

Fotos fra ubemandet helikopter

- beskrivelse af metode til produktion af ortofotos over arkæologiske udgravninger



Ubemandet helikopter med digitalt spejlrefleks kamera



Skråfoto fra arkæologisk fladeudgravning



Ortofoto over arkæologisk fladeudgravning

Afgangsprojekt ved Landinspektøruddannelsen

Measurement Science

Pia Louise Rasmussen og Rasmus Klog

Foråret 2012 – Aalborg Universitet

**Fotos fra ubemandet helikopter
- beskrivelse af metode til produktion af ortofotos over arkæologiske udgravninger**

© Pia Louise Rasmussen og Rasmus Klog
Studie nr. 20072992 Studie nr. 20072904

Anvendelse af dele af denne rapport må kun finde sted ved korrekt kildehenvisning

Vejledere:
Jens Juhl og Thorbjørn Nielsen

Afgangsprojekt ved Landinspektøruddannelsen
Specialisering i Measurement Science
Aalborg Universitet Campus Ballerup
Projektperiode: 1. februar 2012 til 30. juni 2012
Afsluttet d. 7. juni 2012
Opslag: 6
Sideantal: 84
Bilagsantal og art: Appendiks: 3 stk., Bilag: 12 stk., Bilag på CD: 7 stk.

Resumé

Denne rapport omhandler produktion af ortofotos med en pixelstørrelse på mellem 2 mm og 10 mm, ud fra billeder taget fra en ubemandet helikopter. Billederne er fotograferet med et Canon EOS 550D digitalt spejlreflekskamera, udstyret med enten Canon EF-S 18-55 mm objektiv eller Tamron SP 10-24 mm objektiv. Der er optaget 13 forskellige billedserier under to flyvninger over arkæologiske udgravninger ved Nykøbing-Falster. Optagelserne af billedserierne adskiller sig fra hinanden ved forskelle i objektiv, lukkertid, blænde, ISO-værdi, flyvehøjde og flyvemetode. Databehandlingen er foretaget i PhotoModeler Scanner, der er i stand til at sammenknytte og orientere billeder uden brug af signalerede punkter. Ved hjælp af PhotoModeler er der genereret højdemodeller og fremstillet ortofotos. I flyvehøjder op til 20 m er der opnået nøjagtigheder på målte afstande på under 2 cm. Anvendelsen af de fremstillede ortofotos er diskuteret med tre arkæologer med feltarkæologisk erfaring, og der er lavet en cost/benefit analyse for at vurdere rentabiliteten af en investering i det beskrevne helikoptersystem eller lignende.

Abstract

This master thesis describes a method of producing orthophotos with a pixel size between 2 mm and 10 mm, from photos recorded from an unmanned helicopter. The photos were taken with a Canon EOS 550D DSLR camera, equipped with either a Canon EF-s 18-55 mm lens or a Tamron SP 10-55 mm lens. The 13 different photo series, that were recorded, differed in lens, shutter, aperture, ISO-value, flying height or flying method. The low-cost photogrammetric software PhotoModeler Scanner has been used for processing the data. It is capable of orienting the photos relatively without using ground control points. DEM and orthophoto has been generated using PhotoModeler. By using photos recorded from a maximum height of 20 m, an accuracy better than 2 cm has been acquired on a number of control distances. The generated orthophotos have been presented and discussed with three experienced field archaeologists, and a cost/benefit analysis has been carried out, to evaluate the profitability of the used helicopter system.

Forord

Denne rapport er udarbejdet i forbindelse med 10. semester afgangprojekt på landinspektøruddannelsen under Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet ved Aalborg Universitet, Campus i Ballerup. Afgangprojektet udgør specialet for kandidatretningen Measurement Science, og projektarbejdet samt rapportudarbejdelsen har fundet sted i perioden fra d. 1. februar 2012 til d. 7. juni 2012.

Projektarbejdet har taget udgangspunkt i et samarbejde med landinspektørfirmaet LE34, der har ønsket at anvende en ubemandet helikopter til optagelse af luftfotos med henblik på produktion af ortofotos. Rapporten er derfor skrevet dels som en afrapportering af projektarbejdet, og dels som en metodebeskrivelse med anbefalinger, der henvender sig LE34 eller andre, der ønsker at lave ortofotos ud fra billeder optaget fra en ubemandet helikopter. Læsningen forudsætter et vist kendskab til landmåling og fotogrammetri.

I projektet er der udført en række forsøg, der er beskrevet i appendiks A. Disse støtter op omkring selve metodebeskrivelsen, der kan læses i rapporten. Til rapporten hører en CD, hvor der bl.a. findes eksempler på digitale billeder, der er anvendt/produceret i projektarbejdet. Det kan være en god ide at have bilag 10 ved siden af, når rapporten læses, da det kan være svært at holde rede på forskellen mellem forskellige billedserier. I rapporten er kilder angivet i selve teksten med forfatters efternavn og årstal for udgivelse, mens hele litteraturhenvielsen står angivet i litteraturlisten.

Der skal lyde en stor tak til nedenstående personer, virksomheder og organisationer for at have bidraget til projektets udformning og problemløsning. Uden deres velvilje til at samarbejde var vi ikke nået i mål med projektet.

Tak til:

Landinspektørfirmaet LE34, som har bidraget med udstyr, kursus og pilot.

Direktør for LE34 TELE A/S Claus Bloch Houmann, som har været den primære kontaktperson i firmaet.

Museum Lolland-Falster, som har stillet et caseområde til rådighed og udlagt forhistoriske objekter (stenøkser) til formålet.

Museumsinspektør Lars Ewald Jensen fra Museum Lolland-Falster, som har bidraget med viden om de arkæologiske behov i forbindelse med anvendelse af ortofotos som dokumentation.

Lektor Per Ole Rindel og undervisningsadjunkt Pernille Foss fra SAXO instituttet – Arkæologi, Etnologi, Historie Græsk og Latin ved Københavns Universitet, som har bidraget med en vurdering af produkter og anvendelse.

Indholdsfortegnelse

Begrebsafklaring	4
1 Indledning	6
1.1 Ubemandede fartøjer til luftfotos	7
1.2 Centrale problemstillinger	8
1.3 Problemformulering	9
2 Metode	10
3 Ortofoto i arkæologisk perspektiv	12
3.1 Arkæologernes arbejdsgang	12
3.2 Arkæologiens behov	13
4 Udstyr, datamateriale og forsøg	16
4.1 Præsentation af udstyr	16
4.2 Præsentation af billedserier	18
4.3 Præsentation af forsøg	21
5 Præsentation af metode	22
6 Planlægning af flyvning	24
6.1 Fremgangsmåde og anbefalinger	30
7 Etablering af paspunkter	31
7.1 PhotoModeler og paspunkter	31
7.2 Fremgangsmåde og anbefalinger	35
8 Klargøring af helikopter og kamera	36
8.1 Fremgangsmåde og anbefalinger	38
9 Kalibrering af kamera	39
9.1 Fremgangsmåde og anbefalinger	42
10 Fotoflyvning	43
10.1 Fremgangsmåde og anbefalinger	45
11 Orientering af billeder - relativt og absolut	46
11.1 Relativ orientering vha. SmartPoint	46
11.2 Absolut orientering	49
11.3 Kontrol af orienteringerne	51
11.4 Fremgangsmetode og anbefalinger	52
12 Generering af højdemodel	53
12.1 Kontrol af højdemodeller	56

12.2	Fremgangsmåde og anbefalinger	57
13	Generering af ortofoto	58
13.1	Ortofoto i PhotoModeler.....	58
13.2	Præsentation af ortofoto.....	60
13.3	Kontrol af ortofoto	63
13.4	Fremgangsmåde og anbefalinger	64
14	Opsamling på metode	65
15	Arkæologernes vurdering	67
16	Cost/benefit analyse.....	70
17	SWOT-analyse.....	75
18	Konklusion.....	77
19	Perspektivering	79
19.1	Andre anvendelsesområder.....	80
20	Litteraturliste.....	82

Bilagliste

- Bilag 1: Specifikationer for kamera og objektiv
- Bilag 2: Præsentation af billedserier
- Bilag 3: Beregning af footprint ved flyvning i blæsevej
- Bilag 4: Tekniske og automatiske funktioner for Canon EOS 550D
- Bilag 5: Eksempler på kameraindstillinger
- Bilag 6: Eksempler på billedserier til forsøg 1
- Bilag 7: Eksempel på billeder med forskellig blændetal
- Bilag 8: Opsamling på databehandling
- Bilag 9: Billedserie 5
- Bilag 10: Oversigt over billedserier
- Bilag 11: Ortofoto fra billedserie 5
- Bilag 12: Ortofoto fra billede serie 10

Bilag der kun ligger på vedlagte CD

- Bilag CD1: Interview – Møde med Lars Ewald Jensen
- Bilag CD2: Billedserier
- Bilag CD3: Ortofoto
- Bilag CD4: PhotoModeler kalibreringsrapporter
- Bilag CD5: PhotoModeler orienteringsrapporter
- Bilag CD6: Matlapscript
- Bilag CD7: Mailkorrespondance med PhotoModeler tech support

Begrebsafklaring

I rapporten bliver der brugt en række begreber, som kan være fremmede for læseren eller kan kræve en nærmere definition. Derfor beskrives det kort nedenfor, hvad udvalgte begreber dækker over.

RAD-punkter: RAD står for ”Ringed Automatically Detected” og dækker over en punkttype, som programmet PhotoModeler arbejder med. Der findes to former for RAD-punkter. Det ene er kodet, hvilket gør PhotoModeler i stand til at kunne læse et punktnummer ud fra udformningen af RAD-punktet. Det andet RAD-punkt har ingen kode tilknyttet. I dette projekt er der kun anvendt kodede RAD-punkter, og disse bliver kun omtalt som RAD-punkter. Der kan læses mere om RAD-punkter under afsnit 7.1 *PhotoModeler og paspunkter*.

SmartPoints: Dette er en sammenknytningspunkttype, som programmet PhotoModeler arbejder med. Til forskel fra RAD-punkter er SmartPoints ikke punkter, der skal signaleres i marken. SmartPoints er punkter, som PhotoModeler genererer og refererer automatisk. Der kan læses mere om SmartPoints i afsnit 11.1 *Relativ orientering vha. SmartPoint*.

Brændvidde og kamerakonstant: Disse to begreber dækker i princippet over det samme. I denne rapport anvendes *brændvidde* om en størrelse, der indstilles på objektivet eller kameraet, mens *kamerakonstant* anvendes om en størrelse, der beregnes gennem kamerakalibreringen.

Helikopter: Ordet helikopter betyder: ”luftfartøj som drives af en eller flere motordrevne rotor monteret vandret på taget, og som er i stand til at bevæge sig både lodret og vandret i luften” (Den Danske Ordbog, 2012) I denne rapport henviser helikopter til et ubemandet og fjernstyret fartøj med en diameter på ca. 80 cm og med seks propeller foroven. Der kan læses mere om denne helikopter i afsnit 4.1 *Præsentation af udstyr*.

Søgegrøft: Projektet tager udgangspunkt i en case vedr. arkæologiske forundersøgelser, hvor der graves såkaldte søgegrøfter. Disse består af nogle lange grøfter i jorden af ca. 2m bredde og 0,5 m dybde, hvor muldjorden er gravet af. I disse søgegrøfter kan arkæologerne se i råjorden om der har været gravet eller været anden aktivitet i f.eks. oldtiden eller middelalderen. Sporene fra fortiden kan være fund af genstande og farveforskelle i jorden, og alt hvad der findes arkæologisk interessant skal registreres og dokumenteres.

Middel og spredning: Flere gange i rapporten præsenteres beregnede middelværdier og spredninger for forskellige observationer. Observationerne er typisk differencer mellem koordinater eller afstande, hvilket anvendes til kontrol af produkterne. Beregningerne bygger på en antagelse om, at observationerne er uafhængige og normalfordelte, og de anvendte formler er som følgende:

Middel:

$$\mu = \frac{1}{m}(x_1 + \dots + x_m) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i$$

μ : middel

m: antal observationer

n: antal ubekendte

x: observationer

Spredning reduceret med μ :

$$\sigma_{red.} = \sqrt{\frac{1}{m-n} \sum_{i=1}^m (x_i - \mu)^2}$$

Spredning ikke reduceret for μ :

$$\sigma_{dir.} = \sqrt{\frac{1}{m-n} \sum_{i=1}^m (x_i)^2}$$

(Pedersen, et al., ukendt)

I de fleste tilfælde er der reduceret for middel. Er dette ikke tilfældet, vil det være angivet i rapporten.

1 Indledning

Ortofotos produceres traditionelt af luftfotos taget fra flyvemaskiner og anvendes til en lang række formål både i det private og det offentlige. De opdateres med et par års mellemrum, anvendelserne spænder bredt, og der er mange forskellige brugere. Med udviklingen inden for ubemandede fly og helikoptere vil det være muligt at få et kamera i luften på en langt billigere måde end ved flyvning med bemandede flyvemaskiner. Grundet de lavere omkostninger vil det være attraktivt med en højere opdateringsfrekvens og nye anvendelsessammenhænge.

Fordelen ved billeder, der er taget fra luften, er, at det er muligt at kortlægge store arealer hurtigt, og komme rundt og fotografere steder, som ellers ikke umiddelbart ville være tilgængelige fra jorden. Det kunne være vegetationstyper på bjergskråninger, overbliksoversyn af en stor folkemængde eller overflyvning af en miljøkatastrofe. På den måde opnås der information, som måske ellers ikke kunne fremskaffes, medmindre en bemanded flyvemaskine eller helikopter blev sat i luften eller der anvendtes en kran. Brugen af en ubemandet helikopter forventes at kunne konkurrere med de nævnte alternativer, og derfor er det et effektivt værktøj at anvende i mange sammenhænge. Det kræver blot, at der udarbejdes luftbilleder/luftoptagelser, der er i en anvendelig kvalitet til det tiltænkte formål. Ovennævnte eksempler ligger op til både videooptagelser og enkeltbilleder. Af disse to muligheder er det enkeltbilleder, der egner sig bedst til ortofotoproduktion.

Landinspektørfirmaet LE34 anvender ubemandede helikoptere til forskellige optagelser af billeder, og de eksperimenterer i øjeblikket med at lave ortofotos. Derudover ønsker firmaet at finde andre relevante opgaver, som helikopteren vil være ideel til at løse. De har i et stykke tid haft en dialog med Museum Lolland-Falster omkring produktion af ortofotos i forbindelse med arkæologiske fund i Femern Bælt-projektet. Under anlæggelsen af Femern Bælt-forbindelsen kan der opstå situationer, hvor arkæologiske udgravninger skal opmåles og dokumenteres meget hurtigt, dels på grund af udgravningsforholdene, og dels for at forhindre forsinkelse af anlægsarbejdet. Ved udvikling af nye og mere effektive opmålingsmetoder, vil der sandsynligvis kunne spares en masse forsinkelse, og anlægsarbejdet kan potentielt forløbe mere gnidningsfrit. Derudover vil en ny opmålingsmetode muligvis også finde sin anvendelse andre steder end i arkæologien.

Dette specialeprojekt tager sit udgangspunkt i LE34s ønske om at producere ortofotos ud fra billeder optaget med en ubemandet helikopter og deres samarbejde med Museum Lolland-Falster.

1.1 Ubemandede fartøjer til luftfotos

At lave ortofotos af arkæologisk interessante områder er ikke nogen helt ny ide, og har i flere tilfælde givet anledning til afprøvning af nye fotograferingsmetoder. F.eks. har Gesafidis m.fl. (1999) beskrevet hvordan de har anvendt en meteorologisk vejrballon til optagelse af luftfotos i lav højde hen over arkæologiske områder i Athen. Ballonen, der er fyldt med helium, har en diameter på 1,5 m, kan bære ca. 1 kg og har et kamera monteret under sig. Under disse forsøg er der fløjet i en højde af gennemsnitligt 31m. Fra denne højde der taget en række billeder, hvor 12 er blevet valgt ud. Billederne er orienteret ved hjælp af 60 naturlige punkter, og Gesafidis m.fl. (1999) har opnået en nøjagtighed på 4,3 cm i planet og 5,9 cm i højden. Det er også lykkedes dem at lave en højdemodel og et ortofoto ved hjælp af et fotogrammetrisk program. Gesafidis m.fl. (1999) konkluderer, at ballonsystemet er tilpas fleksibelt til at blive brugt mange steder i verden. Dog er der nogle begrænsninger i rækkevidden af systemet, da der skal gå en mand nedenunder hele tiden og styre ballonen. Ligeledes vil det være besværligt at skulle transportere ballonen i oppustet tilstand, og derfor vil det være nødvendigt at pakke den sammen hver gang.

Også Altan m.fl. (2003) har beskrevet, hvordan de har brugt en ballon til at tage billeder af udgravningen af et teater i den tidligere by Patara. Deres ballon havde en diameter på 2,5 m og blev styret af tre snore, der gik ned til jorden. Altan m.fl. (2003) har lavet mange manuelle målinger i deres billeder (op mod 100.000) for at finde størrelsen af sten, der er blevet brugt i byggeriet af det fotograferede. Både Gesafidis m.fl. (1999) og Altan m.fl. (2003) har taget billeder af større arkæologiske udgravninger med bygningsværker, og Altan nævner, at fotogrammetri længe har været interessant i forbindelse med arkæologi, men at placeringen af kameraet ofte er vanskelig.

Jayasuriya m.fl. (2010) har beskrevet, hvordan de har udnyttet en mindre benzindreven ubemandet helikopter til at tage billeder af rismarker i 20 m højde ved hjælp af et kamera, der kan optage billeder i forskellige bølgelængdeintervaller. De konkluderer, at metoden er billigere end at optage tilsvarende billeder fra et bemandet fly, og at den fungerer lige så godt. De har således foretaget nogle udbytteberegninger på rismarkerne uden at have været ude i marken.

Der er altså i litteraturen flere eksempler på anvendelse af fotogrammetriske metoder i forbindelse med arkæologiske udgravninger og fund. Dette må betyde på, at der er et behov for at udvikle egnede opmålingsmetoder, der er effektive og skånsomme overfor udgravningerne.

1.2 Centrale problemstillinger

Da ideen til specialeprojektet stammer fra LE34, er projektets centrale problemstillinger defineret i samarbejde med dem. LE34 har desuden stillet udstyr, programmer og piloter til rådighed, og har haft det formelle samarbejde med Museum Lolland-Falster. Hensigten med projektet har været at producere ortofotos til brug ved dokumentation af arkæologiske udgravninger ved hjælp af det udstyr, som LE34 er i besiddelse af.

Helikopteren er af typen MikroKopter og har seks propeller. Under helikopteren er det muligt at montere et kamera el. lign. Kameraet, der er til rådighed, er det digitale spejlreflekskamera Canon EOS 550D, hvor det er muligt at skifte objektiv. Til behandling af billederne anvendes programmet PhotoModeler, da dette kan anvendes til sammenknytning af billeder, generering af højdemodel og dannelse af ortofotos.

Udstyret og programmet bør i teorien kunne løse opgaven, at producere ortofoto ud fra billeder optaget med en ubemandet helikopter, men der ses umiddelbart flere udfordrende elementer i udførelsen. Helikopteren er livlig, når den flyver, og let påvirkelig overfor vind. Dette er en udfordring, hvis helikopteren ønskes fastholdt i en bestemt position. Placeringen og sammenhængen mellem kameraet og de øvrige sensorer på helikopteren er ikke kendt og ikke fast, og det er ikke muligt at orientere billederne ved hjælp af de monterede sensorer. Det er derfor nødvendigt at anvende paspunkter i orienteringen af billederne, hvilket i princippet ikke burde udgøre et problem. Det kræver bare, at udlagte og genkendelige paspunkter er tilstrækkeligt skarpe i billederne, før PhotoModeler automatisk kan anvende dem og derved skabe en effektiv arbejdsgang. En anden udfordring er, at det nævnte kamera ikke er et professionelt fotogrammetrisk kamera med kendt og fastholdt indre geometri. Kameraet skal således kalibreres, for at billedmålingerne kan korrigeres på den rigtige måde. Derudover er der en række andre elementer der kan spille ind på resultatet og kvaliteten af det færdige produkt. Det kunne f.eks. være antallet af paspunkter og brugen af disse, valget af flyvehøjde, valget af skrå- eller lodbilleder, PhotoModelers egenskaber, kameraets indstillinger, kalibreringsmetode, genereringsmetode til højdemodel og mange andre interessante problemstillinger.

Overordnet er hensigten med projektet at undersøge, hvordan fotoflyvning skal udføres med en ubemandet helikopter, så det er muligt at producere ortofotos og kontrollere kvaliteten dem. Den primære udfordring i problemstillingen er at sikre, at datamaterialet har en passende kvalitet til ortofotoproduktion, og den sekundære udfordring er at fremstille ortofotos og undersøge deres kvalitet. Ortofotoproduktionen kan deles op i flere mindre dele, som kan være relevante at undersøge grundigt hver for sig, men der er i nærværende projekt fokuseret på helheden i metoden til produktion af ortofotos.

Med baggrund i ovenstående er specialeprojektet defineret ud fra nedenstående problemformulering.

1.3 Problemformulering

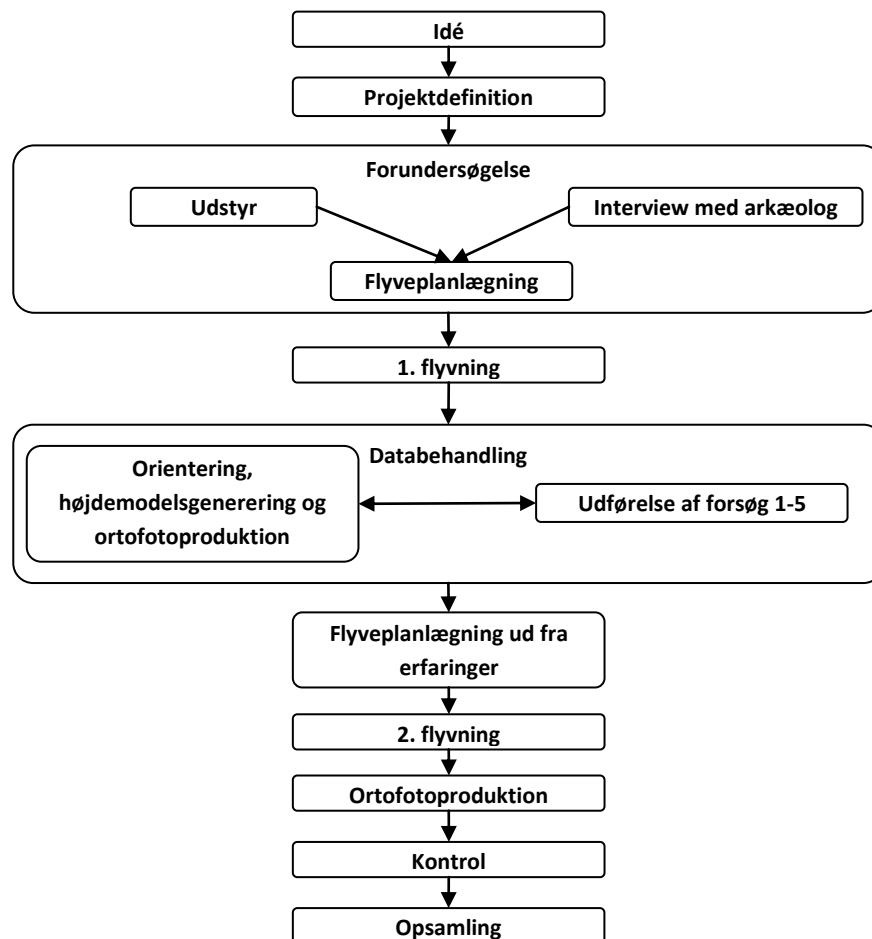
LE34 vil gerne anvende deres ubemandede helikopter til at udbyde en service til Museum Lolland-Falster vedr. ortofotos til arkæologiske formål. LE34 har aldrig anvendt helikopteren til dette formål, og kender ikke løsningen på de udfordringer, der vil være i forbindelse med produktion og kontrol af ortofotos.

Derfor skal det undersøges, hvilke krav der skal stilles til optagelse af billeder fra en ubemandet helikopter med påmonteret digitalt spejlreflekskamera, for at disse kan anvendes til produktion af ortofotos over arkæologiske udgravninger. Det skal ligeledes undersøges, hvordan der skal arbejdes med billederne i PhotoModeler og hvilken kvalitet, der kan forventes af de fremstillede ortofotos.

2 Metode

Til løsning af projektets problemformulering er der gjort en række overvejelser omkring, hvordan dette kunne gribes an. Helt åbenlyst er det fornuftigt, at problemformuleringen løses i samarbejde med Landinspektørfirmaet LE34. Dette er dels begrundet med, at LE34 er kommet med ideen til problemstillingen, og dels fordi de har tilbudt at stille helikopter, kamera og programmet PhotoModeler til rådighed for projektarbejdet. En del af problemformuleringens løsning bygger også på, at LE34 har en forudgående erfaring med helikopterflyvning og billedoptagning i forbindelse med et andet forretningsområde i virksomheden.

Den anvendte fremgangsmetode til løsning af problemformuleringen har gennem projektarbejdet taget udgangspunkt i et overordnet workflow, der kan ses i figur 2.1. Workflowet viser hvilke arbejdsprocesser, der er blevet gennemført og løst, for i sidste ende at have besvaret problemformuleringen.

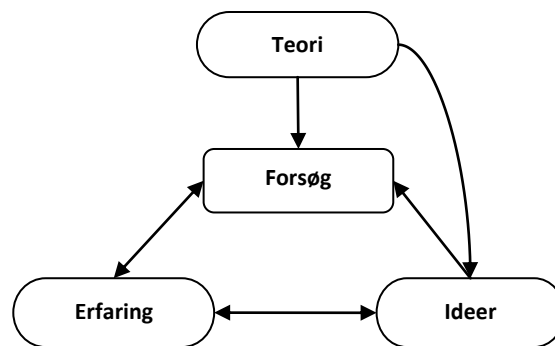


Figur 2.1: Workflow for løsning af problemformulering.

Den første proces i projektarbejdet har været en orientering omkring hvilke udfordringer LE34 så i forbindelse med ortofotoproduktion, og gennem denne var det muligt at definere projektets form og indhold. Herefter blev der foretaget en forundersøgelse af det

materiel, der blev stillet til rådighed (helikopter, kamera og objektiver), og der blev indgået en dialog med Museum Lolland-Falster for at høre deres behov og udfordringer i forbindelse med dokumentation af arkæologiske undersøgelser. Disse elementer, sammenholdt med udarbejdelse af en flyveplanlægning, var udgangspunktet for første flyvning, hvor fokus var at anvende forskellige objektiver og flyvehøjde. Med det indsamlede datamateriale i form af seks billedserier, gik en databehandlingsproces i gang i PhotoModeler. Første databehandling bygger på forskellige forsøg, der leder frem til generering af ortofotos, og forsøg, der afdækker om den ene eller anden fremgangsmetode til en given delproces er at foretrække. Resultaterne af disse forsøg og dannelse af ortofotos for forskellige billedserier førte til en række erfaringer i forhold til selve flyvningen og databehandlingen. Disse erfaringer bidrog til planlægning og udførelse af anden flyvning, hvor fokus for flyvningen var den måde, helikopteren fløj på under optagelsen af billederne. Anden flyvning resulterede igen i seks billedserier, hvor kun én serie blev valgt ud til videre databehandling. Databehandlingen af denne billedserie byggede på tidligere erfaringer gjort i PhotoModeler, hvorefter der er blevet samlet op på erfaringer og resultater, der er fundet gennem projektarbejdet. På den baggrund har det været muligt at udarbejde en række anbefalinger og konklusioner for løsning af problemformuleringen.

I ovenstående processer er der blevet anvendt forskellige metoder. Disse metoder eller input til arbejdsprocesserne har bidraget i forskellig grad gennem problemløsningen. Problemløsningen har i høj grad været præget af opstilling af teser og afprøvning af disse gennem forsøg med udgangspunkt i understøttende teori, erfaringer og nye ideer. De tre input relaterer sig til hinanden, som vist i figur 2.2.



Figur 2.2: Metode til opstilling af teser og forsøg.

Der er anvendt kvalitative interviews for at afklare arkæologernes behov og deres vurderinger af de fremstillede ortofotos. Desuden er der anvendt en cost/benefit analyse, som er beskrevet i bogen: "Erhvervsøkonomi til akademiuddannelser" (Hansen, et al., 2003), for at vurdere de økonomiske forhold ved brugen af helikopteren. I en generel opsamling af de udførte undersøgelser, interviews og analyser er der anvendt en SWOT-analyse for at samle pointerne.

3 Ortofoto i arkæologisk perspektiv

Da der arbejdes ud fra arkæologernes ønske om alternative opmålingsmetoder, er det væsentligt at kende til arkæologernes arbejdsgang og behov, hvilket beskrives i det følgende.

3.1 Arkæologernes arbejdsgang

I forbindelse med et anlægsarbejde som f.eks. etablering af en ny vej eller opførelse af et større hus, bør der udføres en arkæologisk forundersøgelse på det pågældende areal. En arkæologisk forundersøgelse kan afsløre spor fra fortiden, og det er vigtigt at denne undersøgelse foretages inden anlægsarbejdet går i gang, for ikke at ødelægge væsentlige forhistoriske oplysninger. Det er op til bygherren, om der skal foretages en forundersøgelse, men det kan være en fordel at have udført denne forundersøgelse, for at undgå uforudsete udfordringer og forsinkelser under selve anlægsarbejdet. Bygherren er forpligtet til at underrette det lokale museum, hvis der under anlægsarbejdet kommer interessante arkæologiske genstande frem, hvilket kan koste meget tid og blive dyrt i anlægsperioden. (Museumsloven, 2006)

De arkæologiske forundersøgelser består som oftest af en række søgegrøfter. Disse søgegrøfter er ca. 2 m brede, 0,5 m dybe og graves med maskine med ca. 15 m mellemrum. De bliver normalt lavet på ca. 20 % af anlægsarealet. Muldjorden er det øverste mørke jordlag, der er præget af formuldning og bearbejdning gennem mange år, og er derfor ofte vendt rundt flere gange. Det er i muldjorden muligt at finde genstande som skår og sten fra fortiden, men disse kan være flyttet rundt flere gange. Derfor fjernes muldlaget, så råjorden, der er mest interessant for arkæologerne, kommer til syne. Råjorden stammer fra istiden, og er lysere end muldjorden, hvilket gør det muligt at finde spor fra fortidens mennesker. Sporene ses ved mørkere muldjordspletter i den lyse undergrund, der er fremkommet ved, at der har været gravet huller til stolper, brønde, affaldsgruber osv. gennem tiden. Muldjorden er ved tildækningen af disse huller faldet med ned, og derfor kan disse ses flere tusinde år efter. Ud fra disse farvestrukturer i råjorden, er arkæologerne i stand til at kortlægge en del af vore forfædres handlinger.

Findes der i forbindelse med forundersøgelserne mange interessante spor og genstande, kan det blive nødvendigt at lave en egentlig udgravning, hvor et større område blottes for at sikre de forhistoriske levn. Det gælder for både forundersøgelserne og selve udgravningerne, at alt hvad arkæologerne finder, skal dokumenteres. Oftest sker dokumentationen ved opmåling med GPS, men ved komplekse fund kan det være nødvendigt at lave detaljerede tegninger med papir og blyant. De enkelte fortidslevn dokumenteres med beskrivelse, fotografering og der tages mål eller laves tværsnit af stolpehuller, for at se dybden af disse. Efter dokumentationen af hvert enkelt spor, er det muligt for arkæologerne at samle oplysningerne i et stort puslespil og tolke på hvilke aktiviteter, der har været i området. (Svendborg Museum, 2012)

I figur 3.1 ses et eksempel, hvor nogle arkæologer dokumenterer en udgravning ved fotografering.



Figur 3.1: Eksempel på anvendelse af "giraf" til optagelse af lodfoto (Aaris-Sørensen, et al., 1977)

3.2 Arkæologiens behov

Der er i forbindelse med projektarbejdet ført en mere konkret dialog med Museum Lolland-Falster vedrørende hvilke situationer, behov og anvendelse, de forestiller sig, at overflyvning og ortofotos vil være til gavn for dem. Dette har dannet baggrunden for det videre arbejde med produktion af ortofotos.

Museumsinspektør og arkæolog Lars Ewald Jensen ser først og fremmest produktionen af ortofotos som en stor fordel i forbindelse med Femern Bælt-projektet, hvor en udgravning kan overflyves og efterfølgende blive dokumenteret på kontoret ud fra ortofotoerne. Det er ikke muligt i alle områder af Femern Bælt-projektet at lave en forundersøgelse med søgegrøfter før anlægsarbejdet. Derfor er det af stor betydning, hvis der skulle findes interessante arkæologiske anlæg eller fund under selve anlægsarbejdet, at den tid, hvor anlægsarbejdet må standses på grund af arkæologiske undersøgelser, bliver så kort som mulig. En dags forsinkelse i anlægsarbejdet på grund af arkæologiske udgravninger, kan blive dyr, og dette ønskes derfor helst undgået. Lars Ewald Jensen forklarer, at den type fund man oftest gør, er samlinger af stolpehuller, som er spor af huse eller andre anlæg. En gang imellem gøres der nogle mere komplekse fund, hvor der eventuelt indgår skeletter, stensætninger, ofringer eller lignende. Der er forskel på, hvor stor arbejdsbyrden er i dokumentationsarbejdet ved forskellige typer fund.



Figur 3.2: Eksempel på en udgravning af en langhøj fra den tidlige bondestenalder med mange enheder i. (Beck, 2008)

I princippet kan de genstande, som arkæologerne finder, være så små, at der skal bruges mikroskop for at kunne studere dem. I praksis vil de mindste genstande, der findes, være ca. 1 x 1 cm. Lars Ewald Jensen anser brugen af en ubemandet helikopter til primært at være operationel i udgravninger, hvor der er fundet egentlige genstande. Situationer med stolpehuller og andet organisk materiale, som f.eks. træ og læder, kan nemt have en sammenfaldende farve med resten af jorden. Derfor består meget af det arkæologiske arbejde i at kunne skelne og tolke på de forskellige farvenuancer, hvilket i nogle tilfælde kan være ganske vanskeligt. Lars Ewald Jensen vurderer derfor, at i sådanne situationer, hvor farver og struktur i jorden spiller en stor rolle i fortolkningen, vil ortofotos ikke være at foretrække som den primære dokumentationskilde for de arkæologiske fund. Ønskes det alligevel at ortofotos skal indgå som dokumentation, er det væsentligt, at overflyvningen foretages kort tid efter udgravningen er blotlagt for at udnytte situationen, hvor farvekontrasterne i jorden er størst. Ortofotoene kan sandsynligvis i langt de fleste tilfælde danne grundlag for en digitalisering af fundenes placering, og derfor er farvekontrasterne i jorden og genstandenes synlighed særdeles vigtig. Digitaliseringen vurderes til at kunne fungere i et vist omfang, som en slags erstatning for den tegningsproces, der ellers foretages, hvis detaljeringsgraden skal være høj.

Det er svært at definere, hvor store udgravningerne er i en given situation, da det afhænger af forskellige parametre som f.eks. den pågældende størrelse på fundene, vejsituationen og arkæologens vurdering af den nødvendige dokumentations detaljeringsgrad. Lars Ewald Jensen er en smule tilbageholdende med at åbne alt for store grave, fordi de i nogle situationer kan sande til, falde sammen eller der kan komme dårligt vejr, inden det hele er blevet opmålt, tegnet og dokumenteret. Fladeudgravninger kan have en størrelse på op til et par 1000 m², men på Femern Bælt-projektet vurderer Lars Ewald Jensen, at udgravningerne sandsynligvis ikke vil være større end omkring 50 m² ad gangen. Enkeltgenstande, der findes i fladeudgravninger, vil typisk blive liggende, hvor de er, og der vil blive gravet videre rundt omkring dem, så de til sidst står på en lille jordsøjle. Disse jordsøjler vil normalt ikke være højere end 30-40 cm, men kan stadig skygge for andre interessante objekter i udgravningen under en eventuel fotografering.

Jordsøjlerne er nødvendigvis ikke i samme højde alt efter i hvilket jordlag genstandene er fundet. Kulturlagene i en udgravning dokumenteres ofte ved at lave et lodret snit i jordlagene, hvilket umiddelbart ikke er noget, der skal forventes dokumenteret med billeder fra helikopteren jf. Lars Ewald Jensen.

Alt i alt ser Lars Ewald Jensen ortofotos, produceret på baggrund af billeder fra en ubemandet helikopter, som en god løsning. Især i den situation, hvor der opdages noget arkæologisk interessant i forbindelse med et anlægsarbejde, eller hvis vejret er meget regnfuldt, hvilket hurtigt kan få en udgravningsflade til at flyde sammen. En anden fordel ved at anvende helikopteren er også, at arkæologerne undgår at træde i udgravningen, hvilket nemt kan ødelægge fundene eller gøre dem utydelige. Ved at lave ortofotos over udgravningerne, vil en del af det arkæologiske udearbejde sandsynligvis også flyttes ind på kontoret. Herved vil noget af det tidskrævende tegnearbejde flyttes, hvilket vil have betydning for fortolkningsprocessen af det udgravede. Det er ikke muligt at sige, om kvaliteten af fortolkningsprocessen forringes eller forbedres ved at digitalisere på baggrund af ortofotos, men mulighederne i ortofotos er forskellige fra andre opmålingsmetoder. (Se bilag CD1) (Interview feb. 2012)

4 Udstyr, datamateriale og forsøg

I dette afsnit beskrives udstyret, der er brugt til at optage luftfotos, de optagne billedserier, der er anvendt i forsøgene, og de forsøg, der er lavet for at undersøge relevante problemstillinger. Disse tre elementer danner grundlaget for indsamling af erfaringer og resultater, der skal bruges til udformning af anbefalinger ved produktion af ortofotos.

4.1 Præsentation af udstyr

Herunder præsenteres den anvendte helikopter og det anvendte kamerasystem, samt programmet PhotoModeler.

Anvendt helikopter

Helikopteren, som LE34 stiller til rådighed, er en ubemandet, eldrevet og fjernstyret helikopter med seks små propeller. Helikopteren vejer 3-4 kg og er knap 1 m i diameter. Helikopteren styres fra jorden via en radioforbindelse og et videosignal på helikopteren. Herudover er helikopteren udstyret med GPS, højdemåler og hældningsmåler, der anvendes til at styre med. Under helikopteren er det muligt at montere et kamera. GPS'en er en kodemodtager og har sandsynligvis en nøjagtighed inden for et par meter. Det er ikke umiddelbart muligt at få positionskoordinater ud til de enkelte optagede billeder, da der ikke er direkte forbindelse mellem styresystemet og det påmonterede kamera. Højdemåleren er baseret på tryk og har en nøjagtighed efter kalibrering på 0,5-1 m.



Figur 4.1: Den anvendte helikopter med påmonteret kamera

Hældningsmåleren refererer til selve helikopterens hældning og ikke til kameraets position. Helikopteren har en flyvetid op til ca. 10 minutter med det anvendte kamera, før helikopterens batteri løber tør for strøm. Det er muligt at justere kameraets vinkel fra jorden, og kameramounten, hvor kameraet er fastspændt, kan drejes både omkring kameraets vandrette og lodrette akse. Under flyvning kompenserer kameramounten for helikopterens vipninger med nogle servomotorer, således at kameraet hænger i

nogenlunde samme vinkel i forhold til lod hele tiden. I bilag 3 vises hvordan helikopteren påvirkes af vind, og der ses eksempler på hvordan footprint og overlap påvirkes af helikopterens vipninger, når kameraet er låst fast i forhold til helikopteren.

Helikopterudstyret er et såkaldt MikroKopter-system, hvor der hører et flyveplanlægningsprogram med til styring af helikopteren. Det er muligt at programmere helikopteren til at flyve mellem nogle fastlagte punkter (waypoints), eller der kan flyves manuelt. Det kan også forud programmeres, hvornår kameraet skal tage et billede, men eksponeringen kan også udløses manuelt. Det er muligt at montere forskellige kameraer under helikopteren, men det er tidskrævende at skifte det ud, da der skal foretages forskellige modificeringer af systemet.

Anvendelsen af ubemandede helikoptere i Danmark begrænset af lovgivningen, der stiller krav til, hvor højt luftfartøjer på op til 25 kg må flyve. På nuværende tidspunkt er det jf. ”BL 9-04 Bestemmelser om luftfart med ubemandede luftfartøjer” ikke lovligt at flyve i bymæssige bebyggede områder. Til disse områder skal der holdes en afstand på 150 m og det samme afstandskrav er der til større offentlige veje. Derudover må der ikke flyves i en højere flyvehøjde end 100 m over terrænet. Disse krav stiller nogle udfordringer til, hvilke opgaver det er muligt at løse med helikopteren i Danmark. (BL 9-04, 2004) (Modelflyvning Danmark, 2012)

Anvendt kamera og objektiv

Kameraet, der stilles til rådighed, er et digitalt spejlreflekskamera af typen Canon EOS 550D, hvortil der haves et Canon EF-S 18-55mm og et Tamron SP 10-24mm objektiv. Nedenfor ses nogle af kameraets og objektivernes specifikationer. Der kan ses yderligere specifikationer i bilag 1.

Specifikation for Canon EOS 550D	
Sensor type	CMOS format: 22,3 X 14,9mm
Antal pixels	Ca. 18,7 MP 5184 x 3456pixel
Pixelstørrelse	4,3 µm
Billedformat	3:2
Vægt	530 g

Tabel 4.1: Specifikationer for Canon EOS 550D (Canon (1), 2012)

Pixelstørrelsen er beregnet ud fra billedformatet og antallet af pixels i billedet.

Anvendte objektiver	
Canon EF-S 18-55mm IS II	
Brændvidde	18-55mm
Blænde	f/3,5-5,6
Vægt	200g
Tamron SP 10-24mm	
Brændvidde	10-24mm
Blænde	f/ 3,5-4,5
Vægt	406g

Tabel 4.2: Specifikationer for objektiver der kan anvendes sammen med Canon EOS 550D (Canon (2), 2012) (Tamron, 2012)

Brændvidden på Canon objektivet (18-55 mm) er det, der betegnes som vidvinkel/normalperspektiv, mens Tamron objektivet (10-24 mm) er et supervidvinkel/vidvinkel objektiv. De tilgængelige objektiver er zoomobjektiver, hvilket giver mulighed for at tage billeder med forskellig brændvidde.

PhotoModeler

PhotoModeler er det program, der anvendes til databehandling af billederne ud fra LE34's ønske. PhotoModeler er et low-cost fotogrammetrisk program, hvori det er muligt at orientere en billedserie ud fra fællespunkter mellem billederne, generere højdemodel og lave ortofotos. Dette er dog ikke den primære anvendelse af programmet.

PhotoModeler har mange funktioner, der muliggør modellering med 3D-objekter dannet ud fra billeder. Det er indtrykket, at 3D-modellering er det, programmet mest bliver anvendt til.

4.2 Præsentation af billedserier

Helikoptersystemet er anvendt til optagelse af en række billedserier, som er grundlaget for udførelsen af forsøg. Der er i alt optaget 13 billedserier, hvor der gælder forskellige forhold med hensyn til brændvidde, blænde, ISO-værdi, flyvehøjde, ground sample distance (GSD), flyvemåde m.m. En del af billedserierne er behandlet i PhotoModeler, og der er produceret ortofotos for disse, mens andre billedserier slet ikke er blevet anvendt, f.eks. fordi den valgte flyvemåde ikke var optimal.

I tabel 4.3 ses en oversigt over de optagede billedserier og hvilke optageforhold, der gælder for den enkelte billedserie. I bilag 2 ses en mere fyldestgørende beskrivelse af billedserierne. Billedserierne 1 til 6 er optaget over ét område (område 1) og billedserierne 7 til 13 er optaget over ét andet område (område 2). Derfor er der også stor forskel på farverne i billederne. Desuden bør det nævnes, at billedserie 3 og 4 kun dækker et delområde af område 1.



Figur 4.2: Her ses en søgegrøft til venstre og i midten et sted hvor søgegrøften er blevet udvidet, fordi der fandtes noget arkæologisk interessant. Det er også muligt at se de udlagte RAD-punkter der er indmålt med totalstation

Flyveserie	Objektiv	Brendvidde (mm)	Blænde	Flyvehøjde (m)	GSD (mm)	Antal billeder	Antal flyvelinjer	Bemærkning/anvendelse
Serie 1	Canon 18-55	18	f/3,5	20	4,8	21	2	Billederne anvendes i kombination med serie 2, da de ikke er særlig skarpe pga. lavt blændetal.
Serie 2	Canon 18-55	18	f/3,5	20	4,8	20	2	Billederne er optaget med en hældning på ca. 15 grader. Disse er heller ikke særlig skarpe.
Serie 3	Canon 18-55	18	f/13	6	1,4	21	2	Delområde. Billederne er skarpere end de forrige, da blændetallet er indstillet til en højere værdi.
Serie 4	Tamron 10-24	10	f/13	4	1,7	32	2	Delområde. Billederne ser anvendelige ud.
Serie 5	Tamron 10-24	10	f/13	15	6,5	14	1	Billederne er tiltænkt at være sammenlignelig med serie 1.
Serie 6	Canon 18-55	18	f/13	-	-	18	-	Billederne er optaget med 5 m mellemrum, mens helikopteren er fløjet lodret op fra 5 – 80 m.
Serie 7	Tamron 10-24	24	f/16	17	3,0	39	1	Fløjet med Hold-position til. Billederne er ikke behandlet.
Serie 8	Tamron 10-24	24	f/16	17	3,0	247	7	Fløjet med Hold-height, hvor der er landet mellem hver flyvelinje. Billederne er ikke behandlet.
Serie 9	Tamron 10-24	24	f/16	17	3,0	54	2,5	Fløjet ved hjælp af waypoints. Helikopteren fløj meget uens. Billeder er ikke behandlet.
Serie 10	Tamron 10-24	24	f/16	17	3,0	145	7	Fløjet med Hold-height, hvor flyvelinjerne blev fløjet i et træk. Sammenlignelig med serie 8.
Serie 11	Tamron 10-24	24	f/22	56	10,0	315	2	Fløjet med Hold-position. Lukkertiden var for stor og derfor blev billederne meget uskarpe. Billeder er ikke behandlet.
Serie 12	Tamron 10-24	24	f/22	56	10,0	80	2	Fløjet med Hold-height. Lukkertiden var for stor og derfor blev billederne meget uskarpe. Billederne er ikke behandlet.
Serie 13	Tamron 10-24	24	f/22	-	-	21	-	Billederne er optaget med 5 m mellemrum, mens helikopteren er fløjet lodret ned fra 100 m til 5 m

Tabel 4.3: Oversigt over billedserier der er blevet optaget. En uddybende beskrivelse af billedserierne kan ses i bilag 2. Betegnelserne Hold-position og Hold-height er beskrevet nærmere i afsnit 10 Fotoflyvning.

De to flyveområder er fundet i samarbejde med Museum Lolland-Falster, der netop var i gang med arkæologiske udgravninger i forbindelse med anlæggelse af en omfartsvej omkring Nykøbing-Falster. Område 1 består derfor af et areal på omkring 50x60 m, indeholdende to til tre søgegrøfter. To steder var søgegrøfterne blevet udvidet, fordi arkæologerne fandt det nødvendigt. I en del af søgegrøfterne blev der udlagt autentiske genstande i form af stenøkser, der kunne være fundet i udgravningerne. Mellem søgegrøfterne ligger den afrømmede muldjord, der tilsammen med søgegrøfterne giver et

højdevarierende landskab. Område 2 dækker en fladeudgravning på ca. 60x60 m, hvor der findes en del stolpehuller fra oldtiden, der har haft stor interesse hos arkæologerne.

En anden væsentlig forskel på de mange billedserier er, at der i billedserierne 1-5 har været fokus på at afprøve forskellige objektiver, brændvidder, og flyvehøjder. I disse billedserier er billederne alle blevet optaget, mens det er forsøgt at holde helikopteren stille i luften. I billedserierne 7-12 har der været fokus på at afprøve forskellige flyveteknikker, og her er alle billederne blevet optaget, mens helikopteren fløj med jævn hastighed. Generelt er alle billeder optaget tilnærmelsesvis i lod, bortset fra serie 2, der bevidst er optaget som skråbilleder og serie 10, der ved en fejl blev optaget med en hældning på kameraet. Desuden blev det efter optagelsen af serie 1 og 2 opdaget, at blænden på kameraet stod for lavt, hvorved disse billeder er mere uskarpe end de øvrige. Derfor er billedserie 1 kun databehandlet i kombination med billedserie 2. I serierne 12 og 13 var lukkertiden ved et uheld blevet alt for lang, og derfor blev billederne meget uskarpe og er ikke blevet anvendt til at producere ortofotos.

