	625941,59	44,00	-4178,67	6270,49	7535,27	-1,00	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
108	6353470,64	622326,47	47,43	3293,865	2655,374	4230,91	2,43	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02
109	6350134,13	620843,40	44,88	-42,638	1172,304	1173,08	-0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
110	6347268,79	620878,97	41,33	-2907,984	1207,874	3148,86	-3,67	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,02
201	6352022,71	616223,95	44,76	1845,94	-3447,149	3910,29	-0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
202	6351712,44	615903,44	42,41	1535,673	-3767,654	4068,60	-2,59	-0,03	-0,03	-0,02	-0,02	-0,02
203	6351657,42	615886,96	42,44	1480,649	-3784,134	4063,49	-2,56	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,02
204	6348711,60	616083,38	41,66	-1465,169	-3587,716	3875,36	-3,34	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
205	6347897,53	615928,40	40,54	-2279,237	-3742,702	4382,09	-4,46	-0,05	-0,05	-0,04	-0,04	-0,04
206	6349638,32	617279,83	43,83	-538,455	-2391,271	2451,14	-1,17	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
207	6349240,63	617995,61	42,77	-936,143	-1675,487	1919,28	-2,23	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
208	6347904,51	619768,33	43,97	-2272,261	97,229	2274,34	-1,03	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,00
209	6347036,08	619921,55	40,12	-3140,677	250,457	3150,65	-4,88	-0,04	-0,04	-0,03	-0,03	-0,03
210	6347254,90	620867,01	41,30	-2921,869	1195,911	3157,14	-3,70	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,02
211	6348069,98	623465,11	40,31	-2106,779	3794,014	4339,71	-4,70	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,04
212	6348045,10	623401,71	40,24	-2131,667	3730,612	4296,68	-4,76	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,04
213	6348675,38	624512,06	39,66	-1501,388	4840,961	5068,44	-5,35	-0,07	-0,07	-0,06	-0,06	-0,05
214	6349817,37	620205,72	44,89	-359,4	534,626	644,20	-0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
215	6350107,61	620859,13	44,80	-69,16	1188,035	1190,05	-0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
216	6350217,04	620965,22	44,87	40,267	1294,123	1294,75	-0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
217	6350105,66	623581,71	41,63	-71,111	3910,612	3911,26	-3,37	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
218	6350519,24	624097,75	40,75	342,474	4426,649	4439,88	-4,25	-0,05	-0,05	-0,04	-0,04	-0,04
219	6351777,76	625448,66	38,57	1600,985	5777,561	5995,28	-6,43	-0,10	-0,10	-0,09	-0,09	-0,08

220	6352392.97	626642.30	39.21	2216.195	6971.198	7314.99	-5.79	-0.11	-0.09	-0.08
221	6352890.31	627529.83	39.66	2713.541	7858.728	8314.02	-5.34	-0.11	-0.10	-0.09
222	6353540.44	629085.13	40.77	3363.673	9414.03	9986.91	-4.23	-0.11	-0.09	-0.08
223	6353542.81	629098.92	40.81	3366.039	9427.824	10010.70	-4.19	-0.10	-0.09	-0.08
224	6353752.63	629424.84	41.01	3575.86	9753.743	10388.56	-3.99	-0.10	-0.09	-0.08
225	6355060.90	628018.53	39.42	4884.134	8347.429	9671.32	-5.58	-0.13	-0.12	-0.11
226	6354390.00	625731.94	45.45	4213.227	6060.842	7381.40	0.45	0.01	0.01	0.01
227	6353494.73	628974.60	40.63	3317.958	9303.504	9877.45	-4.37	-0.11	-0.10	-0.09
228	6353498.93	628990.60	40.73	3322.158	9319.505	9893.93	-4.27	-0.11	-0.09	-0.08
301	6351975.95	616117.64	45.82	1799.175	-3553.457	3982.97	0.82	0.01	0.01	0.01
302	6349063.34	614329.39	42.44	-1113.428	-5341.709	5456.52	-2.56	-0.03	-0.03	-0.03
303	6348177.20	621472.39	41.90	-1999.575	1801.292	2691.27	-3.10	-0.02	-0.02	-0.02
304	6352377.64	621500.50	59.65	2200.874	1829.401	2861.91	14.65	0.10	0.09	0.08