4.3 Præsentation af forsøg

På baggrund af ovenstående billedserier er der lavet en række forsøg, der bidrager med erfaringer til en anbefalet fremgangsmetode til produktion af ortofotos til arkæologiske undersøgelser. Forsøgene præsenteres kort herunder, og er detaljeret beskrevet i appendiks A.

- **Forsøg 1: Undersøgelse af flyvehøjde og billedkvalitet**
Beskrivelse af billedernes kvalitet optaget fra forskellig flyvehøjde og med forskellige kameraindstillinger. Det undersøges endvidere i hvilken højde RAD-punkter af en vis størrelse kan måles automatisk fra.
- **Forsøg 2: Undersøgelse af kalibreringsmetoder**
Der undersøges forskellige metoder til at kalibrere et kamera med, og der vurderes på de enkelte objektiveres linsefortegninger.
- **Forsøg 3: Undersøgelse af metoder til orientering af billeder**
En billedserie orienteres på flere måder, for at undersøge hvilken metode, der er optimal i denne sammenhæng.
- **Forsøg 4: Undersøgelse af orienteringernes kvalitet**
Der laves en sammenligning af blokkenes modelkoordinater op imod kontrolpunkter, der er indmålt med totalstation.
- **Forsøg 5: Kontrol af højdemodeller**
Der foretages en kontrol af højdemodellerne genereret ud fra forskellige billedserier. Kontrollen bygger på sammenligning med kontrolpunkter, der er indmålt med totalstation og indbyrdes sammenligning af højdemodellerne.

Forsøgene lægger i sig selv kun op til forskellige individuelle delkonklusioner frem for en gennemgang af hele metoden til at fremstille ortofotos. Derfor præsenteres relevante delkonklusioner fra forsøgene i nedenstående gennemgang af metoden, mens de enkelte forsøg kan læses i appendiks A.

5 Præsentation af metode

På baggrund af de erfaringer der er gjort gennem arbejdet med fotoflyvninger og forsøg, beskrives i afsnit 6 til 14 metoden til produktion af ortofoto i høj opløsning, på baggrund af billeder taget fra en helikopter. Nedenfor præsenteres de enkelte trin kort, og i gennem de nævnte afsnit beskrives trinene nærmere med inddragelse af teori og erfaringer fra forsøg. Efter hvert afsnit præsenteres de vigtigste erfaringer kort i form af anbefalinger til fremtidige udførelser.

Planlægning af flyvning

Planlægningen af flyvningen er vigtig, for at flyvningen bliver en succes. Det er den givne opgave, der definerer hvilke krav, der er til flyvningen. En ønsket ground sample distance (GSD) er den primære faktor i valg af flyvehøjde, brændvidde, flyvelinjeseparering m.m.

Etablering af paspunkter

Paspunkter etableres i marken ved udlægning af RAD-punkter i et passende grid. RAD-punkterne skal bruges til at orientere billederne i et globalt system, og skal derfor måles ind på en passende måde. For at sikre, at der flyves i de rigtige linjer, markeres flyvelinjerne med landmålerstokke eller lignende.

Klargøring af helikopter og kamera

Klargøring af helikopteren indbefatter både opladning af diverse batterier, tømning af hukommelseskort på kontoret samt klargøring af helikopter i marken. Kameraet skal indstilles korrekt, så fokus, lukkertid, blænde og lysfølsomhed styres manuelt.

Kalibrering af kamera

Det skal sikres, at der er en kalibrering af kamerasystemet tilgængelig, enten ved at bruge en tidligere fremstillet kalibreringsrapport eller ved at lave en ny kalibrering.

Fotoflyvning

Når planlægning og klargøring er udført grundigt, og vejret tillader det, kan flyvningen udføres forholdsvis hurtigt ved hjælp af forskellige flyvemetoder.

Orientering af billeder – relativ og absolut

Relativ orientering af billederne foregår i PhotoModeler ved hjælp af en automatiseret metode, der anvender 50 til 600 automatisk fundne punkter i hvert billede. Absolut orientering af blokken foretages ved inddragelse af paspunkterne.

Generering af højdemodel

Genereringen af højdemodel foregår ved hjælp af et modul i PhotoModeler, kaldet Scanner. Operatøren skal udvælge de billedpar, der skal anvendes til at lave højdemodel

ud fra. Efter generering af højdemodel udtyndes i punktskyen, hvorefter der genereres en TIN-model og udtyndes i denne. Terrænets form afgør, hvor meget der skal udtyndes.

Generering af ortofoto

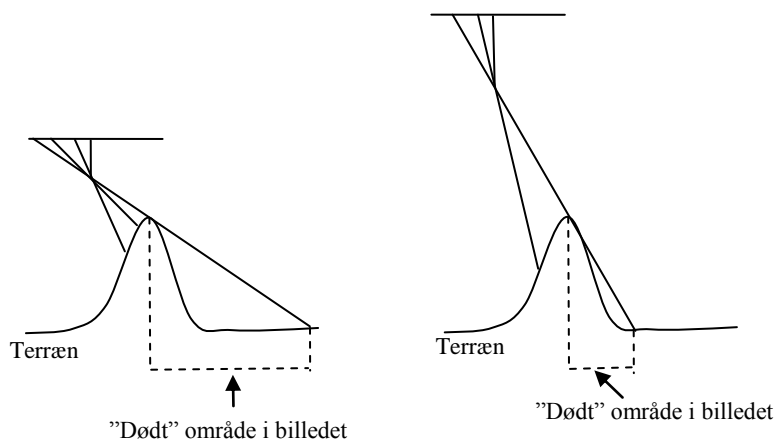
Den fremstillede TIN-model anvendes sammen med luftbillederne til at lave et ortofoto. PhotoModeler kan farve ortofotoet enten ud fra alle billeder eller ud fra udvalgte billeder.

6 Planlægning af flyvning

Det er den givne opgave, der definerer fotoflyvningen. I samarbejde med opgavestilleren skal det fastlægges hvilken pixelstørrelse, der skal være i det færdige ortofoto. Opgavestilleren bør derfor beskrive overfladekarakteristikken og størrelsen af området samt give en beskrivelse af hvilke objekter, der er de vigtige i ortofotoet. Ud fra opgavebeskrivelse skal der tages stilling til valg af ground sample distance, objektiv, flyvelinjeseparering og valg af flyvedag.

Terrænets karakteristik

Karakteristikken af overfladen kan indeholde en beskrivelse af terrænets ruhed og farver. Ruheden af terrænet beskriver, hvordan overfladen varierer og kan deles op i et estimat af højdeforskelle og afstande mellem højdepunkter (Gold, et al., 2005). Højdeforskellene beskriver, hvor høje objekterne er i området. Afstanden mellem højdepunkterne beskriver hvor tæt de høje objekter ligger i en bestemt retning. Der kan sagtens være forskellige ruheder indenfor et område, der skal måles op, som det er tilfældet på en mark, hvor der er lavet søgegrøfter til arkæologiske forundersøgelser. Her vil noget af området være næsten uden højdeforskelle, og andet af området vil have højdeforskelle på op til 5 m med ca. 10 m mellemrum. Ruheden skal tages i betragtning ved planlægning af flyvningen, så det sikres, at alle objekter kommer med i billederne, og at siderne af høje objekter bliver fotograferet på en tilfredsstillende måde. Desuden skal det sikres, at helikopteren ikke flyver ind i de høje objekter, når en bestemt flyvehøjde fastholdes. Ruheden kan også have betydning for, hvilke vejrforhold der bør flyves i for at undgå store skygger i billederne. Endvidere har terrænets farver betydning for indstillingen af kameraet. Er der meget varierende farver i området, skal det overvejes ved indstilling af kameraet, da overflader med forskellige farver udsender forskellig intensitet af lys.



Figur 6.1: Til venstre ses effekten af lille brændvidde og lav flyvehøjde i forhold til høje objekter i terrænet og til højre ses samme effekt i forhold stor brændvidde og høj flyvehøjde. Der er stor forskel på størrelsen af de "døde" områder.

Indeholder terrænet, hvor der skal optages billeder, store relative højdeforskelle med en høj frekvens og der ønskes en stor ground sample distance, vil det være nødvendigt at overveje, om et givent objektiv er for vidvinklet, da et meget vidvinklet objektiv vil give

en lav flyvehøjde. Effekten af at flyve med et meget vidvinklet objektiv over et terræn med en høj ruhed vil være, at de høje objekters bagside/skyggeside, der vender væk fra kameraet, ikke vil blive vist i billederne. Dette kan også betegnes som ”døde” områder, hvilket er illustreret i figur 6.1. Bliver det samme terræn fotograferet fra højere højde med større brændvidde, vil de høje objekter blive fotograferet fra en bedre vinkel, og det ”døde” område vil blive mindre. Effekten bliver særlig tydelig, når man kigger på ortofotoet, hvor billederne er rettet op over en fremstillet højdemodel. I figur 6.2 ses således en lokalitet vist i to ortofotos, hvor nogle af siderne på jordbunkerne tydeligt er forvrænget.



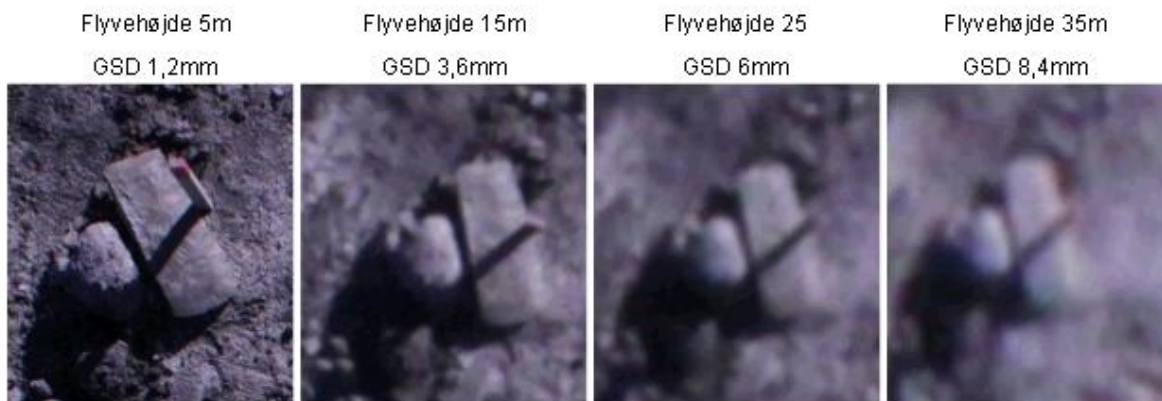
Figur 6.2: Til venstre ses et udsnit af et ortofoto lavet ud fra billeder taget med 10 mm brændvidde og til højre ses et tilsvarende udsnit fra et ortofoto lavet ud fra billeder taget med 18 mm brændvidde. De hvide pile markerer steder, hvor forvrængningen er stor, som følge af at der er fløjet i lav højde med lille brændvidde over et område med relativt høje objekter. Forvrængningen i billederne taget med større brændvidde fra større højde er væsentlig mindre.

Ground sample distance

Ground sample distance (GSD) er en afgørende parameter i planlægningen af en flyvning. Størrelsen af en ønsket GSD bestemmer hvor stort footprint, der bliver ved optagelse af billeder. Footprintet afgør senere, hvilken flyvelinjeseparering der skal være for at få det ønskede overlap. Footprintets bredde beregnes ud fra GSD og antal pixels i billedsensoren ved hjælp af denne formel:

$$W_{\text{footprint}}[m] = GSD[m] \cdot W_{\text{billedsensor}}[\text{pixel}]$$

Hvor stor GSD skal være, afgøres af hvad der skal kunne ses i billederne. I figur 6.3 ses en række eksempler på, hvor tydelig en stenøkse vises i billederne ved forskellige GSD.



Figur 6.3: Udsnit af fire billeder der viser den samme stenøkse. Billederne er taget med Canon 18-55 mm objektiv med en brændvidde på 18 mm. Det er muligt at se stenøkseen i alle billederne, men der er stor forskel på detaljeringsgraden af den. Øksen er ca. 15 cm lang.

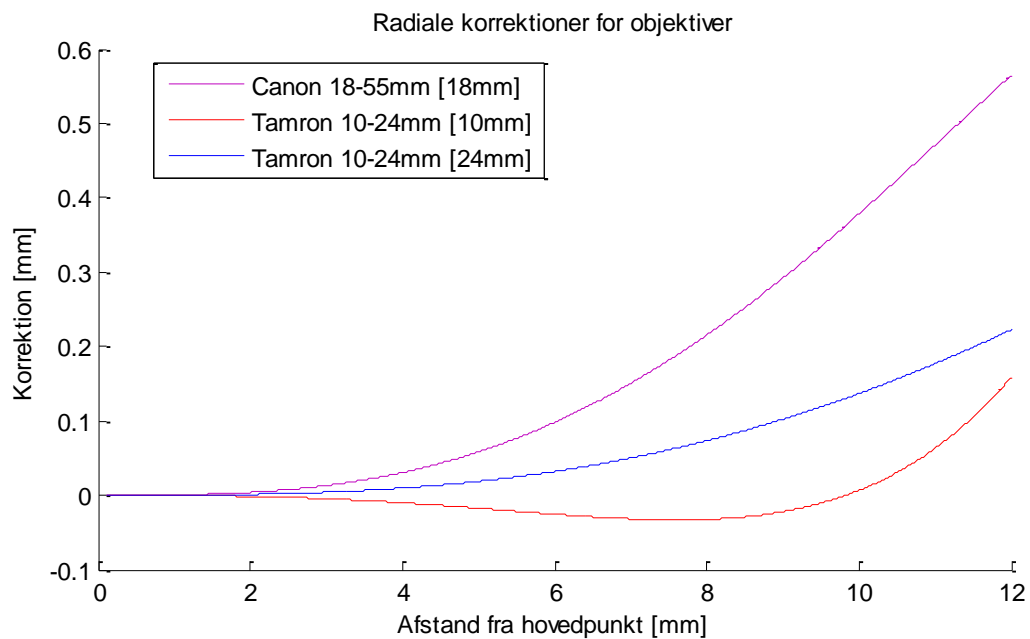
Stenøkseen kan ses i alle billederne, men det er ikke i alle billederne, det er muligt, at se det er en stenøkse, hvis man ikke ved det på forhånd. Der skal altså foretages en vurdering af hvilken GSD, der er nødvendig for at de ønskede objekter er synlige i ortofotoet. Ønskes en tydelig detaljeringsgrad af stenøkserne, bør GSD være omkring 1 mm, men er fokus blot at identificere stenøkseen og derudover registrere indridsene, kan GSD være omkring 6 mm. Valget af GSD afhænger altså af på hvilket niveau, de arkæologiske udgravninger skal dokumenteres, hvilket varierer fra opgave til opgave.

Valg af objektiv og flyvehøjde

Valg af objektiv og flyvehøjde afhænger af hinanden. Jo større brændvidde i objektivet, jo højere flyvehøjde. Der er forskellige forhold, der har indflydelse på valg af objektiv, f.eks. vægt, linsefortegning, ruheden af terrænet og højde-basisforholdet.

Vægten af objektivet har stor indflydelse på flyvetiden, og objektiver til digitale spejlreflekskameraer kan variere meget i vægt. Ofte er det sådan, at objektiver af dyrere fabrikat er tungere end billigere objektiver. Derfor er det nødvendigt at lave en afvejning af, om kvaliteten skal gå forud for vægt. Det kan være, at det er muligt at anskaffe objektiver med fast brændvidde, der har en lavere vægt, men mange faste objektiver vejer tilsyneladende det samme som zoomobjektiver.

Linsefortegningen i de objektiver, der skal vælges imellem, bør tages i betragtning i forbindelse med et valg, selvom PhotoModeler korrigerer for kendt linsefortegning. De to objektiver, der er anvendt i forbindelse med dette projekt, er kalibreret ved hjælp af PhotoModeler og er beskrevet i forsøg 2 appendiks A. Plottet af kalibreringskurverne i figur 6.4 viser, at linsefortegningen af Tamron-objektivet er mindre end linsefortegningen for Canon-objektivet. Det fremgår endvidere af forsøg 2 i appendiks A, at spredningen på linsefortegningerne for de to objektiver er nærmest ens. Dette giver ikke en direkte grund til at vælge det ene objektiv frem for det andet, men fordi kvaliteten af Tamron-objektivet virker bedre, kan det måske være mere stabilt og derfor være at foretrække.



Figur 6.4: Linsefortegning for Canon- og Tamron-objektiver ved forskellige brændvidder.

Det er gennem forsøg 4 og forsøg 5 (se appendiks A) undersøgt, om det ville have en positiv effekt på nøjagtigheden af et ortofoto, at der blev anvendt et mere vidvinklet objektiv. Tesen var, at anvendelsen af et vidvinklet objektiv ville resultere i bedre højde-basisforhold for højdemålinger end ved anvendelse af et mindre vidvinklet objektiv. En ulempe ved at anvende et vidvinklet objektiv ville dog være, at objekter i overlappet muligvis vil se mere forskellige ud i de to billeder, end ved anvendelse af et mindre vidvinklet objektiv. I forsøgene er der anvendt objektiver med 10 mm og 18 mm brændvidde, og der har ikke været tegn på, at 10 mm brændvidde gav bedre resultater. Anbefalingen til valg af objektiv og brændvidde må på den baggrund være, at vælge et let objektiv af god kvalitet, hvor det er muligt at bestemme kalibreringsparametrene præcist. Brændvidden bør vælges ud fra terrænets ruhed og sekundært ud fra ønsket om et fornuftigt højde-basisforhold.

Vejrforhold

Vejrforholdene spiller en stor rolle i den praktiske flyvning, og derfor er det vigtigt at orientere sig om vejr-situationen, og dermed planlægge flyvningen en dag, hvor vejret egner sig. Egnede flyvevejr er tørvejr og ikke for meget vind. Det er nødvendigt med tørvejr, dels fordi helikopteren ikke tåler regn, og dels fordi det er svært at opnå gode billeder i regnvejr. Erfaringer viser, at vindstyrken helst ikke må overstige end let til svag vind, og der skal ikke være for mange kraftige vindstød, da helikopteren let bringes ud af kurs i kraftig vind. Vindretningen kan også være relevant at se i forhold til planlægningen af flyvelinjerne, da det er nemmere at styre helikopteren fornuftigt, når der flyves i modvind frem for ved flyvning på tværs af vinden. Helikopteren har ikke problemer med at flyve i lidt frost, hvilket kan være attraktivt for arkæologerne, hvis alternativet for dem er at stå i kulden og tegne på papir med blyant.

Et andet krav er, at der skal flyves om dagen, mens det er lyst for at kunne få motiv på billederne. Dog har solen og solhøjden en betydning for størrelsen og tydeligheden af

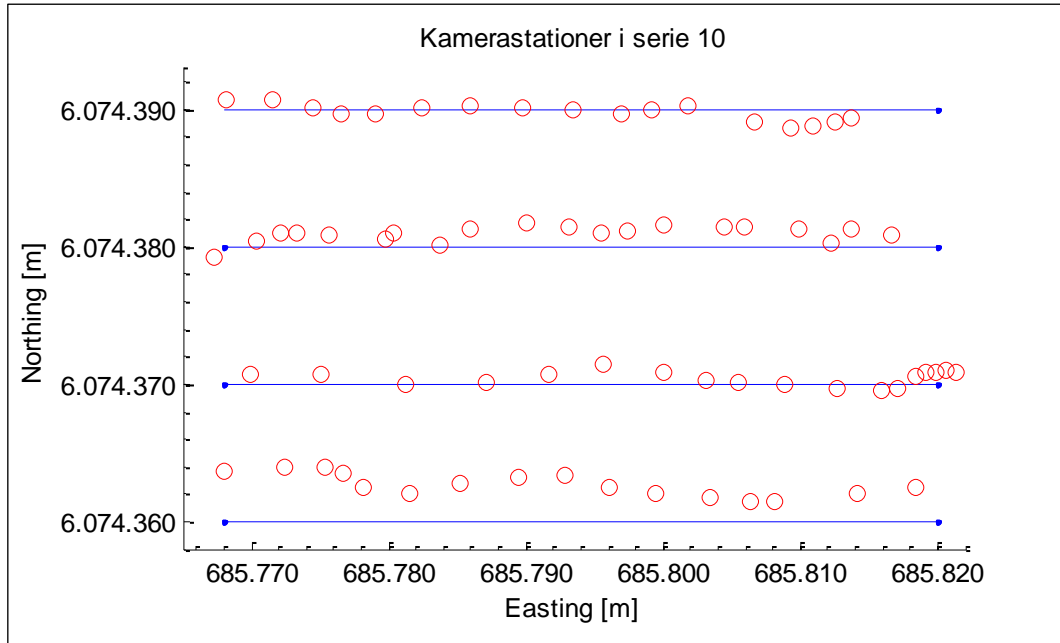
skygger i billederne. Ruheden i terrænet kan også have betydning for hvilken solhøjde, der er nødvendig for at undgå store skygger i billederne. Størrelsen af skygger kan især i forbindelse med arkæologiske søgegrøfter have en stor indflydelse på synligheden af objekter i billederne, da der langs kanterne af søgegrøfterne dannes skygger. Det resulterer nødvendigvis ikke i dårlige billeder, hvis der optages i solskin, men skyggeområder kan fremtræde kraftigere. Er vejret derimod en smule overskyet, vil skyggeeffekten være mindre. Det anbefales at planlægge at flyve i tørt og klart vejr under overvejelse af solforholdene, samt i meget stille vind.

Flyvelinjer

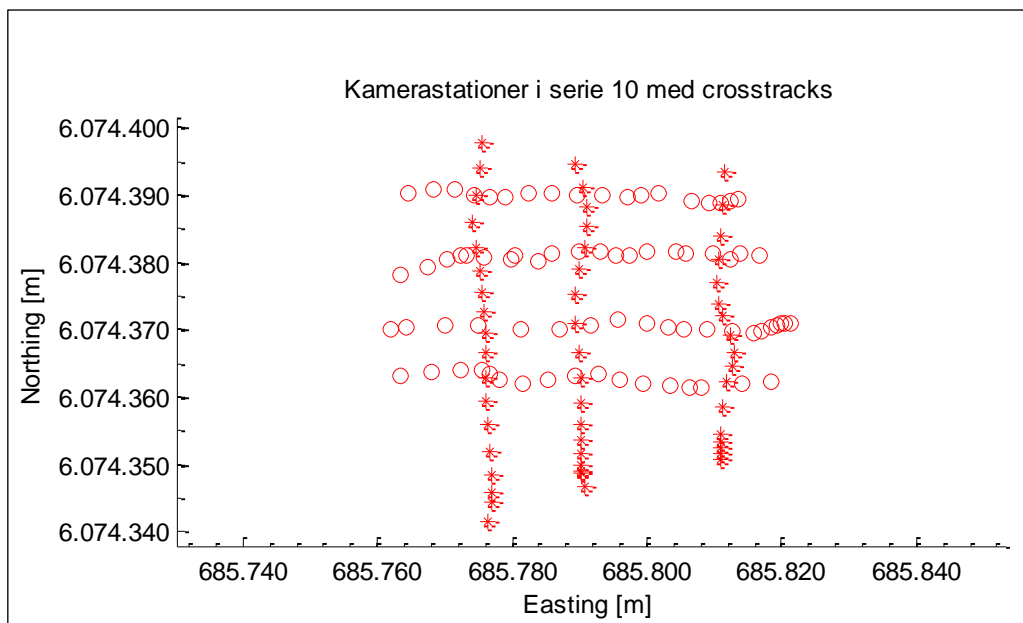
Planlægningen af hvordan flyvelinjerne skal ligge i forhold til hinanden, baserer sig på erfaringer fra de flyvninger, der er foretaget i forbindelse med projektet. For at det er muligt at lave højdemodeller ved hjælp af fotogrammetriske beregninger, skal der være overlap over hele det fotograferede område, og det anbefales at have et længdeoverlap på 60 % mellem alle billedpar. Er længeoverlappet under 50 % vil der være områder, hvor der ikke er billedoverlap, og er overlappet på mere end 60 % giver det en dårligere skæring (Lauridsen, 1993). Da helikopteren ikke flyver særlig stabilt og let påvirkes af vind, vil det være hensigtsmæssigt at sigte imod et længdeoverlap på mellem 70 % og 90 %, for at være sikker på at opnå minimum 50 % overlap. Efter flyvningen vil det være muligt at sortere i billederne, så eventuelle overflødige billeder fjernes. Med hensyn til sideoverlap vil det være hensigtsmæssigt at planlægge flyvelinjerne, så billederne overlapper med mere end ved traditionelle fotoflyvninger. Anbefalingen til sideoverlap for almindelige flyvninger lyder på 20-30 %, men grundet helikopterens ustabilitet bør der planlægges efter et sideoverlap på 30-40 %. Ved store sideoverlap bliver skæringerne også bedre.

Under optagelsen af billederne til serie 10, var flyvningen planlagt således, at footprint af billederne skulle være 15 m bredt og flyvelinjerne skulle separeres med 10 m. Der ville således være en bræmme i hver side af billederne, der ville være overlappet af nabo-flyvelinjerne. På figur 6.5 ses kamerastationernes faktiske placeringer efter flyvningen af serie 10. Det er tydeligt, at helikopteren langt fra har fløjet i lige linjer, til trods for at netop denne flyvning var en af de bedste.

En anden konsekvens af at helikopteren ikke flyver perfekt i lige linjer, og at der ikke med sikkerhed er det forventede sideoverlap, er, at det er nødvendigt med crosstracks. I serie 10 var der planlagt tre crosstracks, hvilket ikke gav fuldt overlap af crosstracks for hele området. Brugen af crosstracks gør det nemmere at lave en orientering af billederne, men kan også bruges til at danne overlap steder, hvor de andre billeder ikke danner tilstrækkeligt overlap. At have fuldstændigt overlap af crosstracks i situationer, hvor helikopteren flyver ustabil, kan være fornuftigt, men i andre tilfælde kan det måske være overflødigt. Omvendt er det ærgerligt at komme tilbage på kontoret og konstatere, at der mangler overlap. Derfor anbefales det at planlægge crosstracks med fuldt overlap for området. Det er altid en mulighed at udelade et crosstracks i beregningerne, hvis der er tilstrækkeligt med billeder.



Figur 6.5: Kamerastationernes placering efter orientering for serie 10. Kamerastationerne ses oppe fra, hvor der er fløjet fire flyvelinjer i øst-vestretningen. De blå linjer er de planlagte flyvelinjer, der ligger med ti meters mellemrum.



Figur 6.6: Kamerastationer i serie 10, hvor primære flyvelinjer er markeret med cirkler og crosstracks er markeret med stjerner.

6.1 Fremgangsmåde og anbefalinger

Følgende fremgangsmåde vil være hensigtsmæssig ved planlægning af en flyvning:







- Fastsæt ønsket ground sample distance ud fra hvilke objekter, der skal kunne ses i de færdige ortofotos.
- Vælg et objektiv og brændvidde under hensynstagen til ruheden af terrænet, linsefortegningen og vægten af de tilgængelige objektiver.
- Sigt imod et længeoverlap på 70-90 % og et sideoverlap på 30-40 % og beregn en flyvehøjde, flyvelinjeseparering. Brug også crosstracks for at sikre en god relativ orientering.
- Planlæg hvordan flyvelinjerne skal ligge over opgaveområdet.

7 Etablering af paspunkter

Ved normal fotoflyvning i fuld skala anvendes der paspunkter på jorden, eller GPS og IMU, til at orientere flyoptagelserne absolut. Paspunkter skal være veldefinerede punkter, der er mulige at indmåle i marken eller optage mål til i andet kortværk, og samtidig skal punkterne være genkendelige i billederne. I områder hvor der skal tages billeder fra helikopteren, som f.eks. i arkæologiske udgravningsområder, er naturlige, veldefinerede og genkendelige punkter ikke særlig sandsynlige at finde. Derfor anvendes de såkaldte RAD-punkter som paspunkter. Placeringen og brugen af disse RAD-punkter beskrives i dette afsnit.

7.1 PhotoModeler og paspunkter

Programmet PhotoModeler kan anvende forskellige typer af punkter som paspunkter. Det er selvfølgelig også muligt at anvende naturlige objekter som paspunkter, men ønskes det, at paspunkterne automatisk skal genfindes i PhotoModeler, bør der anvendes anbefalede paspunktsudformninger. PhotoModeler har forskellige typer af paspunkter, som det fremgår af tabel 7.1. Punkttypene, der er omgivet af en ring, betegnes RAD-punkt, hvor RAD står for "Ringed Automatically Detected" og findes både som kodet og ikke kodet punkt. Disse er mere robuste og genfindes nemmere af PhotoModeler automatisk end punkttypene, der ikke har en ring omkring sig. Punkttypene, der har mere end en prik og evt. en ring, er PhotoModeler i stand til at afkode automatisk (dvs. definere det unikke punkt som et tal) og referere det sammen mellem enkeltbilleder. Dette gør målingen af paspunkter automatisk. For at opnå det bedste og mest automatiske resultat, anbefales det derfor at anvende kodede RAD-punkter. I rapporten omtales de anvendte kodede RAD-punkter blot som RAD-punkter trods det, at punkterne er kodede.

Navn	Visualisering	Maksimalt antal punkter	Graden af automatisk genfindning og referering
RAD-punkt (kodet)		999 unikke punkter	Genfindes automatisk godt og hurtigt. Refereres automatisk godt og hurtigt
RAD-punkt		Uendeligt antal punkter	Genfindes automatisk godt. Refereres mindre automatisk eller manuelt
Punkt		Uendeligt antal punkter	Punktet er mindre robust og genfindes og refereres mindre automatisk
8 bit ring af 45 grader		25 unikke punkter	Genfindes automatisk mindre godt. Refereres godt automatisk
10 bit ring i 36 grader		45 unikke punkter	Genfindes automatisk mindre godt. Refereres godt automatisk
12 bit ring af 30 grader		161 unikke punkter	Genfindes automatisk mindre godt. Refereres godt automatisk

Tabel 7.1: Punkttyper PhotoModeler er i stand til at generere og genfinde automatisk. (PhotoModeler, 2011)

Det er væsentligt at bemærke, at disse punkttyper ikke behøver at indgå i en orientering som paspunkter, men at de også kan fungere som sammenknytningspunkter mellem billederne. RAD-punkterne anvendes også som målepunkter på kalibreringsark i forbindelse med kalibrering af kameraerne, hvilket er beskrevet i afsnit 9 *Kalibrering af kamera*. Når RAD-punkterne er printet ud, skal de sættes på en plade, så de er stabile, når de anvendes i marken. RAD-punkterne fastgøres til jorden med to søm per punkt, så de fastholder deres placering gennem hele flyvningen, selvom det skulle blæse.

Størrelsen af RAD-punkter

Alle punkttyper kan printes ud i en ønsket størrelse gennem PhotoModeler. Det er væsentligt, at punkterne er så store, at de automatisk kan genfindes, samtidig med at de ikke bliver for store i billederne. Størrelsen af paspunkterne bliver defineret efter, hvor stor diameteren af prikken i midten er. PhotoModeler er i stand til at måle punkter på sub-pixelniveau, der har en diameter ned til fem pixels, hvilket kræver god kontrast i billederne. Det anbefales, at størrelsen af et punkt på tværs er otte pixels eller mere, før at punktet måles med en god nøjagtighed. Med hensyn til kodede RAD-punkter anbefales det, at prikken i midten bør være 12 pixels eller større, for at PhotoModeler kan genfinde punktet, alt efter hvor meget støj der er i billedet. Ud fra nedenstående formel er det muligt at estimere, hvor store punkterne bør være, for at PhotoModeler er i stand til at finde disse automatisk.

$$Pkt. \text{ dia.} = \frac{Mp \cdot h \cdot B}{Bp \cdot c}$$

$$Pkt. \text{ dia.}_{\text{serie 1}} = \frac{12pix \cdot 20.000mm \cdot 22,3mm}{5184pix \cdot 18mm} = 57mm$$

Mp: Opgivet minimum pixelstørrelse for punkttype. (RAD-punkt =12 pixels)

h: Flyvehøjde

B: Billedformat i bredden

Bp: Antal af pixels i billedbredden

c: Kamerakonstant

(PhotoModeler, 2011)

Anvendes formelen på f.eks. billedserie 1, der er optaget med 18 mm brændvidde og i 20 m flyvehøjde, burde diameteren af prikken i RAD-punktet være 57 mm eller gerne større, hvis der er støj i billederne. Dette er en smule større, end hvad der reelt er blevet anvendt (35 mm størrelse RAD-punkter) under den nævnte flyvning.

Anvendelse af RAD-punkter

PhotoModeler kan automatisk finde RAD-punkter og afkode dem ved deres signatur, hvorudfra punktet bliver nummereret. Findes det samme RAD-punkt i et andet billede knyttes de to automatisk sammen og på samme måde fortsættes der, hvis punktet findes i flere billeder. I nogle tilfælde aflæser PhotoModeler ikke RAD-punktets kode, selvom punktets koordinat er blevet fundet. I sådanne tilfælde refereres punktet nogle gange til andre RAD-punkter, der ikke er afkodet korrekt. Denne lidt tilfældige referering er ligeså ofte korrekt, som den er forkert. Kan PhotoModeler ikke finde et tilsvarende punkt i et andet billede, forbliver målingen af RAD-punktet i billedet, men det refereres ikke og indgår derfor ikke i beregningerne, da der kun er én stråle til punktet. For at opnå det bedste resultat med automatisk måling, anbefales det, at RAD-punkterne lægges parallelt med billedplanerne, således at punktet afbildes ens i flere billeder.



Figur 7.1: Her har PhotoModeler automatisk målt to RAD-punkter. Det venstre RAD-punkt er fundet, men er hverken blevet afkodet eller refereret. Punktets grå farve signalerer, at det ikke er refereret. RAD-punktet til højre er både blevet afkodet og refereret, hvor punktets hvide farve signalerer, at det er refereret.

Måden hvorpå PhotoModeler finder RAD-punkterne er ikke beskrevet i manualen til PhotoModeler. Det angives til gengæld, at RAD-punktens centrumkoordinat måles på sub-pixelniveau. PhotoModelers manual beskriver to metoder, der anvendes til bestemmelse af centrumskoordinaten. Den ene hedder "Centroid Methods" og finder centrum ved hjælp af en tyngdepunktsberegning. Den anden metode hedder LSM, hvilket sandsynligvis står for Least Squares Matching. LSM-metoden er en iterativ matchingmetode, hvor der bruges en skabelon til at matche med. LSM-metoden er ifølge PhotoModeler mere nøjagtig end tyngdepunktsberegningen, men også væsentlig langsommere. Nøjagtigheden af en sub-pixelmarkering vil ifølge manualen kunne komme ned 0,05 pixels, hvis der er god kontrast og ingen støj. Er der dårlig kontrast og meget støj kan nøjagtigheden komme op på én pixel. (PhotoModeler, 2011)

Automatisk genfinding i billederne

Da størrelsen af det enkelte RAD-punkt har en betydning for, om PhotoModeler genfinder RAD-punkterne automatisk i billederne, er der lavet en lille undersøgelse af, i hvilken flyvehøjde det er muligt for PhotoModeler automatisk at genfinde RAD-punkter. Undersøgelsen kan ses i appendiks A forsøg 1 og herunder i tabel 7.2.

Flyvehøjde	Genkendt RAD-punkter			RAD-punkter i alt	Genkendt RAD-punkter efter manipulering		Diameter målt i pixels
	Str. af punkt	A	IA		A	IA	
5m	35 mm:	1	0	35 mm: 1	1	0	29,3 pixels
	15 mm:	5	0	15 mm: 6	6	0	12,6 pixels
	6 mm:	6	0	6 mm: 6	6	0	5,0 pixels
10m	35 mm:	1	0	35 mm: 1	1	0	14,6 pixels
	15 mm:	11	5	15 mm: 24	17	6	6,3 pixels
	6 mm:				1	0	2,5 pixels
15m	35 mm:	1	0	35 mm: 1	1	0	9,8 pixels
	15 mm:	1	1	15 mm: 56	1	4	4,2 pixels 1,7 pixels
20m	35 mm:	1	1	35 mm: 2	1	1	7,3 pixels
	15 mm:	0	0	15 mm: 58	0	0	3,1 pixels
25m	35 mm:	3	2	35 mm: 9	4	3	5,9 pixels
30m	35 mm:	0	1	35 mm: 12	1	1	4,9 pixels
35m	35 mm:	0	0	35 mm: 12	1	0	4,2 pixels
40m	35 mm:	0	0	35 mm: 16	1	0	3,7 pixels

Tabel 7.2: Resultat af automatisk markering på billeder optaget fra forskellig højde. "A" henviser til RAD-punkter, der er blevet afkodet, og "IA" henviser til RAD-punkter, der ikke er blevet afkodet, men stadig genfundet. Kolonnerne til højre er resultatet efter automarkering er foretaget på de samme billeder, men hvor billederne er blevet manipuleret i kontrast.

Jf. formlen for hvor store RAD-punkterne anbefales at være, skulle RAD-punkterne i situationen med 18 mm brændvidde og 20 m flyvehøjde være 57 mm. De største anvendte RAD-punkter har været 35 mm i midtpunktets diameter, og lever derfor ikke helt op til PhotoModelers anbefalinger. Trods det var PhotoModeler i stand til at finde det ene RAD-punkt i billedet fra 20 m flyvehøjde, mens de mindre RAD-punkter ikke blev fundet. I 25 m flyvehøjde afkoder PhotoModeler kun 3 ud af i alt 9 RAD-punkter, hvilket sandsynligvis er tegn på, at punkterne er for små. Det betyder derfor, at det er vigtigt at være opmærksom på størrelsen af RAD-punkter i forhold til flyveplanlægningen.

Placering og antal af paspunkter

En tommelfingerregel siger, at indenfor en polygon, der tegnes mellem paspunkterne i en fotogrammetrisk model/blok, der orienteres ved aerotriangulation, holder nøjagtigheden for målte punkter. Det er derfor hensigtsmæssigt, at paspunkterne ligger så tæt på modellens kant som muligt, uden at ligge alt for tæt, da det derved kan være vanskeligt at definere punkterne. For beregninger ved hjælp af aerotriangulation, hvor paspunkterne indgår som observationer i udjævningen, fremkommer det bedste resultat jf. Brandes Lauridsen (1993), hvis der er plane paspunkter i en afstand af fire gange basis i

omkredsen af blokken, og højdepaspunkter i en afstand af to gange basis fordelt i hele blokken. Arbejdes der i et område, hvor det ikke er hensigtsmæssigt at etablere paspunkter inde i området, kan nøjagtigheden inde i blokken jf. Ackermann (1966) forbedres ved at etablere et større antal punkter jævnt fordelt i yderkanten af blokken. Det er muligt at foretage aerotriangulation i PhotoModeler, men som det fremgår af afsnit *11.2 Absolut orientering*, har det ikke været muligt at få succes med udregningerne i de forsøg, der er blevet foretaget. En anden metode, der er mulig at anvende i PhotoModeler, når en blok skal orienteres absolut, er at transformere hele blokken over en række paspunkter gennem en 3D konform transformation. Denne metode står også beskrevet nærmere under afsnit *11.2 Absolut orientering*. Da der er tale om en 3D konform transformation, vil tre paspunkter være nok til at udføre transformationen, men det må anbefales at anvende flere for at sikre en tilpas overbestemmelse. Arbejdes der med en stor blok, og det ikke er muligt at foretage en aerotriangulation, kan det være hensigtsmæssigt at dele blokken op i mindre blokke, der transformeres enkeltvis for at mindske fejl i den store blok.

7.2 Fremgangsmåde og anbefalinger

At anvende kodede RAD-punkter er en god måde at etablere paspunkter på i marken, og de kan nemt genfindes i billederne. Her ses en lille oversigt over, hvad der skal forberedes og gøres i forbindelse med paspunkter.

- Print RAD-punkter ud fra PhotoModeler i en passende størrelse alt efter flyvehøjde og kamera, og lim dem på en plade af f.eks. kraftig pap, så de bliver holdbare til at tage med i marken.
- Placer RAD-punkterne i marken i et passende grid eller hensigtsmæssigt godt i forhold til deres senere brug. Er det ikke muligt at lave aerotriangulation, skal paspunkterne placeres, så det er muligt at dele store billedserier op i mindre blokke.
- Indmål RAD-punkterne med totalstation eller GPS.

8 Klargøring af helikopter og kamera

Forud for en fotoflyvning er der en masse ting, der skal klargøres og forberedes, for at resultatet bliver godt. Det er dog ikke værre, end at hele processen kan sættes i system f.eks. i form af spise-/huskesedler for at sikre, at hver optagelse bliver en succes. Det vil herunder blive beskrevet hvilke ting, der er væsentlige at klargøre i forbindelse med helikopter og kamera, inden der drages i marken, og hvad der skal klargøres i marken før flyvning.

Klargøring på kontoret

Det er vigtigt, at alle batterier både til helikopter, fjernkontrol, kamera og ekstra bilbatterier er ladet op, inden man kører i marken. Helikopteren kan med Canon EOS 550D flyve mellem fem og ti minutter på ét batteri. Det er derfor fornuftigt at have ekstra batterier til helikopteren og samtidig have mulighed for at lade dem op i marken ved hjælp af bilbatteri. Selvom der var tre-fire helikopterbatterier med i marken ved optagelserne til dette projekt, var det stadig nødvendigt at vente på, at batterierne blev ladet op mellem flyvningerne, da en opladning varede ca. 30 min.

Når der er styr på batterisituationen på alle fronter, bør det overvejes, på hvilken måde der skal flyves. Det skal afgøres, om der er behov for at planlægge en flyverute, som helikopteren automatisk selv kan følge, eller skal der flyves manuelt. Vælges det at flyve automatisk, skal flyveplanen programmeres, hvilket der dog ikke er arbejdet så meget med i dette projekt. Flyveplanlægningen laves blandt andet ud fra et kortudsnit over flyveområdet, der loades ind i MikroKopter-programmet, som er et program der har forbindelse med helikopteren under flyvningen. Uanset om der laves en detaljeret flyveplan eller ej, er det under alle omstændigheder rart at have downloadet dette kortudsnit hjemmefra, så det senere i marken er muligt at se, om helikopterens GPS beregner en rigtig udgangsposition.

Det sidste, der bør kontrolleres på kontoret, er, om hukommelseskortet til kameraet er tomt, så der er plads til nye billeder.

Klargøring i marken

I marken skal helikopteren og ikke mindst kameraet klargøres til flyvning. Dette indebærer bl.a. kontrol af GPS og højdemåler, indstilling af parametre i MikroKopter og oploadning af evt. automatisk flyveplan til helikopteren. Radioforbindelsen til helikopteren testes, og der opsættes skærme på jorden, hvorpå der vises billede fra Canon-kameraets vinkel og fra helikopterens eget kamera i flyveretningen. Den vigtigste forberedelse i marken er indstilling af kameraet. Indstilles kameraet ikke bedst muligt i forhold til lysforhold, kan konsekvensen af dette blive stor og i værste fald, at billedmaterialet bliver ubrugeligt.

Kameraet Canon EOS 550D er ikke et metrisk kamera, som de kameraer, der anvendes under normale fotoflyvninger. I afsnit 4.1 *Præsentation af udstyr* er de konkrete specifikationer for det anvendte kamera og objektiver beskrevet, og i bilag 4 beskrives nogle af kameraets automatiske funktioner (f.eks. autofokus og billedstabilisator) og hvordan disse bør indstilles. Generelt ønskes det, at de fleste automatiske funktioner bliver slået fra, for på den baggrund at have et så stabilt kamera som muligt og have mest kontrol med, hvad der sker i kameraet under optagelserne. De anvendte objektiver kan variere i brændvidden og derfor bør objektivet indstilles på den ønskede brændvidde, der efterfølgende tapes fast, så det ikke er nemt at ændre på brændvidden. Herefter indstilles kameraets fokus på uendeligt, som også tapes fast. For at sikre overlap i billederne, når der flyves fremad, er det nødvendigt at indstille kameraet til at tage billeder kontinuerligt. Disse indstillinger af kameraet vil også kunne indstilles på kontoret, men indstillingerne for blænde, lukkertid og ISO-værdi er bedst at indstille i marken.

Indstilling af lukkertid, blænde og ISO-værdi

Det er nemmest hvis både blænde, lukkertid og ISO-værdi står til automatisk, men det er ikke sikkert, det giver de skarpeste og mest ensartede billeder. Det vurderes derfor, at det bedste resultat opnås ved at styre disse parametre manuelt. I Fototeknik (Tybjerg, 2008) er det beskrevet, hvordan større blændeværdi giver større skarphed i forskellige dybder, at kortere lukkertid giver mindre billedvandring og større skarphed ved bevægelse, samt at en høj ISO-værdi øger chancen for støj i billedet. I bilag 5 ses nogle eksempler på dette, hvilket danner grundlag for nedenstående retningslinjer for kameraets indstillinger.

En grundlæggende regel til indstilling af blænde, lukkertid og ISO-værdi er, at det bør tage udgangspunkt i det enkelte flyveområde og lysforholdene for den pågældende dag. Derfor er nedenstående retningslinjer blot en rettesnor for, hvad der bør overvejes i forbindelse med kameraindstillingerne.

- Helikopteren bevæger sig og ryster under optagningen af billederne, og derfor ønskes en kort lukkertid. Det er svært at sige, hvor kort den behøver at være, men helt sikkert kortere end 1/80 og sandsynligvis længere end 1/1600. Et godt bud vil være en lukkertid på omkring 1/800.
- Der bør prioriteres en længere lukkertid end en højere ISO-værdi, hvis billedet kræver mere lys, da der er risiko for mere støj i billedet, jo større ISO-værdi billedet fotograferes med. Det anbefales dog at ISO-værdien ikke oversiger 1600.
- En høj blænde giver en større skarphed, hvilket er vigtigt for at kunne identificere objekter i billederne. Et højt blændetal må dog ikke gå ud over lysforholdene i billedet, så det bliver underbelyst og der er risiko for, at billedet bliver grumset og detaljer ikke kan ses. Det anbefales at have en blændeværdi over f/8.
- Manuel styring af både blænde, lukkertid og ISO-værdi.

Erfaringer fra flyvninger har vist, at det sandsynligvis er fornuftigt at holde alle tre parametre fast under optagelse af en billedserie. Billedserierne, optaget fra helikopteren i projektarbejdet, er primært blevet optaget med fastholdt lukkertid og blænde, mens ISO-

værdien har varieret automatisk. At ISO-værdien var variabel, har måske været årsag til tydelige farveforskelle i de færdige ortofotos, som er nærmere omtalt i afsnit 13.2 *Præsentation af ortofoto*. Det er ikke undersøgt nærmere, men det formodes, at en fast ISO-værdi vil bidrage til mere ensartede billeder.

Når værdierne for de enkelte parameter skal indstilles, er det vigtigt, at dette testes fra luften over området, der skal flyves over. Resultatet af billederne fra luften kan være anderledes end, hvis kamerainstillingerne testes horisontalt på jorden.

8.1 Fremgangsmåde og anbefalinger

Herunder ses en oversigt over, hvilke ting der bør klargøres på kontoret og hvilke der bør klargøres i marken.

På kontoret

- Opladning af alle former for batterier og tømning af hukommelseskort.
- Download af kortudsnit over flyveområde til MikroKopter og evt. programmering af automatisk flyveplanlægning.

I marken

- Klargøring af helikopter, med radioforbindelse, MikroKopter-program, kameraskærme osv.
- Indstilling og fiksering af kameraets objektiv med hensyn til brændvidde og fokusering.
- Kontrol af indstillinger for kamera, hvor automatiske funktioner skal være slået fra, herunder billedstabilisator, sensorrensning osv. Indstilling af kamera til kontinuerlig billedoptagning, samt manuel indstilling af blænde, lukkertid og ISO-værdi.

9 Kalibrering af kamera

Canon EOS 550D er et ikke metrisk digitalt spejlreflekskamera og de anvendte objektiver er med varierende brændvidde. Derfor kendes dets parametre for linsefortegning, hovedpunktsforskydning og kamerakonstant ikke. For at kunne anvende billeder fra Canon EOS 550D i PhotoModeler eller generelt til fotogrammetriske projekter, er det nødvendigt at kende kalibreringsparametrene til kameraet.

Det vigtigste i forbindelse med kalibreringsparametre og fotogrammetrisk billedbehandling er, at der er overensstemmelse mellem de anvendte kalibreringsparametre og de egentlige parameterforhold under billedoptagelsen. Dvs. at det er vigtigt, at kameraet er stabilt fra kalibreringsbillederne bliver optaget og til selve fotoflyvningen er overstået. Det vil være muligt at have en kalibrering, der anvendes til flere projekter, så længe det er sikkert, at kameraet er stabilt under alle opgaver. Alternativet er at optage nye kalibreringsbilleder til hver opgave.

Kalibreringsbilleder

Det vides ikke, hvor stabilt Canon EOS 550D er over tid, og der vil også altid være en risiko for, at brændvidden eller fokus kan have ændret sig siden tidligere fotooptagelse trods fiksering med tape. Derfor anbefales det, at kameraet indstilles i marken, hvorefter kalibreringsbilleder optages og dernæst selve luftbillederne. Det kan også være fornuftigt at optage kalibreringsbilleder efter flyvningen, for at kontrollere om der er sket en ændring undervejs.

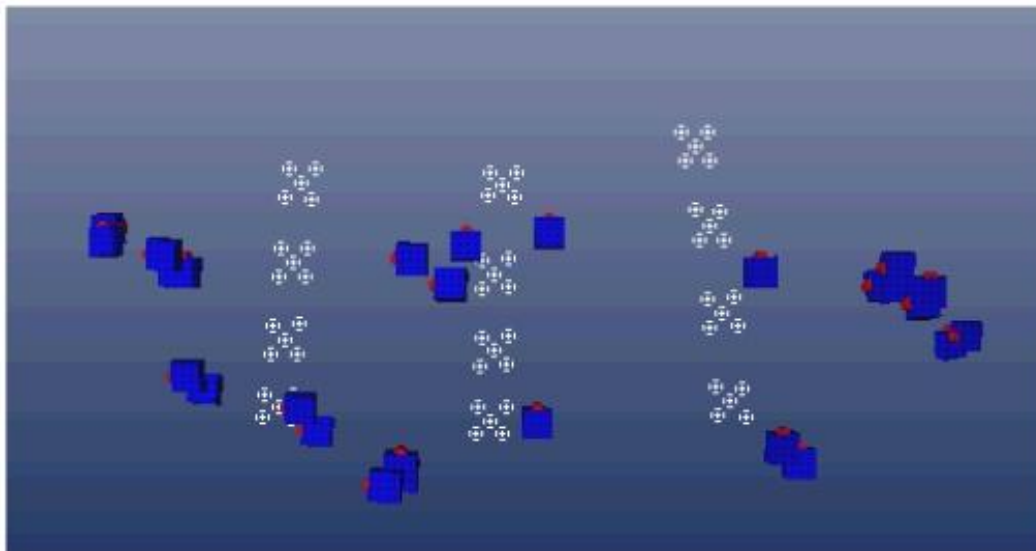


Figur 9.1: Kalibreringsark placeret på en jordvold i marken under 2. flyvning, klar til at blive fotograferet, så kameraet senere kan blive kalibreret. Billederne er taget af en person der står på jorden.

Kalibreringen foregår ved, at der printes en række kalibreringsark ud, i form af A4-ark med fem RAD-punkter på hver. Disse fordeles ud over et mindre eller større område og gerne på en måde, så de er placeret i forskellig afstand (dybde i billedet). Under flyvning 1 og 2 er der blevet anvendt en jordvold i marken, hvorpå kalibreringsarkene blev fastgjort med søm. Afstandsforskellen blev på den måde ikke så stor, men stadig var der

en mindre variation, fordi kalibreringsarkene tæt ved jorden var tættere på kamerapositionen end kalibreringsarkene på toppen af jordvolden (Se figur 9.1).

Når kalibreringsområdet er klargjort, skal der tages kalibreringsbilleder fra forskellige vinkler, så motivet ses forskelligt i alle billeder. Dvs. der bør tages billeder både fra frø-, normal- og fugleperspektiv, og hvor kameraet i hvert tilfælde drejes 90 grader en eller flere gange. Det er vigtigt at kalibreringsarkene fylder hele billedet, for på den baggrund at dække så stort et område af linsen som mulig. PhotoModeler kan beregne en kamerakalibrering ud fra 9-12 billeder, men jo flere billeder jo større sandsynlighed er der for, at kalibreringsarkene dækker hele linsen. I de kalibreringer der er udført i forbindelse med flyvning 1 og 2, er der optaget mellem 20 og 30 billeder til hver kalibrering. Det væsentlige ved optagelse af kalibreringsbillederne er, at de optages i en afstand, hvor RAD-punkterne er i fokus, selv med den fokusindstilling der er valgt, til at optage billederne fra luften med. Denne fokusindstilling vil stort set altid være stillet på uendelig.



Figur 9.2: Screenshot fra PhotoModelers 3D-viewer af kalibreringsark med kamerapositioner for billederne optaget med Canon-objektiv med en brændvidde på 18 mm.. De hvide symboler illustrerer de målte RAD-punkter på kalibreringsarkene. De blå objekter illustrerer kameraernes forskellige positioner under optagelse, hvor de røde prikker signalerer blitzskoen. Ved at se hvor den røde prik er placeret på kameraobjektet, kan drejningen af kameraet aflæses.

Erfaringer med kalibreringsbilleder i PhotoModeler

Ved brug af hver ny brændvidde er der optaget kalibreringsbilleder, og disse er blevet anvendt til kamerakalibrering i PhotoModeler. I appendiks A forsøg 2 er der lavet et forsøg med forskellige fremgangsmetoder til en sådan kamerakalibrering.

Kalibreringsbillederne for kameraet med Canon 18-55 mm objektiv indstillet på brændvidden 18 mm, blev ikke særlig skarpe, pga. forkert indstilling af blænde.

PhotoModeler havde derfor lidt problemer med at beregne en kamerakalibrering ud fra disse. Ved forskellige metoder var det muligt at forbedre denne, hvilket kan ses nærmere beskrevet i appendiks A forsøg 2. Resultatet af de enkelte kalibreringsparametre for forsøget kan ses i tabel 9.1.

Kamera: Canon EOS 550D objektiv: Canon 18-55 mm Brændvidde: 18 mm						
Billedformat: 5184 pixel x 3456 pixel						
	18mm Kalibrering med SmartPoints	Spredning	18mm Kalibrering med RAD	Spredning	18mm Kalibrering med RAD og justering af billeder	Spredning
Dækning af linse	90 %		65 %		84 %	
Kamerakonstant [mm]	19,068	0,002	19,062	0,003	19,075	0,002
Billedchip bredde [mm]	22,673	$4,9 \cdot 10^{-4}$	22,673	$8,80 \cdot 10^{-4}$	22,673	$6,90 \cdot 10^{-4}$
Billedchip højde [mm]	15,113	Fastholdt	15,113	Fastholdt	15,113	Fastholdt
Hovedpunkt X [mm]	11,472	0,001	11,482	0,002	11,475	0,002
Hovedpunkt Y [mm]	7,697	0,001	7,709	0,002	7,691	0,002
K1 [10^{-4}]	4,95	0,0034	4,91	0,00630	4,94	0,005
K2 [10^{-4}]	0,001937	0,000023	-0,001137	0,000047	-0,001163	0,000004
P1 [10^{-4}]	-0,149	0,00087	-0,180	0,0014	-0,180	0,0011
P2 [10^{-4}]	-0,00920	0,00077	-0,110	0,0013	-0,0140	0,001

Tabel 9.1: Kalibreringsparametre for tre kalibreringer, der er lavet på baggrund af det samme billedmateriale, men med udgangspunkt i forskellige måder at måle punkter i billederne. Se mere i appendiks A forsøg 2. I afsnit 11.1 Relativ orientering vha. SmartPoint står det nærmere beskrevet hvad SmartPoint er og hvordan de anvendes.

Generelt er der ikke stor forskel på resultaterne, der fås ved kalibrering ud fra forskellige fremgangsmetoder, og der ses heller ingen forskel, når linsefortegningen tegnes som en graf (se figur A 2.6 i appendiks A). Den største forskel ligger i dækningsgraden af linsen. Med dækningsgraden menes, hvor stort et område af linsen, der er kalibreret. En høj dækningsgrad er godt, for på den baggrund at sikre sig, at en funktion for linsefortegningen bliver bestemt for hele billedet. Når der senere måles punkter i luftbillederne udenfor dækningsområdet, informerer PhotoModeler om dette. Det vides dog ikke, hvordan PhotoModeler korrigerer for linsefortegningen på disse punkter.

Fremgangsmetoden med SmartPoint giver den største dækningsprocent, hvilket også giver mening, eftersom SmartPointene ikke er afhængige af, hvor i billederne RAD-punkterne ligger (se beskrivelse af SmartPoint i afsnit 11.1 Relativ orientering vha. SmartPoint). Om kalibreringsmetoden med SmartPoints eller RAD-punkter giver det mest korrekte resultat, er svært at sige. RAD-punkter måles i PhotoModeler på sub-pixelniveau med en nøjagtighed på ned til 0,05 pixel i de bedste tilfælde. SmartPoint angives som typen non sub-pixel. Det gør de, fordi det ikke er et egentligt objekt, der er målt, men en karakteristisk form i billedet, der ikke har et definerbart centrum. SmartPoints, der er målt i flere billeder, er dog matchede med hinanden på sub-pixelniveau. Det kan ikke forventes, at SmartPoints er matchede lige så godt som RAD-

punkter, men hvis kontrasten i områderne, hvor punkterne er dannet, er høj, er de helt sikkert brugbare. (Savoy, 2012)

Kamera: Canon EOS 550D objektiv: Canon 18-55mm Brændvidde: 18mm , Billedformat: 5184 pixel x 3456 pixel			
	Kalibrering med SmartPoints	Kalibrering med RAD	Kalibrering med RAD og manipulering
Antal 3D punkter	11.879	58	62
Antal ubekendte	35.807	344	356
Antal observationer	51.870	609	1.064
Antal overbestemmelser	16.063	265	708
Gennemsnitligt antal billedmålinger pr. punkt	4,4	10,5	17,2

Table 9.2: Oversigt over observationer, overbestemmelser osv. for de tre kalibreringer.

I tabel 9.2 ses antallet af 3D-punkter og billedmålinger, der ligger til grund for kalibreringerne. Skal der vælges mellem de to kalibreringsmetoder med RAD-punkter, giver projektet med justerede billeder en større overbestemmelse. Til gengæld tager det også lang tid at justere billedernes farver manuelt, og derfor er metoden ikke tidsmæssig effektiv at anvende i denne sammenhæng. Kalibreringen ud fra SmartPoints bygger på ca. 85 gange så mange observationer, som kalibreringen ud fra RAD-punkter, men kun 60 gange så mange overbestemmelser. Herudover er punkterne i SmartPoint-kalibreringen ikke målt i nær så mange billeder. Det må formodes, at kalibreringen på baggrund af RAD-punkterne er mere troværdig, da antallet af overbestemmelser per punkt er størst, og sikkerheden for rigtige match er størst. På baggrund af dette anbefales det at anvende kalibreringsmetoden ved brug af RAD-punkter i første omgang. Giver dette ikke en tilstrækkelig god kamerakalibrering, kan der laves en kalibrering med Smartpoints.

9.1 Fremgangsmåde og anbefalinger

Nedenstående punkter beskriver kortfattet hvorledes, der opnås en god kalibrering af et kamera.

- Udprint en række kalibreringsark og fordel dem, så de ligger i forskellig dybde i billederne.
- Der tages en række billeder af kalibreringsarkene således, at arkene dækker hele billedfeltet. Billederne skal tages i forskellig vinkel, både oppe, nede og fra siderne, samt hvor kameraet vendes 90 grader.
- I PhotoModeler indlæses kalibreringsbillederne og der foretages en beregning i første omgang ud fra RAD-punkterne. Er dette ikke tilstrækkeligt, f.eks. fordi dækningsgraden er for lille, anvendes SmartPoints til at kalibrere ud fra.

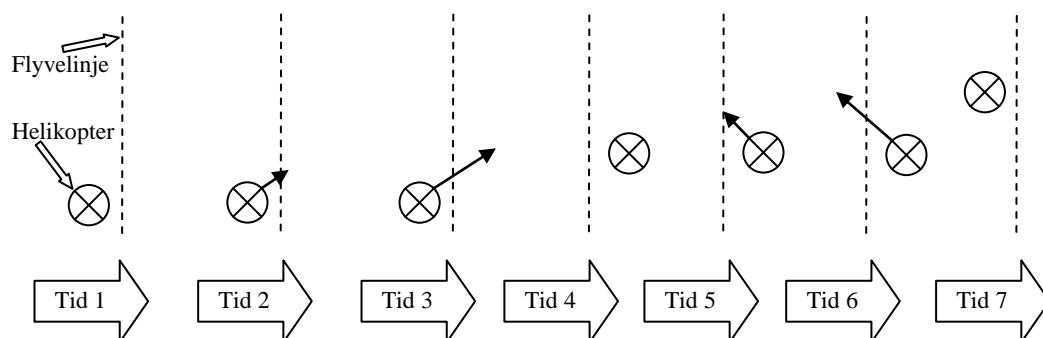
Når kalibreringsbillederne er optaget, er det muligt at fortsætte med den egentlige flyvning, mens selve beregningen af kamerakalibreringen kan vente.

10 Fotoflyvning

Forberedelserne, der er foretaget under planlægning og klargøring, er vigtige, for at fotoflyvningen bliver en succes. Trods det er der stadig en række forhold, der skal tages hensyn til for at sikre gode billeder. Det er forhold, der knytter sig til kvaliteten af billederne og til styring af helikopteren.

Styring af helikopter

Der findes tre forskellige måder at styre helikopteren på, som hver især har deres fordele. Den første måde anvender en funktion i MikroKopter-programmet, der hedder ”Hold-position”. Helikopteren holder sig ved hjælp af den indbyggede kode-gps på en bestemt position. Piloten kan så flytte positionen ved hjælp af fjernbetjeningen, og således dirigere helikopteren. Fordelen ved at styre helikopteren på denne måde er, at det er nemt at placere helikopteren over et bestemt punkt, men det gør det samtidig svært at få helikopteren til at flyve pænt i linjer. Det skyldes, at der er en forsinkelse i systemet, der gør det svært for piloten at holde en bestemt kurs. Forsinkelsen gør, at piloten nemt korrigerer for voldsomt for en given afvigelse og dermed kommer ud af kurs i modsat retning. Dette er forsøgt illustreret i figur 10.1.



Tabel 10.1: Eksempel på flyvning med Hold-position til forskellige tidspunkter, hvor de sorte pile udgør pilotens korrektion af helikopterens position. Det ses hvordan helikopteren flytter sig med forsinkelse i forhold til korrektionen piloten laver ved styring af helikopteren. Til tiden 2 og 5 har helikopteren ikke flyttet sig endnu, og piloten forsøger igen at ændre helikopterens retning ved at korrigere lidt mere. Resultatet er, at helikopteren flyver fra side til side af den planlagte flyvelinje.

En anden metode til styring af helikopteren er, at anvende forprogrammerede waypoints. Det er muligt at generere et passende net af waypoints i MikroKopter-programmet ved hjælp af oversigtskort fra området. For hvert waypoint angives en værdi for, hvor tæt helikopteren skal være på waypointet, før den flyver videre til det næste waypoints. Erfaringen med anvendelsen af denne metode er, at helikopteren ikke flyver i lige linjer mellem de angivne waypoints og kredser længe om det samme waypoint, før den flyver videre. Det bliver dermed meget svært at få det fotomateriale, der ønskes med hensyn til overlap.

En tredje mulighed for styring af helikopteren er manuel styring i det vandrette plan med fastholdelse af højden, hvilket også betegnes som ”Hold-height”. Denne måde at flyve på kræver mere af piloten, da flyvningen bliver mere dynamisk, men det er til gengæld

muligt at flyve i pænere linjer med jævn hastighed. Under optagelsen af serie 10 er der fløjet på denne måde, hvor flyvelinjerne var markeret med landmålerstokke på jorden. Piloten stod dermed på linjen og forsøgte at styre helikopteren, så den flugtede flyvelinjen under flyvningen. Erfaringen fra flyvningen er, at optagelsen af billederne blev mere flydende, og at billederne lå på en pæn linje. Da helikopteren ikke holdes på plads i det vandrette plan, må det forventes, at den kunne begynde at drive, hvis der var meget sidevind. Af de tre beskrevne flyvemethoder anbefales det at flyve manuelt med ”Hold-height”, da flyverlinjerne i dette tilfælde kommer til at ligge tæt på det planlagte.

Flyves der i højere højder kan det være, at anbefalingerne til hvordan data skal samles ind, ikke gælder. Eisenbeiss (2011) har således konkluderet, at den mest hensigtsmæssige måde at flyve på, er ved brug af fuldautomatisk styring ud fra waypoints. Forskellen skyldes sandsynligvis, at Eisenbeiss bygger sine konklusioner på data indsamlet fra flyvehøjder på mellem 45 m og 300 m. I disse højder betyder en afvigelse på 5 m i planet, som følge af brugen af en lavpris kode-GPS, ikke noget nævneværdigt i forhold til sikring af billedoverlap.

Uanset hvilken flyvemethode der anvendes, skal der tages stilling til hvordan eksponering skal foregå. Ved kontinuerlig optagelse kan der eksponeres op til 3,7 billeder pr. sekund, og det anbefales at anvende dette i løbet af en flyvelinje. Flyvehastigheden må ikke være for hurtig, da overlappene mellem billederne da bliver for lille. Fotografering med enkeltbilleder frarådes, da datamaterialet let kan blive for lille.

Sikring af billedkvalitet

Under fotoflyvningen er der nogle ydre forhold, der er vigtige at tage højde for, for at sikre ordentlig kvalitet af de optagede billeder. Mens der flyves, er det vigtigt at være opmærksom på, om der er skygger i området, hvilket også blev omtalt under afsnit 6 *Planlægning af flyvning*. Det er også vigtigt at være opmærksom på, om lysforholdene skifter under flyvningen, hvis det eksempelvis bliver overskyet, da dette har indvirkning på indstillingen af lukkertid, blænde og ISO-værdi. Skifter lysforholdene tilpas meget, skal kameraet indstilles på ny for at sikre kvaliteten i billederne. Endvidere kan vindretningen have en indflydelse på hvordan det er bedst at flyve.

Efter en udført flyvning er det en god ide at kontrollere, om billederne er blevet skarpe og brugbare inden området forlades og evt. kontrollere om overlappene er tilstrækkelige. Tilbage på kontoret skal billederne sorteres, så alle opstartsbilleder og overflødige billeder fjernes og billedmaterialet bliver nemt at overskue. Er overlappene større end 60 % kan billeder evt. fjernes, men husk at der ikke må opstå manglende overlap.

10.1 Fremgangsmåde og anbefalinger

- Tillader vejret det, skal det tilstræbes at tage billeder, mens der flyves over området med jævn hastighed, da dette giver de pæneste overlap.
- For at sikre at der bliver tilstrækkeligt overlap i flyveretningen, er det en god ide at tage rigeligt med billeder. Overflødige billeder kan sorteres fra efterfølgende.
- Kontroller løbende, at der er taget billeder af en tilfredsstillende kvalitet, når helikopteren er tilbage på jorden.
- Sorter i billederne efterfølgende, så det er klart hvilke billeder, der hører til hvilke billedserier og evt. til hvilke flyvelinjer.

11 Orientering af billeder - relativt og absolut

En vigtig del i det at lave ortofotos, er at beregne en samlet orientering for en række billeder, der dækker det område, der ønskes et ortofoto for. Orienteringen af billederne foretages i PhotoModeler og derfor også efter dette programs principper og formåen. Måden hvorpå PhotoModeler beregner orienteringer, og hvordan resultatet af dette angives, er beskrevet i appendiks B. Det anbefales derfor at læse dette, hvis der ønskes en dybere gennemgang af PhotoModelers beregningsteknikker.

11.1 Relativ orientering vha. SmartPoint

Skal der beregnes en udjævning for en række observationer, foretages der oftest først en relativ udjævning, hvorefter der indføres fastholdte eller kendte punkter til udjævningen. Dette sikrer, at observationerne ikke indeholder grove fejl og passer godt indbyrdes før der indføres kendte punkter. Disse principper kan også anvendes til fotogrammetriske udjævninger, hvor der først udføres en relativ udjævning af blokken, hvorefter der udjævnes med paspunkter. Dette er dog ikke helt fremgangsmåden, som er anvendt her, men vil blive beskrevet senere i rapporten. Først ses på billedmålingernes kvalitet.

Måling af punkter og deres kvalitet

For at enkeltbilleder kan blive knyttet sammen og orienteret i en samlet blok, kræver det sammenknytningspunkter eller fællespunkter mellem billederne. Dvs. det samme objekt genfindes i flere billeder. En væsentlig forskel mellem PhotoModeler og andre fotogrammetriske programmer, som f.eks. Image Station, er, at PhotoModeler ikke giver muligheden for at arbejde i stereo. Derfor måles alle manuelle punkter i enkeltbilleder, der efterfølgende refereres sammen, ved at udpege de to billedmålinger med funktionen "Reference".

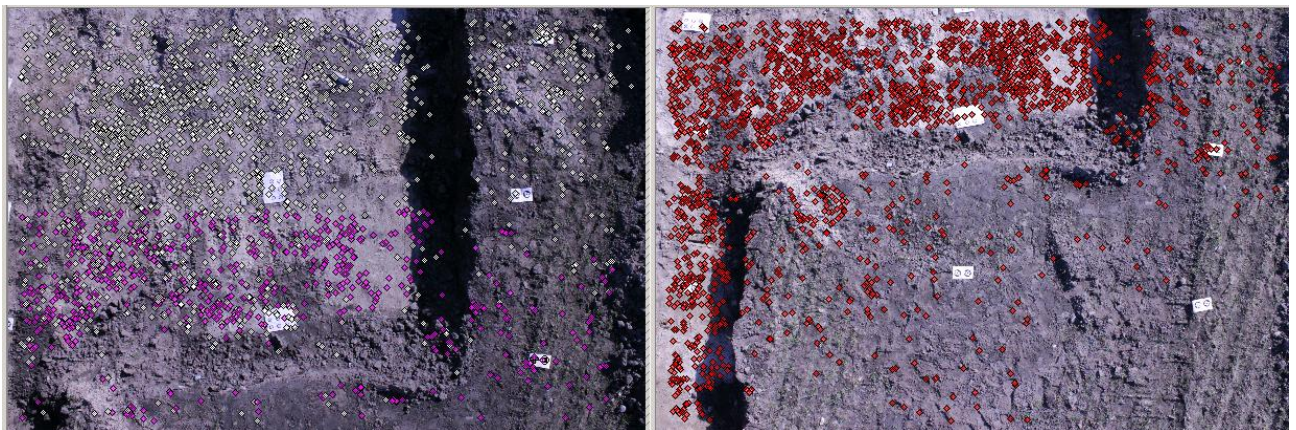
Det er tidligere beskrevet, at RAD-punkter anvendes som fællespunkter mellem billederne, og at disse kan findes og måles automatisk. En anden type punkter, der er anvendelig i PhotoModeler, når billeder ønskes orienteret, er SmartPoints. Anvendelse af SmartPoints kræver dog et specifikt SmartPoints-projekt, hvori der både kan måles SmartPoints og RAD-punkter, til forskel fra RAD-projekter, hvori SmartPoints ikke kan genereres.

SmartPoints

SmartPoints er automatisk genererede fællespunkter i overlap mellem billeder, der ikke kræver signalerede punkter i billederne på samme måde som RAD-punkterne. Dvs. SmartPoints er sammenknytningspunkter "tilfældige" steder i billederne. Erfaringer viser, at PhotoModeler finder mellem 50 og 600 SmartPoints i hvert billede, men måden hvorpå programmet finder frem til SmartPoints specifikke placering i billedet kendes ikke præcist. I PhotoModelers manual er det beskrevet, at algoritmen finder steder i billedet, som er særlige ud fra et genkendeligt områdes udbredelse, form mm. Det er også

beskrevet, at punktet, der bliver fundet, ikke nødvendigvis er midten af et objekt, men oftere er midten af et lille område med store kontrast eller farveforskelle. (PhotoModeler, 2011)

Når PhotoModeler arbejder i et SmartPoint-projekt gennemløbes tre faser, der henholdsvis betegnes "Feature Detection", "Matching and Marking" og "Photo Orientation". I første fase findes en masse genkendelige punkter, hvorfra de bedste og mest pålidelige punkter udvælges til at matche med punkter i andre billeder. Anden fase er sammenknytning af de fundne punkter i et billede med punkter i andre billeder. Angives det, at billederne ligger i rækkefølge efter deres filnavn, gør det processen hurtigere, da PhotoModeler derved kun forsøger at matche punkter i billeder, der følger denne sekvens. Hvor langt i billedrækken PhotoModeler forsøger at finde match mellem punkter, afhænger af antallet af fundne match. Minimumsgrænsen for antallet af match angives, som en procentdel af det maksimale antal fundne match. Matchene følger sekvensen, og når antallet af fundne match er lavere end den fastsatte grænse, stoppes processen og fortsætter med udgangspunkt i det næste billedpar i sekvensen. Sådan foregår sammenknytningen af SmartPoints for alle billederne. Der er fastsat en defaultgrænse på maks. 250 matchende punkter mellem ét billedpar for at sikre, at kun de bedste match anvendes og dermed udelade upålidelige match. Efter at "Matching and Marking" processen er overstået, fortsætter PhotoModeler med at orientere billederne ved en iterativ beregning på baggrund af alle SmartPoints. Der kan læses mere om beregningsteknikken i appendiks B. Den første markering af et SmartPoint foretages ikke på sub-pixelniveau, men når det matches med et punkt i et andet billede, foretages en sammenligning i et lidt større søgeområde, og dermed måles SmartPoints på sub-pixelniveau. Kvaliteten af sammenknyttede SmartPoints, er dog ikke så høj som for RAD-punkter, fordi sammenligningsgrundlaget for SmartPoints ikke er så veldefineret som midten af RAD-punkterne (PhotoModeler, 2011).



Figur 11.1: To billeder med overlap hvor der er genereret SmartPoints imellem. I det højre billede er alle SmartPoints markerede som røde punkter. Punkterne, der er fælles mellem de to billeder, er markeret med lilla i det venstre billede.

SmartPoints-funktionen er en god måde at orientere billeder på, da det kræver minimalt arbejde fra operatøren, og det er ikke nødvendigt at have en masse signalerede punkter i marken. Det ses på figur 11.1, hvordan SmartPoints i det højre billede (røde) er fælles med SmartPoints i det venstre billede (lilla). I det højre billede ses det også, at der

tydeligt er en koncentration af SmartPoints i udgravningsområdet, mens koncentrationen af SmartPoints ikke er så stor i den del af billedet, som ikke er rømmet for muldjord. Denne forskel kunne skyldes manglende kontrast, som er vigtig for at identificere egnede steder til SmartPoints.

Da det er muligt automatisk at generere Smartpoints og automatisk genfinde og referere RAD-punkter i PhotoModeler, er det ikke relevant at begynde at måle manuelle punkter, så længe resultaterne af orienteringerne er fornuftige. Er dette ikke tilfældet, kan det overvejes at måle supplerende punkter manuelt, men dette er meget tidskrævende.

Både ved brug af RAD-punkter og SmartPoint kan der forekomme enkelte punkter, der er fejlrefererede. Dette kommer til udtryk i store residualer, når der er foretaget en beregning. Ved at finde og fjerne de fejlbehæftede refereringer, kan der opnås en god orientering.

Relativ orientering

Der er lavet en undersøgelse af hvilke punkter og fremgangsmetode, der vil være bedst at anvende til orientering af billeder optaget med en ubemandet helikopter. I tabel 11.1 ses en oversigt over tre forskellige projekter, hvor de samme billeder er forsøgt orienteret på forskellig vis. Hele forsøget er omtalt i appendiks A forsøg 3. Det ses af tabellen, at langt den hurtigste og mest automatiske metode er ved brug af SmartPoints. Der indgår mange flere punkter, og sigma 0 (spredning på vægtenheden) og det maksimale residual er begge lavere end i de andre to projekter. A priori værdien for sigma 0 sætter PhotoModeler til 1, og derfor bør a posteriori sigma 0, som står angivet i tabel 11.1, også nærme sig 1. A posteriori sigma 0 betegnes i PhotoModeler som Final Error, men da sigma 0 er en mere udbredt betegnelse, anvendes det her. I beregningerne er a priori varianserne for de to punkttyper angivet default til værdierne 0,1 pixel for RAD-punkter og 1 pixel for SmartPoints. Selve PhotoModelers beregningsteknik kan der læses mere om i appendiks B.

Orienterings type	1. RAD-punkter	2. Smartpoint	3. RAD-/Paspunkter
Antal foto	21 billeder 17 ud af 21 er orienteret	21 billeder Alle er orienteret	21 billeder Alle er orienteret
Datagrundlag i antal punkter	RAD-punkter: 76	Smartpoint: 20578	RAD-/Paspunkter: 46
Sigma 0	4,213	0,680	4,129
Største residual	2,94 pixel	2,10 pixel	7,75 pixel
Estimeret tidsforbrug	Ca. 2 timer	Ca. 0,5 time	Ca. 2 timer
Automatisk/Manuelt arbejde	Halvt af hver	Primært automatisk	Meget manuelt
Orientering	Relativ	Relativ	Absolut

Tabel 11.1: Oversigt over tre projekter hvor det er forsøgt at orientere de samme billeder ved tre forskellige metoder. Sigma 0 er a posteriori variansen efter udjævningen og bør nærme sig 1. Den konkrete forskel på projekterne kan ses i forsøg 3 appendiks A.

Til den relative orientering af billeder optaget med helikopter anbefales det at anvende et SmartPoints-projekt i PhotoModeler, og efterfølgende bruge en række automatisk målte

RAD-punkter, som paspunkter til at gøre orienteringen absolut. Det er denne fremgangsmetode, der er brugt til orientering af de forskellige billedserier i dette projekt.

11.2 Absolut orientering

I princippet er det ikke nødvendigt at orientere billedserierne absolut, men det er hensigtsmæssigt, hvis det færdige ortofoto skal anvendes i andre kortværktøjer. Det er også nødvendigt at orientere blokken absolut, når det som i forsøg 4 (se appendiks A) ønskes at kontrollere de enkelte billedseriers orientering ved en sammenligning af modelkoordinater med kontrolpunkter (RAD-punkter), der er indmålt med totalstation.

Tre fremgangsmetoder

Når PhotoModeler orienterer billeder gennem et SmartPoint- eller RAD-projekt, sker dette i et vilkårligt koordinatsystem, som PhotoModeler definerer. Det er muligt at indlægge en skala med enhed i projektet, så dimensionerne for objekterne bliver virkelighedstro. Det er også muligt at definere et helt nyt koordinatsystem, så blokken kommer til at ligge absolut. I PhotoModeler findes der flere metoder til at angive et koordinatsystem på. RAD-punkterne i billederne er tiltænkt som paspunkter og er indmålt med totalstation i marken med en forventet spredning på 0,006 m. Derfor er det fornuftigt at anvende en metode til absolut orientering i PhotoModeler, hvor disse paspunktskoordinater anvendes. Det skal nævnes, at paspunkterne i dette projekt er indmålt i lokalt system, med mulighed for transformation over GPS-målte punkter. Ved behandling af billedserierne er der anvendt paspunkter i lokalt system på nær for billedserie 10. De funktioner, der i PhotoModeler er fundet mest relevante i denne sammenhæng, er henholdsvis brugen af ”Multipoint transformation”, ”Geographic Multipoint transformation” og ”Control Points”.

Forskellen på de tre typer er, at ”Multipoint transformation” og ”Geographic Multipoint transformation” anvender en 3D konform transformation til at transformere den relative orienterede blok hen over paspunkterne, og dermed bliver blokken absolut orienteret. Ved brug af ”Control Points” indgår paspunktskoordinaterne med en præcision eller fastholdelse af koordinaten i selve udjævningen af blokkens orientering. Ved transformationen bliver den relative bloks form i princippet fastholdt (når der ses bort fra fællespunkternes spredning), mens blokkens form i højere grad kan ændre sig ved brug af ”Control Points”. Alle tre metoder fungerer ved, at paspunktskoordinaterne indlæses i PhotoModeler og manuelt sammenknyttes med modelkoordinaterne. Når den absolutte orientering er foretaget ved hjælp af en transformation, er det muligt at se residualerne mellem fællespunkterne i transformationen, mens andre parametre i transformationen ikke opgives i PhotoModeler. Der kan læses mere om disse funktioner i appendiks B.

Fremgangsmåden, der er anvendt i forbindelse med billedserierne i dette projekt, har været at orientere billederne relativt med SmartPoints, hvorefter der automatisk er målt RAD-punkter. Otte til ni RAD-punkter er anvendt til den absolutte orientering enten ved ”Multipoint transformation” eller ”Geographic Multipoint transformation”. Resultatet af orienteringerne kan ses i tabel 11.2. Den optimale fremgangsmetode, set med fotogrammetriske øjne, ville være at anvende metoden med ”Control Points”, så

paspunkternes indgåelse i blokkens orientering kunne medvirke til at styrke orienteringen af billederne. Det har desværre ikke været muligt at få brugen af ”Control Points” til at fungere som ønsket. Det viser sig, at når paspunkterne knyttes sammen med modelkoordinaterne gennem funktionen ”Control Points”, kommer der store residualer i blokken (dvs. residualer på flere millioner pixels). Det formodes, at før at paspunkterne kan indgå i udjævningen, skal disse være tilknyttet og have defineret koordinatsystemet, før der beregnes en orientering af billederne. Denne detalje blev ikke opdaget før alle billederne i billedserierne var orienterede relativt og derfor er disse blevet orienteret absolut gennem en 3D konform transformation.

	Høj flyvehøjde		Lav flyvehøjde	
Billedserie	Serie 1 (lod) og 2 (skrå)	Serie 5	Serie 3	Serie 4
Optage forhold	Brændvidde: 18mm Flyvehøjde: ca. 20m	Brændvidde: 10mm Flyvehøjde: ca. 15m	Brændvidde: 18mm Flyvehøjde: ca. 6m	Brændvidde: 10mm Flyvehøjde: ca. 4m
Antal billeder	19 billeder	11 billeder	21 billeder	30 billeder
Datagrundlag i antal punkter	Smartpoint: 18694 RAD-punkter: 8	Smartpoint: 5947 RAD-punkter: 8	Smartpoint: 20578 RAD-punkter: 9	Smartpoint: 28237 RAD-punkter: 8
Smartpoints pr. billede	983	540	979	941
Udjævning i den relative orientering				
Sigma 0	0,606	0,855	0,672	1,038
Største residual	2,58 pixel (SmartPoint)	3,39 pixel (SmartPoint)	2,52 pixel (Smartpoint)	4,71 pixel (Smartpoint)
Transformation				
Residualvektor RMS	0,022 m	0,045 m	0,010 m	0,007 m

Tabel 11.2: Resultatet af fire billedseriers orienteringer i PhotoModeler, der er beskrevet nærmere i forsøg 4 appendiks A. Største residual beskriver største residual i blokken udjævning, mens residualvektoren beskriver fejlen på de punkter, der er udgangspunkt for transformationen.

Generelt vurderes det, at projekterne er fine, fordi de alle har en sigma 0 på under eller omkring 1. De største residualer, der indgår i udjævningerne, ser heller ikke så høje ud, selvom de er højere end 2 pixels, hvilket er det PhotoModeler anbefaler. Det ville sandsynligvis have været muligt at opnå en bedre kvalitet af projekterne, hvis der var brugt mere tid på at undersøge forskellige fejlmuligheder eller forbedringer. Dette er dog ikke blevet prioriteret her, da projekterne generelt ser fornuftige ud og der lægges vægt på effektiv arbejds gang.

Under orienteringen af billedserierne blev der ikke fundet nogen form for transformationsresultater for transformationen, der foretages af den relative orienterede blok over paspunkterne. Tabellen med residualerne for hvor godt fællespunkterne i transformationen passer sammen, er først opdaget sent i projektperioden og derfor er de enkelte billedserier ikke blevet kontrolleret for evt. fejl i forbindelse med transformationen.

Det kunne have været en fordel at studere disse residualer nærmere, inden der blev genereret højdemodel og ortofoto. Det kunne tænkes, at der var en fejl i

transformationens skalering der kunne få indflydelse på det endelige resultat af ortofotoet. En kontrol af residualerne for fællespunkterne i transformationen vil også kunne vise evt. fejl i den relative orienterede blok, som f.eks. systematiske fejl eller fejl i paspunkterne. Det ville kunne ses i form af store residualer. Det anbefales derfor at kontrollere disse residualer efter transformationen for at opnå den bedste orientering.

11.3 Kontrol af orienteringerne

Foruden at kontrollere de enkelte billedserier ud fra PhotoModelers parametre, er det forsøgt at kontrollere orienteringerne op imod nogle kontrolpunkter i form af RAD-punkter indmålt med totalstation. Dette er gjort ved at sammenligne modelkoordinater for RAD-punkter med disse totalstationsmålinger for RAD-punkter. Ca. otte RAD-punkter er anvendt som paspunkter i blokkens orientering, og kontrollen bygger derfor ikke på disse, men på de resterende RAD-punkter i billederne. Kontrollen er omtalt nærmere under forsøg 4 i appendiks A, mens resultatet af undersøgelsen kan ses i figur 11.3.

	Høj flyvehøjde				Lav flyvehøjde			
Billedserie	Serie 1 (lod) og 2 (skrå) i kombination		Serie 5		Serie 3		Serie 4	
Optage forhold	Brændvidde: 18mm Flyvehøjde: Ca. 20m		Brændvidde: 10mm Flyvehøjde: ca. 15m		Brændvidde: 18mm Flyvehøjde: ca. 6m		Brændvidde: 10mm Flyvehøjde: ca. 4m	
Kontrolpunkter	Antal punkter: 15		Antal punkter: 18		Antal punkter: 17		Antal punkter: 25	
	spred. (m)	spred. i pixel	spred. (m)	Spred i pixel	spred. (m)	Spred i pixel	spred. (m)	Spred i pixel
Punktspredning (xy)	0,015	3,60	0,025	5,01	0,004	2,84	0,003	2,16
z-difference	0,025	6,20	0,040	7,92	0,011	7,42	0,008	4,99

Tabel 11.3: Sammenligning af transformerede modelkoordinater og tilsvarende koordinater indmålt med totalstation.

De enkelte differencer mellem modelkoordinater og kontrolpunkternes koordinater er anvendt til at udregne en spredning. Denne spredning er omregnet til ca. antal pixels i billederne for den enkelte billedserie. Det ses af tabel 11.3 at spredningen generelt er højere i z end punktspredningen i xy, hvilket også var forventelig på grund af geometrien. Derudover tegner der sig et billede af, at billedserierne i lav højde har en bedre nøjagtighed end dem i høj flyvehøjde. Det er ikke umiddelbart nemt at konkludere om brugen af 10 mm brændvidde er bedre end 18 mm, da der for høj og lav flyvehøjde vises to forskellige tendenser. Endvidere er det positivt at se, at alle middeldifferencerne ikke afviger meget fra nul. Dette er tegn på, at der ikke er en forskydning mellem modelkoordinaterne og kontrolpunkterne, men at de gennemsnitligt ligger nogenlunde samme sted. Umiddelbart virker størrelsen af spredningerne i pixels store, men dette skal også ses i forhold til billedseriernes lave flyvehøjde.

Metoden, der er anvendt til at kontrollere de enkelte billedseriers modelkoordinater på, bør også kommenteres. Spredningerne angivet i pixels synes generelt til at være større end forventet. Det er imidlertid blevet undersøgt, hvor stor en andel af nøjagtigheden

totalstationsmålingerne bidrager med i forbindelse med denne kontrol. Antages det f.eks., at spredningen til et punkt målt med totalstation er 0,006 m, svarer dette til ca. 4,0 pixels i et billede for serie 4, der er fløjet i ca. 4 m højde. Totalstationsmålingen har grundet den meget lave flyvehøjde en forholdsvis stor indflydelse på størrelsen af spredningen på differencerne mellem modelkoordinater, der er målt på sub-pixelniveau, og kontrolpunkternes totalstationsmålinger. Dette kunne betyde, at blokkens nøjagtighed måske bliver overskygget af kontrolpunkternes nøjagtighed, og derfor ikke kommer til udtryk i tallene i tabel 11.3. Det er derfor relevant at overveje, om en anden metode kunne anvendes til kontrol af den orienterede blok. Dette er der dog ikke arbejdet videre med i dette projekt.

11.4 Fremgangsmetode og anbefalinger

I forbindelse med orientering af billedserier vil det være fornuftigt at overveje følgende:

- Anvend billeder, der giver overlap over hele området, og helst billeder med 60 % længdeoverlap og 30 % sideoverlap. Crosstracks bør også indgå i billederne, for at holde blokken på plads.
- Det anbefales at orientere billedserierne ved hjælp af SmartPoints i et SmartPoints-projekt. Kontroller for eventuelle fejlrefereringer. Er dette ikke tilstrækkeligt til en god orientering, kan RAD-punkter anvendes, hvilket kræver, at disse figurerer i billederne.
- Mål RAD-punkter automatisk og kontrollér for eventuelle fejlrefereringer.
- Indlæs paspunkter ved "Multipoint transformation" og "Geographic Multipoint transformation", alt efter om paspunkterne er i referencesystem eller lokale koordinater. Transformér herefter den orienterede blok hen over paspunkterne, ved at sammenknytte RAD-punkter målt i blokken og indmålt som paspunkt med totalstation.
- Kontroller transformationen ud fra differencerne mellem transformationens fællespunkter.

Når der haves en fornuftig orientering med en god sigma 0 og små residualer, er det tid til at generere højdemodel.

12 Generering af højdemodel

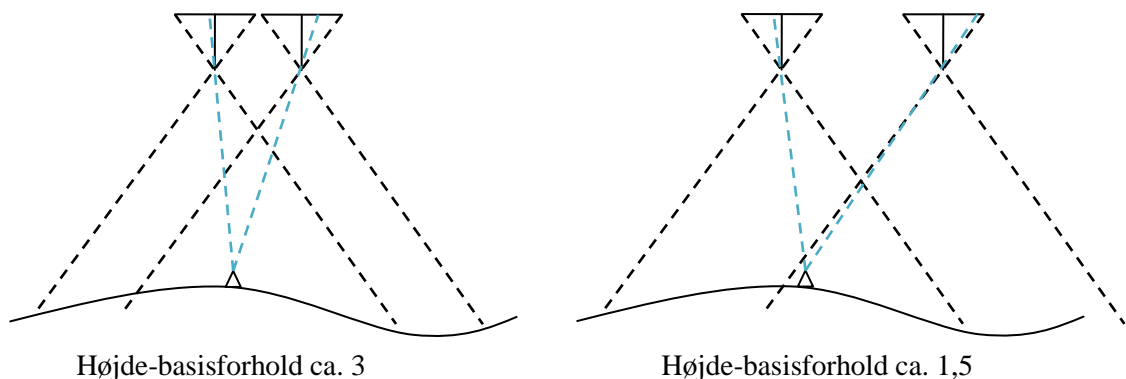
Det er i PhotoModeler muligt ved hjælp af Scanner-modulet at lave højdemodeller og Triangulated Irregular Network (TIN). Scanner-modulet anvender de orienterede billeder til genereringen af en punktsky og kan ud fra punktskyen lave en TIN-model, der kan bruges til produktion af et ortofoto. Før genereringen af en punktsky kan finde sted skal der udvælges nogle billedpar.

Udvælgelse af billedpar

PhotoModeler genererer punktskyer ud fra overlappet mellem billeder, der er organiseret i billedpar med to billeder i hvert par. Billedparene dannes i en funktion, der anvender højde-basisforhold og vinkler mellem billederne til at parre billederne ud fra.

PhotoModeler foreslår som standard, at højde-basisforholdet (h/b) i et billedpar skal ligge mellem 5 og 10. Når højde-basisforholdet ligger i dette interval, vil overlappet blive stort, men geometrien i beregningerne bliver dårligere jo højere højde-basisforholdet er.

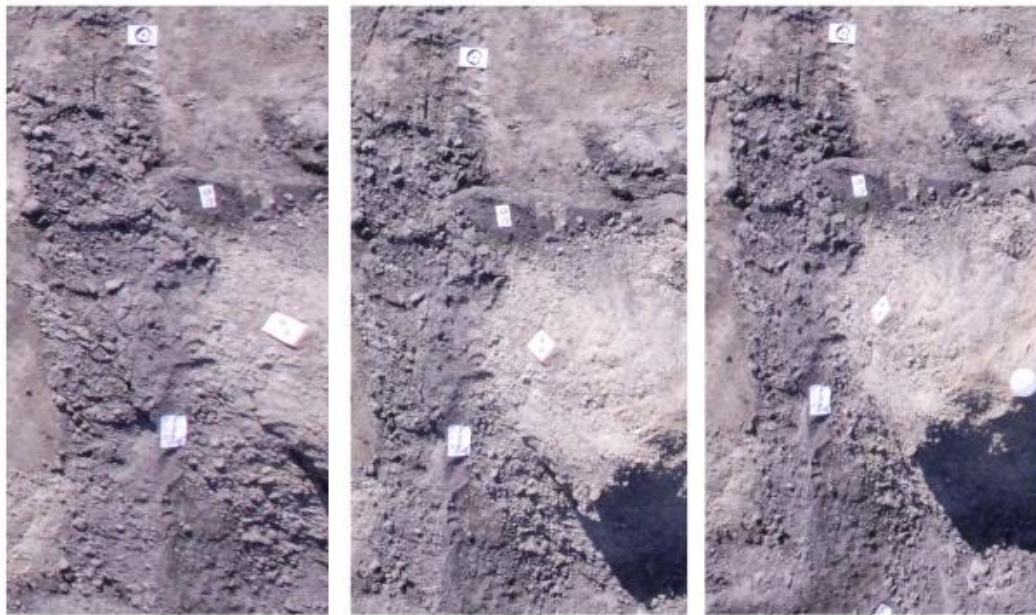
PhotoModeler anvender begrebet "base-to-height ratio", hvilket er det reciprokke af begrebet højde-basisforhold, som anvendes her.



Figur 12.1: Figuren viser at geometrien i beregningen af objektet bliver bedre, hvis højde-basisforholdet bliver lavere.

Ved anvendelsen af vidvinklede objektiver med brændvidde mellem 10 mm og 18 mm, er det muligt at danne billedpar med langt lavere højde-basisforhold. Er højde-basisforholdet 1 i et billedpar optaget med 10 mm brændvidde, vil overlappet blive på omkring 30 % og geometrien vil være væsentligt bedre end ved et højde-basisforhold på 10.

En ulempe ved et lille højde-basisforhold er imidlertid, at det muligvis bliver sværere for PhotoModeler at autokorrelere punkter mellem de to billeder, da forskellen i afbildningen i overlappet bliver større, jo større afstanden mellem billederne er. Dvs. jo mindre højde-basisforholdet er, jo sværere kan det blive at autokorrelere. Er den fotograferede overflade plan og parallel med billedplanerne for de to billeder, vil effekten ikke blive så stor, men hvis overfladen ikke er parallel med billedplanerne, vil et givent objekt blive afbildet forskelligt i de to billeder, som figur 12.2 viser. Er afbildningen tilpas forskellig, vil det ikke være muligt at genfinde et punkt fra det ene billede automatisk i det andet billede.



Figur 12.2: Effekten af forskelligt højde-basisforhold på afbildningen af forskellige objekter. Højde-basisforhold mellem venstre billede og midterste billede er 1,6, højde-basisforholdet mellem midterste billede og højre billede er 2,8, og højde-basisforholdet mellem to yderste billeder er 1,1.

Dannelsen af billedpar afhænger altså af, hvordan terrænet er. Er terrænet helt fladt og parallelt med billedplanerne, vil det være muligt at anvende et lille højde-basisforhold, hvorimod det ved fotografering af et kuperet terræn vil være hensigtsmæssigt med et større højde-basisforhold. I genereringen af højdemodeller i forbindelse med projektarbejdet, er det tilstræbt at vælge de højde-basisforhold, der var mindst, da terrænet generelt var meget fladt. Erfaringen har været, at genereringen af højdemodeller er gået godt, men at der har været steder, der ikke har været dækket af de valgte billedpar. Disse huller er derefter blevet lappet med billedpar med et større højde-basisforhold.

Generering af punktsky

Efter udvælgelsen af billedpar skal der vælges en omtrentlig afstand mellem punkterne i punktskyen og et interval for tilladte højdeforskelle, før genereringen af punkter kan gå i gang.