Bilag 3 – Gaussisk strækning

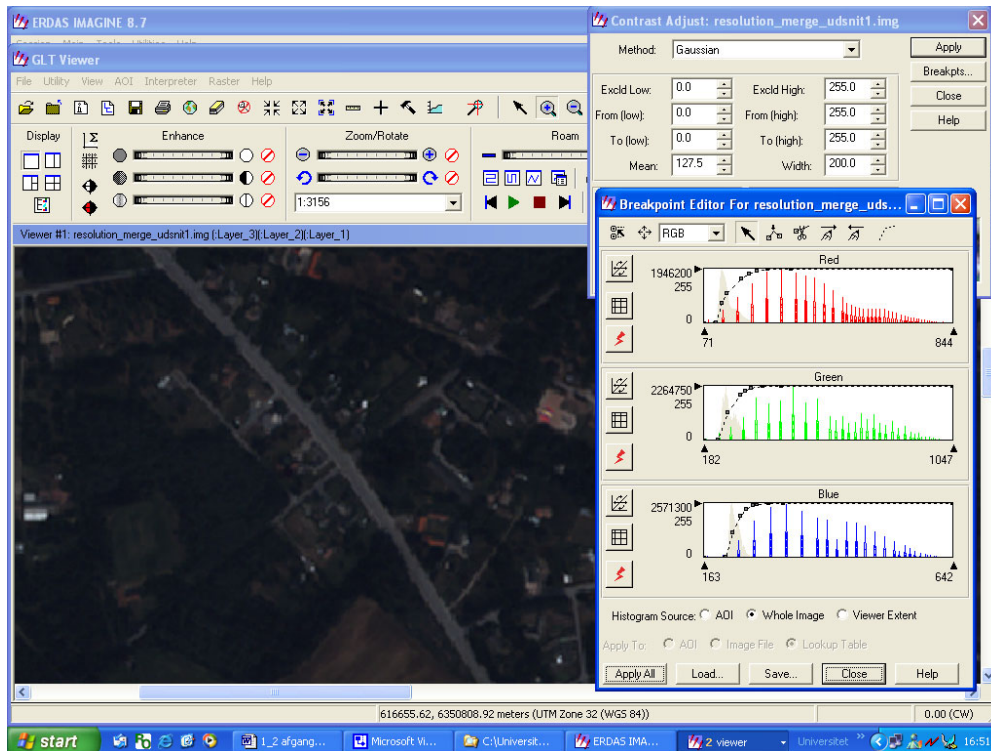


Illustration af den Gaussiske Strækningsmodel. Billedet stammer fra et udsnit i område 1.

Bilag 4 – Beregningsark for Test 4

Område	Punkt		DDO@land	Quickbird	Residual	RMS
1	1	e	616418,09	616417,80	0,29	1,32
		n	6351061,74	6351060,45	1,29	
	2	e	618739,86	618739,46	0,40	1,24
		n	6349825,82	6349824,65	1,17	
	3	e	618808,25	618808,09	0,16	0,65
		n	6348992,13	6348991,50	0,63	
	4	e	616300,40	616301,42	-1,02	1,02
		n	6348980,70	6348980,70	0,00	
	5	e	616879,13	616879,54	-0,41	0,57
		n	6350098,06	6350097,67	0,39	
2	6	e	621013,33	621013,74	-0,41	0,45
		n	6346911,17	6346911,35	-0,18	
	7	e	621101,81	621101,80	0,01	0,19
		n	6347931,22	6347931,03	0,19	
	8	e	622100,41	622099,56	0,85	0,99
		n	6347755,09	6347754,58	0,51	
	9	e	621217,62	621217,02	0,60	1,17
		n	6347593,44	6347594,44	-1,00	
	10	e	621328,31	621326,90	1,41	1,83
		n	6346850,05	6346851,22	-1,17	
3	11	e	615279,52	615277,27	2,25	2,49
		n	6349027,73	6349026,67	1,06	
	12	e	617508,10	617507,70	0,40	0,66
		n	6348426,42	6348425,90	0,52	
	13	e	614897,43	614895,67	1,76	2,24
		n	6349023,68	6349022,30	1,38	
	14	e	615273,44	615272,16	1,28	1,30
		n	6348064,87	6348065,09	-0,22	
	15	e	616030,70	616030,07	0,63	0,64
		n	6348055,40	6348055,49	-0,09	
4	16	e	624560,07	624560,27	-0,20	0,29
		n	6351111,76	6351111,55	0,21	
	17	e	623466,73	623466,48	0,25	0,80
		n	6350032,62	6350031,86	0,76	
	18	e	623131,37	623130,40	0,97	1,02
		n	6348135,18	6348134,85	0,33	