Afstanden mellem punkterne i højdemodellen afhænger af, hvor ofte overfladen skifter hældning. Det er vigtigt, at afstanden er mindre end størrelsen af de mindste objekter, der skal kunne ses i højdemodellen og væsentligt mindre, hvis formen af objekterne skal gengives tydeligt. Intervallet for tilladte højder angiver hvor store spring i højden, der skal tillades i genereringen af punkter. PhotoModeler bruger intervallet til at indstille korrelationsafstanden fra epipolarlinjen. Intervallet hjælper med til at mindske støj over og under højdemodellen, men intervallet skal ikke være mindre end de objekter, der stikker ud fra overfladen, for at de også bliver modelleret.

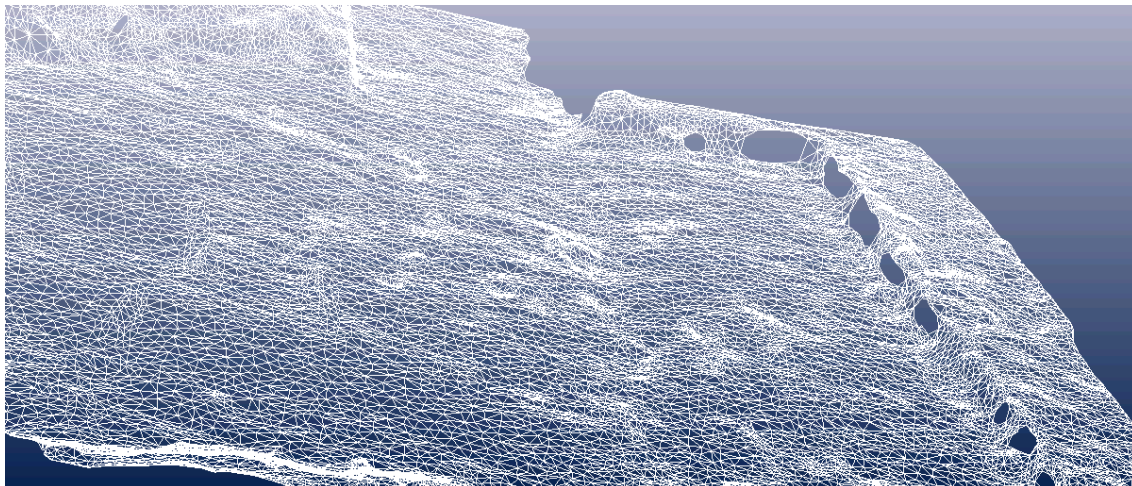
Når afstanden mellem punkter og interval for tilladte højder er angivet, startes genereringen af højdemodellen. Genereringen af punktskyerne til højdemodellen foregår ved, at PhotoModeler finder et punkt i et billede og søger efter det bedste match til dette punkt i et andet billede, og sådan forsættes der over hele overlappet. For hvert billedpar

genereres en punktsky, som alle samles til en stor punktsky. Der vil således være en del steder hvor punkttætheden er meget høj, fordi flere punktskyer dækker samme område. PhotoModeler har en funktion til fjernelse af grove fejl fra punktskyen. Det er vigtigt at anvende denne funktion sideløbende med, at punktskyen iagttages manuelt. Er der store skyer af grove fejl, hvilket forekom i serie 10, kan funktionen ikke selv identificere de grove fejl, men det er muligt at markere dem i punktskyen og fjerne dem manuelt.

Da ujævnheden af terrænet varierer, vil der være store områder, hvor der er mange flere punkter end nødvendigt for at modellere terrænet. Det er altså nødvendigt med en udtynding af punkterne forud for genereringen af TIN. Måden hvorpå udtyndingen foretages, er ved at angive i procent hvor mange punkter, der skal fjernes. Det er ikke muligt at angive til hvilken kvalitet, der skal fjernes punkter til. Afhængigt af hvor mange hældningsskift, der er i området, kan mellem 50 % og 80 % af punkterne fjernes i dette tilfælde uden at kvaliteten af højdemodellen forringes. Udtynnes der ikke tilstrækkeligt, kan der opstå problemer i forbindelse med generering af TIN, da alle punkterne vil blive brugt i dannelsen af dette. Efter udtynding i punktskyen vil det desuden være nødvendigt manuelt at fjerne støj igen, hvilket er muligt ved at kigge i punktskyen og vælge de punkter, der tydeligt afviger fra overfladen af terrænet (PhotoModeler, 2011).

Generering af TIN

Efter at have tilpasset punktskyen, kan der dannes et TIN på baggrund af punktskyen. Er der områder, der ikke har været dækket af punkter i punktskyen, vil der være huller i trekantsnettet (se figur 12.3), som det er muligt at lappe ved endnu en funktion i PhotoModeler. Forekomsten og størrelsen af hullerne afhænger af en indstillet maksimal sidelængde af de dannede trekanter i TIN-genereringen. Lapning af huller skal dog gøres med varsomhed, da det, der reelt foregår, er, at der bliver dannet trekanter mellem de punkter, der ligger på hver side af hullerne. Vurderes det at være nødvendigt, kan trekantsnettet både udtynnes og udglattes. Udtyndingen af trekanter vælges ved procentangivelse, som under udtynding af punktskyen, men hvordan de enkelte trekanter udvælges, kendes ikke. Ligeledes kendes der heller ikke til PhotoModelers metode til udglatning. Nødvendigheden af udtynding og udglatning vurderes ved iagttagelse af trekantsnettet.



Figur 12.3: Udsnit af PhotoModelers 3D-view hvor en TIN-model over en arkæologisk fladeudgravning ses i perspektiv. TIN-modellen ses ved små trekanter og til højre i billedet ses den ca. 40 cm høje kant af udgravningen. Langs kanten er der huller i TIN-modellen.

12.1 Kontrol af højdemodeller

I forsøg 5 (se i appendiks A) er fire højdemodeller sammenlignet med kontrolpunkter, der er målt med totalstation. Der er lavet højdemodeller ud fra to billedserier optaget med 18 mm brændvidde og to billedserier optaget med 10 mm brændvidde, hvor højdebasisforholdet generelt er mindre i serierne taget med 10 mm brændvidde.

Sammenligningen af højdemodellerne (se tabel 12.1) viser umiddelbart, at spredningen på differencerne er mindst for 18 mm-serierne, og at middel af differencerne er mindst for 10 mm-serierne. Der er i forsøg 5 appendiks A også foretaget en sammenligning mellem højdemodellerne, der dækker samme område. Disse sammenligninger viser, at højdemodellerne har samme form i store dele af området. Der, hvor de største forskelle ses, er på skråninger af jordbunker, der vender væk fra kameraernes projektionscentre, hvilket er forventeligt.

Billedserie	Høj flyvehøjde		Lav flyvehøjde	
	Serie 1 (lod) og 2 (skrå) i kombination	Serie 5	Serie 3	Serie 4
Brændvidde:	18mm	10mm	18mm	10mm
Flyvehøjde:	Ca. 20m	Ca. 15m	Ca. 6m	Ca. 4m
Antal højdeforskelle	87	89	49	46
Middel differencer	-0,038 m	-0,017 m	-0,004 m	-0,001 m
Spredning uden reducere for middel	0,047 m	0,046 m	0,010 m	0,013 m
Spredning	0,027 m	0,042 m	0,009 m	0,013 m

Tabel 12.1: Resultater for sammenligning af højdemodeller med kontrolpunkter.

Dette kunne tyde på, at formen af højdemodellerne dannet ud fra 18 mm-billederne, er den mest korrekte i forhold til kontrolmålingerne, hvilket kan forklares med, at højdebasisforholdet er større, og at billederne derfor er mere ens. Endvidere kan det konstateres, at spredningerne for denne sammenligning minder meget om spredningerne for sammenligning af modelkoordinater og kontrolpunkter (se afsnit 11.3 Kontrol af

orientering). Det må betyde, at der ikke er sket større fejl under genereringen af højdemodellerne.

Kontrollen af højdemodellerne viser umiddelbart, at højdemodellerne modellerer terrænet nogenlunde korrekt, dels fordi de fremstillede højdemodeller stemmer overens med kontrolpunkterne, og dels fordi højdemodeller fra forskellige billedserier i høj grad ligner hinanden. Resultaterne af forsøg 5 i appendiks A viser, at den beskrevne metode til generering af TIN i PhotoModeler, egner sig til produktion af højdemodeller ud fra billeder taget med helikopter.

12.2 Fremgangsmåde og anbefalinger

I forbindelse med generering af højdemodeller vil det være fornuftigt at overveje følgende:

- Overvej hvordan terrænets form har indflydelse på højde-basisforhold i dannelsen af billedpar.
- Vælg en punktafstand i højdemodelsgenereringen, der er lille nok til, at alle ønskede former bliver modelleret i punktskyen, men stor nok til at der ikke dannes for mange overflødige punkter.
- Den genererede punktsky udtyndes, så det kun er nødvendige punkter, der beholdes. Afhængigt af terrænets form kan der fjernes mellem 50 % og 80 % af punkterne. Udtyndingen skal muligvis foretages af flere omgange.
- En TIN-model genereres, og det skal overvejes, om det kan forsvares at lappe huller ved hjælp af funktionen i PhotoModeler, eller om der skal bruges flere billeder for at dække de manglende områder.

13 Generering af ortofoto

Er alt det foregående arbejde udført med orientering af billeder og generering af højdemodel, er det ingen sag at lave et ortofoto. Den teoretiske baggrund for produktion af ortofoto er beskrevet i appendiks C, og vil derfor ikke berøres nærmere her. Til gengæld vil fremgangsmåden for dannelse af ortofoto i PhotoModeler blive beskrevet, og der vil blive set på resultatet af producerede ortofotos og deres kvalitet.

13.1 Ortofoto i PhotoModeler

I PhotoModeler genereres ortofotos ved en enkelt funktion, hvor det er muligt at indstille følgende elementer:

- Projektionsplan
- Resampling metode
- Skala/billede størrelse
- Geografisk reference
- Datamateriale – ”Material”

Det skal vælges i hvilket plan, der skal dannes et ortofoto. Valget af dette afhænger selvfølgelig af, hvordan koordinatsystemet er defineret i forhold til, hvordan billederne/højdemodellen er orienteret. I de udførte projekter er koordinatsystemet defineret således, at x og y danner det horisontale plan, mens z er retningen ortogonalt på det horisontale plan. Da billederne er optaget fra luften i z-aksens retning, er det det horisontale plan, der skal laves ortofoto for.

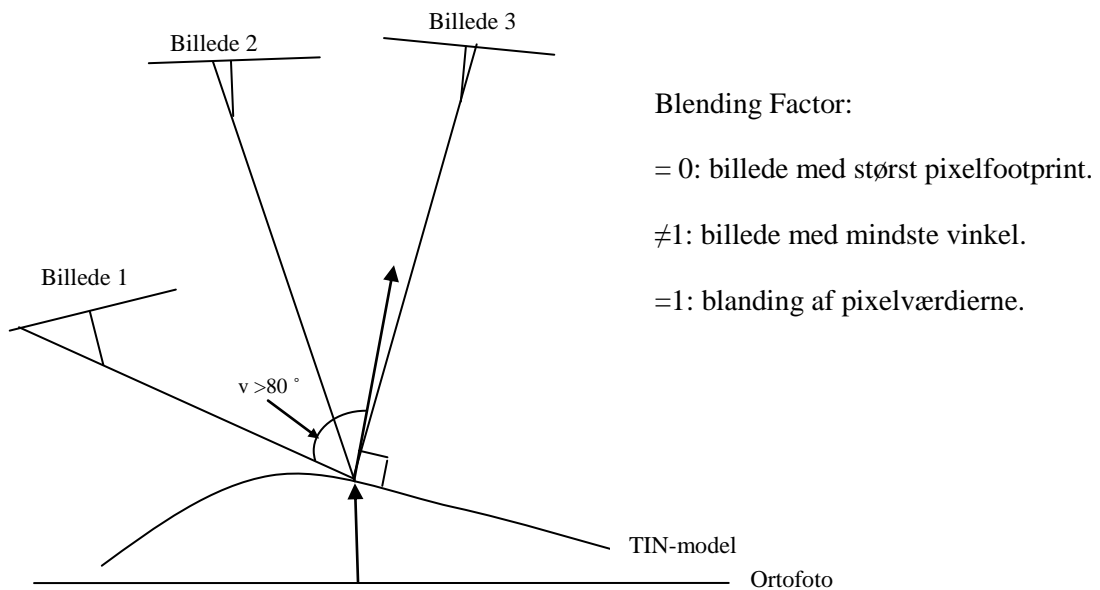
Resamplingmetoden kan vælges til Nearest Neighbour, Bilinear eller Bicubic. Standardvalget er Bicubic-metoden, der også er anvendt i de fremstillede ortofotos.

Størrelsen af billedet kan styres på flere måder. Det er muligt at angive et fast antal pixels i billedets højde og bredde, hvilket resulterer i en ikke kendt skala. Det er også muligt at angive pixelstørrelsen i det producerede ortofoto. Dette vil give en kendt skala i billedet, mens PhotoModeler må beregne, hvor stort billedet bliver i antal pixels. Den sidste mulighed er at angive en skala, der passer til en bestemt udskriftskvalitet. Det anbefales at anvende indstillingen, hvor pixelstørrelsen på jorden fastsættes.

Endvidere skal der tages stilling til, om der skal laves en fil med geografiske data, der kan anvendes til geografisk placering af ortofotoet i andre sammenhænge.

Datamaterialet, som skal farve ortofotoet, kan enten vælges til at være alle billeder i projektet, hvor PhotoModeler selv styrer hele processen, eller der kan laves et ”Material” til pixelfarvningen af ortofotoet. Med et ”Material” er det muligt manuelt at vælge de billeder, der ønskes som datamateriale til ortofotoresamlingen. Det anbefales at lave et ”Material” med billeder, der dækker hele TIN-modellen, og hvor billederne har så lidt overlap som muligt. Effekten af anvendelse af et ”Material” kan ses i ortofotoene, hvilket vil blive beskrevet senere.

Ved brug af ”Material” har PhotoModeler ikke så mange billeder at vælge imellem, når der skal vælges en pixelværdi til farvningen af ortofotoet, men der kan stadig være overlap, hvor PhotoModeler skal vælge mellem et eller flere billeder. Kriterierne for hvordan PhotoModeler udvælger det ene billede til farvning frem for et andet velegnet billede, afhænger af billedernes vinkel til overfladen (TIN-modellen) på det pågældende sted. Er vinkelen mellem overfladens normalvektor og billedets stråle til overfladen større end en 80 grader (default værdi), kasseres billedet til pixelfarvningen. Dette er tilfældet for billede 1 i figur 13.1, hvor billederne 2 og 3 har en mindre vinkel end 80 grader og derfor begge kan anvendes til pixelfarvningen.



Figur 13.1: Principper for udvælgelse af hvilket billede der skal bidrage med pixelfarvningen, det pågældende sted på overfladen.

Når PhotoModeler skal vælge mellem billede 2 og 3 i figur 13.1, er der tre muligheder, hvilket styres efter funktionen ”Blending Factor”. Er denne værdi 0 vælges pixelfarvningen efter hvilket billede, der giver det største footprint på overfladen for én enkelt pixel det pågældende sted. Dvs. udvælgelsen afhænger af billedets vinkel og afstand til overfladen. Er faktoren forskellig fra 0, vælges billedet med den mindste vinkel, og hvis faktoren er 1 blandes pixelværdierne fra de to billeder med en vægtning ud fra bedste vinkel. I langt de fleste tilfælde har denne værdi været angivet til 0 for produktionen af ortofotos for de anvendte billedserier. Det er efterfølgende blevet forsøgt at ændre værdien for ”Blending Factor” til 1 for at se om det gav en tydelig forskel. Resultatet af dette viste en meget begrænset forskel.

13.2 Præsentation af ortofoto

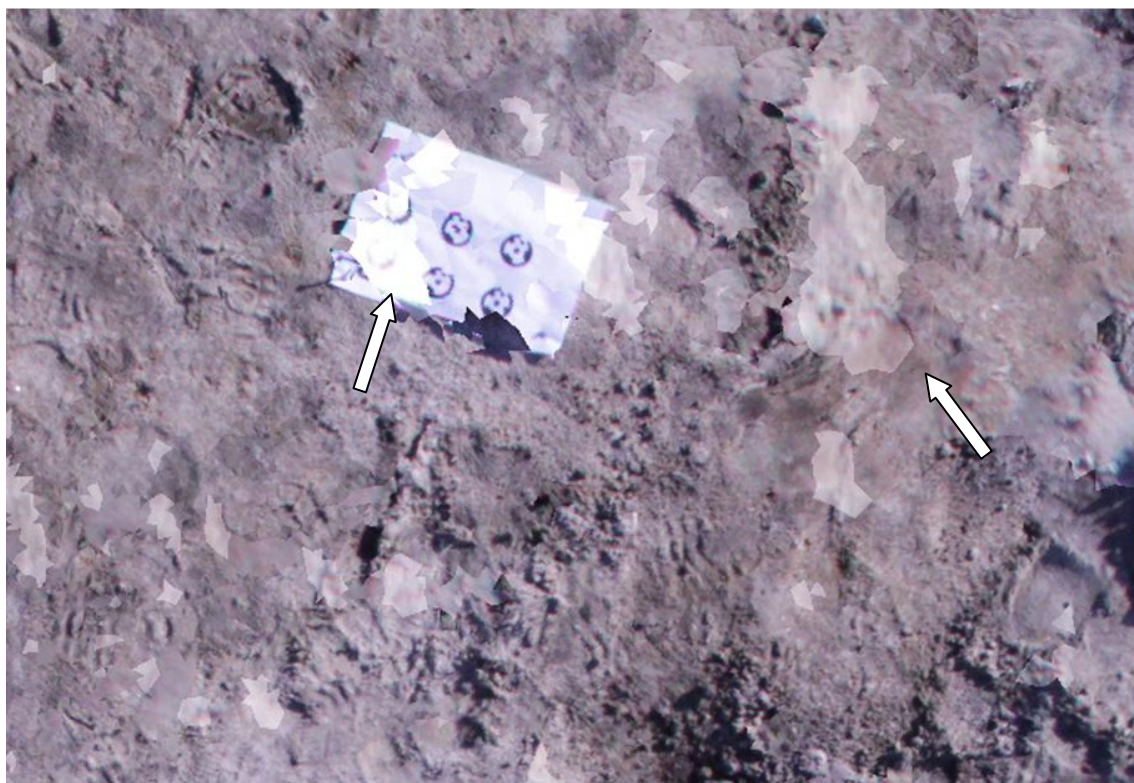
På baggrund af de forskellige billedserier, der er blevet optaget med helikopteren, er der udarbejdet en række ortofotos. Disse er præsenteret og kontrolleret i appendiks A, mens de færdige ortofotos kan ses i bilag 11 og 12 og bilag CD3. Nedenfor vil der kort blive præsenteret et par eksempler på interessante fænomener i de producerede ortofotos.



Figur 13.2: Udsnit af ortofoto optaget med 10 mm brændvidde i 4 m højde.

Eksemplet i figur 13.2 er et udsnit af ortofotoet dannet på baggrund af billeder optaget med 10mm brændvidde og i 4m højde. Det færdige produkt ser i dette forstørrede område pænt ud, da ingen større fejl fremgår. Det er tydeligt at se de indrids, arkæologerne har lavet i jorden omkring den mørke plamage i billedet, og RAD-punkterne fremstår også skarpe. Selv fodaftryk er mulige at identificere på billedet, mens det måske kan være en smule vanskeligere at definere objektet tæt på træpinden, som er et oldtidsfund i form af en stenøkse. Generelt ser ortofotoet tilfredsstillende ud i dette område af billedet.

I figur 13.3 ses et andet udsnit af samme ortofoto, hvor der ikke er den samme skarphed i billedet i visse områder. Der ses en masse misfarvninger, der primært er formet som nogle kantede plamager. Formen på plamagerne stammer fra TIN-modellen og misfarvninger skyldes, at der er blevet anvendt flere billeder til pixelfarvning af dette område. Det vil sige, at alt efter hvilken hældning der har været på den enkelte trekant, er den enkelte pixel blevet farvet ud fra det billede, der opfylder de angivne kriterier. Da billederne, der dækker dette område, har haft forskellige farvenuancer, kommer det i kombination med TIN-modellen til udtryk ved forskellige farvenuancer i ortofotoet.



Figur 13.3: Udsnit af ortofoto optaget med 10 mm brændvidde i 4 m højde. Farvenuancerne er ikke flydende, hvilket skyldes pixelværdierne stammer fra forskellige billeder. Det kan især ses på papirarket, hvor der skulle kunne ses seks RAD-punker.



Figur 13.4: Udsnit af ortofoto optaget med 10mm brændvidde i 15 m højde. Eksemplet viser et sted, hvor der er forskellige højder, og hvor resamplingen ikke er gået så godt, fordi pixelværdierne til jordbunken er tværet ud.

Et andet fænomen der forekommer i de producerede ortofotos kan ses i figur 13.4. Det ses, at jordbunkerne ligesom strækker ud sig over flere pixels og bliver forvrænget eller danner en form for en spøgelseeffekt af objektet. Dette fænomen ses primært i de ortofotos, der er dannet på baggrund af billeder optaget med en lav brændvidde dvs. 10 mm. Årsagen er, at PhotoModeler ikke har fundet bedre alternativer til farvning af de pågældende pixels, og derved taget pixels fra det samme billede, trods det at billedet ikke indeholdte pixels for skyggesiden af jordbunken (det ”døde” område i billedet). Der er altså i dette tilfælde ikke anvendt pixelværdier fra flere billeder, som det var tilfældet i det forrige eksempel.

Det sidste eksempel på tydelige fejl i ortofotoene er vist i figur 13.5. Det er igen en situation, hvor ortofotoet er farvet ud fra to forskellige billeder. Her fremgår farveforskellene ikke så tilfældigt, som det sås i det første eksempel, men mere som en tydelig grænse mellem det ene og andet billede. Årsagen til dette er sandsynligvis, at billederne til farvning af ortofotoet i dette tilfælde er blevet styret med et valgt ”Material”, og hvor farveforskellen i billederne har været stor. Det vurderes, at sådanne farveforskelle kunne mindskes, hvis ISO-værdien blev fastholdt under billedoptagningen. Det er forsøgt at mindske denne effekt ved at anvende funktionen ”Blending Factor”, hvor pixelværdier fra de to billeder blandes. Dog vurderes det ikke til at give en større forbedring. En anden måde dette fænomen evt. kunne forbedres på er ved at udføre en form for kontrastudjævning på ortofotoet, hvorved overgangene sandsynligvis ikke vil fremstå så skarpe.



Figur 13.5: Udsnit af ortofoto på baggrund af serie 10 med 24mm brændvidde i 17m højde. Der ses en kantete linje gennem billedet mellem brunlige farver og mere støvede og lysere brunlige farver. Dette er tilsyneladende grænsen mellem forskelligt billedmateriale.

Trods disse viste fænomener, der ses i de producerede ortofotos, vurderes de generelt til at være anvendelige til arkæologisk brug. Dog er der mulighed for at forbedre disse fejl, ved i højere grad at styre hvilke billeder, der anvendes til farvningen, og hvordan

billederne i første omgang bliver optaget. Det formodes også, at PhotoModeler er i stand til at lave true ortofotos, men dette er ikke testet nærmere.

13.3 Kontrol af ortofoto

For hvert af de producerede ortofotos, er der lavet en kontrol ved at optage en række afstande mellem RAD-punkter i ortofotoene, og sammenligne disse med afstande mellem RAD-punkter, der er indmålt med totalstation. Forskellene mellem afstandene er brugt til beregning af spredninger, der både er angivet i meter og i antal pixel i originalbillederne. Hele kontrollen kan ses i appendiks A, mens der i tabel 13.1 ses et udsnit af denne udførte kontrol for fem af de producerede ortofotos.

	Høj flyvehøjde Pixelstørrelse: ca. 5 mm						Lav flyvehøjde Pixelstørrelse: ca. 2 mm			
Billedserie:	Serie 1 og 2		Serie 5		Serie 10		Serie 3		Serie 4	
Brændvidde:	18 mm		10 mm		24 mm		18 mm		10 mm	
Flyvehøjde:	20 m		15 m		17 m		6 m		4 m	
	Antal afs.	Spredning	Antal afs.	Spredning	Antal afs.	Spredning	Antal afs.	Spredning	Antal afs.	Spredning
Spredning på kontrolafstand	37	0,017 m 4,14 pix	24	0,034 m 6,85 pix	48	0,017 m 6,14 pix	45	0,005 m 3,58 pix	48	0,009 m 5,94 pix
Middel residual	0,003 m 0,82 pix		-0,003 m -0,54 pix		0,004 m 1,45 pix		-0,004 m -2,86 pix		0,002 m 1,51 pix	

Tabel 13.1: Kontrol af forskellige producerede ortofotos.

Det ses af tabel 13.1, at ortofotoene på baggrund af billeder i en lavere højde, har en bedre nøjagtighed end billederne fra en højere højde. Sammenlignes ortofotos optaget med 18 mm og 10 mm ses den samme tendens både for høj og lav flyvehøjde, nemlig at spredningen er lavere for 18 mm brændvidde end for 10 mm brændvidde. Serie 10 med brændvidde på 24 mm falder uden for denne tendens, hvilket måske kunne skyldes, at der er langt flere billeder i denne serie, og derfor strækker flere kontrolmål sig også over en længere afstand og flere billeder. Umiddelbart lyder størrelsen på spredningerne i pixel store, men dette har sandsynligvis noget at gøre med, at der flyves så lavt.

Det er i denne sammenhæng også væsentligt at se på, hvor meget præcisionen på afstanden mellem de to totalstationsmålinger bidrager med. Antages det som tidligere, at hvert punkt målt med totalstationen har en punktspredning på 0,006 m, giver dette en spredning på afstanden mellem to punkter følgende:

$$\sigma_{afstand} = \sqrt{2} \cdot \sigma_p = \sqrt{2} \cdot 0,006m = 0,009m$$

Dette svarer til 5,68 pixels for serie 4

Tages den betragtning med i vurderingen af kontrolmålingerne, udgør en evt. fejl i ortofotoene sandsynligvis ikke en særlig stor del i forhold til det afstanden mellempunkterne, der er målt med totalstation, bidrager med.

13.4 Fremgangsmåde og anbefalinger

- Forsøg at lave et "Material" af ensartede billeder, og hvor der ikke er for meget overlap mellem billederne.
- Væg en passende pixelstørrelse til ortofotoet, så skalaen kendes. Denne bør være i nærheden af originalbilledernes GSD.
- Hak fluebenet af ved referencefil, hvis blokken er orienteret absolut og en sådan fil ønskes.

Forventet nøjagtighed

Tallene fra kontrollen af ortofotoene taler ikke for, at en lille brændvidde er bedre end en stor brændvidde, men fænomenet med forvrængede jordtoppe kan evt. undgås, hvis der vælges en større brændvidde.

I tabel 13.2 ses nøjagtighederne for de producerede ortofotos i forhold til brændvidde og GSD i originalbillederne. Det ses umiddelbart, at jo højere GSD, jo ringere nøjagtighed, hvilket også virker ganske fornuftigt. Derudover kan skemaet anvendes til at vise hvilke nøjagtigheder, der sandsynligvis kan opnås med forskellige GSD'er og brændvidder.

Brændvidde \ GSD	10mm	18mm	24mm
1,4mm		0,005m / 3,62 pixels	
1,7mm	0,009m / 6,01 pixels		
3,0mm	(0,027 m)	(0,013 m)	0,017m / 6,20 pixels
4,8mm		0,017m / 4,19 pixels	
6,5mm	0,035m / 6,99 pixels		

Tabel 13.2: Nøjagtigheder for ortofotoene i forhold til brændvidde og GSD i originalbillederne. Tallene i kursiv og parentes er groft estimerede tal for en forventet nøjagtighed i den givne situation.

Ud fra tabel 13.2 vurderes det, at der sandsynligvis kan opnås en bedre nøjagtighed for ortofoto med originalbilleder med GSD på f.eks. 3 mm, hvis disse optages med 18 mm brændvidde og sandsynligvis også bedre end med brændvidde på 24 mm. Et groft estimerede bud på, hvad nøjagtigheden kunne være i en situation med GSD på 3mm og 18 mm brændvidde er 0,013 m. Nøjagtigheden for situationen med GSD på 3 mm og 10 mm brændvidde kunne estimeres til 0,027 m ud fra tabel 13.2.

Dette er blot et bud på, hvad nøjagtighed kunne være i et givent tilfælde. Ønskes det at estimere nøjagtigheden for situationer, der ligger uden for dette skema, er det vigtigt at pointere, at der ekstrapoleres kraftigt.

14 Opsamling på metode

Der er igennem arbejdet med planlægning, flyvning, forsøg og databehandling af billeder erfaret mange forskellige ting, der er gode at huske på, når metoden til produktion af ortofotos ud fra billeder fra en helikopter, skal anvendes. Denne opsamling viser en række anbefalinger, som det er hensigtsmæssigt at følge, når der skal optages luftfotos fra en ubemandet helikopter til brug for arkæologiske formål. Opsamlingen er delt op i to skemaer, hvor anbefalinger til indstilling af kamerasystemet står i det første, og anbefalinger til flyveplanlægning og flyvning står i det andet. I bilag 8 ses et skema, der samler op på databehandlingen i PhotoModeler.

Indstilling af kamerasystemet

Anbefaling	Fordel	Ulempe
Anvend spejlrefleks kamera	Mulighed for mange indstillinger. God billedkvalitet.	Kameraet er tungt, og gør flyvetiden kortere. Mindre kamera kunne overvejes.
Fast objektiv	Et fast objektiv må gøre kameraet mere stabilt, hvilket er godt i forhold til at kende parametrene til kameraets indre geometri.	Det kræver flere objektiver, hvis der ønskes forskellige brændvidder til forskellige opgavetyper.
Brændvidde: Vælges efter terrænform og flyveforhold	En lille brændvidde giver god geometri, og en stor brændvidde giver færre og mindre ”døde” områder ved høje objekter.	En lille brændvidde giver store ”døde” områder, og en stor brændvidde giver en mere spids skæring mellem strålelinjerne.
Fastholdt høj blændetal	Højt blændetal i nærheden af f/16, øger skarpheden i billedet.	Risiko for at billedet bliver underbelyst. Lysåbningen er lille og det påkrævede lys skal justeres med lukkertid og ISO-værdi.
Fastholdt lav lukkertid og kontinuerlig optagning.	Lukkertid under 1/800 s. mindsker billedvandring og uklare billeder. Kontinuerlig optagning gør det nemmere og hurtigere at få overlap.	Risiko for at billedet bliver underbelyst. Enkelt billedoptagning tager lang tid, hvis overlap skal sikres.
Fastholdt ISO-værdi	Billederne ligner mere hinanden i farven.	Risiko for støj i billederne, hvis lysforholdene ændrer sig.
Inaktiv indstilling for billedstabilisator, auto-fokus, sensor rensning osv.	Ved at slå automatiske funktioner fra i kameraet, forventes kameraet at være mere stabilt.	Inaktive funktioner gør det sværere at opnå helt perfekte billeder.

Tabel 14.1: Anbefalinger med tilhørende fordele og ulemper i forbindelse med kamera og dets indstillinger.

Flyveplanlægning og flyvning

Anbefaling	Fordel	Ulempe
Manuel flyvning	Mere kontrollerede flyvelinjer og dermed bedre billedoptagelser.	Manuel flyvning kræver stor koncentration af piloten.
Flyvning af crosstracks	Bedre mulighed for orientering af billedserien. Bedre orientering.	Flere flyvelinjer, hvilket tager længere tid.
Sigt efter 70-90 % længdeoverlap og 30-40 % sideoverlap	God chance for at opnå 60 % længdeoverlap og 25 % sideoverlap, selvom helikopteren bevæger sig i vinden.	Risiko for at få alt for mange billeder, som det tager tid at sortere fra eller at få orienteret.
Anvend RAD-punkter til paspunkter	RAD-punkter er nemt genkendelige, kan måles automatisk i billederne og kan indmåles i marken.	RAD-punkter skal placeres og fastgøres i marken.
Flyv i stille vejr	Det er nemmere at styre helikopteren og optage gode billeder.	Svært at finde dage, hvor vejrforholdene er gode.
Anvend en GSD der ca. er 1/10 af objektet	Det er muligt at observere objektet, uden at alle detaljer ses tydeligt.	Risiko for at detaljeringen ikke er høj nok i forhold til det ønskede.
Fortag kalibrering i marken vha. kalibreringsark	Kalibreringsbillederne optages over det samme område. Sikkerhed for ens indre orientering af kamera mellem kalibrering og fotoflyvning.	Lyset i marken kan påvirke skarpheden af RAD-punkterne pga. overstråling. Manglende oplagt sted til placering af kalibreringsark i marken.

Tabel 14.2: Anbefalinger med tilhørende fordele og ulemper i forbindelse med flyveplanlægning og flyvning.

Overordnet vurderes det til at være lykkedes at fremstille fornuftige ortofotos på baggrund af billeder, der er optaget fra en ubemandet helikopter. Metoden synes brugbar og umiddelbart vurderes metoden også til at kunne være behjælpelig med dokumentation i arkæologiske sammenhænge. Der vil nu blive set nærmere på, hvad arkæologerne egentlig synes om ideen og produktet.

15 Arkæologernes vurdering

For at vurdere de producerede ortofotos egentlige kvalitet og anvendelsesmuligheder i et arkæologisk perspektiv, er der taget kontakt til museumsinspektør, Lars Ewald Jensen, fra Museum Lolland-Falster, samt lektor, Per Ole Rindel, og undervisningsadjunkt, Pernille Foss, fra SAXO-instituttet (institut for bl.a. arkæologi) ved Københavns Universitet. De er alle tre uddannede arkæologer, og har arbejdet med feltarkæologiske metoder gennem en årrække. Enkelte af de producerede ortofotos er blevet præsenteret for de tre arkæologer og herunder beskrives nogle af de reaktioner og kommentarer, de havde i forhold til de fremviste ortofotos.

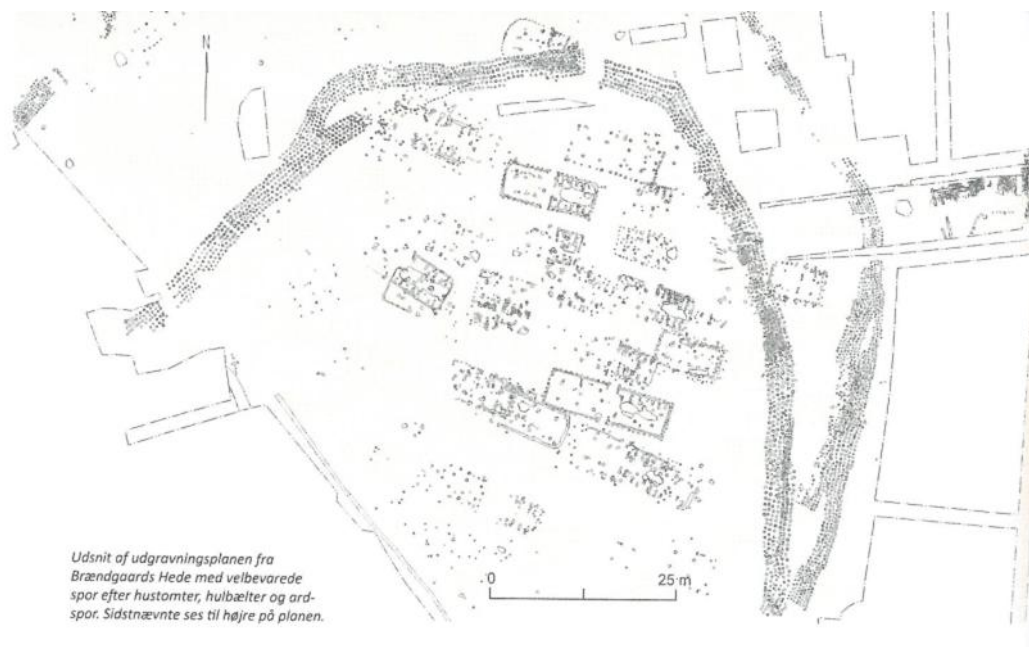
Generelt var de tre arkæologer meget begejstrede for opløsningen i ortofotoene og enige om, at det var muligt at se stolpehuller og lignende tydeligt i billederne. Ortofotoene ville sagtens kunne anvendes til at digitalisere efter i forbindelse med en dokumentation af en udgravning. Endvidere ser nøjagtigheden af ortofotoene også ud til at være særdeles acceptabel, eftersom alternativet sandsynligvis ville være opmåling med GPS, der ikke har en bedre nøjagtighed. Med hensyn til de enkelte fund som f.eks. stenøkserne, der var udlagt i området, vurderes ortofotoet til ikke at være det oplagte valg til dokumentation af disse, da de ikke fremstår så tydeligt i billederne.

Pernille Foss udtrykte stor begejstring over ortofotoets opløsning, i forhold til dets anvendelse som oversigtsbillede over udgravningen. På trods af fejlfarvningerne i ortofotoet var det nemt for hende at se anlæggene. Hun fandt det som en fantastisk mulighed for at se de enkelte stolpehuller i forhold til hinanden, og på den baggrund se formationer mellem flere anlæg, der kunne svare til f.eks. huse. Dog vurderes ortofotoet at være uegnet som dokumentation af det enkelte stolpehul, da farvenuancerne er for dårlige. Der indgår ofte et oversigtsbillede i forbindelse med udgravninger, og kvalitetsmæssigt vil ortofotoet også kunne konkurrere med GPS-opmåling. Udfordringen er umiddelbart, at det er mere besværligt og dyrere at skaffe et ortofoto, end det er at stille sig på en stige og tage et oversigtsbillede (se figur 15.1). Når udgravningerne er så store, at brugen af stigen ikke er en mulighed, har arkæologerne en kontakt, hvor de kan få flyfoto optaget af Flyvevåbnets F16-fly, for 15 kr. pr. stk. fortæller Per Ole Rindel. Dette vil helikopter-metoden ikke kunne hamle op med rent økonomisk, mener arkæologerne.



Figur 15.1: Eksempel på hvordan arkæologerne optager billeder til deres dokumentation. Her ses en udgravning af et hulbælte ved Brændgaards Hede, hvor morgenrimen har lagt sig i indridsningerne af hullerne. (Foto: Per Ole Rindel, 2007)

Alle tre arkæologer er enige om, at det ikke vil være relevant at lave ortofotos over de udgravninger, der fløjet over i flyvning 1 og 2, da kompleksiteten ikke er høj nok. Til gengæld vil metoden være velegnet til dokumentation af udgravninger af f.eks. hulbælter, mener Per Ole Rindel (se figur 15.2).



Figur 15.2: Eksempel på dokumentation af udgravning med hulbælter. Intensiteten er meget høj og dækker et stort område. Her ville ortofotometoden være velegnet. (Eriksen, et al., 2012)

Arkæologerne kategoriserer metoden som en specialmetode for arkæologisk dokumentation, der primært vil kunne anvendes i helt særlige tilfælde. Det kunne f.eks. være ved fund af stenlægninger, ved høj koncentration af stolpehuller, eller ved en udgravning, der ikke må berøres, når den først er blotlagt. Det kunne også være komplekse anlæg, som på en eller anden måde er truet af ydre faktorer, som regn eller grundvand, der stiger op og ødelægger anlægget, eller i situationer hvor udgravningen tilsendes hurtigt. De vurderer, at metoden, som det er i dag, ikke vil blive den almindelige dokumentationsform for arkæologiske forundersøgelser med søgegrøfter. Til gengæld vil den helt sikkert være en metode, der vil kunne anvendes i særtilfælde, hvor kompleksiteten og de ydre forhold retfærdiggør en dyrere og mere avanceret dokumentationsmetode.

Generelt arbejder feltarkæologerne efter at lave dokumentation ud fra principperne: så simpelt, praktisk og billigt som muligt. Heriblandt vurderes det ikke, at ortofotos fra en ubemandet helikopter hører under. Er intensiteten af fund høj i en udgravning, er det desuden vigtigt, at der ikke kommer farveforskelle ind i ortofotoet som følge af farveforskelle i originalbillederne. De påviste fejl i ortofotoene skal i højere grad fjernes, hvis de skal benyttes til identificering af anlæg i høj koncentration. (Interview maj 2012)

16 Cost/benefit analyse

I forbindelse med opstarten og implementering af nye opmålingsmetoder som den præsenterede, er det væsentligt også at overveje det økonomiske perspektiv for metoden. Til at vurdere de økonomiske forhold i metoden, anvendes Cost/benefit analysen, der er beskrevet i bogen ”Erhvervsøkonomi til Akademiuddannelserne” (Hansen, et al., 2003). Cost/benefit analysen er en måde at systematisere vurderingen af værdien af en investering på. I bogen er cost og benefit beskrevet således:

”Cost er alle direkte og indirekte omkostninger i forbindelse med projektet. Benefit er alle indtægter og vurderede strategiske fordele og omkostningsbesparelser i forbindelse med projektet” (Hansen, et al., 2003 s. 353).

Første trin er at identificere costs og benefits i metoden:

Identificering af costs	Identificering af benefits
<p>Anskaffelsesomkostninger</p> <ul style="list-style-type: none"> • Indkøb af helikopter • Indkøb af ekstraudstyr • Indkøb af kamera • Konsulentløn til konfigurering af system • Indkøb PhotoModeler <p>Driftsomkostninger</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vedligeholdelse af udstyr • Licens til PhotoModeler <p>Omkostninger i forbindelse med en opgave</p> <ul style="list-style-type: none"> • Planlægning af flyvning • Klargøring i marken • Fotoflyvning • Databehandling på kontoret 	<p>Direkte benefits</p> <ul style="list-style-type: none"> • Salg af produkt af høj kvalitet i form af ortofoto • Bedre overblikdata end alternative opmålingsmetoder • Flere produkter ved én dataindsamling (ortofoto, 3D-model) <p>Indirekte benefits</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mulighed for at måle objekter efterfølgende • Mulighed for udvidelse af anvendelsesområde

Figur 16.1: Identificering af costs og benefits i forbindelse med metoden.

Andet trin i analysen er at kvantificere de identificerede omkostninger. Dette gøres dels ud fra oplysninger fra LE34 og priser fra forhandlere, dels ud fra en vurdering af størrelsen på timeforbrug og ekstraomkostninger. Anskaffelsesomkostningerne er de udgifter, der er ved at komme i gang. Det er udgifter til indkøb af helikoptermaterialer og kameraer. For at kunne opretholde en nødvendig driftssikkerhed, skal der ved opstarten indkøbes to fulde helikoptersystemer.

Anskaffelsesomkostninger ved helikopter		
Indkøb af helikopter	kr.	90.000
Indkøb af ekstraudstyr	kr.	15.000
Indkøb af kamera og objektiv	kr.	20.000
Konsulentløn til konfigurerings af system	kr.	13.500
I alt	kr.	138.500

Tabel 16.1: Oversigt over anskaffelsesomkostninger.

Under de årlige omkostninger er der lavet tre scenarier for, hvad det vil koste at opretholde to velfungerende helikoptersystemer. De tre scenarier adskiller sig ved, hvor lang tid det forventes, at helikopterne holder. Det er i samarbejde med LE34 vurderet, at et halvt, et helt og to år er tre realistiske bud på, hvor længe helikopterne holder. Denne periode kaldes her for helikopterens levetid, og skal forstås som; *den gennemsnitlige tid en helikopter kan anvendes, før den skal udskiftes som følge af fatalt styrt eller almindelig slitage*. Udover anskaffelsesomkostningerne vil de årlige vedligeholdelsesomkostninger være afhængige af helikopternes levetid, da der ikke skal skiftes så mange dele på helikopterne, hvis man oftere skifter hele helikopteren. Derudover er der en række udgifter, der er de samme i alle tre scenarier.

Årlige omkostninger						
	Scenarie 1		Scenarie 2		Scenarie 3	
Gennemsnitlig levetid for helikopterne	½ års levetid		1 års levetid		2 års levetid	
Vedligeholdelse af udstyr	kr.	5.000	kr.	10.000	kr.	20.000
Årligt helikoptereftersyn	kr.	5.000	kr.	5.000	kr.	5.000
Vedligeholdelseslicens til PhotoModeler	kr.	2.400	kr.	2.400	kr.	2.400
Anskaffessomkostning pr. år	kr.	277.000	kr.	138.500	kr.	69.250
PhotoModeler (18.000 kr. over 10 år)	kr.	1.800	kr.	1.800	kr.	1.800
Årlige omkostninger i alt	kr.	291.200	kr.	157.700	kr.	98.450

Tabel 16.2: Oversigt over årlige omkostninger beregnet ud fra tre scenarier.

Inden det kan beregnes, hvad de samlede omkostninger i forbindelse med produktionen af et ortofoto vil være, skal timeforbruget ved en standardopgave estimeres. Estimatet laves på baggrund af erfaringer fra flyvning 1 og 2, og en standardopgave er her defineret som: *Produktion af højdemodel og ortofoto på baggrund af ca. 140 billeder i syv flyvelinjer*. Tiden, det tager at udføre en standardopgave, er uafhængig af hvilken højde, der flyves i, og dermed hvor stort et område, der bliver fotograferet. Timeprisen er i samarbejde med LE34 estimeret til 361kr og er et bud på, hvad det koster for firmaet at have en mand til at udføre opgaven. I dette beløb er medregnet timeløn og opretholdelse af firmafunktioner, der ikke genererer direkte indtjening. Timeomkostningen for landinspektørfirmaet er ca. 2.300 kr. for en standardopgave, hvilket er specificeret i tabel 16.3.

Timeomkostninger i forbindelse med en standardopgave			
Timepris for operatør	kr. 361		
Planlægning af flyvning	1,00	kr.	361
Klargøring i marken	2,00	kr.	722
Fotoflyvning	0,50	kr.	180
Databehandling på kontoret	3,00	kr.	1.083
I alt (afrundet)		kr.	2.300

Tabel 16.3: Oversigt over antal arbejdstimer for en standart opgave og prisen for dette.

I tabel 16.4 ses en beregning af den samlede udgift for firmaet ved løsning af en standardopgave. Den samlede omkostning er beregnet på baggrund af summen for timeomkostningerne og de årlige omkostninger til udstyr. Udgiften til udstyret er som nævnt afhængig af, hvor længe helikopteren holder, men den er også afhængig af hvor mange opgaver, der skal løses om året. I tabellen er der vist beregninger for tre forskellige antal opgaver pr. år. Sammen med de tre helikopterlevetider giver det ni forskellige bud på, hvad en standardopgave kommer til at koste firmaet.

Samlede omkostninger ved en standardopgave med helikopter						
	½ års levetid		1 års levetid		2 års levetid	
Betaling for udstyr (50 opgaver pr. år)	kr.	5.800	kr.	3.200	kr.	2.000
Omkostning ved opgave	kr.	8.100	kr.	5.500	kr.	4.300
Betaling for udstyr (100 opgaver pr. år)	kr.	2.900	kr.	1.600	kr.	1.000
Omkostning ved opgave	kr.	5.200	kr.	3.900	kr.	3.300
Betaling for udstyr (200 opgaver pr. år)	kr.	1.500	kr.	800	kr.	500
Omkostning ved opgave	kr.	3.800	kr.	3.100	kr.	2.800

Tabel 16.4: Oversigt over samlede omkostninger ved standardopgaver ved brug af helikopter og PhotoModeler. Alle de beregnede værdier er afrundede.

Er de estimerede omkostninger fornuftige, vil en standardopgave koste landinspektørfirmaet mellem 2.800 kr. og 8.100 kr. at udføre, alt afhængigt af hvor mange opgaver, der løses, og hvor længe helikopterne holder. Kunden vil skulle betale mere end omkostningerne, da firmaet sandsynligvis også er interesseret i en indtjening. For at kunne vurdere, om ortofotoproduktionen ud fra helikopterbilleder kan betale sig at udbyde som en service fra firmaet, laves en tilsvarende beregning for GPS-opmåling. GPS-opmålingen ses netop som ortofotoproduktionens største konkurrent i forbindelse med arkæologiske formål. Er de estimerede omkostninger for GPS-opmålingen i tabel 16.5 tilnærmelsesvis sande, vil den årlige omkostning for at have en funktionsdygtig GPS være 47.000 kr. Sandsynligheden for at GPS-enheden går fuldstændig i stykker ligesom helikopteren, er meget lille, og det er derfor ikke nødvendigt at opstille flere scenarier for de årlige omkostninger.

Omkostninger ved GPS		
Indkøb af GPS	kr.	150.000
Årlige omkostninger		
Vedligeholdelse af GPS	kr.	5.000
Afskrivning på GPS (5 år)	kr.	30.000
Abonnement på referencenet	kr.	12.000
I alt	kr.	47.000

Tabel 16.5: Oversigt over omkostninger i forbindelse med indkøb og brugen af en RTK-GPS.

For at kunne sammenligne GPS-målingen med ortofotoproduktionen, opstilles tre scenarier for opmålingen af et område, der også kunne laves ortofoto over. Afhængigt af, hvor detaljeret området er, skal der bruges varierende antal timer på opmålingen. I tabel 16.6 ses en beregning af, hvad det vil koste firmaet at have en medarbejder til at udføre opmåling i de tre scenarier. Omkostningerne til medarbejderen er på 361 kr., som ved ortofotoproduktionen

Omkostninger i forbindelse med en opgave med GPS		
Betaling af udstyr (200 opgaver pr. år)	kr.	235
Opmåling i 3 timer	kr.	1.100
Omkostning ved opgave	kr.	1.300
Opmåling i 10 timer	kr.	3.600
Omkostning ved opgave	kr.	3.800
Opmåling i 30 timer	kr.	10.800
Omkostning ved opgave	kr.	11.100

Tabel 16.6: Oversigt over omkostninger for opgaver løst med GPS. Værdierne over 1.000 kr. er afrundede.

Når omkostningerne for de to opmålingsmetoder, henholdsvis ortofotoproduktion og GPS-opmåling, sammenlignes, ses det, at GPS-opmålingen er langt billigere, når detaljeringsgraden er lav. For et område, der kan måles op på omkring tre timer, kan det altså ikke rent omkostningsmæssigt betale sig at lave et ortofoto. Det kan dog være, at nogle af de identificerede benefits gør ortofotoet attraktivt for kunden alligevel.

Tager GPS-opmålingen omkring 10 timer, er ortofotoproduktionen rentabel i ca. halvdelen af de ni scenarier i tabel 16.4. I tilfældet hvor GPS-opmålingen varer i nærheden af 30 timer, kan det i høj grad betale sig at lave et ortofoto i stedet for. Her vil der ligefrem være en besparelse.

Opsamling

Rentabiliteten af ortofotoproduktionen er afhængig af i hvor høj grad kunden er i stand til at udnytte potentialet i ortofotoet. Er kunden i stand til det, vil ortofotoet i en del tilfælde kunne betale sig, såfremt der skaffes tilstrækkeligt med opgaver i løbet af året. Ud fra dette perspektiv kan det godt betale sig at investere i helikoptersystemet. Det kræver dog

en vis risikovillighed at gå i gang, da et fatalt styrt kan forekomme. Ved at følge forskellige rutiner og oplære piloten grundigt, kan risikoen for fatale styrt mindskes, men den kan aldrig fjernes. LE34's erfaring er, at det er fornuftigt at regne med en levetid på et år i gennemsnit, og hvis helikopterne anvendes til forskellige opgaver, vil det være muligt at lave over 100 opgaver årligt.

Formår landinspektørfirmaet at udvide markedet for brugen af helikopteren, vil omkostningerne kunne nedbringes, så prisen for kunden vil kunne sættes længere ned, dermed kan firmaet muligvis opbygge en fornuftig forretning på baggrund af dette forholdsvis billige udstyr.

Der er ikke sat værdi på den tid det vil tage arkæologerne at digitalisere anlæg ud fra ortofotoene og heller ikke vurderet på den benefit der ligger i et informationsrigt billede som et ortofoto. Derudover kan der, alt efter situationen, være fortolkningsmæssige fordele eller udfordringer for arkæologerne ved brugen af ortofotos.

17 SWOT-analyse

Der er igennem rapporten beskrevet forskellige forhold, der skal tages højde for ved produktion af ortofotos ud fra billeder taget med et digitalt spejlreflekskamera fra en ubemandet helikopter. Det er beskrevet hvordan tre arkæologer vurderer anvendelsen af de fremstillede ortofotos, og der er præsenteret en cost/benefit analyse, som beskriver økonomiske forhold i anvendelsen af metoden. Herunder vil de vigtigste pointer fra alle afsnittene blive samlet ved hjælp af en SWOT-analyse, der kategoriserer styrker (strengths), svagheder (weaknesses), muligheder (opportunities) og trusler (threats) ved metoden.

Den gennemgåede metode beskrives her ved hjælp af opstilling af faktorer i tabel 17.1.

Styrker	Svagheder
<ul style="list-style-type: none"> - Nøjagtighed af ortofoto er på niveau med eller bedre end GPS - 3D-modeller - Nem måde at få et luftfoto på - Opmåling af utilgængelige områder - Produkt i høj opløsning 	<ul style="list-style-type: none"> - Mange små elementer skal spille sammen - Kort flyvetid - Helikopterens levetid - Begrænset tilgængelighed
Muligheder	Trusler
<ul style="list-style-type: none"> - Nye kunder - Nye forretningsområder - Udvikling af helikopterteknologi - Udbredt anvendelse af ortofotos 	<ul style="list-style-type: none"> - Vejret - Andre firmaer tilbyder samme service - Lovgivning

Tabel 17.1: Faktorer, der beskriver metoden overordnet i forhold til styrker, svagheder, muligheder og trusler. Dette er første del af en SWOT-analyse.

Faktorerne, som er angivet i tabel 17.1, viser en række styrker og svagheder, som henvender sig til selve metoden og dennes egenskaber. Umiddelbart er antallet af styrker større end antallet af svagheder. Svaghederne er faktorer, der i høj grad er taget i betragtning i metoden. De mange små elementer, som skal spille sammen for at metoden bliver en succes, kan løses ved huskelister og rutiner. En længere flyvetid kan forbedres med mindre kamera eller bedre batterier, som det forventes vil blive udviklet i nærmeste fremtid. Arkæologerne nævnte den begrænsede tilgængelighed af metoden som en svaghed, da der nemt kan gå nogle dage fra ortofotoet bestilles, til der rent faktisk foretages en overflyvning. I dette perspektiv vil arkæologerne muligvis vælge selv at tage nogle billeder, da det går hurtigere, selvom resultatet ikke er sammenligneligt med et ortofoto.

Faktorerne under ”muligheder” og ”trusler” er udefra kommende faktorer, der generelt er til fordel eller ulempe for anvendelsen af metoden. Heriblandt vurderes *vejret* at være den helt store trussel. Helikopteren er meget følsom overfor vind og regn, som er en faktor ingen er herre over, og som kan betyde, at opgaver må opgives, fordi vejr-situationen er for dårlig. Mulighederne *nye kunder* og *nye forretningsområder* er nogle faktorer, der skal fokuseres meget på fra et firmas side, da det sandsynligvis ikke vil være muligt at

skaffe tilstrækkeligt med opgaver af arkæologisk karakter. Til gengæld er der mange firmaer og myndigheder, som kender til anvendelsen af ortofotos, som muligvis ville kunne bruge opdaterede eller højopløselige ortofotos i deres arbejde. Truslen, at andre firmaer tilbyder samme service, er reel, og derfor kan der blive kamp om opgaverne, hvis der er mange udbydere af helikopterflyvningerne. (Skovmose, 2012) Som det blev beskrevet i cost/benefit analysen er det netop vigtigt at sikre sig et fornuftigt antal opgaver til helikopteren, da omkostningerne pr. opgave bliver højere jo færre opgaver, der skal løses. De udfordringer lovgivningen giver, er meget begrænsende i visse tilfælde, men de vil formentlig blive lempet, hvis de aktive firmaer beviser overfor Luftfartsvæsnet, at de ubemandede helikoptere ikke er til fare for omgivelserne.

18 Konklusion

Ved behandling af fotos fra en ubemandet helikopter og gennemførelse af en række forsøg, er det vist, at det er muligt at lave ortofotos i høj opløsning, der vil kunne anvendes i forbindelse med arkæologiske udgravninger. De fremstillede ortofotos er af acceptabel visuel kvalitet, der kan forbedres yderligere. Nøjagtigheden i de producerede ortofotos er tilfredsstillende, og i de bedste tilfælde er der opnået en spredning på under 1 cm på afstande optaget i de bedste ortofotos. Det kan generelt forventes en spredning på under 2 cm på målte afstande i ortofotos lavet ud fra fotos taget i højder lavere end 20 m.

Farveforskellen i ortofotoene vil evt. kunne forbedres ved at optage luftbilleder med en mere ens farvenuance, og der kunne foretages en form for billedbehandling i forhold til farveudjævning i de færdige ortofotos. Som nævnt er der utrolig mange små og simple ting, der skal være styr på, for at det er muligt at lave ortofotos, men det lykkedes i alle de tilfælde, det er forsøgt, og det vil være muligt at sikre succes ved anvendelse af faste procedurer.

I den forbindelse er det vigtigt at være omhyggelig med dataindsamlingen, for der skal ikke meget til, før det kan gå galt. En forkert indstilling af kameraet eller en misforstået kommunikation til piloten, kan resultere i ubrugelige billeder, hvilke måske opdages i marken eller i værste tilfælde først senere. Omhyggelighed og rutine vurderes derfor til at være vigtige elementer i at opnå et godt resultat hver gang.

Der er gjort en række erfaringer gennem udviklingen af metoden. F.eks. er det vigtigt, at indstillingerne på kameraet styres manuelt af piloten, for at have et så stabilt kamera som muligt, og at kameraopsætningen kontrolleres fra luften før de egentlige optagelser startes. Derudover er det fornuftigt at udføre manuel flyvning med "Hold-height"-funktion, da dette resulterede i de bedste flyveoptagelser. Dog kræver manuel flyvning stor opmærksomhed på sammenhængen mellem flyvehastighed og billedoptagelsessekvensen for at opnå tilstrækkeligt overlap i billederne. Enkeltbilledsoptagelse i stillestående helikopterposition kan ikke anbefales som en effektiv løsning. Endvidere ses der ingen tegn på, at en brændvidde på 10 mm giver et bedre resultat end brugen af en 18 mm eller 24 mm brændvidde.

Trods det, at udstyret, både helikopter, kamera og programmet PhotoModeler, ikke kan betegnes som professionelt fotogrammetrisk udstyr, må det konkluderes, at det nemt kan anvendes til at opnå et brugbart ortofoto. Helikopterens livlige manøvrer kunne tænkes at give rystede billeder, og det fotogrammetriske low-cost program, PhotoModeler, kunne tænkes ikke at være i stand til at orientere billederne effektivt og generere højdemodel. Begge formodninger kan dog afkræftes med dette projekt.

Arkæologernes begejstring for ortofotoene var tydelig under de gennemførte samtaler. Kvaliteten af ortofotoene er tilfredsstillende, da alternativet er opmåling med GPS, der ikke giver bedre nøjagtighed. Muligheden for at kunne digitalisere de arkæologiske anlæg ud fra ortofotoet er god, og muligheden for et overblikfoto af udgravningen er tiltalende for arkæologerne. Derimod vurderer arkæologerne kvaliteten af de egentlige fund

(stenøkser) til at være overraskende dårlig i forhold til forventningerne. Arkæologerne betegner metoden som en specialteknik, der sandsynligvis kun vil blive anvendt under særlige omstændigheder. Cost/benefit analysen viser, at rentabiliteten af ortofotoproduktion afhænger af kompleksiteten af et område. Er kompleksiteten lav, vil det være bedre at opmåle udgravningen med GPS. Om arkæologerne vil opfatte ortofotoet som et attraktivt produkt afhænger også af, om de er i stand til at udnytte ortofotoets muligheder og dets informationsrigdom.

Fra et firmas synspunkt, der evt. ønsker at investere i en helikopter og anvendelse af metoden, kræver det adskillige opgaver om året og rutineret personale, før det udgør et fornuftigt forretningsområde. For selvom metoden virker lige til, ses der stadig mange udfordringer. Risikoen for at helikopteren falder ned, er altid til stede, og om det sker efter 14 dage eller 3 år er ikke mulig at forudsige. Derudover spiller vejrforholdene en stor rolle for, hvor mange opgaver det er muligt at løse om året. En fordel for firmaet vil være at finde andre anvendelsesmuligheder, og dermed få et større kundegrundlag, for bedre at kunne udnytte helikopterens potentiale.

Alt i alt er konklusionen, at ubemandede helikoptere kan anvendes til produktion af ortofotos i høj opløsning, og at metoden har potentiale til mange anvendelser blandt andet til arkæologiske formål.

19 Perspektivering

Det er påvist, at det er muligt at fremstille ortofotos af billeder taget fra en ubemandet helikopter i lav højde, og at anvendelsen af systemet i forbindelse med de arkæologiske udgravninger er gangbar i nogle situationer. Nu stiller spørgsmålene sig så i kø - for hvordan kan metoden forbedres og optimeres, og i hvilke andre situationer metoden kan anvendes? Det gives der bud på her.

Optimering

Det er ofte muligt at øge indtjeningen ved at optimere på processerne, og det vil også være tilfældet med den præsenterede metode. Der er en del arbejdstid for operatøren, og der er en del beregningstid for PhotoModeler, før de indsamlede billeder er lavet til et ortofoto. Denne tid ville muligvis kunne gøres kortere ved anvendelse af Dynamic Data Exchange (DDE) kodning, der giver mulighed for at programmere nogle rutiner. DDE-kodning er en standard måde for programmer at kommunikere med hinanden på i Windows. Det vil f.eks. være muligt at programmere nogle rutiner for opstart af projekt, generering og udtynding af højdemodel samt generering af ortofotos. Disse rutiner kan dog ikke erstatte de menneskelige vurderinger, der skal foretages løbende i databehandlingen af billederne.

Planlægningen forud for en flyvning vil kunne effektiviseres ved anvendelsen af et program, der beregner flyvehøjde, flyvelinjeseparering og optagefrekvens ud fra ønsket GSD og brændvidde.

En anden måde hvorpå helikopterens potentiale vil kunne optimeres, kunne være ved at montere andre sensorer. Påsættes en bedre GPS, vil det givet vis være muligt at orientere billederne hurtigere ud fra GPS-positionerne. Endvidere er der en mulighed for at montere f.eks. termografisk udstyr, laserscanner, kamera, der optager i flere bånd, eller andre sensorsystemer for at udvide helikopterens brug.

Udviklingen

Udviklingen indenfor billige fotogrammetriske programmer bevæger sig i en positiv retning. I 2009 skrev Eisenbeiss (2009 s. 97) at PhotoModeler kun var i stand til at orientere billeder på baggrund af manuelle målinger. I versionen, der er tilgængelig i 2012, er det både muligt at orientere billeder ud fra RAD-punkter, som PhotoModeler selv finder i billederne, og orientere billederne ved hjælp af SmartPoints-funktionen, hvor der ikke anvendes signalerede punkter. Forsætter denne udvikling, vil PhotoModeler formentlig blive et endnu stærkere alternativ til fuldprofessionelle programmer i løbet af få år. Tilgængeligheden og funktionaliteten af de ubemandede helikoptere udvikler sig også hele tiden, dels bliver helikopterne billigere og bedre, og dels bliver programmerne til at styre helikopterne med bedre. Anskaffelsen af helikopter og program til opmålingsmetoden vil altså fremover være en mere sikker investering.

Fotomosaikker

Fremstillingen af ortofotos giver arkæologen eller anden bruger et materiale til grundig dokumentation eller analyse af et givent areal. Men en gang imellem kunne et langt simpere produkt være ønskeligt. Særligt for arkæologerne vurderes det at være nyttigt med luftfotomateriale løbende, mens de arbejder i udgravningerne. Kravet til et sådan produkt vil nærmest udelukkende være, at det er fremstillet hurtigt og er nemt at tage med i marken. Det ville være muligt blot at tage et foto fra tilpas stor flyvehøjde og printe det ud, men hvis det skal være i høj opløsning, vil dette ikke fungere. I stedet vil det være muligt at lave en fotomosaik, hvor billederne ikke bliver rettet op over en højdemodel, men blot bliver hæftet sammen. Kravene til billedmaterialet er ikke nær så store som til ortofotoproduktion, da billederne ikke behøver særlig meget overlap for at blive hæftet sammen. Der findes en del gratis programmer til at sammenhæfte billeder, optaget fra ét punkt, med, og det må således også være muligt at skaffe software, der kan sammenhæfte lodbilleder.

Fordelen ved en fotomosaik vil være, at den er hurtig at fremstille og vil dermed hurtigt kunne give kunden et detaljeret luftfotomateriale til at danne sig et overblik ud fra. Sammenlignet med luftbilleder optaget fra F16-fly, må oversigtsbilleder fra en helikopter kunne give en noget bedre opløsning i billederne.

19.1 Andre anvendelsesområder

Ortofotos anvendes mange steder i dag og vil kunne bruges endnu flere steder, hvis de kan laves i højere opløsning og på kortere tid, som det er muligt ved hjælp af ubemandede helikoptere. Her præsenteres nogle oplagte anvendelsessituationer for helikopteren, både med hensyn til ortofotos og andre produkter.

- **Opdatering af fly-ortofotos ved flyvning i stor flyvehøjde, hvis flyvetiden udvides**
Det kunne måske i nogle tilfælde være interessant at få helt opdaterede ortofotos over et mindre specifikt område til f.eks. projekteringsarbejde.
- **Fotografering af forsyningsledninger**
For at undersøge om der er utætheder på fjernvarmeledninger, ville det være muligt at lave overflyvninger af ledningerne og lave optagelser med et termografisk kamera.
- **Minedrift i Grønland**
Forud for anlægningen af miner, hvor der skal etableres forskellige faciliteter og nye veje, vil en ubemandet helikopter være velegnet til at lave et opdateret ortofoto, da det vil være dyrt at flyve en almindelig fotoflyver til Grønland.
- **Kontrol af åløb og åbræmmer**
Overflyvning af åer for at kontrollere om bredden af åbræmmer overholdes. Eller for at kontrollere åløbets tilstand i oversvømmede områder
- **Udbytte af landbrugsarealer**
Luftbilleder vil kunne give et overblik over, hvordan plantevæksten varierer på større landbrugsarealer, hvis der optages billeder med forskellige bånd.
- **Minerydning**

Det vil være muligt at flyve ind i mineområder og rekognoscere området, før der sættes maskiner ind til minerydningen.

- **Løbende opfølgning på byggeri på byggeplads**

Det kunne være interessant løbende at få et ortofoto over en byggeplads, for at kontrollere fremdriften eller evt. kontrollere koterne i et vejprojekt.

- **Volumenberegning af grusgrave**

Helikopteren vil kunne anvendes til volumenberegning af grusgrave eller store bunker med jord, kul, korn osv.

- **Fladenivellementer**

Ønskes et fladenivellement af fast grund, vil billeder fra helikopteren kunne løse dette. Drejer det sig om bevoksede områder (græsenge, marker og andet) vil helikopteren kun være egnet i begrænset omfang, da det er vanskeligt at måle højden på terrænet, hvis det er dækket af et 50 cm højt afgrøde.

- **Utilgængelige steder**

Det er muligt at optage billeder med helikopteren over områder, hvor det ikke fysisk er muligt at komme tæt på de ønskede objekter. Det kræver dog, at objekterne er tilgængelige for helikopteren. F.eks. er flyvning inde i beplantede områder ikke så godt.

- **Oversvømmelser**

Ved oversvømmelser kan det måske være svært at skabe et overblik over hvor omfattende det er. Dette vil kunne løses ved billeder optaget fra den ubemandede helikopter.

- **Ortofotos for områder, hvor der ikke allerede eksisterer datamateriale**

F.eks. i katastrofeområder hvor der hurtigt skal oprettes flygtningelejre, og der mangler et detaljeret datamateriale til planlægning, kan helikopteren anvendes til at skaffe det nødvendige datamateriale i form af ortofotos.

20 Litteraturliste

Ackermann, C. 1966. On the theoretical accuracy of planimetric block triangulation. *Photogrammetria*. Jun. 6, 1966.

Altan, M. O., et al. 2003. Balloon photogrammetry for cultural heritage. 2003.

Beck, Malene R. 2008. *Bygherrerapport nr. 38, SOM 00087 Højensvej Høj 7*. s.l. : Svendborg Museum, 2008.

Berhel, James S., McGlone, J. Chris og Mikhail, Edward M. 2001. *Introduction to Modern Photogrammetry*. 2001. ISBN: 0-471-30924-9.

BL 9-04. 2004. *Bestemmelser om luftfart med ubemandet luftfartøjer, som ikke vejer over 25 kg*. s.l. : Statens Luftfartsvæsen - Bestemmelser for civil luftfart, 2004. 3. udgave.

Buch, Søren. 2005. Ortofoto. *Perspektiv*. 2005, nr. 8.

Canon (1). 2012. Canon EOS 550D. [Online] 5. mar. 2012.
http://www.canon.dk/For_Home/Product_Finder/Cameras/Digital_SLR/EOS_550D/index.aspx?specs=1.

Canon (2). 2012. Canon EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 IS II. [Online] 5. mar. 2012.
http://www.canon.dk/For_Home/Product_Finder/Cameras/EF_Lenses/Standard_Zoom/EF-S_18-55mm_f3.5-5.6_IS_II/index.aspx?specs=1 <http://tamron.dk/>.

Canon (3). 2012. EOS Integrated Cleaning System. [Online] 5. mar. 2012.
http://www.canon.dk/For_Home/Product_Finder/Cameras/Digital_SLR/Technologies_Features/Self-Cleaning.asp.

Canon (4). 2012. Billedstabilisering. [Online] 5. mar. 2012.
http://www.canon.dk/For_Home/Product_Finder/Cameras/EF_Lenses/Image_Stabilizer.asp.

Canon (5). 2012. AF System. [Online] 5. mar. 2012.
http://www.canon.dk/For_Home/Product_Finder/Cameras/Digital_SLR/Technologies_Features/AF_System.asp.

Cederholm, Peter. 2000. *Udjævning*. 2. udgave, 1. revision. 2000.

Den Danske Ordbog. 2012. Det Danske Sprog- og Litteraturselskab. *Helikopter*. [Online] 3. maj 2012. www.ordnet.dk.

Eisenbeiss, Henri og Sauerbier, Martin. 2011. Investigation of UAV system and flight modes for photogrammetric applications. *The Photogrammetric Record*. Dec., 2011.

Eisenbeiss, Henri. 2009. *UAV Photogrammetry*. Zurich : Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, 2009. ISBN: 978-3-906467-86-3.

Eriksen, Palle og Mauritsen, Esben Schlosser. 2012. Hulbælter - en "ny", lang og farlig type anlæg fra ældre jernalder. [forfatter] Peter Carstensen, et al. *Opdatering, Årbog for Museet for Varde By og Omegn & Ringkøbing-Skjern Museum 2011*. 2012.

Geoforums Ortofotoudvalg. 2011. Vejledning for ortofotos. 1. udgave, jan. 2011.

Gesafidis, S., et al. 1999. Digital orthophotography in archaeology with low-altitude non-metric images. *International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing*. 1999.

Gold, Dr. Christopher, Li, Dr. Zhilin og Zhu, Dr. Qing. 2005. *Digital Terrain Modeling, Principles and Methodology*. 2005. ISBN: 0-415-32462-9.

Hansen, Lone, Holm-Rasmussen, Søren og Jensen, Jens Ocksen. 2003. *Erhvervsøkonomi til Akademiuddannelserne*. 1. udgave, 2. oplag. 2003. ISBN:87-7675-095-7.

Jayasuriya, H. P. W., Swain, K. C. og Thomson, S. J. 2010. Adoption of an unmanned helicopter for low-altitude remote sensing to estimate yield and total biomass of a rice crop. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 2010.

Kraus, Karl. 2007. *Photogrammetry - Geometry from images and laser scans*. 2. udgave. s.l. : Walter de Gruyter, 2007. ISBN: 978-3-11-019007-6.

Lauridsen, O. Brandes. 1993. *Fotogrammetri*. 9. udgave. s.l. : Aalborg Universitetscenter - Lab. for Fotogrammetri og Landmåling, 1993. ISBN: 87-89088-53-0.

Modelflyvning Danmark. 2012. Trafikstyrelsen - lovgivning om modelflyvning BL 9.4. *Luftfartsloven ned på jorden*. [Online] 30. jan. 2012.
<http://www.modelflyvning.dk/foreningsinfo/trafikstyrelsen---lovgivning-om-modelflyvning-bl-94/luftfartsloven-ned-paa-jorden.aspx>.

Museumsloven. 2006. *LBK nr. 1505*. 2006. Kulturministeriet.

Pedersen, Jens Møller og Winding, Poul. ukendt. *Noter i fejlteori*. ukendt.

PhotoModeler. 2011. *PhotoModeler Help File*. 2011. PhotoModelers hjælpefunktion er kun tilgængelig ved download af programmet.

Rindel, Lektor Per Ole. 2008. SAXO - Institutet - Arkæologi, Etnologi, Historie og Græsk og Latin. *Fotograferet*. 2008.

Savoy, Mark. 2012. SmartPoints and Target Points Project. 2012. mailkorrespondance fra d. 7. maj 2012, se bilag CD7.

Skovmose, Jessica. 2012. tv2øst. *Drone skal landopmåle*. [Online] 4. jun 2012. dato for artikel: 13 mar. 2012. <http://www.tv2east.dk/artikler/drone-skal-landopmaale>.

Svendborg Museum. 2012. Arkæologernes arbejde. *Sådan begynder en arkæologisk udgravning. Når levn, fund og spor dukker op*. [Online] 15. mar. 2012.

http://www.svendborgmuseum.dk/index.php?option=com_content&task=view&id=196&Itemid=243.

Tamron. 2012. Objektiver. *Ultra vidvinkelobjektiv, SP AF10-24mm F/3.5-4.5 Di II LD Asfærisk [IF]*. [Online] 5. mar. 2012. <http://tamron.dk/>.

Tybjerg, Casper. 2008. *Fototeknik*. 1. udgave, 2. oplag. s.l. : Click, 2008. ISBN: 978-87-991626.

Aaris-Sørensen, Kim, et al. 1977. *Vedbækprojektet, I marken og i museerne*. s.l. : Historisk-topografisk selskab for Søllerød Kommune, 1977. Foto af Povl Merløe. ISBN: 87-87113-19-8.

Interviews

Interview maj 2012:

Personer: Undervisningsadjunk Pernille Foss og Lektor Per Ole Rindel

Dato: d. 29. maj 2012

Sted: SAXO - Institutet - Arkæologi, Etnologi, Historie og Græsk og Latin

Interview feb. 2012:

Personer: Museumsinspektør Lars Ewald Jensen

Dato: 23. februar 2012

Sted: Museum Lolland-Falster

Fotos fra ubemandet helikopter

- beskrivelse af metode til produktion af ortofotos over arkæologiske udgravninger

Appendiks og bilag



Ubemandet helikopter med digitalt spejlrefleks kamera



Skråfoto fra arkæologisk fladeudgravning



Ortofoto over arkæologisk fladeudgravning

Afgangsprojekt ved Landinspektøruddannelsen

Measurement Science

Pia Louise Rasmussen og Rasmus Klog

Foråret 2012 – Aalborg Universitet

Indholdsfortegnelse

Appendiks A	Forsøg og kontroller.....	3
App. A 1	Forsøg 1: Undersøgelse af flyvehøjde og billedkvalitet.....	4
App. A 1.1	Forskel i flyvehøjde	4
App. A 1.2	Forskel i kameraindstillinger	8
App. A 1.3	Undersøgelse af automatisk genfindning af RAD-punkter.....	10
App. A 2	Forsøg 2: Undersøgelse af kalibreringsmetoder	11
App. A 2.1	Indsamling af kalibreringsbilleder	11
App. A 2.2	De tre kalibreringsmetoder	12
App. A 2.3	Beregnete kalibreringsparametre for 18 mm brændvidde.....	15
App. A 2.4	Beregnete kalibreringsparametre for Tamron 10-24 mm objektiv.....	17
App. A 2.5	Kalibreringskurver	18
App. A 2.6	Korrektionsvektorer.....	18
App. A 2.7	Opsamling.....	20
App. A 3	Forsøg 3: Undersøgelse af metode til orientering af billeder.....	21
App. A 3.1	Samlet vurdering af de tre metoder.....	22
App. A 4	Forsøg 4: Undersøgelse af orienteringernes kvalitet.....	24
App. A 4.1	PhotoModelers angivelse af kvalitet.....	24
App. A 4.2	Sammenligning af modelkoordinater med totalstationsmålinger	25
App. A 5	Forsøg 5: Kontrol af højdemodeller.....	27
App. A 5.1	Kontrol af højdemodel op imod kontrolpunkter	27
App. A 5.2	Sammenligning af højdemodeller.....	28
App. A 6	Produktion og kontrol af ortofotos.....	30
App. A 6.1	Visuel kontrol og vurdering.....	31
App. A 6.2	Kontrol af de producerede ortofotos nøjagtighed	41
Appendiks B	PhotoModelers beregningsteknik.....	44
App. B 1	Beregningsfunktioner.....	44
App. B 2	PhotoModelers udjævningsteknik.....	45
App. B 3	Vurdering af udjævning	47
App. B 4	Absolut orientering	48
App. B 4.1	Fremgangsmåde og erfaringer	49
Appendiks C	Introduktion til ortofoto	50
App. C 1	Teori vedr. generering af ortofoto.....	50
App. C 1.1	True ortofoto.....	52

Appendiks A

Forsøg og kontroller

Ud fra de forskellige billedserier, der er optaget med helikopteren, er der udarbejdet en række forsøg, der har bidraget med erfaring til udvikling af metoden til produktion af ortofotos til arkæologiske formål. Forsøgene benytter visuelle undersøgelser af, hvad der kan ses i billederne, undersøgelser af forskellige fremgangsmetoder i PhotoModeler, samt forskellige sammenligninger af produkterne og med kontrolpunkter. Billedserierne, forsøgene bygger på, er beskrevet i bilag 2 bilag 10.

Forsøgene der er beskrevet i dette appendiks er:

- **Forsøg 1: Undersøgelse af flyvehøjde og billedkvalitet**
Beskrivelse af kvaliteten af billeder optaget i forskellige højder og med forskellige kameraindstillinger. Det undersøges i hvilken højde RAD-punkter kan måles automatisk.
- **Forsøg 2: Undersøgelse af kalibreringsmetoder**
Der udføres tre forskellige kalibreringer, som sammenlignes, og der vurderes på de enkelte objektivers linsefortegninger.
- **Forsøg 3: Undersøgelse af metode til orientering af billeder**
- En billedserie orienteres på flere måder, metoderne sammenlignes og det vurderes hvilken metode, der er optimal i denne sammenhæng.
- **Forsøg 4: Undersøgelse af orienteringernes kvalitet**
Der laves en sammenligning af orienteringernes modelkoordinater op imod kontrolpunkter, der er indmålt med totalstation.
- **Forsøg 5: Kontrol af højdemodeller**
Der foretages en kontrol af højdemodellerne genereret ud fra forskellige billedserier. Kontrollen bygger på sammenligning med kontrolpunkter, der er indmålt med totalstation og indbyrdes sammenligning af højdemodellerne.

Resultaterne af disse forsøg er i flere tilfælde anvendt i rapporten, som argumentation for eller forklaring på valg eller hændelser. Efter beskrivelsen af de fem forsøg, præsenteres en række producerede ortofotos, der også er kontrolleret med hensyn til deres nøjagtighed.

App. A 1 Forsøg 1: Undersøgelse af flyvehøjde og billedkvalitet

Ved fastholdelse af brændvidde er det flyvehøjden der har betydning for, hvad der kommer med på billedet, dvs. hvor stor footprintet på jorden er. Et andet udtryk, for hvad der kommer med på billedet, er ground sample distance (GSD), der afhænger af footprintet og antallet af pixels i billedet. Derudover har flyvehøjden i samspil med andre parametre en betydning for, hvad der kan ses i billederne af f.eks. farvenuancer, genstande og anvendelsen af RAD-punkter. Der vil her blive set på billeder, der er fotograferet i forskellig flyvehøjde og med forskellige kameraindstillinger, for på den baggrund at vurdere kvaliteten og anvendeligheden af billederne.

Det vigtige for arkæologerne i en sådan undersøgelse er, at farveforskellene i jorden er tydelige. Farveforskelle er det arkæologerne ser efter, når de søger efter spor af stolpehuller, affaldshuller el. lign., og derfor er det et vigtigt, at de fremstår tydeligt. Mørkfarvninger i jorden, som arkæologerne mener, er spor efter bygninger el. lign., rides i deres omkreds, så det er nemmere at skelne farvenuancerne. Foruden disse rids er det vigtig at forhistoriske objekter, som f.eks. stenøkser, fremstår tydeligt, så det er muligt at registrere disse.

Datagrundlaget for undersøgelsen er billedserie 6, der består af billeder optaget med ca. 5 m interval, mens helikopteren er steget lodret til vejrs. Alle angivne flyvehøjder er ca. flyvehøjder for denne serie. Derudover ses der på billeder fra to forskellige flyveområder og på billeder der er fotograferet med forskellige kameraindstillinger.

App. A 1.1 Forskel i flyvehøjde

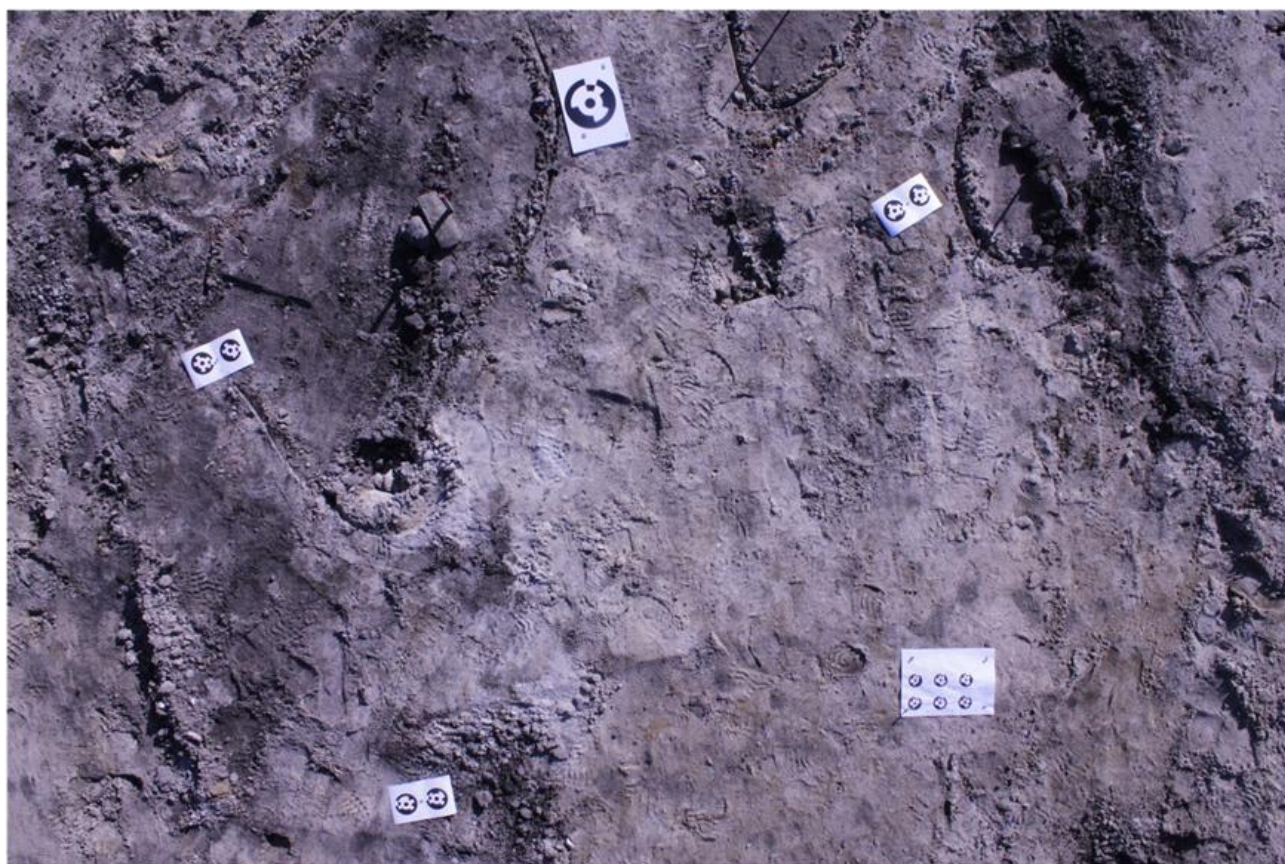
Der gives her eksempler på, hvordan forskellige objekter og anlæg fremstår i billederne optaget fra forskellige flyvehøjder.

Flyvehøjde ca. 5 m: Det første billede, der ses på, er optaget fra ca. 5 m flyvehøjde. I billedet (se figur A 1.1) ses arkæologernes rids omkring nogle små træpinde tydeligt, mens farveforskellene indenfor og udenfor ridsene ikke i alle tilfælde er lige tydelige. Dette gælder især for ridsen i øverste højre hjørne af billedet. Det er tydeligt, at nogle personer har gået rundt i udgravningen, da hele eller dele af fodspor ses tydeligt flere steder. De udlagte RAD-punkter ses fint og skarpt i billedet og stenøksten, som ligger indenfor det venstre omrids lige op af en markeringspind, ses også tydeligt i billedet. Når der zoomes ind på stenøksten, kan der ses flere detaljer på denne (se figur A 1.2), som f.eks. afmærkninger i stenen, efter at stenflager er slået af.

Det vurderes, at billedet har en rigtig god kvalitet for arkæologerne, da forhistoriske objekter og anlæg tydeligt ses, når blot der er rids omkring af anlæggene.



Figur A 1.1: Billede optaget i ca. 5 m flyvehøjde, med 18 mm brændvidde, lukkertid 1/800 s, blændeværdi på f/13, samt en ISO-værdi på 640. Samme billede som i figur A 1.1, hvor der blot er zoomet ind på stenøksen.



Figur A 1.2: Billede optaget i ca. 5 m flyvehøjde, med 18 mm brændvidde, lukkertid 1/800 s, blændeværdi på f/13, samt en ISO-værdi på 640.

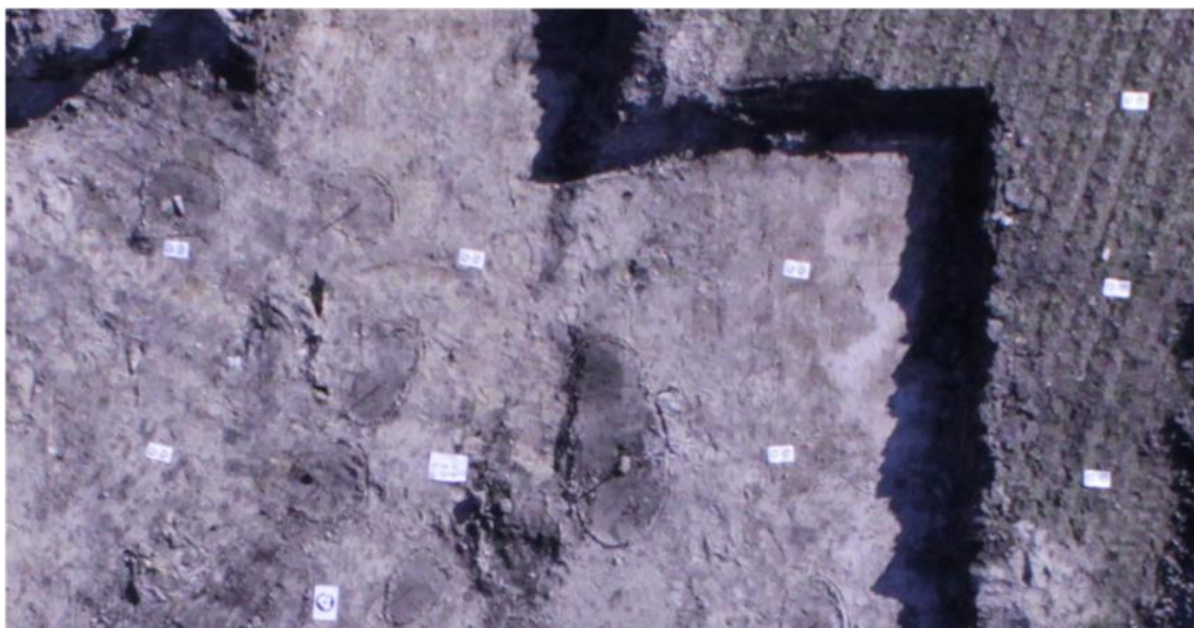
Flyvehøjde ca. 10 m: Figur A 1.3 er et udsnit af et billede taget i ca. 10 m højde, og billedet har et større footprint på jorden end billedet optaget fra 5 m højde. På figur A 1.3 er der zoomet ind på den samme stenøkse, som blev vist i figur A 1.2 ovenover. Det ses, at stenøkse og RAD-punkterne er en smule mere uskarpe end i billedet fra 5 m. Kameraindstillingerne er ens, og dermed er flyvehøjden den eneste forskel i optagelsen af billederne. Det er stadig muligt at se ridserne i jorden, som angiver et interessant område for arkæologerne, og ridserne er vigtige, da farveforskellene er lidt svære at skelne imellem.



Figur A 1.3: Billede optaget i ca. 10 m flyvehøjde, med 18 mm brændvidde, lukkertid 1/800 s, blændeåbning på f/13, samt en ISO-værdi på 640. Der er zoomet ind på stenøkse.

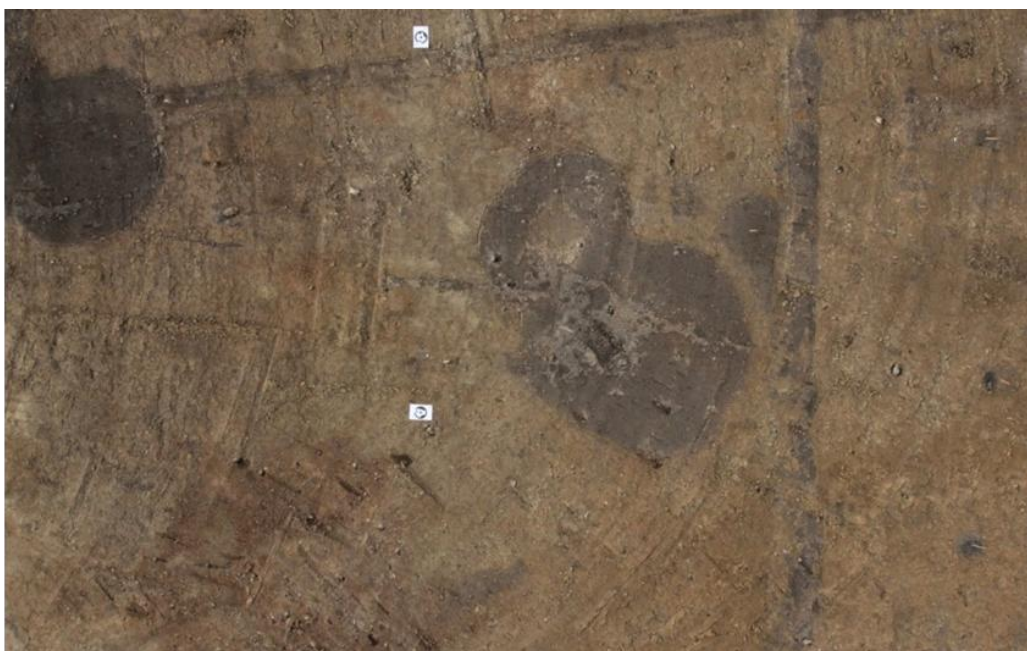
Flyvehøjde ca. 20 m: Eksempler på billeder fra ca. 20 m højde kan ses i bilag 6 og eksempler på genstande, der er zoomet ind på kan ses i figur A 1.6 i afsnit *App. A 1.1 Forskel i kameraindstillinger*. Det viser sig ikke overraskende, at detaljeringsgraden falder i takt med at flyvehøjden stiger.

Flyvehøjde ca. 40 m: På et billede optaget i ca. 40 m højde (se bilag 6), er det muligt at se tre søgegrøfter på samme billede. Dette giver et overblik, der kan bruges til at sammenligne fund i flere nabosøgegrøfter. RAD-punkterne er umiddelbart ikke nemme at se, men det er muligt at se, at de er lagt ud i et grid. Zoomes der yderligere ind i billedet, som det ses i figur A 1.4, er det stadig muligt at genkende de rids, som arkæologerne har lavet omkring farvenuancerne i jorden. Dog vurderes det, at det er nødvendigt, at der er foretaget en opridsning af de interessante steder, før det er muligt at genfinde alle disse i billeder fra 40 m højde. På det forstørrede område ses det også, at RAD-punkterne er så udtværede, at de er svære at definere midten af.



Figur A 1.4: Billede optaget i ca. 40 m flyvehøjde, med 18 mm brændvidde, lukkertid 1/800 s, blændeværdi på f/13, samt en ISO-værdi på 1000. Der er zoomet i billedet.

Billederne, der er vist på denne og de foregående sider, er optaget over samme område og er generelt meget grå i farverne. Det kan i nogle tilfælde være svært at se, at billederne er optaget i farver. De grå nuancer skyldes lysforholdene og jordfarven i dette tilfælde. Billedet der ses i figur A 1.5 er optaget over et helt andet område, og farvenuancerne ser meget anderledes ud. De er meget mere brunlige og farveforskellene i jorden fremstår tydeligere, mens ridserne i jorden er knap så fremtrædende. Selv når der zoomes ind i billederne, fremstår ridserne ikke særlig tydeligt, men RAD-punkterne ser nogenlunde skarpe ud (se billede i bilag CD2).

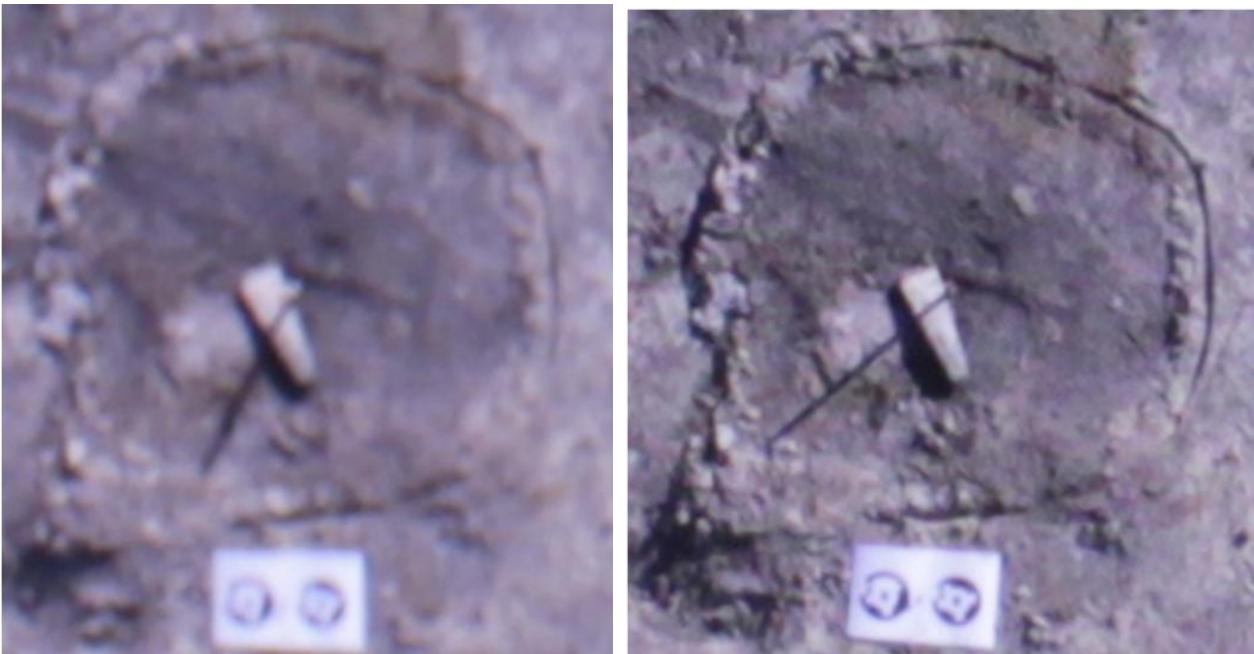


Figur A 1.5: Billede optaget i ca. 17 m flyvehøjde, med 24 mm brændvidde, lukkertid 1/100 s, blændeværdi på f/16, samt en ISO-værdi på 2000. Der er zoomet i billedet. Billedet ses også i bilag CD2 (serie 10, billede 6793)

Generelt gør en højere flyvehøjde, at færre detaljer i billederne kan ses. Det betyder også, at jo højere der flyves jo sværere er det at se og definere RAD-punkterne i billederne. Forhistoriske objekter bliver utydelige at skelne fra andre sten og jordknolde, mens mørkfarvningerne godt kan ses fra større flyvehøjde. Billederne fra de store flyvehøjder bidrager således med information på et mere overordnet plan.