Kortlægning baseret på satellitbilleder

19	e	624677,54	624676,95	0,59	0,59
	n	6349477,14	6349477,14	0,00	
20	e	621905,20	621906,65	-1,45	1,45
	n	6348844,28	6348844,28	0,00	

		Middel af sum
Sum af residualer i e	8,36	0,418
Sum af residualer i n	5,78	0,289




















Bilag 5 – Resultater af opretning

Point #	Point ID	Color	X Input	Y Input	X Ref.	Y Ref.	Z Ref.	Type	X Residual	Y Residual	RMS Error	Contrib.	Match
1	105		630599.866	6354731.665	630605.100	6354739.444	40.252	Control	0.119	0.158	0.198	0.181	
2	106		627860.195	6355044.177	627865.601	6355051.211	38.809	Control	-0.597	1.216	1.354	1.240	
3	107		625936.667	6354346.252	625941.587	6354355.440	43.999	Control	0.275	-1.646	1.669	1.528	
4	220		626636.885	6352385.232	626642.295	6352392.965	39.213	Check					
5	221		627524.081	6352883.110	627529.825	6352890.311	39.656	Check					
6	222		629079.879	6353532.750	629085.127	6353540.443	40.770	Check					
7	223		629093.674	6353535.116	629098.921	6353542.809	40.810	Control	0.203	0.273	0.340	0.311	
8	224		629420.140	6353745.252	629424.940	6353752.630	41.014	Check					
9	225		628013.025	6355053.866	628018.526	6355060.904	39.418	Check					
10	226		625727.942	6354382.518	625731.939	6354389.997	45.449	Check					
11	227		628969.380	6353487.238	628974.601	6353494.728	40.628	Check					
12	228		628985.382	6353491.438	628990.602	6353498.928	40.729	Check					
13	GCP #1							Control					

Illustration af paspunktsresultaterne efter opretning i Test 4.

Point #	Point ID	Color	X Input	Y Input	X Ref.	Y Ref.	Z Ref.	Type	X Residual	Y Residual	RMS Error	Contrib.	Match
1	105		630599.866	6354731.665	630605.100	6354739.444	40.252	Control					
2	106		627860.195	6355044.177	627865.601	6355051.211	38.809	Control					
3	107		625936.667	6354346.252	625941.587	6354355.440	43.999	Control					
4	220		626636.885	6352385.232	626642.295	6352392.965	39.213	Check	-0.458	-0.112	0.471	0.492	
5	221		627524.081	6352883.110	627529.825	6352890.311	39.656	Check	0.378	0.873	0.952	0.953	
6	222		629079.879	6353532.750	629085.127	6353540.443	40.770	Check	0.188	0.267	0.326	0.340	
7	223		629093.674	6353535.116	629098.921	6353542.809	40.810	Control					
8	224		629420.140	6353745.252	629424.940	6353752.630	41.014	Check	-0.591	0.846	1.032	1.077	
9	225		628013.025	6355053.866	628018.526	6355060.904	39.418	Check	-0.183	1.302	1.315	1.372	
10	226		625727.942	6354382.518	625731.939	6354389.997	45.449	Check	-0.763	1.425	1.616	1.686	
11	227		628969.380	6353487.238	628974.601	6353494.728	40.628	Check	0.073	0.580	0.585	0.610	
12	228		628985.382	6353491.438	628990.602	6353498.928	40.729	Check	0.112	0.595	0.606	0.632	
13	GCP #1							Control					

Illustration af kontrolpunktsresultaterne efter opretning i Test 4.

- [-]  Dataindsamling
 - [-]  1 Gps målinger
 -  1A RÅ observationer fra GPS
 -  1B ASCII filer fra skipro
 -  1C Målebilleder
 -  2 KMStrans filer
 -  3 Kontraberegninger
 - [-]  Erdas parametre
 - [-]  Oprettelse af Vestbilledet
 -  Multispektral billede
 -  Pankromatisk billede
 -  Oprettelse af østbilledet
 - [-]  Quickbird parametre
 -  Vestbillede
 -  Østbillede
 - [-]  Test
 -  Test 1
 -  Test 4
 -  Test 5