App. A 1.2 Forskel i kameraindstillinger

Kvaliteten af billederne afhænger ikke kun af flyvehøjden, men også af hvordan kameraet er indstillet. I bilag 5 ses et eksempel på to billeder, der er optaget i nogenlunde samme flyvehøjde og dækker nogenlunde det samme område. Blændeværdien er ikke den samme for de to billeder, mens lukkertiden er ens og ISO-værdien er justeret automatisk af kameraet. Brændvidde og fokusafstand er også det samme for de to billeder. Overordnet er der ikke den store forskel i billederne, når de iagttages i fuld størrelse. Til gengæld ses forskellene tydeligt, når der zoomes ind i billederne, som det er vist i figur A 1.6.



Figur A 1.6: Billedet til venstre er optaget i ca. 20 m flyvehøjde, med 18 mm brændvidde, lukkertid 1/800 s, blændeværdi på f/4, samt en ISO-værdi på 100. Der er zoomet ind på en stenøkse og et par RAD-punkter. Billedet til højre er optaget i ca. 20 m flyvehøjde, med 18 mm objektiv, lukkertid 1/800 s, blændeværdi på f/13, samt en ISO-værdi på 1000. Der er zoomet ind på den samme stenøkse og et par RAD-punkter.

Billedet til venstre har en lav blænde- og ISO-værdi, mens disse værdier begge er højere for billedet til højre. Forskellen i indstillingerne gør, at billedet med høj blændeværdi er en del skarpere end billedet med lav blændeværdi. Flyvehøjden gør, at det ikke er muligt at se detaljer på selve stenøkseen, men den ridsede cirkel i jorden fremstår skarpere, og enkelte jordknolde ses tydeligere i billedet til højre. Derudover fremstår RAD-punkterne skarpere i billedet til højre. Denne skarphed har sandsynligvis stor betydning for, om RAD-punkterne kan genfindes automatisk i PhotoModeler eller ej. Samtidig er skarpheden i billederne vigtig for arkæologerne, for at de er i stand til at få så meget information ud af billederne som muligt.

Generelt er der ikke observeret billedvandring eller rystelser i billedserierne, der er optaget med en lukkertid på $1/800$ s eller mindre. Dette er gældende uanset om helikopteren blev forsøgt holdt stille i luften under eksponering eller helikopteren bevidst var i bevægelse. Kun i billedserie 12 og 13, hvor lukkertiden ved en fejl blev sat til $1/40$ s, ses der tydelig billedvandring. I figur A 1.7 ses et eksempel på dette, hvor der er zoomet ind på et par RAD-punkter.



Figur A 1.7: I billedet ses billedvandring især på de hvide ark papir, der udgør RAD-punkter. Billedet er optaget i ca. 56 m højde, med 24 mm brændvidde, lukkertid $1/30$ s, blændeværdi på $f/22$, samt en ISO-værdi på 200, mens helikopteren fløj. Der er zoomet i billedet.

Efter at have studeret forskellige billeder kan det konkluderes, at man bør lave en prøveflyvning før selve flyvningen af det ønskede område, for at sikre at kameraindstillingerne i forhold til lysforhold er så optimale som mulig. Ved at udføre en prøveflyvning er chancen for at få skarpe og brugbare billeder større.

App. A 1.3 Undersøgelse af automatisk genfindning af RAD-punkter

PhotoModeler kan genfinde RAD-punkter automatisk i billederne, og dette kan anvendes til forskellige ting i databehandlingen. Det er derfor relevant at undersøge, fra hvilken flyvehøjde det er muligt for PhotoModeler at genfinde disse RAD-punkter, der er udlagt i tre forskellige størrelser på jorden. Der er udført en automatisk markering/genfindning af RAD-punkterne i billeder optaget i forskellige flyvehøjder med 18 mm brændvidde, og resultatet heraf kan ses i tabel A 1.1.

Flyvehøjde	Genkendt RAD-punkter			RAD-punkter i alt	Genkendt RAD-punkter efter manipulering		Diameter målt i pixels
	Punkt str.	A	IA		A	IA	
5m	35 mm:	1	0	35 mm: 1	1	0	29,3 pixels
	15 mm:	5	0	15 mm: 6	6	0	12,6 pixels
	6 mm:	6	0	6 mm: 6	6	0	5,0 pixels
10m	35 mm:	1	0	35 mm: 1	1	0	14,6 pixels
	15 mm:	11	5	15 mm: 24	17	6	6,3 pixels
	6 mm:				1	0	2,5 pixels
15m	35 mm:	1	0	35 mm: 1	1	0	9,8 pixels
	15 mm:	1	1	15 mm: 56	1	4	4,2 pixels
20m	35 mm:	1	1	35 mm: 2	1	1	7,3 pixels
	15 mm:	0	0	15 mm: 58	0	0	3,1 pixels
25 m	35 mm:	3	2	35 mm: 9	4	3	5,9 pixels
30 m	35 mm:	0	1	35 mm: 12	1	1	4,9 pixels
35 m	35 mm:	0	0	35 mm: 12	1	0	4,2 pixels
40 m	35 mm:	0	0	35 mm: 16	1	0	3,7 pixels

Tabel A 1.1: Tabellen viser hvor mange RAD-punkter PhotoModeler automatisk kunne finde i billederne optaget i forskellige højder. A står for afkodet, og IA står for ikke-afkodet.

Undersøgelsen viste, at når flyvehøjden nåede 30-40 m, var PhotoModeler kun i stand til at genkende meget få RAD-punkter i billedet. I denne højde bliver RAD-punkterne så små, at de ikke kan findes automatisk. Muligheden for at genfinde RAD-punkter i billederne forbedres dog en smule, når billederne bliver manipuleret i farverne, så RAD-punkterne fremstår tydeligere. Resultatet, af fundne RAD-punkter efter manipulering af farverne i billedet, kan ses i tabel A 1.1. Trods manipulering med billederne er antallet af genfundne RAD-punkter for billeder i flyvehøjde over 25 m ikke imponerende. RAD-punkter med en størrelse på 35 mm eller ca. 6 pixels i billedet kan altså ikke anvendes, når der flyves over denne højde.

App. A 2 Forsøg 2: Undersøgelse af kalibreringsmetoder

I PhotoModeler er der en standardiseret metode til at kalibrere kameraer, der skal anvendes til fotogrammetriske projekter. Metoden benytter sig af kalibreringsark med fem RAD-punkter på hver. Kalibreringsarkene fotograferes fra forskellige vinkler og importeres i et kalibreringsprojekt. I nogle tilfælde er det ikke muligt at kalibrere ved hjælp af et kalibreringsprojekt, hvis PhotoModeler eksempelvis har svært ved at genkende RAD-punkterne automatisk. I disse tilfælde kan det være nødvendigt at lave en feltkalibrering ("Field calibration"), hvis der er et fornuftigt billedmateriale til rådighed. I dette forsøg undersøges det, hvordan forskellige procedurer for fremstilling af kalibreringsgrundlag i PhotoModeler adskiller sig fra hinanden. Det er de samme kalibreringsparametre PhotoModeler er indstillet til at beregne i de forskellige tilfælde, ligesom datamaterialet er de samme billeder indeholdende kalibreringsark.

App. A 2.1 Indsamling af kalibreringsbilleder

I forbindelse med fotoflyvningerne er der i marken taget billeder til brug for kalibrering. Dette skal sikre, at der laves pålidelige kalibreringer, dels fordi kameranets stabilitet ikke er kendt, og dels fordi der løbende bliver ændret i konfigurationen af kameraet. Optagelse af kalibreringsbilleder i marken er foregået ved at lægge 12 kalibreringsark ud på en jordbunke i et 4x3 grid, og derefter fotografere mellem 20 og 30 forskellige billeder af dem. Dette er gjort ved at positionere kameraet i forskellige vinkler i forhold til kalibreringsarkene. Ved optagelse af kalibreringsbillederne, hvor brændvidden var 24 mm, er der også anvendt en lille stige, for at kunne fotografere arkene fra flere vinkler.



Figur A 2.1: Eksempel på et kalibreringsbillede, hvor alle 12 kalibreringsark kan ses.

Formålet med at fotografere kalibreringsarkene er, at PhotoModeler kan bruge RAD-punkter som udgangspunkt for kalibreringsberegningerne. Grundet at kalibreringsbillederne blev optaget udenfor i solskin og fra forskellige vinkler, betyder, at ikke alle RAD-punkter er lige tydelige. Dette har, som det ses i næste afsnit, en betydning for, hvor mange RAD-punkter PhotoModeler er i stand til at genkende og anvende i en beregning af kameraets kalibreringsparametre.

App. A 2.2 De tre kalibreringsmetoder

Med udgangspunkt i kalibreringsbillederne optaget med 18 mm brændvidde er der foretaget tre kalibreringer, for at undersøge om der opnås forskellige kalibreringsresultater med forskellige metoder. Kvaliteten af billederne er ikke helt i top, og undersøgelsen vil derfor også bidrage med erfaringer om, hvordan der kan opnås en fornuftig kalibrering, hvis datamaterialet ikke er i orden. De tre metoder vil blive omtalt som henholdsvis: Kalibrering med RAD-punkter, Kalibrering med RAD-punkter og justering af billeder, og Kalibrering med SmartPoints. Forskellen på RAD-punkter og SmartPoints står beskrevet i rapporten i afsnit 7.1 *PhotoModeler og paspunkter* og 11.1 *Relativ orientering vha. SmartPoint* og bliver derfor ikke beskrevet her.

Kalibrering med RAD-punkter

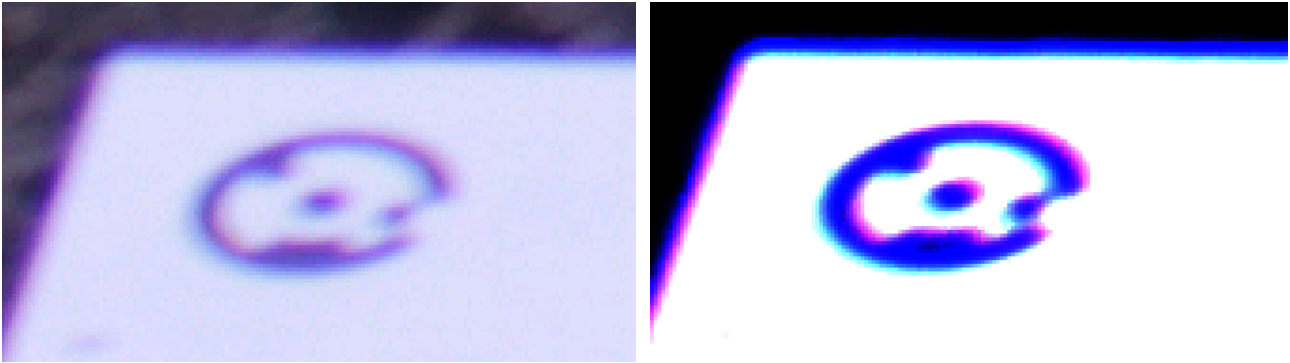
PhotoModeler kan automatisk finde RAD-punkter i billeder, hvorved programmet finder punkter, der med stor sandsynlighed er RAD-punkter, og knytter dem sammen med andre RAD-punkter, der er blevet genkendt med samme kode. I den første kalibrering er RAD-punkterne forsøgt fundet i billederne, udelukkende ved hjælp af den automatiske genfindingsfunktion ”Automaking”. Efter at PhotoModeler har fundet og refereret RAD-punkterne, er der manuelt sorteret fejlrefererede punkter fra, da disse ødelægger orienteringen af billederne. Der er herefter beregnet en orientering af billederne og samtidig udført en feltkalibrering af kameraet, så kameraparametrene bliver bestemt. I figur A 2.2 ses et eksempel på, hvor mange punkter der er fundet i et billede efter frasortering af grove fejl. Det er tydeligt at se, at PhotoModeler ved denne fremgangsmåde ikke får kalibreret et særlig stort område af linsen.



Figur A 2.2: Screenshot fra PhotoModeler der viser antallet af genfundne punkter efter anvendelse af automatisk genfindning af RAD-punkter. Kun et få antal punkter er blevet fundet.

Kalibrering med RAD-punkter og justering af billeder

I PhotoModeler er der en funktion, hvor billederne kan justeres ("Enhance Image"), der gør det muligt at fremhæve særlige objekter i billederne. Ved justering af billederne kan der skrues på "Contrast", "Brightness" og "Gamma". Dette gøres manuelt indtil RAD-punkterne fremtræder tydeligere i det enkelte billede. Efter justeringen anvendes igen funktionen "Automarking", hvor RAD-punkterne automatisk bliver fundet og refereret.



Figur A 2.3: Forskellen på et RAD-punkt hvor det venstre er originalbilledet, mens det højre er samme billede, der er blevet justeret, så RAD-punktet fremstår mere kontrastfuldt i billedet.

Justeringen af billederne bevirker, at PhotoModeler genfinder langt flere RAD-punkter, og programmet afkoder også en stor del af dem korrekt. Resultatet af genfundne RAD-punkter efter justering af billeder kan ses i figur A 2.4.



Figur A 2.4: Screenshot fra PhotoModeler der viser antallet af genfundne punkter efter anvendelse af automatisk genfindning af RAD-punkter på billeder, hvor der er justeret på farverne. Næsten alle RAD-punkter er fundet.

Efter at RAD-punkterne er målt, annulleres justeringen af billederne, således at der arbejdes videre med originalen af billederne. Det ville ikke være hensigtsmæssigt at arbejde videre med de justerede billeder, da mange andre objekter i billederne forsvinder ved justeringerne, når RAD-punkterne fremhæves. Når der er fundet det størst mulige

antal RAD-punkter, foretages en orientering af billederne indeholdende en feltkalibrering af kameraet.

Da justeringen af billederne foretages manuelt billede for billede, er det en forholdsvis tidskrævende operation. En øvet operatør vil formentlig kunne justere et billede og finde RAD-punkter i billedet på omkring to til tre minutter.

Kalibrering med SmartPoint

Den tredje metode, til at skabe beregningsgrundlag for kalibreringen, er ved at anvende SmartPoints. Dette gøres ved at oprette et SmartPoint-projekt med de samme billeder, som er anvendt i de forrige kalibreringer. I SmartPoint-projektet anvendes RAD-punkterne ikke, da PhotoModeler genererer et stort antal SmartPoints i billederne, hvor der er naturlige områder med god kontrast. Efter at have fundet SmartPoints i alle billederne, bliver punkterne knyttet sammen, hvis de passer tilstrækkeligt godt sammen. PhotoModeler bygger således et stort observationssæt, der bruges i orienteringen og



Figur A 2.5: Screenshot af et billede hvor der er fundet en række SmartPoints. Til højre er der zoomet ind, og det ses at SmartPoints ikke relaterer sig til bestemte objekter.

feltkalibreringen. En stor fordel ved SmartPoint-metoden er, at punkterne kan dække et større område end RAD-punkterne. Til gengæld er det ikke sikkert, at PhotoModeler knytter SmartPoint-punkterne sammen i mange billeder, som det er tilfældet med RAD-punkterne.

App. A 2.3 Beregnede kalibreringsparametre for 18 mm brændvidde

Ovenfor er det beskrevet hvordan beregningsgrundlaget er lavet for de tre kalibreringer, og nedenfor ses de beregnede kalibreringsparametre. Kalibreringsparametrene er hentet ud af rapporter, der er genereret i PhotoModeler efter beregningerne (se bilag CD4).

Kamera: Canon EOS 550D objektiv: Canon 18-55 mm Brændvidde: 18 mm Billedformat: 5184 pixel x 3456 pixel						
	18mm Kalibrering med SmartPoints	Spredning	18mm Kalibrering med RAD	Spredning	18mm Kalibrering med RAD og justering af billeder	Spredning
Dækning af linse	90 %		65 %		84 %	
Kamerakonstant (mm)	19,068	0,002	19,062	0,003	19,075	0,002
Billedchip bredde (mm)	22,673	$4,9 \cdot 10^{-4}$	22,673	$8,80 \cdot 10^{-4}$	22,673	$6,90 \cdot 10^{-4}$
Billedchip højde (mm)	15,113	Fast-holdt	15,113	Fast-holdt	15,113	Fast-holdt
Hovedpunkt X (mm)	11,472	0,001	11,482	0,002	11,475	0,002
Hovedpunkt Y (mm)	7,697	0,001	7,709	0,002	7,691	0,002
K1 [10⁻⁴]	4,95	0,0034	4,91	0,00630	4,94	0,005
K2 [10⁻⁴]	0,001937	0,000023	-0,001137	0,000047	-0,001163	0,000004
P1 [10⁻⁴]	-0,149	0,00087	-0,180	0,0014	-0,180	0,0011
P2 [10⁻⁴]	-0,00920	0,00077	-0,110	0,0013	-0,0140	0,001

Tabel A 2.1: Kalibreringsparametre for tre forskellige kalibreringsmetoder.

Det ses af tabel A 2.1, at parametrene ikke er helt ens, men forskellene er ikke så store. Kamerakonstanten er beregnet til 19,068 mm, 19,062 mm og 19,075 mm, hvilket giver en forskel på 0,013 mm mellem den højeste og laveste. Antages det, at 19,068 mm er det bedste bud, fordi den er beregnet ud fra punkter, der har dækket linsen bedst, ligger de to andre bud på kamerakonstanten næsten indenfor tre gange spredning. Det ville have været ønskeligt, at de tre beregnede kamerakonstanter havde ligget tættere på hinanden, når PhotoModeler har beregnet deres spredning til omkring 0,002 mm, forudsat at billedmålingerne er uafhængige og normalfordelte.

Bredden af billedsensoren er ens i de tre kalibreringer, mens hovedpunktskoordinaterne, ligesom kamerakonstanten, varierer mere, end hvad der er forventeligt med de angivne spredninger. Det må formodes at årsagen til dette er forskellen i antallet og kvaliteten af punkterne, der udgør observationssættet.

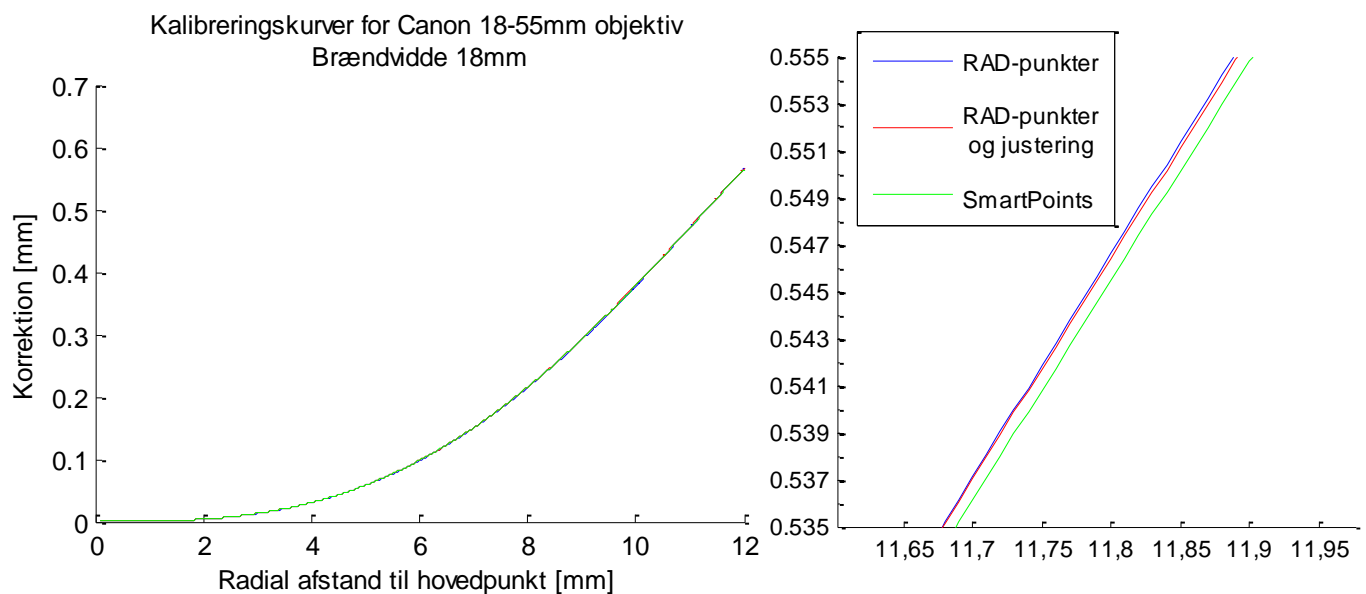
Linsefortegningsparametrene K1, K2, P1 og P2 er heller ikke helt ens, og forskellen på disse parametre er svære at tolke. PhotoModeler anvender K1 og K2 til at beregne det radiale linsefortegningsbidrag ved følgende formel:

$$dr = K1 \cdot r^2 + K2 \cdot r^4 + K3 \cdot r^6$$

(PhotoModeler, 2011)

Hvor r er den radiale afstand til hovedpunktet, og dr er korrektionsfaktoren i den givne afstand.

Da K3 ikke er beregnet, udgår det sidste led af formelen. For at se hvad forskellen af de beregnede kalibreringsparametre er, er kalibreringskurverne til de tre kalibreringer tegnet i figur A 2.6.



Figur A 2.6: Kalibreringskurver ud fra resultatet af de tre beregningsmetoder. Til højre er der zoomet ind på det yderste af kurvene, og det er muligt at vurdere, hvor tæt de ligger på hinanden.

De tre kalibreringskurver er stort set sammenfaldende, og forskellen i K1 og K2 betyder altså ikke ret meget for linsefortegningen.

Den største forskel i kalibreringerne er dækningen af linsen, hvor kalibreringen ved hjælp af SmartPoints har den største dækningsprocent på 90 % (se tabel A 2.1).

Dækningsprocent betyder noget for, hvor troværdig kalibreringen er, men betyder muligvis også noget for, hvordan PhotoModeler anvender billederne senere hen.

Ved anvendelsen af SmartPoints dækkes en stor del af linsen, og der anvendes et stort antal observationer, uden at det kræver ekstra arbejde af operatøren. Til gengæld er antallet af punkter, der er målt i mange billeder begrænset, modsat kalibreringerne med RAD-punkter. Da RAD-punkterne er veldefinerede og genkendelige punkter, er det muligt for PhotoModeler at måle det samme punkt i mange billeder. Det betyder, at overbestemmelsen til det enkelte 3D-punkt er stor for RAD-punkter og lille for

SmartPoints. Derudover er kvaliteten af matchene mellem RAD-punkter bedre end for match mellem SmartPoints. Det formodes på den baggrund, at kalibreringen med RAD-punkter bør være fremgangsmetoden, mens dette kan suppleres med SmartPoints, hvis RAD-punkter ikke giver en tilstrækkelig god dækning af linsen. Metoden, hvor billederne justeres i farverne, kan ikke betale sig tidsmæssigt, men kan dog anvendes som en sidste løsning, hvis kalibreringsbillederne er dårlige.

App. A 2.4 Beregnede kalibreringsparametre for Tamron 10-24 mm objektiv

Udover at anvende Canon 18-55 mm objektivet, er der til nogle af billedserierne anvendt et Tamron 10-24 mm objektiv. Dette objektiv er ligeledes kalibreret ved hjælp af billeder, der er optaget af kalibreringsark placeret på jordbunker. Kalibreringen, hvor brændvidden var stillet på 10 mm, er foretaget ved hjælp af SmartPoints-kalibrering. Kalibreringen af objektivet, hvor brændvidden var stillet på 24 mm, er foretaget ved hjælp af et kalibreringsprojekt med RAD-punkter, da det i disse billeder var muligt automatisk at genfinde et stort antal RAD-punkter. Kalibreringsparametrene er vist i tabel A 2.2.

Kamera: Canon EOS 550D Objektiv: Tamron 10-24 mm Billedformat: 5184 pixel x 3456 pixel						
Kamera: Canon EOS 550D	10 mm Kalibrering med Smartpoints	Spredning	24 mm Kalibrering med RAD efter automarkering Før flyvning	Spredning	24 mm Kalibrering med RAD efter automarkering Efter flyvning	Spredning
Dækning af linse	90 %		91 %		93 %	
Kamera konstant [mm]	10,562	0,002	23,786	0,004	23,800	0,006
Billedchip bredde [mm]	22,666	$7,60 \cdot 10^{-4}$	22,681	$5,6 \cdot 10^{-4}$	22,679	$7,9 \cdot 10^{-4}$
Billedchip højde [mm]	15,113	fastholdt	15,113	fastholdt	15,113	fastholdt
Hovedpunkt X [mm]	11,654	$9,80 \cdot 10^{-4}$	11,768	0,002	11,767	0,002
Hovedpunkt Y [mm]	7,361	0,001	7,251	0,002	7,275	0,002
K1 [10^{-4}]	-1,90	0,0013	1,55	0,00052	1,53	0,00055
K2 [10^{-4}]	0,0020	0,00001	-0,000180	0,000003	-0,000170	0,000003
P1 [10^{-4}]	-1,10	0,00280	-0,503	0,0011	-0,523	0,0011
P2 [10^{-4}]	-0,210	0,0031	-0,380	0,0110	-0,390	0,0011

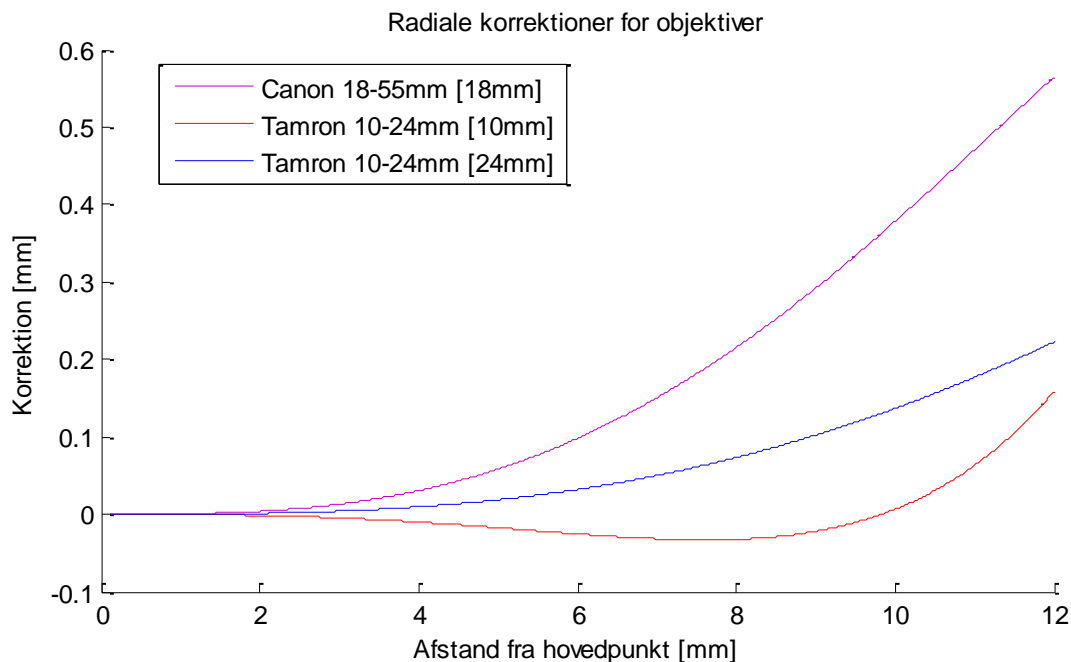
Tabel A 2.2: Kalibreringsparametre for Tamron 10-24 mm objektiv indstillet på hhv. 10 mm og 24 mm.

Der er foretaget en kalibrering før og efter flyvningen for kameraet med Tamron 10-24 mm objektiv indstillet på 24 mm brændvidde. Der ses en forskel i tallene, hvilket måske er tegn på at kameraet ikke har været helt stabilt under flyvningen. Dog er tallene ikke

helt forskellige, hvilket kunne tyde på at forskellen skyldes datagrundlaget, der ikke har været ens i de to kalibreringer.

App. A 2.5 Kalibreringskurver

Kalibreringen af de to objektiver kan bruges i en vurdering af, hvilket objektiv der vil være mest hensigtsmæssigt at anvende fremover. For at sammenligne de tre kalibrerede objektivkonfigurationer, er de tre kalibreringskurver tegnet sammen i figur A 2.7. Det er tydeligt at se, at korrektionerne for den radiale linsefortegning er mindre ved brug af Tamron 10-24 mm objektivet end ved brug af Canon 18-55 mm objektivet.



Figur A 2.7: Kalibreringskurver for de tre anvendte brændvidder.

App. A 2.6 Korrektionsvektorer

Når der kigges på kalibreringsparametrene for alle kalibreringerne, ses det af tabel A 2.1 og A 2.2, at værdierne for P1 og P2 er større for Tamron 10-24 mm objektivet end for 18-55 mm objektivet. Ifølge PhotoModeler anvendes følgende formler til at beregne det tangentielle korrektionsbidrag fra P1 og P2:

$$dpx = P1 \cdot (r^2 + 2 \cdot x^2) + 2 \cdot P2 \cdot x \cdot y$$

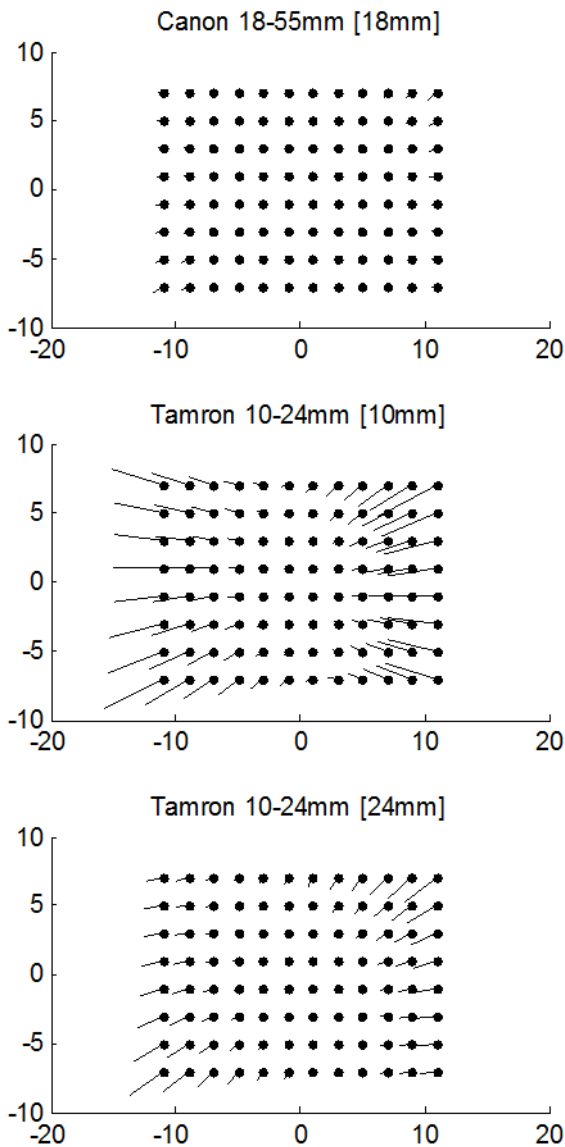
$$dpy = P2 \cdot (r^2 + 2 \cdot y^2) + 2 \cdot P1 \cdot x \cdot y$$

(PhotoModeler, 2011)

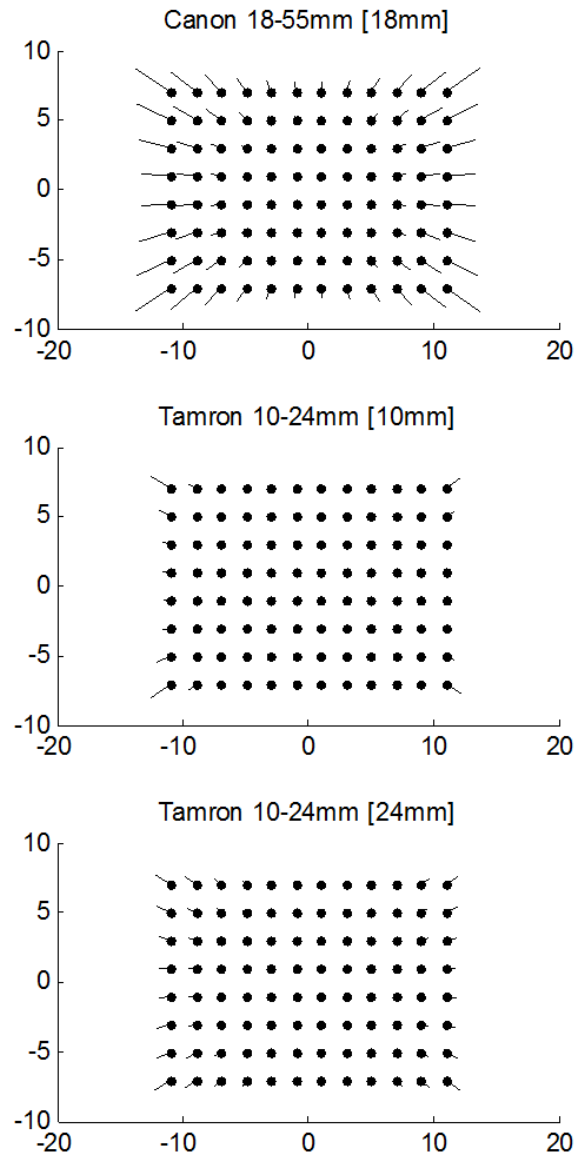
Hvor x og y er billedkoordinat i forhold til hovedpunktet, og r er den radiale afstand til billedmålingen, der skal korrigeres.

Ved at plotte dpx og dpy i et grid ud over billedet, vises effekten af denne fortegnings. Korrektionerne er overdrevet med en faktor 100 og kan ses i figur A 2.8. Det ses let, at Canon 18-55 mm objektivet ikke er påvirket af tangentiell linsefortegning, hvorimod påvirkningen er tydeligere for Tamron 10-24 mm objektivet, ved en forstørrelse på 100 gange.

Tangentiell fortegnings forstørret 100 gange



Radial fortegnings forstørret 5 gange



Figur A 2.8: Til venstre vises hvordan, der skal korrigeres for tangentiell linsefortegning i billedet. Korrektionerne er forstørret 100 gange. Til højre ses hvordan der skal korrigeres for radial linsefortegning i billedet. Korrektionerne er forstørret 5 gange.

Bidraget fra den tangentielle fortegnings er imidlertid ikke nævneværdig i forhold til den radiale linsefortegning. I figur A 2.8 ses hvordan der skal korrigeres for den radiale linsefortegning i et grid ud over billedet. Korrektionerne er forstørret 5 gange og den er størst for Canon 18-55 mm objektivet i forhold til Tamron 10-24 mm objektivet.

App. A 2.7 Opsamling

På baggrund af de viste resultater, må det konkluderes, at det er vigtigt at være omhyggelig med kalibrering af kameraer, da parametrene sagtens kan ændre sig mere end de spredninger PhotoModeler beregner. Er kalibreringsbillederne en smule uskarpe, er der ikke grund til at lave en masse manuelt arbejde med indmåling af punkter i billederne, for at kunne foretage en kalibrering. PhotoModelers indbyggede funktioner giver udmærkede muligheder for at kalibrere, selvom billedmaterialet ikke er perfekt.

App. A 3 Forsøg 3: Undersøgelse af metode til orientering af billeder

En billedserie, hvori der er overlap mellem de enkelte billeder, kan orienteres relativt og absolut efter forskellige fremgangsmetoder i PhotoModeler. I det nedenstående er der lavet en undersøgelse af, hvilken fremgangsmetode der vil være mest effektiv, brugervenlig og kvalitetsmæssigt bedst at anvende til orientering af billeder. Der er afprøvet tre forskellige fremgangsmetoder, som vil blive vurderet i forhold til hinanden.

Datagrundlaget for undersøgelsen er billedserie 3, der er optaget med en brændvidde på 18 mm med Canon 18-55 mm objektivet og er fløjet i en flyvehøjde på ca. 6 m. Billedserien består af 21 lodbilleder optaget i tilnærmelsesvis to flyvelinjer og dækker et mindre område, hvor der er udlagt og indmålt over 40 RAD-punkter på jorden.

De tre orienteringsmetoder, der undersøges, ses nedenfor. Beskrivelserne er koncentreret om den mere praktiske udførelse, mens det i appendiks B er beskrevet, hvad der foregår i PhotoModelers funktioner i et mere teoretisk perspektiv.

1. Sammenknytning af billeder ved brug af RAD-punkter og naturlige objekter

Der foretages en automatisk markering af RAD-punkter i billederne, hvor de afkodede RAD-punkter samtidig bliver refereret sammen. Bliver RAD-punkterne ikke afkodet, men alligevel registreret og målt automatisk, refereres disse manuelt. Derudover måles der manuelt supplerende RAD-punkter på sub-pixelniveau, der også refereres manuelt. Efter en beregning er det lykkedes at orientere nogle af billederne. Derfor indmåles og refereres der manuelt naturlige objekter i billederne og orienteringen genberegnes, for at styrke orienteringen især i sideoverlappene. Resultatet er en relativ orientering, hvor 17 ud af 21 billederne bliver orienteret, med et maksimalt residual på 2,94 pixels og en sigma 0 for udjævningen på 4,213. Resultatet af orienteringen kan ses i tabel A 3.1.

Metoden er effektiv, når RAD-punkterne i billederne er så tydelige, at alle automatisk bliver genkendt, afkodet og refereret korrekt af PhotoModeler. Er dette ikke tilfældet, kræver det en del manuelt arbejde at få billederne orienteret. Dette manuelle arbejde bliver endnu større, når det som her er nødvendigt at måle naturlige objekter i billederne manuelt. Problematikken ved kun at anvende RAD-punkter er også, at det kræver mange RAD-punkter, som vil tage lang tid at placere i marken. Derudover udgør de mange RAD-punkter en del af billedfladen og kan dække over oplysninger i det overfløjne areal.

2. Sammenknytning ved hjælp af SmartPoints

I PhotoModeler-terminologi er et SmartPoint et sammenknytningspunkt, der automatisk er genereret på baggrund af automatisk match mellem punkter i billederne. Processen er på den baggrund rimelig automatisk, når funktionen først er sat i gang. SmartPoints findes, refereres og billederne orienteres i en og samme funktion i PhotoModeler. Efter orientering med SmartPoints foretages en manuel fejlsøgning, da enkelte SmartPoints kan være fejlrefererede. De automatisk fundne SmartPoints er i nogle tilfælde ikke tilstrækkelige, til at beregne en orientering af alle de ønskede billeder samtidigt. Derfor kan det være nødvendigt at ”påhæfte” et billede af gangen til den samlede model gennem en ny beregning. Dette har dog ikke været et problem med denne billedserie. Resultatet er en relativ orientering, hvor alle 21 billeder er orienteret med et maksimalt residual på 2,10

pixels og en sigma 0 for udjævningen på 0,680. Resultatet af orienteringen kan ses i tabel A 3.1.

Orientering ved hjælp af SmartPoints er effektiv og meget foregår stort set automatisk. Det eneste, metoden kræver, er at indlæse billederne i PhotoModeler og herefter starte funktionen, der genererer SmartPoints og orientering i et. Det tager lidt tid for PhotoModeler at finde match og beregne en orientering for billedserien (ca. 2 timer for 140 billeder). Og jo flere billeder der er, jo længere tid tager processen, men programmet passer sig selv under hele beregningen.

3. Orientering over paspunkter

Der foretages en automatisk markering og referering af RAD-punkter i billederne på samme måde som under metode 1, hvor der også blev anvendt RAD-punkter. Ikke alle RAD-punkter bliver automatisk genfundet og derfor foretages en manuel supplerende måling, referering og rettelse af RAD-punkter. Projektet formes, så det til sidst kun indeholder refererede RAD-punkter, hvor der findes et tilsvarende paspunktskoordinat til, der er indmålt med totalstation. Herudover indeholder projektet enkeltmålinger til RAD-punkter, der ikke er refereret sammen, men som programmet alligevel automatisk har fundet. Paspunktskoordinaterne indlæses i projektet som "Control Points" og sammenknyttes med tilsvarende modelkoordinater for RAD-punkterne. Indlæsning af paspunkter med funktionen "Control Points" muliggør, at paspunkterne indgår i udjævningen (se i appendiks B). Alle RAD-punkter i projektet, der er målt i mindst to billeder, bliver sammenknyttet med et paspunktskoordinat, hvis præcision er angivet til 1cm for X-, Y- og Z-koordinaten. Resultatet er en absolut orientering, hvor alle 21 billeder bliver orienteret med et maksimalt residual på 7,75 pixels og en sigma 0 for udjævningen på 4,129. Resultatet af orienteringen kan ses i tabel A 3.1.

Orientering af billeder over paspunkter, hvor paspunkter indgår som en observation i beregningerne, er en god metode, da paspunkterne kan modvirke evt. forvriddinger i blokken. Denne metode betragtes som den mest korrekte metode rent fotogrammetrisk. Til gengæld kræver metoden i PhotoModeler en del manuelt arbejde, fordi hvert paspunkt enkeltvis og manuelt skal tilknyttes tilsvarende punkter i den fotogrammetriske blok.

App. A 3.1 Samlet vurdering af de tre metoder

Overordnet er det erfaret gennem denne undersøgelse, at store overlap er godt, skarpheden i billederne skal være god og jo flere sammenknytningspunkter jo bedre og nemmere sker orienteringen. Det kommer ikke som en overraskelse, men det blev praktisk erfaret, at det var svært at få alle billeder orienteret kun ud fra RAD-punkter. Den mest effektive og anvendelige metode til orientering af mange billeder vurderes til at være metoden, hvor der anvendes SmartPoints. Metoden er hurtig, automatisk og laver kun få fejlrefereringer, der kræver manuel behandling. Resultatet af de enkelte orienteringer er samlet i tabel A 3.1. Herudfra ses det, at det er metoden med SmartPoints, der har den laveste værdi på billedmålingernes største residual, samt den laveste og tætteste værdi på 1 for sigma 0.

De to andre metoder, hvor der anvendes RAD-punkter giver også et fornuftigt resultat, men den manuelle del af arbejdet er langt større, og antallet af punkter i udjævningen er

heller ikke overvældende set i forhold til antallet af SmartPoints. Kvaliteten af matchene for SmartPoints er antageligvis ikke nær så gode som matchene mellem RAD-punkter. Grundet antallet af SmartPoints vurderes det alligevel, at brugen af SmartPoints er en bedre metode til orientering af billederne. Den relative orientering af billedserien, skal efterfølgende orienteres absolut ud fra automatisk fundne RAD-punkter.

Orienterings type	1. RAD-punkter	2. Smartpoint	3. RAD-/Paspunkter
Antal foto	21 billeder 17 ud af 21 er orienteret	21 billeder Alle er orienteret	21 billeder Alle er orienteret
Datagrundlag i antal punkter	RAD-punkter: 76	Smartpoint: 20578	RAD-/Paspunkter: 46
Sigma 0	4,213	0,680	4,129
Største residual	2,94 pixel	2,10 pixel	7,75 pixel
Estimeret tidsforbrug	Ca. 2 timer	Ca. 0,5 time	Ca. 2 timer
Automatisk/manuelt arbejde	Halvt af hver	Primært automatisk	Meget manuelt
Orientering	Relativ	Relativ	Absolut

Tabel A 3.1: Oversigt over resultatet af de tre forskellige orienteringsmetoder.

Gennem arbejdet med at lave absolutte orienteringer af blokkene er det erfaret, at der er problemer med at få paspunkterne til at indgå i udjævningerne. Den absolutte orientering er altså kun mulig at opnå, ved at foretage en transformation af den relativt orienterede blok over absolutte paspunkter. Da det ikke er muligt at lade paspunkterne indgå i udjævningen, er det ikke muligt på traditionel vis at undgå vridninger i blokken. Det vil være relevant at undersøge, hvordan dette problem kan løses, hvis man ønsker at lave blokke af et stort antal billeder, hvor vridninger kan få store konsekvenser.

App. A 4 Forsøg 4: Undersøgelse af orienteringernes kvalitet

En række forskellige billedserier er blevet orienteret, for at kunne lave ortofotos senere hen. De enkelte orienteringers kvalitet kan vurderes ud fra størrelsen på det største residual og sigma 0. Derudover er det også interessant at undersøge, hvor godt modelkoordinaterne stemmer overens med koordinater, der er målt i marken. Det undersøges derfor, hvor stor forskel der er mellem modelkoordinater og koordinater i virkeligheden (kontrolpunkter).

Billedserierne er orienteret relativt ved hjælp af SmartPoints og herefter er funktionen for automatisk genfindning af RAD-punkter blevet anvendt. Funktionen fandt ikke alle RAD-punkter og de resterende blev målt manuelt, hvorefter fejlrefererede punkter blev sorteret fra. Omkring otte RAD-punkter blev anvendt som paspunkter i transformationen af de relative orienterede billeder over et absolut system. De øvrige målte RAD-punkter er fortsat punkter i blokken, men indgår ikke i selve beregningen af billedernes orientering, og kan derfor anvendes som kontrolpunkter, hvor de sammenlignes med modelkoordinater. Først vurderes orienteringerne ud fra PhotoModelers bud på kvaliteten.

App. A 4.1 PhotoModelers angivelse af kvalitet

Før sammenligningen mellem de transformerede modelkoordinater og totalstationsmålingerne til de samme koordinater, ses der kort på PhotoModelers angivelse af orienteringernes kvalitet. Forklaring af de enkelte begreber kan ses i appendiks B. Resultatet af orienteringerne, der ses i tabel A 4.1, er efter at grove fejl er fjernet.

	Høj flyvehøjde		Lav flyvehøjde	
Billedserie	Serie 1 (lod) og 2 (skrå)	Serie 5	Serie 3	Serie 4
Optage forhold	Brændvidde: 18mm Flyvehøjde: ca. 20m	Brændvidde: 10mm Flyvehøjde: ca. 15m	Brændvidde: 18mm Flyvehøjde: ca. 6m	Brændvidde: 10mm Flyvehøjde: ca. 4m
Antal billeder	19 billeder	11 billeder	21 billeder	30 billeder
Datagrundlag i antal punkter	Smartpoint: 18694 RAD-punkter: 8	Smartpoint: 5947 RAD-punkter: 8	Smartpoint: 20578 RAD-punkter: 9	Smartpoint: 28237 RAD-punkter: 8
Smartpoints pr. billede	983	540	979	941
Udjævning				
Sigma 0	0,606	0,855	0,672	1,038
Største residual	2,58 pixel (SmartPoint)	3,39 pixel (SmartPoint)	2,52 pixel (Smartpoint)	4,71 pixel (Smartpoint)
Transformation				
Residualvektor RMS	0,022 m	0,045 m	0,010 m	0,007 m

Tabel A 4.1: PhotoModelers angivelse af kvaliteten for forskellige billedserier, der er orienteret. Antallet af RAD-punkter er antallet af punkter, der er knyttet til et paspunkt og dermed indgår i beregningen af den relative orientering.

I tabel A 4.1 ses sigma 0 (spredningen på vægtenheden) for de orienterede billedserier og de maksimale residualer på punkterne, der har indgået i beregningerne. Kvaliteten af

orienteringen kan vurderes ud fra disse to værdier. Spredningerne på vægtenhederne ligger tæt på 1 hvilket den også bør, og størrelsen på de maksimale residualer er acceptable, taget i betragtning af hvor mange punkter der indgik i beregningen. Når værdierne ligger i denne størrelsesorden, skyldes det sandsynligvis, at der er få fejlrefereringer eller kvaliteten af punkterne generelt er høj. Antallet af SmartPoints i projekterne ligger omkring 950 punkter pr. billede, bortset fra i serie 5 hvor antallet af punkter pr. billede er nede på 540. Årsagen til denne forskel kendes ikke, men under alle omstændigheder er der stadig flere punkter, end det umiddelbart er muligt at skabe ved RAD-punkter.

Transformationen af blokkene fra lokalt system til paspunkternes koordinatsystem, kan i PhotoModeler kun vurderes ud fra residualer på fællespunkterne efter transformationen. RMS af disse residualer er angivet i nederste række af tabel A 4.1. Der er tydelig forskel på værdierne fra billedserie til billedserie, og det må således forventes, at der også er en forskel på resultaterne af de kommende undersøgelser.

App. A 4.2 **Sammenligning af modelkoordinater med totalstationsmålinger**

I hver af de orienterede billedserier er det muligt at udtage koordinater til de målte RAD-punkter, her kaldet modelkoordinater. Modelkoordinaterne sammenlignes med koordinaterne til RAD-punkterne, der er indmålt med totalstation, og som ikke er anvendt i transformationen af blokkene. Dvs. en sammenligning af modelkoordinater og kontrolpunkter.

For hvert punkt beregnes en difference mellem den transformerede modelkoordinat og tilsvarende kontrolpunkt, der er indmålt med totalstation. Differencerne beregnes for måde x, y og z, hvorefter der udregnes middel og en spredning på baggrund af differencerne. Spredningerne omregnes til pixelværdier svarende til pixels i originalbillederne for den enkelte serie. Herudover regnes en punktspredning i meter og i pixels ud fra spredningerne i x, y og z. Alle spredningerne er korrigeret for middel og resultat af beregningerne kan ses i tabel A 4.2.

Tendensen i resultaterne er, at nøjagtigheden er dårligere i højden end i planet, hvilket også er forventeligt, da afstanden mellem billederne er mindre end flyvehøjden. Sammenlignes kvaliteten af serierne, der er fløjet med 18 mm brændvidde og i forskellig flyvehøjde (dvs. serie 1-2 og serie 3), ses der en klar forbedring fra høj til lav flyvehøjde, når der ses på spredningerne angivet i meter. Når disse omregnes til pixels i billederne, er tendensen ikke den samme. Her ses derimod en tendens til, at spredningen i pixels er højere for serien i lav højde end for serien i høj flyvehøjde, da spredningen i y og z er højere.

	Høj flyvehøjde				Lav flyvehøjde			
Billedserie	Serie 1(lod) og 2 (skrå)		Serie 5		Serie 3		Serie 4	
Optage forhold	Brændvidde: 18 mm Flyvehøjde: Ca. 20 m		Brændvidde: 10 mm Flyvehøjde: ca. 15 m		Brændvidde: 18 mm Flyvehøjde: ca. 6 m		Brændvidde: 10 mm Flyvehøjde: ca. 4 m	
Kontrolpunkter	Antal punkter: 15		Antal punkter: 18		Antal punkter: 17		Antal punkter: 25	
	spred. (m) middel (m)	Spred. i pixel	spred. (m) middel (m)	Spred i pixel	spred. (m) middel (m)	Spred i pixel	spred. (m) middel (m)	Spred i pixel
x-difference	0,018 0,015	4,39	0,029 0,016	5,82	0,004 -0,001	2,47	0,004 0,001	2,31
y-difference	0,011 -0,002	2,60	0,020 0,006	4,02	0,005 0,002	3,17	0,003 -0,001	1,99
z-difference	0,025 0,008	6,20	0,040 0,009	7,92	0,011 0,009	7,42	0,008 -0,004	4,99
3D-punkt spredning	0,023	5,67	0,038	7,51	0,009	5,97	0,006	4,13

Tabel A 4.2: Resultatet af sammenligningen af transformerede modelkoordinater og tilsvarende koordinater indmålt med totalstation.

Ses der på serierne med 10 mm brændvidde fra forskellig flyvehøjde, er tendensen mere entydig, idet at spredningen både angivet i meter og pixels er lavere for billedserien, der er fløjet i lav højde i forhold til serien fra høj flyvehøjde. Årsagen til at tendensen ikke er ens i de to sammenligninger, kunne måske skyldes, at serie 1-2 består både af lod- og skråbilleder og at denne kombination måske medfører en forbedring af kvaliteten.

Sammenlignes tallene for billedserierne, der er fløjet i høj flyvehøjde (dvs. serie 1-2 og serie 5), er tendensen, at spredningerne i serie 1-2 med brændvidde på 18 mm er lavere end i serie 5 med brændvidde på 10 mm. Dette gælder både for spredninger angivet i meter og pixels. For billedserierne i lav højde er det modsatte tilfældet, hvor billedserien med 10 mm brændvidde har en lavere spredning både i meter og pixels end billedserien med 18 mm brændvidde. Den sidste sammenligning giver god mening, eftersom det forventes, at den geometriske skæring mellem billedstrålerne er bedre for 10 mm brændvidden end for 18 mm brændvidden, da højde-basisforholdet er mere geometrisk gunstigt. At dette så er omvendt for billedserierne i høj flyvehøjde kunne måske igen forklares med, at serie 1-2 består både af lod- og skråbilleder, der sandsynligvis kan give en bedre skæring mellem billedstrålerne.

App. A 5 Forsøg 5: Kontrol af højdemodeller

I en række af billedserierne er der fremstillet højdemodeller til brug for fremstilling af ortofotos. Ved kontrol af disse højdemodeller vil det være muligt at vurdere, om der er forskel på kvaliteten af dem og om forskelle i højde-basisforhold betyder noget for kvaliteten.

I serie 4 og serie 5, hvor der er anvendt et mere vidvinklet objektiv med en brændvidde på 10 mm, vil der være et højde-basisforhold, der teoretisk set burde være bedre, end for serierne optaget med 18 mm brændvidde i tilsvarende flyvehøjde. Serie 1-2, hvor der indgår lod- og skråbilleder (ca. 15 grader fra lod), giver mulighed for et bedre højde-basisforhold, da afstanden mellem et lodbillede og et vinklet billede, er større end afstanden mellem to lodbilleder, når overlappet antages at være ens i de to tilfælde. Geometrien mellem billederne kan altså forbedres ved at anvende et objektiv med en mindre brændvidde. Forbedring af geometrien vil dog ikke være en garanti for, at højdemodellen bliver god. I tilfælde med stor basis vil PhotoModeler få sværere ved at autokorrelere punkter mellem billederne, fordi afbildningen af objekter i højere grad bliver forskellig i de to billeder. Genereringen af højdemodellerne for de enkelte serier i PhotoModeler bygger på principperne, der er beskrevet i rapporten.

Højdemodellerne er undersøgt dels ved sammenligning med kontrolpunkter, der er målt med totalstation, og dels ved sammenligning af højdemodeller, der er lavet ud fra billeder med nogenlunde samme flyvehøjde.

App. A 5.1 Kontrol af højdemodel op imod kontrolpunkter

Sammenligningerne af højdemodeller og kontrolpunkter er foretaget i programmet GeoCad. Højdemodellerne, der er genereret i PhotoModeler, er eksporteret som punktskyer, der efterfølgende er importeret i GeoCad, hvor der er genereret trekantsnet, som er udtyndet til en pilehøjde på 1 cm. Til alle de kontrolpunkter, der falder inden for det enkelte trekantsnet, er der interpoleret en højde til punktet i trekantsnettet. Ud fra disse interpolerede højder, er der beregnet højdeforskelle mellem kontrolpunkter og trekantsnet. Højdeforskellene er brugt til udregning af værdierne i tabel A 5.1.

Billedserie	Høj flyvehøjde		Lav flyvehøjde	
	Serie 1(lod) og 2 (skrå) i kombination	Serie 5	Serie 3	Serie 4
Brændvidde:	18 mm	10 mm	18 mm	10 mm
Flyvehøjde:	Ca. 20 m	Ca. 15 m	Ca. 6 m	Ca. 4 m
Antal højdeforskelle	87	89	49	46
Middel	-0,038 m	-0,017 m	-0,004 m	-0,001 m
Spredning uden reducere for middel	0,047 m	0,046 m	0,010 m	0,013 m
Spredning	0,027 m	0,042 m	0,009 m	0,013 m

Tabel A 5.1: Sammenligning af højdemodeller og kontrolpunkter for de forskellige billedserier.

Spredningen for differencerne mellem højdemodellerne og kontrolpunkterne er mindst for serierne 3 og 4, der er fløjet i lav højde. Spredningerne på disse to serier er så små, at det i

praksis måske skyldes unøjagtigheden af kontrolpunkterne, der er indmålt med totalstation. Det er ikke muligt på baggrund af resultaterne fra serie 3 og 4 at sige noget om, hvilken brændvidde der giver den bedste højdemodel, da disse højdemodeller er meget sammenlignelige.

Resultaterne for serie 1-2 og serie 5 er ikke helt så ens som for serie 3 og 4. Serie 1-2 har et middel på – 3,8 cm, hvilket vidner om en generel flytning af højdemodellen. Spredningen på højdemodellen er dog mindre end for serie 5, der altså må antages at afbilde terrænets form bedre. Sammenligningen af højdemodeller og kontrolpunkter har ikke vist tegn på, at brugen af en lav brændvidde skulle give en bedre højdemodel.

Sammenlignes resultaterne fra tabel A 5.1, indeholdende kontrol af højdemodel op imod kontrolpunkter, og resultaterne i tabel A 4.2 for z-differencer, hvor modelkoordinater holdes op imod kontrolpunkter, ses der en sammenhæng. Værdierne for spredningen af differencerne er for alle serier tilnærmedesvis ens, mens middelværdierne for hver serie er noget større for billedserierne i høj flyvehøjde. Årsagen til dette kan ikke umiddelbart gennemskues. På baggrund af undersøgelsen må det konstateres, at højdemodellerne ligger nogenlunde rigtigt i forhold til kontrolpunkterne.

App. A 5.2 Sammenligning af højdemodeller

Højdemodellerne er sammenlignet parvis, for at undersøge om de afbilder terrænets form på samme måde. Sammenligningen bygger på et kvadratnet, hvor der for hvert kvadratkryds er interpoleret en højde i hver højdemodel, som derefter er trukket fra hinanden. Værdierne i kvadratnettet består derfor af differencerne mellem højdemodellerne, der sammenlignes. På baggrund af dette er der beregnet en spredning og middel, som kan ses i tabel A 5.2.

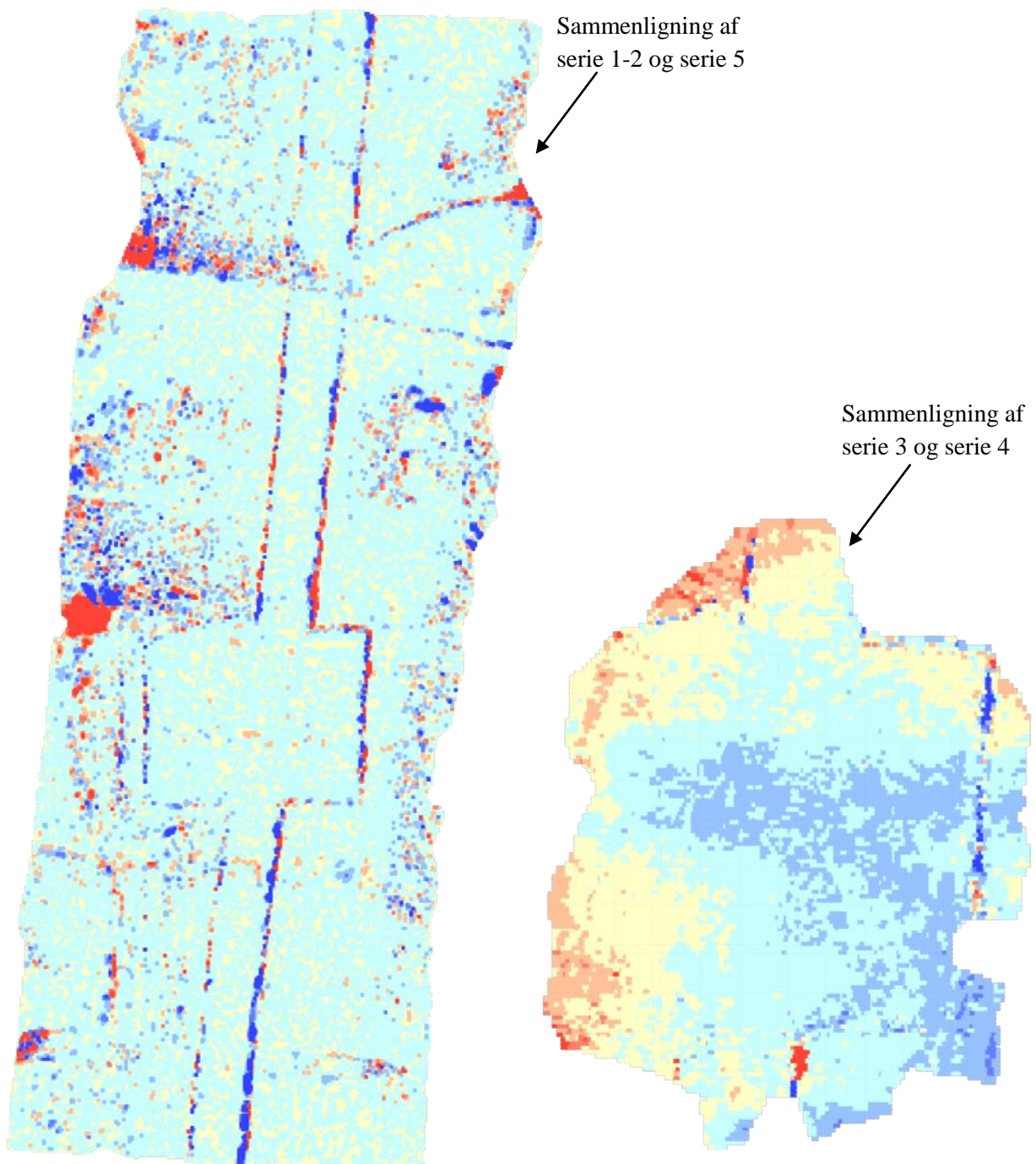
	Serie 1-2 mod Serie 5	Serie 3 mod Serie 4
Kvadratnet	0,10 m	0,10 m
Antal punkter i sammenligningen	122.489	11.634
Spredning (Direkte)	0,019 m	0,020 m
Middel	0,000 m	0,006 m
Max. difference	0,312 m	0,402 m
Min. difference	-0,415 m	-0,264 m

Tabel A 5.2: Resultatet for parvis sammenligning af højdemodeller i Geocad. Spredningen er direkte og dermed ikke reduceret for middel.

For begge sammenligninger gælder det, at højdemodellerne indbyrdes passer godt sammen, da middel af differencerne er meget tæt på 0,000 i begge tilfælde og spredningerne maksimalt er 2 cm. Da højdemodellerne har nogenlunde samme form, selvom de er genereret uafhængigt, må det konstateres, at højdemodelsgenereringen i PhotoModeler fungerer fornuftigt. Dog er det bemærkelsesværdigt, at højdemodellerne passer så godt sammen, når der for serie 1-2 er tegn på en forskydning af denne jf. tabel A 5.1, hvor der sammenlignes mellem højdemodel og kontrolpunkter.

Højdemodelsammenligningen er visuelt illustreret i figur A 5.1, hvor differencerne mellem højdemodellerne er farvet efter deres størrelse i forhold til spredningen. De lyseste farver (lyseblå og gul) betegner differencer, der er under én gang spredning i plus

og minus, og sådan bliver farverne kraftigere for to og tre gange spredning. De mørkeste farver er differencer, der ligger udover tre gange spredning. Det ses af figuren, at der er steder, hvor der er store differencer, hvilket især er i kanten af søgegrøfterne og på bagsiderne af jordbunkerne i forhold til kamerapositionerne. Sammenligningen af højdemodellerne kan ses visuelt i figur A 5.1, hvor søgegrøftens kant tydeligt kan ses for især sammenligningen mellem serie 1-2 og serie 5.



Figur A 5.1: Til venstre ses sammenligningen af serie 1-2 og 5, og til højre ses sammenligningen af serie 3 og 4. Jo kraftigere farverne er (hvh. rød og blå) jo større er differencerne i plus eller minus mellem højdemodellerne. De lyseblå og gule områder er steder, hvor der er ingen eller mindst forskel på de to højdemodeller.

App. A 6 Produktion og kontrol af ortofotos

Der er udarbejdet en række forskellige ortofotos på baggrund af billedserierne 1 til 5, samt billedserie 10. I tabel A 6.1 ses en oversigt over hvilke ortofotos, der er produceret. Enkelte af disse ortofotos vil blive gennemgået, for at evaluere deres visuelle kvalitet og nøjagtigheden af billederne. Gennemgangen af udvalgte ortofotos vil illustrere nogle af de fejl og forbedringer, der er opnået erfaringer med gennem projektet. Alle billederne kan ses i bilag CD3, mens ortofoto for serie 5 og 10 kan ses i printet version i bilag 11 og 12.

Optage forhold		Ortofoto egenskaber			
Serie nr.	Flyvehøjde Brændvidde GSD	Pixel- størrelse	Antal pixels	Bemærkning	Filnavn: Se billederne på CD i bilag CD3
Serie 5 **	15 m 10 mm 6,5 mm	5mm	5863 x 13070	Alle fotos er anvendt til farvning af ortofotoet.	Serie5_h15m_b10mm_pix5mm
Serie 5	15 m 10 mm 6,5 mm	10mm	2931 x 6535	Alle fotos er anvendt til farvning af ortofotoet.	Serie5_h15m_b10mm_pix10mm
Serie 1 og 2	20m 18 mm 4,8 mm	5mm	5707 x 11868	Udvalgte fotos er anvendt til farvning af ortofotoet.	Serie1-2_nr1_h20m_b18mm_pix5mm
Serie 1 og 2 **	20 m 18 mm 4,8 mm	5mm	5707 x 11868	Udvalgte fotos er anvendt til farvning af ortofotoet. Ekstra udtyndet TIN.	Serie1-2_nr2_h20m_b18mm_pix5mm
Serie 10 **	17 m 24 mm 3,0 mm	5mm	12876x 12376	Udvalgte fotos er anvendt til farvning af ortofotoet.	Serie10_h17m_b24mm_pix_5mm
Serie 4 **	4 m 10 mm 1,7 mm	2mm	5801 x 8200	Alle fotos er anvendt til farvning af ortofotoet.	Serie4_h4m_b10mm_pix2mm
Serie 4	4 m 10 mm 1,7 mm	5mm	5801 x 8200	Udvalgte fotos er anvendt til farvning af ortofotoet.	Serie4_h4m_b10mm_pix5mm
Serie 4	4 m 10 mm 1,7 mm	5mm	5801 x 8200	Udvalgte fotos er anvendt til farvning af ortofotoet. Nearest Neighbor er anvendt til farveudjævning	Serie4_nr2_h4m_b10mm_pix5mm
Serie 3 **	6 m 18 mm 1,4 mm	2mm	6194 x 7723	Udvalgte fotos er anvendt til farvning af ortofotoet Huller er lappet i TIN	Serie3_h6m_b18mm_pix2mm

Tabel A 6.1: Oversigt over producerede ortofotos. Kun ortofotos angivet med **, vil blive vist med eksempler og kontrolleret nedenfor, mens der henvises til bilag CD3, for at se alle ortofotos digitalt. GSD henviser til den ground sample distance, der tilnærmelsesvis er i originalbillederne.

Den teoretiske baggrund for produktion af ortofotos er beskrevet i appendiks C, mens PhotoModelers metode til generering af ortofotos er beskrevet i rapporten. Trods det nævnes det kort her, hvad der er af forskelligheder i genereringsmetoden, for at give en forklaring på begreberne i tabel A 6.1.

Alle ortofotos er genereret ud fra en TIN-model og en billedserie. I genereringen af TIN-modellerne dannes der i flere tilfælde huller, hvor der ikke er trekanten. Hullerne ses især

i skyggeområder og på bagsiden af jordbunkerne. I nogle tilfælde er der blevet lavet ortofotos på baggrund af sådanne TIN-modeller, og der kan derfor forekomme sorte områder i billederne. I andre tilfælde er disse huller blevet udbedret og der ses pixelværdier over hele billedet, hvor der eksisterer TIN-model.

Et andet væsentligt element ved generering af ortofotoene har været billedmaterialet, der anvendes til farvning af pixlerne i ortofotoene. I nogle tilfælde har PhotoModeler haft alle billeder til rådighed i ortofotoproduktionen og i andre tilfælde er der manuelt udvalgt specifikke billeder, et såkaldt "Material", til farvningen af ortofotoene. Disse funktioners betydning er noget af det, der vil blive vist nedenfor.

App. A 6.1 Visuel kontrol og vurdering

Der vurderes først på det visuelle udtryk i billederne, med henblik på hvad der er muligt at se i billederne, hvilke kvaliteter de enkelte billedserier har og ikke mindst ses der på fejl i ortofotoene. Gennemgangen deles op i ortofotos fra høj højde dvs. over 10 m flyvehøjde og ortofoto fra lav højde.

Ortofoto i høj flyvehøjde

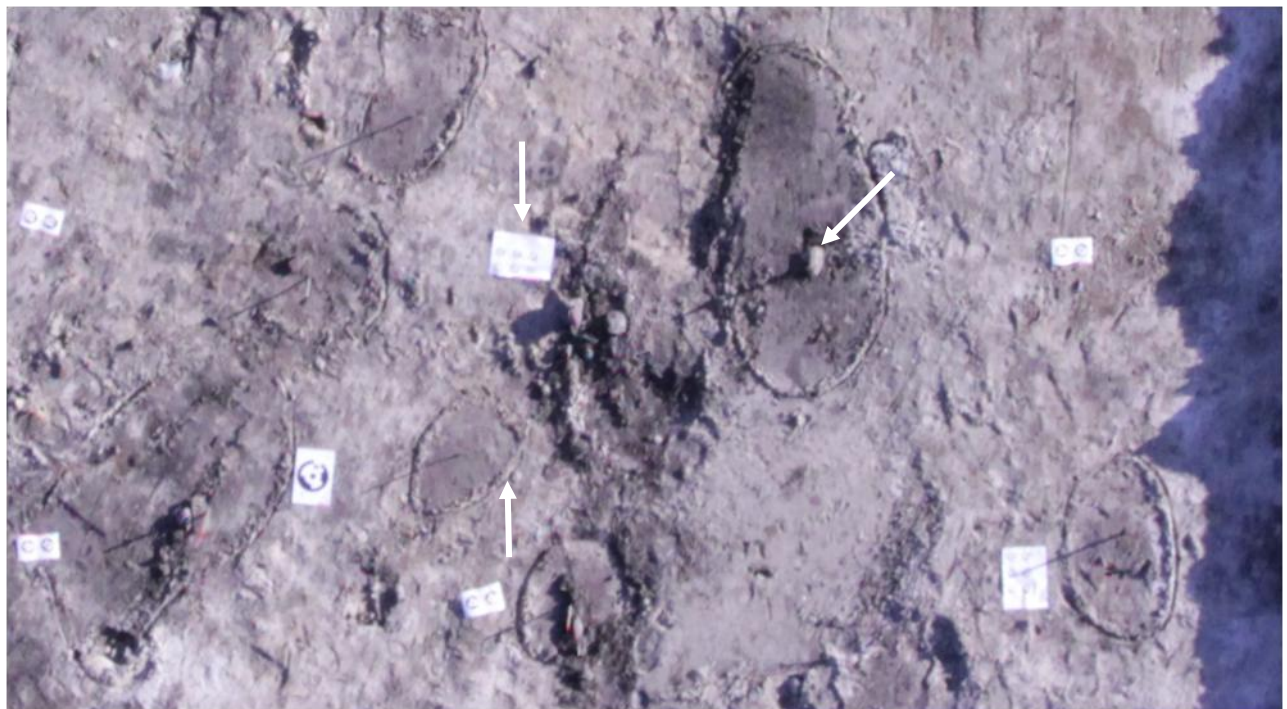
De tre ortofotos der undersøges nærmere i det følgende, er lavet ud fra følgende billedserier:

Serie 5: 10 mm brændvidde i ca. 15 m flyvehøjde og med GSD 6,5 mm

Serie 1-2: 18 mm brændvidde i ca. 20 m flyvehøjde og med GSD 4,8 mm

Serie 10: 24 mm brændvidde i ca. 17 m flyvehøjde og med GSD 3,0 mm

Serie 5: 10 mm brændvidde i ca. 15 m flyvehøjde og med GSD 6,5 mm



Figur A 6.1: Udsnit af ortofoto fra serie 5 optaget med 10 mm brændvidde i 15 m flyvehøjde. Udsnippet viser et eksempel på, hvor godt arkæologernes markeringer fremstår i billedet. I den mørkere ring ligger en stenøkse, der er markeret med en pil.

Dette ortofoto er lavet på baggrund af serie 5 (se forrige side), der er fløjet i 15 m højde med 10 mm brændvidde og generet med en pixelstørrelse på 5 mm. Ortofotoet består af billeder fra én flyvelinje og PhotoModeler har haft alle billeder til rådighed under pixelfarvningen af ortofotoet.

Når ortofotoet iagttages i fuld størrelse, ser det ganske pænt ud (se bilag 1 og bilag CD3). Zoomes der ind i billedet for udgravningsområdet, ser ortofotoet også ganske fint ud. I figur A 6.1 ses et eksempel på nogle anlæg, som arkæologerne har fundet og ridset ind. Det vurderes, at en digitalisering vil være mulig i dette tilfælde, hvor ridserne ses tydeligt i billedet. Til gengæld er det ikke nemt at se, at der i midten af det mørke felt midt mellem to ark med RAD-punkter ligger en stenøkse (markeret med pil i figur A 6.1). Dette lyse objekt kunne være en hvilken som helst sten eller lysere jordklump. Kun RAD-punkter i stor størrelse kan ses tydeligt nok i billedet til at midten kan defineres, men fremstår dog ikke særlig tydeligt og skarpt.

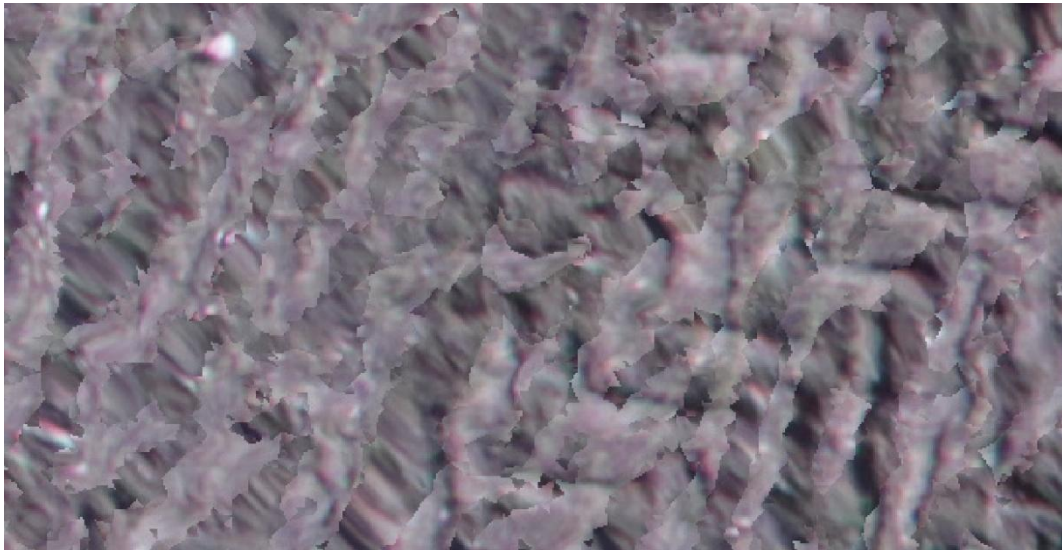
Zoomes der ind et andet sted i ortofotoet (se figur A 6.2), ses det, hvordan der er sorte huller langs kanterne af søgegrøften. Det skyldes manglende højdemodel, fordi PhotoModeler ikke har været i stand til at autokorrelere i de mørkere skyggeområder. Manglende punkter i højdemodellen langs kanterne har gjort, at afstanden mellem punkterne har været for stor i forhold til den angivne grænseværdi i genereringen af TIN-modellen.



Figur A 6.2: Udsnit af ortofoto fra serie 5 optaget med 10 mm brændvidde i 15 m flyvehøjde. Eksemplet viser et sted, hvor der er forskellige terrænhøjder og hvor farvningen af pixelerne har betydet, at jordbunken er forstrukket.

På figur A 6.2, ses et eksempel på, hvordan jordbunkerne er forvredet eller trukket ud, fordi nogle af siderne på jordbunkerne er fotograferet fra dårlige vinkler i de tilgængelige billeder. Fænomenet opstår i situationer, hvor høje objekter ligger i udkanten af billeder især med en lille brændvidde, som er tilfældet her. Det ser dog mystisk ud, at forvriddningen i billedet ses hele vejen rundt omkring jordbunken, hvilket ikke umiddelbart kan forklares.

Endvidere ses der i figur A 6.3 et eksempel på, hvor farvningen af pixels sandsynligvis stammer fra flere billeder, i et område der er fladt. TIN-modellens trekantsnet ses ved de kantede afgrænsninger af lyse plamager i ortofotoet. De lyse plamager er sandsynligvis blevet farvet af ét billede, mens de mørkere plamager er farvet af ét andet billede. Generelt er der ikke en stor grad af dette fænomen i ortofotoet og det ses også kun, når der zoomes langt ind i ortofotoet og primært i områder udenfor udgravningsområdet. Fænomenet kunne måske også skyldes dårlig højdemodel, da der udenfor selve udgravningsområdet netop ses en større forskel mellem højdemodellerne (se figur A 5.1, i afsnit *App. A 5.2 Sammenligning af højdemodeller*). En sidste ting, der kunne være årsag til fænomenet, er, at to billeder er optaget i nogenlunde ens forhold og skiftevis farver dele af området. Derfor denne vekslen i farverne.



Figur A 6.3: Udsnit af ortofoto optaget fra serie 5 med 10 mm brændvidde i 15 m flyvehøjde. Eksempel på hvordan det ud fra trekantsmodellen vælges, hvilke pixelværdier ortofotoet får. Det formodes, at de lyse trekanter er fra ét billede, mens de mørkere er fra ét andet billede.

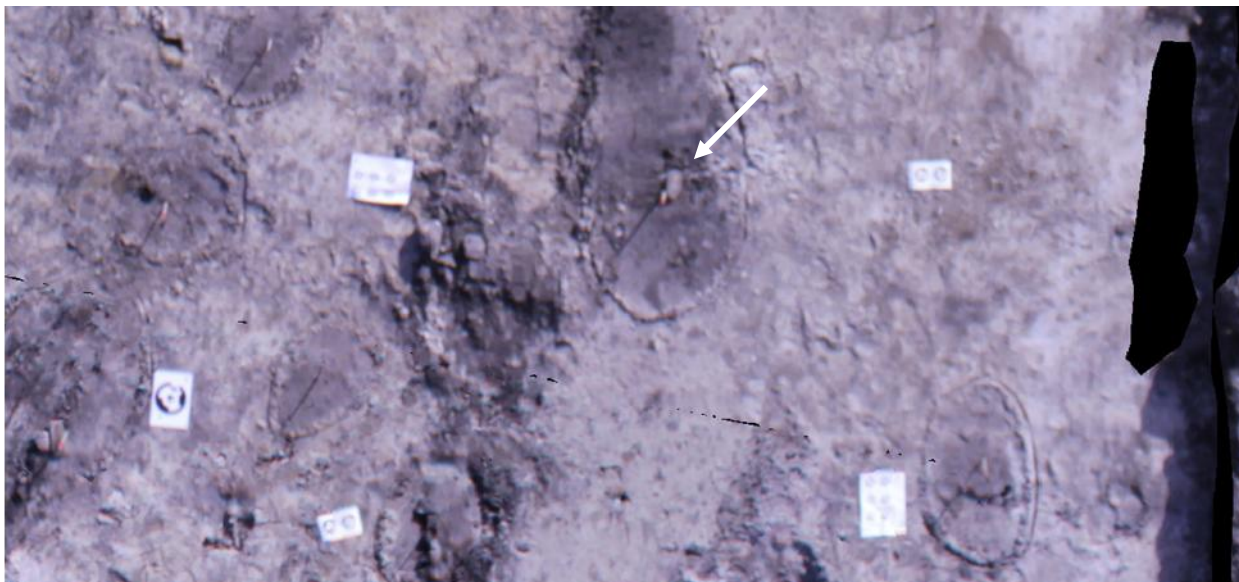
Serie 1-2: 18 mm brændvidde i ca. 20 m flyvehøjde og med GSD 4,8 mm

Dette ortofoto er lavet ud fra serie 1 og 2, og dækker nogenlunde det samme område som det fra serie 5. I den TIN-model der anvendes, er der ikke lappet huller, hvilket resulterer i sorte huller i ortofotoet. Billedmaterialet til farvningen af ortofotoet er valgt manuelt, således at der ikke er unødvendigt overlap mellem billederne.

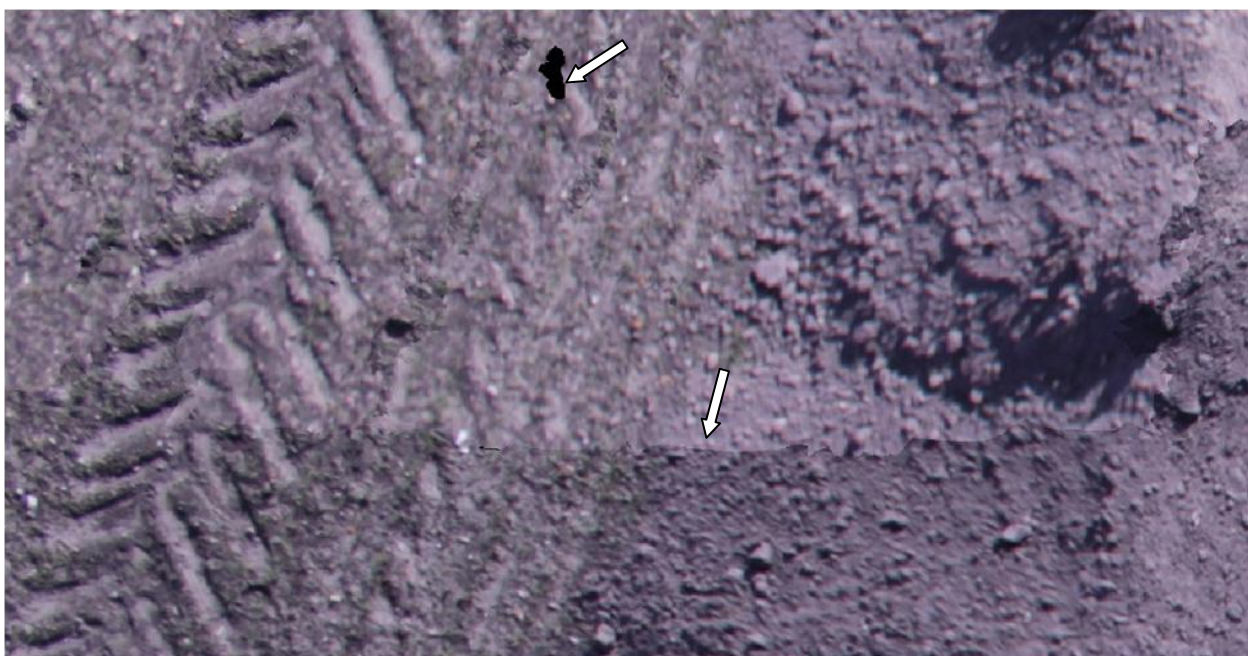
Generelt ser dette ortofoto ganske pænt ud, når der ses bort fra de sorte huller med manglende højdemodel. I figur A 6.4 (næste side) er det muligt at se arkæologernes indridsning af anlæg, mens den udlagte stenøkse, i det store indridsede område mellem to ark med RAD-punkter på, ikke fremstår tydelig og skarp. RAD-punkterne er også meget

utydelige og mere utydelige end i serie 5. Dette skyldes sandsynligvis en ringere kvalitet af originalbillederne fra serie 1-2, hvilket allerede blev konstateret efter flyvningen.

Fænomenet, hvor ortofotoet farves skiftevis fra forskellige billeder, ses ikke i så høj en grad i dette ortofoto som i ortofotoet fra serie 5 (se figur A 6.3). Til gengæld ses et andet fænomen, som figur A 6.5 viser et godt eksempel på. Her ses en linje tværs igennem billedudsnittet, der viser grænsen mellem pixelværdier fundet i to forskellige billeder.



Figur A 6.4: Udsnit af ortofoto fra serie 1-2 optaget med 18 mm brændvidde og i 20 m flyvehøjde. Udsnittet viser et eksempel på, hvor godt arkæologernes markeringer fremstår i billedet. Udsnittet er sammenligneligt med figur A 6.1.



Figur A 6.5: Udsnit af ortofoto på baggrund af serie 1-2 med 18 mm brændvidde i 20 m flyvehøjde. Der ses et eksempel, hvor overgangen mellem farvning af ortofotoet fra ét originalbillede til ét andet originalbillede tydeligt fremgår. Der ses også en lille forvriddning af jordbunken til højre, samt et sort hul hvilket skyldes manglende TIN-model.

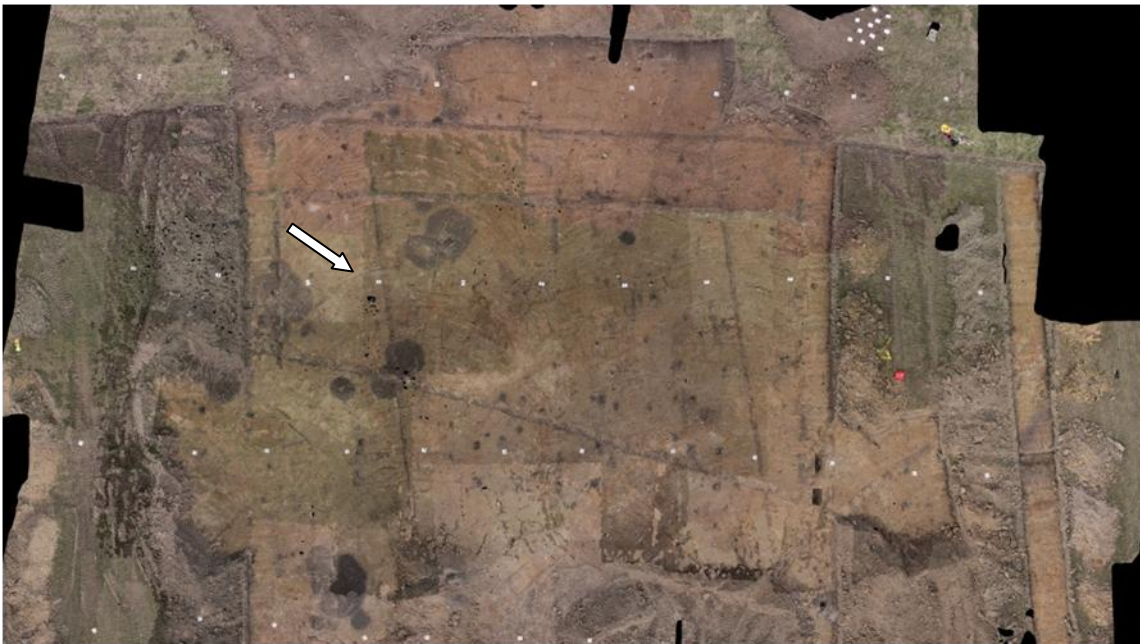
Linjen ses ved, at den øverste del af udsnittet er lysere end den nederste del af udsnittet. Steder i ortofotoet, hvor højdeforskelle visualiseres med en form for forvridding eller strækning, ses ikke i samme grad i dette ortofoto i forhold til i serie 5. Den primære årsag er nok, at brændvidden er højere for billederne i serie 1-2 end for serie 5 og dermed er de ”døde” områder ved høje objekter ikke så store i billederne.

Det er svært på baggrund af den visuelle vurdering at konkludere, om kombinationen af lod- og skråbilleder, som serie 1-2 består af, har haft en fordelagtig indflydelse på nøjagtigheden af ortofotoet i forhold til ortofotoet fra serie 5, men det er klart, at der for denne serie er færre af de visuelle fejl, end der er i ortofotoet fra serie 5.

Serie 10: 24 mm brændvidde i ca. 17 m flyvehøjde og med GSD 3 mm

Det sidste ortofoto i høj flyvehøjde er fremstillet over et andet område og det kan derfor være svært direkte at sammenligne visuelt med de to foregående ortofotos. Det skyldes, at farverne i de optagne billeder, som det også ses på figur A 6.6, er langt mere rød-brune, hvor de øvrige flyveserier var meget grålige i farverne. Ortofotoet dækker et område, hvor der er fløjet fire flyvelinjer og tre crostracks, der i alt udgør ca. 140 billeder i serien. Billedseriens orientering og generering af højdemodel er ikke beskrevet tidligere i rapporten eller appendiks, men principperne for produktionen har været de samme.

I figur A 6.6 ses ortofotoet, der er dannet på baggrund af billeder fra serie 10 (se bilag 12). Ortofotoet er farvet ud fra udvalgte billeder, hvilket ses tydeligt i form af kantede farveforskelle især i midten af ortofotoet.



Figur A 6.6: Udsnit af ortofoto på baggrund af serie 10 med 24 mm brændvidde og i 17 m flyvehøjde. De kantede farveforskelle ses tydeligt i billedet, hvilket skyldes farvning af ortofoto på baggrund af forskellige originalbilleder.

Det samme fænomen ses også tydeligere i figur A 6.7, hvor den store mørkfarvning af jorden i midten af billedet er et anlæg, der er udpeget af arkæologerne til at være interessant. I virkeligheden er denne bløde æggeformede plamage ensfarvet overalt inden for indridsningen, men fordi den er farvet på baggrund af flere billeder, får den forskellige farver i ortofotoet.



Figur A 6.7: Udsnit af ortofoto på baggrund af serie 10 med 24 mm brændvidde og i 17 m flyvehøjde. Der ses en kantede linje gennem billedet mellem brunlige farver og mere støvede og lysere brunlige farver. Dette er tilsyneladende en grænse mellem forskellige billedmaterialer.



Figur A 6.8: Udsnit af ortofoto på baggrund af serie 10 med 24 mm brændvidde i 17 m flyvehøjde: Et eksempel på et arkæologisk anlæg, der er indridset og et RAD-punkt.

Generelt når der zoomes ind i ortofotoet, ses de mørkere aftegninger i jorden fint, når der ses bort fra uensartede pixelfarvninger grundet forskelligt billedmateriale. Dog fremstår selve ridsene, som arkæologerne har foretaget i jorden omkring anlæg, ikke så tydelige (se figur A 6.8). Heller ikke lysere jordklumper eller sten kan kategoriseres som betydningsfulde eller ej på baggrund af dette billede. RAD-punkterne, der kun findes i stor størrelse, dvs. 35 mm i diameter for prikken i centrum, fremstår til gengæld fornuftigt i billederne.

Foruden de omtalte fejl i pixelfarvningen mellem billedmaterialet og enkelte huller i TIN-modellen, er dette ortofoto et godt eksempel på, hvordan et produkt over en større fladeudgravning kunne se ud.

Ortofoto i lav flyvehøjde

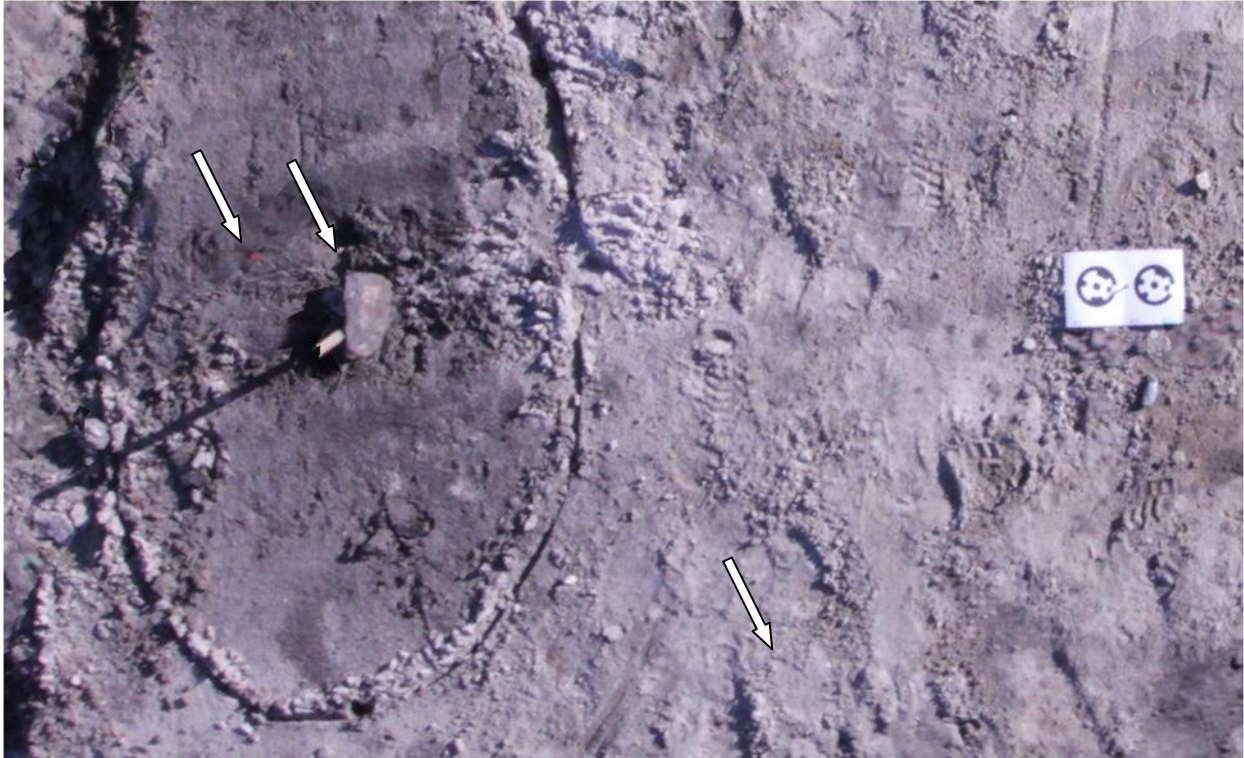
Der er to følgende billedserier i lav flyvehøjde, hvis ortofoto vil blive gennemgået:

- Serie 4: 10 mm brændvidde i ca. 4 m flyvehøjde og med GSD 1,7 mm
- Serie 3: 18 mm brændvidde i ca. 6 m flyvehøjde og med GSD 1,4 mm

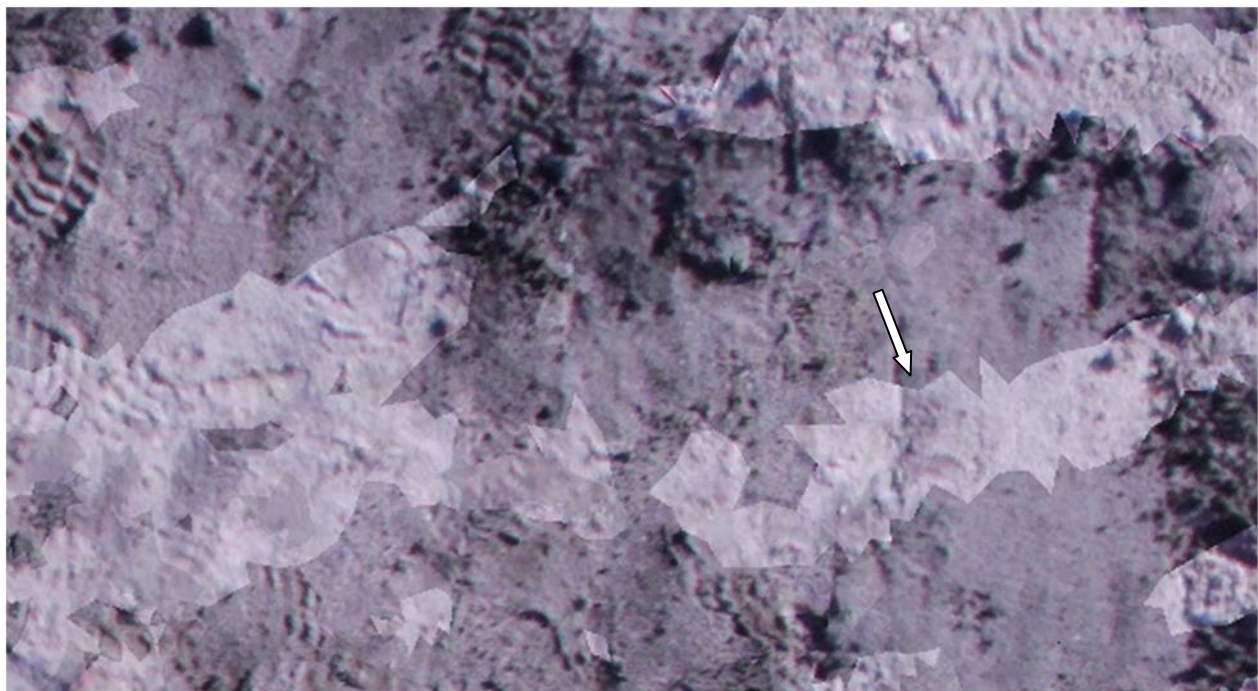
De ortofotos, der ses nærmere på her, er dannet på baggrund af ovenstående datagrundlag. Da der er fløjet i en lavere højde, er det overfløjne område ikke nær så stort. Derfor dækker billederne kun et udsnit af de tidligere fremviste ortofotos for serie 1-2 og serie 5.

Serie 4: 10 mm brændvidde i ca. 4 m flyvehøjde og med GSD 1,7 mm

Til genereringen af ortofotoet har PhotoModeler selv kunnet vælge mellem alle de originalbilleder, der har indgået i billedserien. I figur A 6.9 (næste side) ses et udsnit af ortofotoet, hvor der er zoomet ind på en indridsning, hvori der ligger en stenøkse. Det ser ud som om, at stenøkse er farvet med et andet billede end det omkringliggende, men når den iagttages under et højere zoomniveau, kan det ses, at det ikke er tilfældet. Stenøkse har blot en væsentlig anden farve. De små RAD-punkter med en diameter på 15 mm ses også tydeligt i billedet, og selv fodaftryk i jorden kan registres. Ved siden af stenøkse ses en pind, hvis røde top ligger en smule højere oppe i billedet. Dette er en fejl, men bort set fra den, ser denne del af ortofotoet pænt ud.



Figur A 6.9: Udsnit af ortofoto fra serie 4 optaget med 10 mm brændvidde i 4 m flyvehøjde. Ridserne i jorden, stenøksen og RAD-punkter fremstår tydeligt.



Figur A 6.10: Udsnit af ortofoto fra serie 4 optaget med 10 mm brændvidde i 4 m flyvehøjde. Farvenuancerne er ikke flydende, hvilket sandsynligvis skyldes, at pixelværdierne stammer fra forskellige billeder.



Figur A 6.11: Udsnit af ortofoto fra serie 4 optaget med 10 mm brændvidde i 4 m flyvehøjde. Farvenuancerne er ikke flydende, hvilket sandsynligvis skyldes, at pixelværdierne stammer fra forskellige billeder. Det kan især ses på papirarket, hvor seks RAD-punkter ikke fremstår tydelige og skarpt, som de burde.

Zoomes der ind andre steder i billedet, ses der flere områder, hvor farvenuancerne skiller i meget rette sammensatte linjer, der kunne stamme fra højdemodellens trekantsnet, hvilket er eksemplificeret i figur A 6.10. Farveforskellene stammer sandsynligvis fra forskellige billeder, hvorudfra ortofotoet er dannet. Det samme ses i endnu højere grad over i figur A 6.11, der illustrerer et A4-ark med RAD-punkter. Dette fænomen ses også i de ortofotos, der er lavet på baggrund af billeder fra høj flyvehøjde, men fænomenet optræder i højere grad i ortofotos fra lav højde. Da ortofotoet for billedserie 4 primært omfatter selve udgravningsområdet, er det også heri, der findes meget af denne type fejl.

Trods det at TIN-modellen ikke er lappet for huller, er det ikke noget, der har bidraget med fejl i ortofotoet i samme grad, som det fremgik af ortofotoene fra høj flyvehøjde. Dette skyldes, at højdeforskellene ikke er særlig store i det fotograferede område, hvorved der ikke er så mange skygge områder.

Serie 3: 18 mm brændvidde i ca. 6 m flyvehøjde og med GSD 1,4 mm

Foruden at optageforholdene for serie 3 er anderledes i forhold til billedserie 4, er dette ortofoto også farvet med kun udvalgte billeder. I figur A 6.12 (næste side) ses et udsnit af ortofotoet, hvor der ses en stenøkse og to RAD-punkter. Ved siden af stenøkseen står en lille pind med en rød top, hvor den røde markering passer på toppen af pinden i modsætning til ortofotoet fra serie 4. Hele usnittet ser rigtig fint og skarpt ud, og selv skoaftrykkene i jorden ses tydeligt.



Figur A 6.12: Udsnit af ortofoto fra serie 3 optaget med 18 mm brændvidde i 6 m flyvehøjde. Udsnit af ortofoto, hvor der ses en stenøkse ved siden af pinden med den røde top indenfor indridset. Figuren er sammenlignelig med figur A 6.9 fra billedserie 4.



Figur A 6.13: Udsnit af ortofoto fra serie 3 optaget med 18 mm brændvidde i 6 m flyvehøjde. Udsnit af et A4-ark med seks RAD-punkter på. Billedet er sammenligneligt med figur A 6.11 fra serie 4

Der er ikke nær så mange fejl i ortofotoet fra serie 3, som det har været set i de andre serier. F.eks. ses der i figur A 6.13 et ark med RAD-punkter, som ikke fremstår helt skarpt, men med langt mindre fejl end i ortofoto fra serie 4. Forbedringen skyldes sandsynligvis, at billedmaterialet til farvning af pixlerne er blevet udvalgt og at brændvidden i billederne ikke er så vidvinklet som tidligere. Som følge af at TIN-

modellen er blevet lappet for huller, fremgår der heller ingen sorte pletter i modellen, hvor der mangler højdemodel. Generelt er dette ortofoto rigtig pænt, skarpt og detaljeret.

Opsamling på visuel kontrol af ortofoto

Det kommer ikke som nogen overraskelse, at det i ortofotoene fra lav højde er muligt at se flere detaljer, end det er muligt at se i ortofotos fra høj flyvehøjde. Det gælder både med hensyn til skoastryk, RAD-punkter, indridsninger i jorden og stenøkser. Der er dog flere fejl, der går igen i de forskellige i ortofotos.

I flere af ortofotoene er der sorte huller i billedet, fordi der manglede TIN-model for området. Den simple løsning til at undgå dette, er ved at huske at lappe hullerne i TIN-modellen, inden der genereres ortofoto ud fra dem. Det er simpelt og løses ved en funktion i PhotoModeler. Ulempen ved at gøre det er, at det risikeres at ekstrapolere trekkanterne, og dermed indføre fejl i ortofotoet i stedet for at beholde de sorte huller, hvor der ikke er tilstrækkelig data til at lave den korrekte farvning.

I nogle af ortofotoene er pixelfarvningen foretaget fra forskellige billeder i et stort virvar. Pixelfarvningen sker ud fra nogle kriterier, der angives i PhotoModeler og som står beskrevet i rapporten. Fænomenet var især tydeligt i ortofotoet fra serie 4, der er optaget i lav højde og som er farvet ud fra alle billederne i billedserien. For serie 3, hvor der er udvalgt enkelte billeder til pixelfarvningen, ses fænomenet ikke i samme grad. Dette skyldes, at de overlappende områder mellem billederne ikke er så store, som når alle billeder anvendes til pixelfarvningen.

I nogle tilfælde ses grænsen mellem pixelfarvningen fra ét billede og ét andet billede tydeligt. Dette er især for ortofotoene fra høj flyvehøjde, og hvor der er udvalgt specifikke billeder til pixelfarvningen. Det formodes, at farveforskellen mellem billederne kan mindskes, ved at ISO-værdien styres manuelt under fotoflyvningen. Derved vil pixelfarvningerne i overgangen fra det ene til det andet billede, ikke være nær så tydelig. En anden mulighed er at kontrastbehandle billederne før eller efter ortofotogenereringen.

Overordnet kan det konstateres, at hvis der anvendes 18 mm eller 24 mm brændvidde, og der udvælges billeder til pixelfarvningen, er der god sandsynlighed for at opnå en god visuel kvalitet af ortofotoene.

App. A 6.2 Kontrol af de producerede ortofotos nøjagtighed

Indtil nu er der kun vurderet visuelt på de generede ortofotos, men det er i lige så høj grad vigtigt at undersøge, nøjagtigheden af ortofotoene. Der er derfor lavet en kontrol af nøjagtigheden af de enkelte ortofotos, der er gennemgået ovenfor.

Fremgangsmetoden til kontrol af ortofotos har været, at måle en række afstande i ortofotoene i antal pixels og omregne dem til afstande på jorden. Afstandene er målt mellem RAD-punkter i billederne. De beregnede afstande er herefter sammenlignet med afstanden mellem de samme punkter beregnet ud fra koordinater, der er indmålt med totalstation. På baggrund af de beregnede differencer mellem de to afstande, beregnes efterfølgende spredning og middel. Spredningen er beregnet i meter og derefter omregnet til antal pixels i originalbillederne ud fra hver billedseries målforhold. Resultatet af kontrolmålingerne kan ses i tabel A 6.2.

Beregningerne bygger på en række afstande, der i ortofotoet tilnærmelsesvis ligger på tværs af flyveretningen, samt afstande der tilnærmelsesvis ligger langs med flyveretningen. Dermed kan det undersøges, om der skulle være en strækning i billedet i den ene retning. Derudover er der målt en række tilfælde afstande i billederne. Derfor er antallet af afstande, der er anvendt til udregning af spredning total, større end det antal afstande, der tilsammen er brugt til at afgøre om der ses en strækning (se tabel A 6.2).

	Høj flyvehøjde Pixelstørrelse: ca. 5 mm				Lav flyvehøjde Pixelstørrelse: ca. 2 mm					
Billedserie:	Serie 1 og 2		Serie 5		Serie 10		Serie 3		Serie 4	
Brændvidde:	18 mm		10 mm		24 mm		18 mm		10 mm	
Flyvehøjde:	20 m		15 m		17 m		6 m		4 m	
	Antal afs.	Spred- ning	Antal afs.	Spred- ning	Antal afs.	Spred- ning	Antal afs.	Spred- ning	Antal afs.	Spred- ning
X-retning	11	0,013 m 3,07 pix	5	0,021 m 4,29 pix	16	0,012 m 4,14 pix	12	0,005 m 3,38 pix	13	0,010 m 9,87 pix
Y-retning	11	0,011 m 2,73 pix	7	0,024 m 4,90 pix	15	0,018 m 6,26 pix	12	0,004 m 2,80 pix	15	0,006 m 4,15 pix
Spredning total på en målt afstand	37	0,017 m 4,14 pix	24	0,034 m 6,85 pix	48	0,017 m 6,14 pix	45	0,005 m 3,58 pix	48	0,009 m 5,94 pix
Middel residual	0,003 m 0,82 pix		-0,003 m -0,54 pix		0,004 m 1,45 pix		-0,004 m -2,86 pix		0,002 m 1,51 pix	
Min. residual	-0,049 m -12,06 pix		-0,074 m -14,83 pix		-0,043 m -15,24 pix		-0,016 m -10,56 pix		-0,015 m -10,15 pix	
Maks. residual	0,033 m 8,04 pix		0,085 m 16,99 pix		0,035 m 12,63 pix		0,008 m 5,52 pix		0,023 m 15,42 pix	

Tabel A 6.2: Oversigtstabel for udregning af kontrolmålinger i de forskellige ortofotos. Spredningerne bygger på differencer mellem afstande optaget i ortofotoene i forhold til tilsvarende afstande indmålt med totalstation. Spredningerne er udregnet både i meter og i pixels, svarende til antal pixels i originalbilledet.

Tallene i tabel A 6.2 viser, at der tilsyneladende ikke er en markant forskel mellem nøjagtigheden på afstande på den ene og anden led i billedet. Dvs. der ikke ses en tydelig strækning af billederne. Dette gælder for alle billedserier, hvoraf den største forskel er på 6 mm for billedserie 10. Forskellen vurderes ikke til at være markant og det må konstateres, at der umiddelbart ikke forefindes strækninger eller forvridninger i billederne.

Ses der på tallene for de to billedserier i lav flyvehøjde, er tendensen, at spredningerne både i meter og pixels for alle tre spredninger er lavere for 18 mm brændvidde end for 10 mm brændvidde. Det samme gør sig gældende for billedserierne med 18 mm og 10 mm brændvidde i høj flyvehøjde. Når serie 10 med 24 mm brændvidde sammenlignes med serie 1-2 med 18 mm brændvidde, ses der ikke nogen særlig forskel på spredningerne. Serie 10 indeholder langt flere billeder der er taget over et større område, end de andre serier, og det ville således være forventeligt at nøjagtigheden blev dårligere. Når serie 10 er lige så god som serie 1-2, på trods af antallet af billeder, kan der ikke være noget der tyder på, at 24 mm brændvidde er dårligere end 18 mm og 10 mm brændvidde.

Resultaterne peger i retning af, at der ikke er en bedre nøjagtighed ved brug af meget vidvinklede objektiver som f.eks. ved 10 mm brændvidde, og det kan konkluderes, at det er muligt at opnå nøjagtigheder under 2 cm, når der flyves under 20 m.

Appendiks B

PhotoModelers beregningsteknik

I dette appendiks beskrives det, hvordan PhotoModeler beregner en orientering og hvilke muligheder og parametre, der er tilgængelige før og efter en beregning. Udgangspunktet for beskrivelsen er, at der er målt en række sammenknytningspunkter mellem nogle billeder, der skal regnes på, for at finde frem til en orientering af kamerapositionerne. Det er beskrevet i rapporten, at der findes forskellige typer punkter i PhotoModeler, der kan anvendes til orienteringen. Det er henholdsvis RAD-punkter og SmartPoints, hvis egenskaber er angivet i rapporten. Brugen af punkttyperne definerer forskellige projekttyper i PhotoModeler. I et SmartPoint-projekt er det muligt at arbejde både med SmartPoints og RAD-punkter, men i et RAD-punktsprojekt kan SmartPoints ikke indgå. Når PhotoModeler automatisk genererer SmartPoints i et projekt, beregner programmet også automatisk en orientering. Der kan efterfølgende udføres flere beregninger, hvis der er fundet fejlrefereringer. De efterfølgende beregninger udføres ved hjælp af funktionen ”Proces” i PhotoModeler, hvor PhotoModeler gennemfører en beregning til orientering af billederne ud fra de beregningsindstillinger, der er sat. I RAD-projekter skal der efter automatisk punktmarkering og referering gennemføres en beregning vha. ”Proces”, før det er muligt at se en orientering og et troværdigt resultat.

App. B 1 Beregningsfunktioner

Beregningsmetoden, som PhotoModeler anvender, er stråleudjævning, hvor der i forbindelse med beregningerne er flere funktioner, der kan vælges;

- Orientering – herunder;
 - Alle billeder,
 - Kun ikke orienterede billeder
- Optimering – herunder;
 - Feltkalibrering (”Camera Optimization”)
 - Fjernelse af observationer med høje residualer (”Include High Residual Point Removal”)
- Indlæggelse af mål (”Include Constraints”)

Ved første beregning ønskes det sandsynligvis at orientere alle billeder, men senere hen hvor nogle billeder er orienteret, og andre ikke er orienteret, er det muligt kun at beregne på ikke orienterede billeder. Det er også muligt via de enkelte billeders egenskaber at vælge, om billedet skal ”anvendes og indgå i udjævning”, ”ikke anvendes” eller ”anvendes, men ikke indgå i udjævning”.

De automatiske optimeringsmuligheder, der kan vælges, er dels feltkalibrering, hvor kameraets parametre indgår i udjævningen. Den anden mulighed er automatisk fjernelse af observationer med store residualer, hvor observationerne fjernes, hvis residualerne er større end den angivne grænseværdi. Defaultværdierne for denne grænseværdi er for

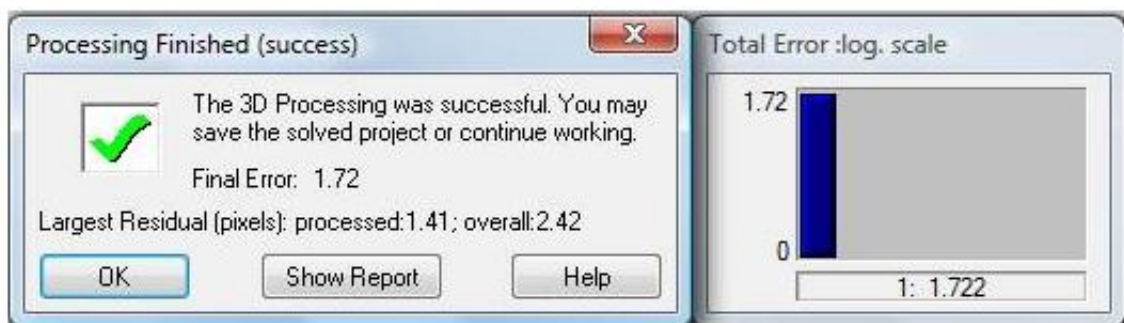
punkter målt i god kvalitet (RAD-punkter) på 3 pixels, og for punkter der er målt med mindre god kvalitet (SmartPoints) på 10 pixels.

Den sidste valgmulighed er at indlægge mål, som f.eks. en afstand, en flade eller parallelle linjer, og lade dem indgå i udjævningen. Det er vigtigt at nævne, at denne funktion ikke giver mulighed for at indlægge og fastholde enkeltpunkter i udjævningen.

Det kan anbefales først at beregne en orientering af billederne, for at kontrollere om dette er muligt, med hensyn til overlap, vinkel mellem billederne, antal af fællespunkter osv. Herefter er det muligt at optimere beregningen med en eller flere af de angivne muligheder. (PhotoModeler, 2011)

App. B 2 PhotoModelers udjævningsteknik

Når der er foretaget de ønskede indstillinger for stråleudjævningen, sættes beregningerne i gang. Oftest udfører PhotoModeler flere iterationer, for at optimere løsningen og for til sidst at opnå det bedste resultat til en orientering af billederne. Resultatet af en udjævning kan ses i figur B 2.1.



Figur B 2.1: Eksempel på resultatet af en beregning for en orientering af en række billeder. Boksen til venstre er slutmeddelelsen, mens boksen til højre kan følges under hele beregningen. Højre boks angiver antallet af iterationer og total error, dvs. spredning på vægtenheden, sigma 0. (PhotoModeler, 2011)

Under beregningerne kan der følges med i boksen til højre i figur B 2.1, der illustrerer antallet af iterationer og "Total Error" for den enkelte iteration. Total Error kan nærmere betegnes som spredningen på vægtenheden, sigma 0. I dette eksempel er der kun udført én iteration, før den venstre boks i figur B 2.1 er fremkommet. Denne angiver, at beregningen er færdig, at den er gået succesfuldt og hvor godt det endelige resultat for udjævningen blev. Begrebet "Final Error" dækker over spredningen på vægtenheden (sigma 0) for den sidste iteration. Derudover angives det største residual for processen og det største residual samlet set (overall). Forskellen på disse er, at det største residual for processen er det største residual, der indgår i selve beregningen, mens det største residual samlet set (overall) er det største residual, der er i hele projektet, som dermed kan være sorteret fra selve udjævningen. Foretages der en automatisk frasortering af punkter under beregningerne, vil det kunne ses ved en grøn søjle i boksen med total error. Herudover dannes der en rapport for udjævningen, hvori der står de vigtigste oplysninger som kamerapositioner og præcisionen af disse, kameraparametre, hvilke funktioner udjævningen er beregnet ud fra, sigma 0 osv.. Men residualerne for punkterne er ikke

angivet i rapporten. Residualerne for de enkelte billedmålinger eller 3D-koordinater og præcisionen af modelkoordinaterne, kan iagttages i forskellige tabeller i PhotoModeler.

Udjævningen i PhotoModeler foregår sandsynligvis efter mindste kvadraters metode, uden at det dog står angivet helt tydeligt nogle steder i PhotoModeler. Men flere elementer peger imod det. I hvert fald er det angivet, at a priori sigma 0 er sat til 1, og derfor bør a posteriori sigma 0, også nærme sig 1 efter endt udjævning. I PhotoModeler er der fastsat default værdier for "Default Point Standard Deviation Weights" for x og y angivet i pixels. Værdierne for sub-pixelpunkter og andre markerede punkter er sat til henholdsvis 0,1 pixel og 1 pixel (se figur B 2.2). Det antages, at det der angives her, er præcisionen for de enkelte billedmålinger for de forskellige punkttyper og ikke deres vægte. Punkternes præcision indgår selvfølgelig i beregningen til punkternes vægt. Både RAD-punkter og SmartPoints bliver målt på sub-pixelniveau, men med udgangspunkt i forskellig kvalitet. I projekter hvor der både indgår RAD-punkter og SmartPoints, formodes det, at SmartPoints indgår som "Marked points" og RAD-punkter som "Sub-pixel target points", og at de derfor bliver vægtet forskelligt. (PhotoModeler, 2011) (Savoy, 2012)

Default Point Standard Deviation Weights (pixels)		
	x	y
Marked points:	1	1
Sub-pixel target points:	0.1	0.1

Figur B 2.2: Udsnit af dialogboksen "Preferences – Processing and Cameras" under fanebladet "Proces". Udsnittet angiver defaultværdier til billedmålingernes præcision. (PhotoModeler, 2011)

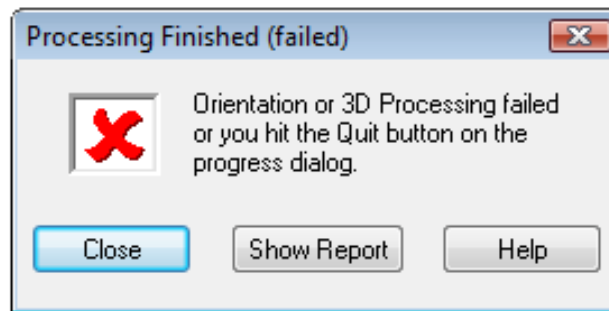
I PhotoModeler beskrives det endvidere også, at hvis sigma 0 er større end 1, skyldes det sandsynligvis fejlrefereringer (grove fejl), dårlig målte punkter (a priori værdierne stemmer ikke overens med den målte kvalitet af punkterne), eller dårlige kameraparametre. Omvendt hvis sigma 0 er mindre end 1, siges det, at de målte punkter er bedre end de angivne a priori værdier. Dette er grundlæggende principper for udjævning efter mindste kvadraters metode. PhotoModeler anvender også en proces i udjævningen, der benævnes "Global Optimization". PhotoModelers beskrivelse af "Global Optimization" er, at formålet med processen er at minimere fejlene i datainputtet og finde frem til den bedste løsning for kamerastationer og modelkoordinater i 3D. Processen går ud på, at efter hver iteration vurderer PhotoModeler på resultatet og hvis det ikke er tilfredsstillende, foretages endnu en iteration. Dette er sandsynligvis blot en kontrol af, om forskellen af spredningen på vægtenheden mellem de to sidste iterationer er større end den fastsatte grænseværdi. Er forskellen større end grænseværdien, fortsættes der med endnu en iteration, og er den mindre stoppes iterationerne. (PhotoModeler, 2011)

Begrebet "Global Optimization" minder dog meget om den vurderingsteknik af udjævningsresultater, der jf. Cederholm (2000) kaldes en Global Test, og som bygger på W. Baardes koncept. Global test drejer sig om at teste a priori variansfaktoren mod a posteriori variansfaktoren for at sandsynliggøre om observationerne er normalfordelte, og

om den stokastiske og funktionelle model er korrekt. I PhotoModeler beskrives det ikke nærmere, hvad denne "Global Optimization" dækker over, men det kunne tænkes, at der på en eller anden måde blev udført en Global Test.

App. B 3 Vurdering af udjævning

Beregningerne der udføres i PhotoModeler lykkes ikke i alle tilfælde. Dette gøres der opmærksom på, med en dialogboks som vist i figur B 3.1.



Figur B 3.1: PhotoModelers dialogboks for at beregningen ikke lykkedes. (PhotoModeler, 2011)

Når dette sker, er det som oftest fordi, der er grove fejlrefereringer af billedmålingerne. Andre gange er PhotoModeler i stand til at beregne en udjævning, der måske ikke er særlig god, fordi der er høje residualer for punkterne, eller at flere billeder slet ikke er blevet orienteret. Det er erfaret at vælges alle billeder til status; " anvendes, men ikke indgå i udjævning" i beregningen, og der kun tilføjes et uorienteret billede af gangen, er det muligt at få flere billeder med i én samlet orientering. PhotoModeler kommer også med forslag til, hvad der kunne være gået galt, som f.eks. for få punkter, for lille vinkel mellem billederne, eller for store residualer, hvis udjævningen ikke er optimal.

Generelt anbefaler PhotoModeler, at der vurderes på residualernes størrelse og størrelsen på sigma 0. Det bør tilsigtes, at alle projektyper har et maksimalt residual på 10 pixels. For projekter med kendt kamerakalibrering anbefaler PhotoModeler, at det største residual maksimalt må være 3 pixels og for høj kvalitetsprojekter med punkter kun på sub-pixelniveau, bør residualerne maksimalt være 1 pixel, men gerne mindre. Endvidere bør sigma 0 ikke overstige 2,0 i høj kvalitetsprojekter, som det er tilfældet, når der arbejdes med RAD- og SmartPoints-projekter. Høj kvalitetsprojekter er fornuftige at anvende, når projektet senere hen skal anvendes til generering af højdemodel. En parameter som ikke er angivet eller beskrevet nogle steder, er graden af overbestemmelse, hvilket ellers kunne være en interessant parameter at kende i denne sammenhæng.

Residualerne på billedmålingerne eller andre observationer der har indgået i en udjævning kan iagttages i PhotoModelers tabeller. Her er det muligt at se billedmålingernes koordinater, residualerne, og i hvilke billeder der findes et tilsvarende punkt, der er knyttet sammen med dette. Det er også muligt at se egenskaber for modelkoordinaterne og mange andre ting. (PhotoModeler, 2011)

App. B 4 Absolut orientering

Når der foretages ovenstående beregning, er det som regel i forbindelse med en relativ orientering af et antal billeder. Det er endvidere også interessant at kunne referere sit produkt til et absolut referencesystem, så det kan anvendes i andre kortværker og sammenhænge. Når PhotoModeler beregner en relativ orientering, sker det i et tilfældigt lokalt system, som kan knyttes til et kendt system på flere forskellige måder. Det kan vælges blot at indføre en skala, rotation eller translation, hvis det er tilstrækkeligt at få af parametrene bliver defineret. Det er også muligt at indlæse en række punkter, der kan definere et koordinatsystem på forskellig vis. Da RAD-punkterne i billederne er indmålt med totalstation, er det hensigtsmæssigt at anvende disse, til at definere en ydre orientering af den relative blok. Nedenfor beskrives tre måder, hvorpå det er muligt at anvende totalstationsmålingerne til at definere en absolut orientering for den relative blok.

"Multipoints transform"

Denne funktion bygger på en 3D konform transformation, hvor der foretages translation, skalering og rotation af blokken over en række fællespunkter. De kendte punkter skal være i 3D og der skal minimum indgå tre fællespunkter i transformationen, for at definere projektets koordinatsystem. Indgår der flere fællespunkter bliver transformationen et resultat af, hvordan modellen passer bedst over alle disse punkter. Forskellen mellem fællespunktens koordinater (i til- og fra-systemet) kan ses i tabellen "checkpoints" i PhotoModeler.

I dette tilfælde vil fællespunkterne være RAD-punkter, der er målt i billederne og derved har 3D-modelkoordinater og RAD-punkter, der er målt med totalstation. Funktionen multipoints transformation kan udføres ved lokale kendte koordinater, og derved er der ikke tilknyttet et referencesystem til projektet.

"Geographic Multipoint transform"

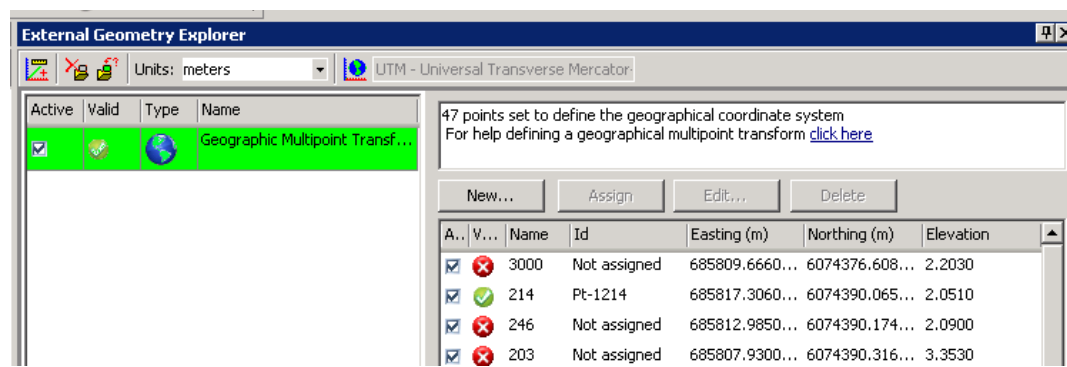
Denne funktion anvender de samme principper som i funktionen "multipoints transform". Dvs. der anvendes en række fællespunkter og en 3D konform transformation til at definere projektets koordinatsystem. Forskellen er bare, at de anvendte kendte punkter skal ligge i et kendt geografisk koordinatsystem, og at det skal angives, hvilket system det er. Der er kun mulighed for at vælge UTM-koordinatsystem, af systemer der passer for Danmark. Det er nødvendigt at have et referencesystem tilknyttet projektet, hvis det ønskes at eksportere en georefererings fil, der kan anvendes i Google Earth eller GIS-værktøjer.

"Control Points"

I PhotoModeler anvendes begrebet "Control Points", der på dansk betegnes som et paspunkt og bruges til at orientere en billedserie absolut og derved definere koordinatsystemet for projektet. "Control Points" skal være opgivet i 3D og til forskel fra de to forrige metoder, defineres projektets koordinatsystem ved at lade paspunkter indgå i udjævningen af orienteringen. Det er muligt at angive en præcision for paspunktens x, y og z koordinat, eller de kan fastholdes ved at angive dem som "fixed". Ved at anvende funktionen "Control Points", sker der en modifikation af modellens form, og på den måde er det muligt at modvirke forvrængninger i den relative blok.

App. B 4.1 Fremgangsmåde og erfaringer

Defineringen af projektets koordinatsystem sker gennem funktionen ”External Geometry Explorer”. For de tre ovennævnte metoder gælder det, at punkterne, der ønskes anvendt til at definere et koordinatsystem ud fra, kan indlæses ved en fil, eller de kan indtastes manuelt. Fremgangsmåden, hvorpå de importerede punkter knyttes til modelkoordinaterne i den orienterede blok, er også ens og foregår manuelt. I figur B 4.1 ses et udsnit af funktionen ”External Geometry Explorer”, hvor der er indlæst en række punkter ved ”Geographic Multipoint transformation”. Der markeres et punkt i listen vist i figur B 4.1, og herefter markeres det tilsvarende modelkoordinat i PhotoModelers 3D-viewer eller punkttabel, hvorefter der klikkes på ”Assign”. Herefter er de to fællespunkter sammenknyttet, som det ses for punkt 214 i figur B 4.1. Når dette er gjort for tre eller flere punkter, foretages der en transformation, når der er tale om funktionerne ”Multipoints og Geographic multipoints transform”.



Figur B 4.1: Udsnit fra et skærbillede i PhotoModeler hvor funktionen ”External Geometry Explorer” ses. Der er i eksemplet her indlæst punkter ved ”Geographic Multipoint transform”. Til højre i billedet ses alle de kendte punkter, hvor punkt 214 er tilknyttet en modelkoordinat. (PhotoModeler, 2011)

Ved brug af ”Control Points” skal fællespunkterne knyttet sammen efter samme princip som ovenfor. Erfaringer ved brug af PhotoModeler har vist, at når der er foretaget en relativ orientering, er det ikke muligt at flytte hele den relative blok, ved at knytte få paspunkter til modellen. Når paspunkterne er indlæst og knyttet sammen med modelkoordinater, fås der rigtig store residualer i projektet. Studeres situationen nærmere i PhotoModelers 3D-viewer ses det, at den orienterede model og paspunkterne ligger utroligt langt fra hinanden, og derfor fremkommer de store residualer. I forsøg 3 (se appendiks A) lykkedes det at anvende funktionen ”Control Points”, men da var alle modelkoordinater også knyttet sammen med et paspunkt. Det antages derfor, at hvis ”Control Points” skal anvendes, bør disse tilknyttes før orienteringen af billederne beregnes, for på den baggrund at definere et koordinatsystem for projektet. En anden mulighed er også, at alle modelkoordinater får tilknyttet et paspunkt, hvilket dog ikke er særlig sandsynligt i forbindelse med SmartPoints-projekter.

På grund af problematikken med brugen af ”Control Points”, er der i projektarbejdet her anvendt enten ”Multipoints transform” eller ”Geographic multipoints transform”.

Appendiks C

Introduktion til ortofoto

I forbindelse med dette projekt, hvor der produceres ortofotos, vurderes det, at en introduktion til den grundlæggende teori med hensyn til ortofotoproduktion vil være på sin plads. Dette appendiks præsenterer derfor overordnet teorien for generering af ortofotos efter en kort introduktion til ortofoto generelt.

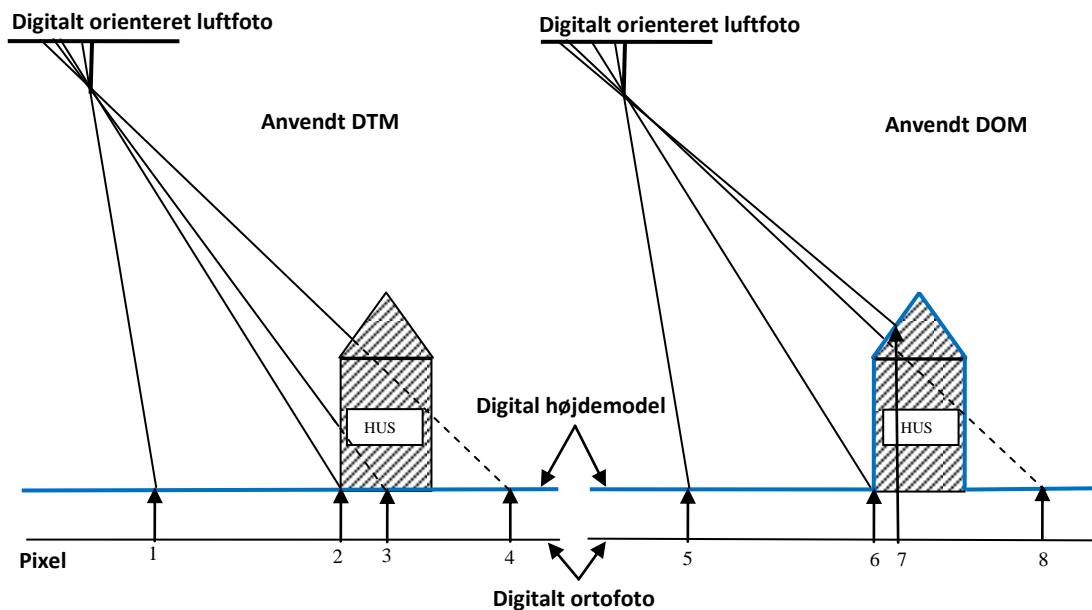
Almindeligvis når ortofotos omtales i kortverdenen, retter associationerne sig mod billeder, der er optaget fra luften og mod jorden. Et eksempel kunne være COWI's ortofoto, der blandt andet ses i Google Maps. Ortofoto-begrebet dækker i et bredere perspektiv over, at der foretages en opretning af originalbilledet, som gør ortofotoet målefast. Et normalt luftfoto har forskellige målforhold forskellige steder i billedet alt efter terrænets form på jorden og kameraets position. Denne forskel bygger på, at et almindeligt foto er centralprojekteret, mens et ortofoto har en ortogonal projektion. Ortofotos kan genereres for ét enkelt eller flere centralprojekterede billeder. Et produkt, som f.eks. COWI's, kan også være sammensat af flere enkeltortofotos (mosaikker), der danner et sammenhængende kortværk, der er refereret til et kendt referencesystem. (Buch, 2005) Mere generelt kan ortofotos også genereres i det horisontale plan mod f.eks. en bygning, hvis der kendes en overflademodel for motivet.

I dette projektarbejde er formålet at generere ortofoto i traditionel forstand, ud fra billeder af jorden der er optaget med LE34's helikopter.

App. C 1 Teori vedr. generering af ortofoto

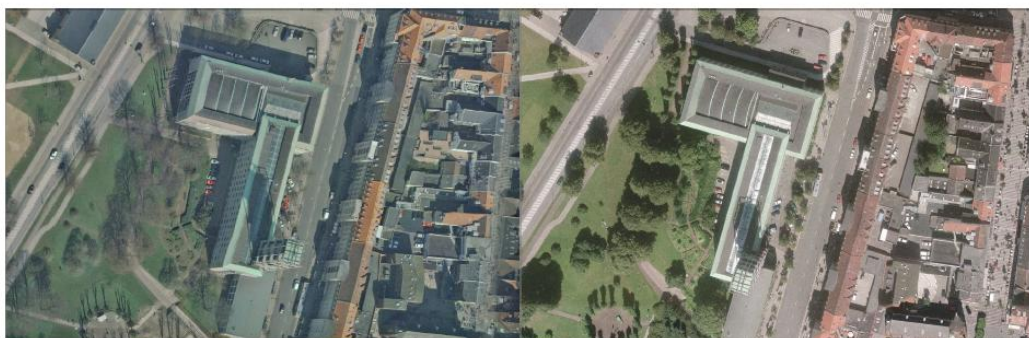
Fremstillingen af ortofoto bygger på flere delelementer som luftfotografering, orientering af billeder, dannelse af digital højdemodel (enten ud fra billederne selv eller fremskaffet på anden vis), generering af ortofoto, mosaik sammensætning af de enkelte ortofotos, og til sidst en evt. farve- og kontrastjustering af det samlede ortofoto. (Buch, 2005) Af disse elementer er det generering af ortofoto, der teoretisk beskrives nedenfor.

Genereringen af ortofoto kræver som nævnt et orienteret billede og en orienteret højdemodel. Proceduren er, at der til hver pixel i ortofotoet findes en højde i højdemodellen (se figur C 1.1). Ud fra en højdemodel og stråleligningerne findes billedkoordinaterne i det orienterede billede. Billedkoordinaterne danner grundlag for en interpolation mellem de omkringliggende pixels farveværdi, der efterfølgende tildeles en pixel i ortofotoet. Dette er proceduren for hver enkel pixel i ortofotoet, hvilket kræver en god regnekapacitet. (Buch, 2005)



Figur C 1.1: De to illustrationer viser forskellen i at anvende digital terrænmodel (DTM) og digital overfaldemodel (DOM) til generering af ortofoto.

Ved generering af ortofoto anvendes der normalt en digital terrænmodel (DTM), hvilket betyder, at høje objekter i billederne, som f.eks. huse, kan komme til at "vælte" lidt. Et eksempel på dette ses i figur C 1.1, hvor pixel 3 får en pixelværdi fra bygningens facade, mens pixel 4 får en pixelværdi fra bygningens tag. I ortofotoet bliver disse pixelsværdier placeret forkert, fordi højdemodellen følger terrænet. Derved bliver tagets placering forskudt i forhold til bygningens fundament i ortofotoet. Dvs., bygningen bliver ikke afbildet i hel lodret position, da den ene bygningsfacade kan ses, og tagets placering ligger forskudt i forhold til bygningens placering ved jorden. Dette skyldes dels valget af højdemodel, og at bygningen i billedet skygger for objekter på bygningens bagside, fordi billedet er centralprojekteret. Fænomenet ses i større grad for bygninger, der ligger i udkanten af et luftfoto, mens bygninger i midten af billedet næsten er optaget ortogonalt og derfor vælter bygningen ikke i samme grad (se figur C 1.2).



Figur C 1.2: To eksempler på ortofoto, der er genereret ud fra terrænmodel, men hvor billederne der danner baggrund for ortofotoet er forskellig. Bygningen vælter en smule i det venstre billede, mens bygningen ses helt oppefra på det højre. Dette er resultatet af, om bygningen har ligget lige under projektcentret eller i yderkanten af luftfotoet. (Geoforums Ortofotoudvalg, 2011)

Er det muligt at beskrive bygningernes form og højde f.eks. ved en overflademodel eller 3D-bymodel, vil bygningerne ikke komme til at vælte, men i stedet vil der komme en slags spøgelses effekt på bygningens bagside. Dette skyldes, som det fremgår af figur C 1.1, at pixelerne 5, 6 og 7 får en korrekt pixelværdi i ortofotoet, i forhold til at se bygningen ortogonalt, men det går galt, når det kommer til pixel nr. 8 (figur C 1.1). Når pixelværdien i ortofotoet skal findes til pixel nr. 8, fås en tidligere brugt billedkoordinat i bygningens tag, fordi bygningen skygger for informationer på bagsiden af bygningen. Dette resulterer i en spøgelses effekt i billedet, da de samme pixelværdier anvendes flere gange (se figur C 1.3), eftersom bygningen i billedet skygger for den rigtige pixelværdi på terrænet. (Buch, 2005)



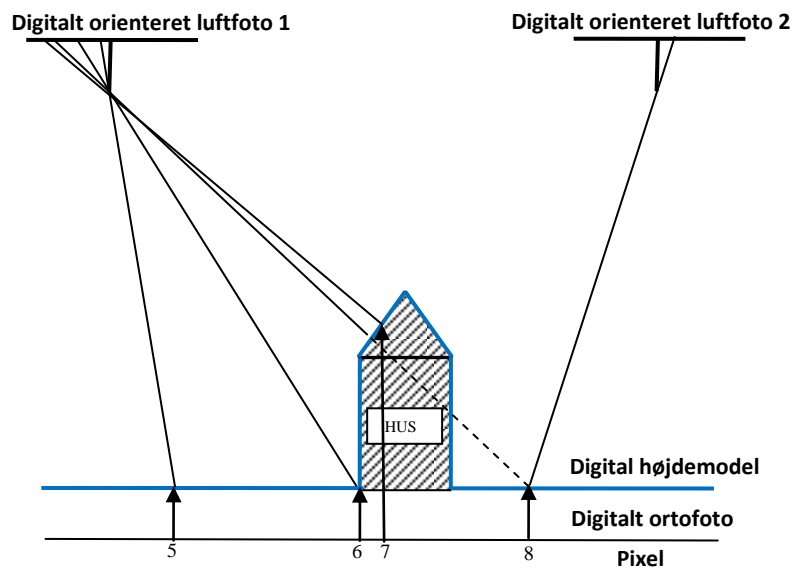
Figur C 1.3: Marmorkirken i København. Til venstre ses et normalt ortofoto dannet på baggrund af en DTM, der resulterer i, at bygningen vælter en smule. Til højre er der anvendt en overflademodel, der dermed udgør den omtalte spøgelses effekt. (Buch, 2005)

Alt i alt er det et problem, at høje objekter i billederne skygger for terræninformation på objekternes bagside og danner disse "døde" områder i billederne. Størrelsen af de "døde" områder afhænger i høj grad af, hvor stor vidvinkel billederne bliver optaget med. Derudover har det selvfølgelig noget at gøre med flyvehøjden og størrelsen af højdeforskellene. Jo højere der flyves jo mindre "døde" områder. Da billederne bliver optaget i centralprojektion, er det ikke muligt at løse denne problematik ved udelukkende at ændre højdemodellen.

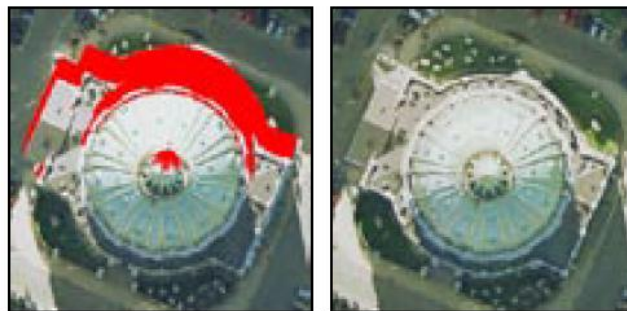
App. C 1.1 True ortofoto

Et ortofotoprodukt, der behandler ovenstående problematikker og hvor det færdige ortofoto alle steder i billedet ses fra ortogonalprojektion, er det der hedder true ortofoto.

Et true ortofoto er hvor pixelværdien til ortofotoets 8. pixel (se figur C 1.4) tages fra nabobillede (luftfoto 2), hvor bygningen eller andre objekter ikke skygger for terrænets pixelværdi. Et eksempel på det "døde" område i et ortofoto, og hvordan et færdigt true ortofoto ser ud, kan ses i figur C 1.5. Det røde felt illustrerer området, hvor der er taget pixelværdier fra nabobilledet, hvilket dermed udgør det "døde" område. Billedet til højre i figur C 1.5 viser et eksempel på true ortofoto, der er forskelligt fra det normale ortofoto, hvor bygningerne vælter (se figur C 1.3). (Buch, 2005)



Figur C 1.4: Procedure for generering af true ortofoto. Bygningen skygger for den rigtige pixelværdi til pixel nr. 8. Den rigtige værdi kan findes i naboluftfotoet og derved fås et true ortofoto.



Figur C 1.5: Billede af Marmorkirken i København, hvor bygningen skygger for terrænet på bagsiden af bygningen i originalbilledet. Det røde område er der, hvor der tages pixelværdier fra et nabobillede. (Buch, 2005)

I forbindelse med projektarbejdet forventes det ikke, at PhotoModeler er i stand til at generere true ortofoto. Det skyldes, at der ikke kendes til andre programmer, der er i stand til at løse denne problematik. Derfor er det relevant at overveje problematikken med højdemodel og ”døde” områder i forbindelse med flyveplanlægning og generering af højdemodel, da det har indflydelse på det færdige produkt. De arkæologiske udgravninger kan i nogle tilfælde bestå af små jordsøjler med genstande på, der kan skygge for andre vigtige informationer i billedet. Det vil i den forbindelse være fornuftigt at anvende en stor brændvidde og dermed undgå, at de ”døde” områder bliver for store. Valget af en stor brændvidde har betydning for flyvehøjden, hvis der vil opnås en bestemt ground sample distance i billederne, hvilket der kan læses mere om under beskrivelsen af metoden i rapporten.

Indholdsfortegnelse

Bilag 1	Specifikationer for kamera og objektiv.....	58
1.1	Specifikationer for kamera Canon EOS 550D	58
1.2	Specifikationer for objektiver	58
Bilag 2	Præsentation af billedserier.....	59
2.1	Oplæg til flyvning og optagelse af billeserier	59
2.2	Flyvning 1	59
2.3	Flyvning 2 - nyt område.....	61
Bilag 3	Beregning af footprint ved flyvning i blæsevejr.....	64
3.1	Påvirkninger i luft	65
3.2	Beregning af vinkler.....	66
3.3	Fra modelkoordinater til systemkoordinater	67
3.4	Eksempler på anvendelser.....	67
Bilag 4	Tekniske og automatiske funktioner for Canon EOS 550D.....	69
Bilag 5	Eksempler på kameraindstillinger.....	71
5.1	Lukkertid.....	71
5.2	Blændetal	72
5.3	ISO-værdi.....	73
Bilag 6	Eksempler på billeder til forsøg 1	75
Bilag 7	Eksempel på billeder med forskellig blændetal	76
Bilag 8	Opsamling på databehandling.....	77
Bilag 9	Billedserie 5	78
Bilag 10	Oversigt over billedserie	86
Bilag 11	Ortofoto fra billedserie 5.....	87
Bilag 12	Ortofoto fra billedserie 10.....	89

Bilag 1 Specifikationer for kamera og objektiv

Her ses specifikationer for kamera og objektiver, der er anvendt til optagelse af billeder.

1.1 Specifikationer for kamera Canon EOS 550D

Specifikation		Bemærkning
Censor type	CMOS, format: 22,3 x 14,9mm	
Antal pixels	Ca. 18,7 MP 5184 x 3456pixel	Ca. 18,0 MP kan anvendes effektivt
Pixelstørrelse	4,3 µm	
Billedformat	3:2	
Lysmåler	TTL (Through the Lens)	Forskellige målingsmetoder
ISO (lysfølsomhed)	ISO-værdi 100-6400	ISO-værdi kan udvides til 12800
Fokusering	Forskellige autofokusfunktioner	Kan låses fast
Lukker	Elektronisk styret spaltelukker	
Lukkertid	30-1/4000 sek.	
Filtype	JPEG (-.JPG) eller RAW (-.CR2)	
Vægt	530 g	

Tabel 1.1: Specifikationer for Canon EOS 550D (Canon (1), 2012)

1.2 Specifikationer for objektiver

Objektiv EF-S 18-55mm IS II		
Brændvidde	18-55mm	
Blænde	f/3,5 - 5,6	Cirkulær, 6 stk.
Billestabilisering	Ja, 4-trins billedstabilisering	
Nærmeste fokuseringsafstand	0,25m	Højhastighed autofokus
Synsvinkel (lodret, vandret, diagonalt)	64° 30' - 23° 20', 45° 30' - 15° 40', 74° 20' - 27° 50'	
Asfærisk linseelement	Ja, Samlere lysstrålerne i et brændpunkt	
Vægt	200 g	

Tabel 1.2: Specifikationer for Canon objektiv der følger med kameraet, når det købes. (Canon (2), 2012)

Objektiv Tamron SP AF 10-24mm		
Brændvidde	10-24mm	
Blænde	f/ 3,5 - 4,5	min. f/22, 7 stk. blændelameller
Billestabilisering	Ja, Di II	Di = Digital Integrated Design
Nærmeste fokuseringsafstand	0,24m	Autofokus
Synsvinkel	108-60 (enhed ukendt)	
Asfærisk linseelement	Ja, Samlere lysstrålerne i et brændpunkt	
Vægt	406g	

Tabel 1.3: Specifikationer for objektiv Tamron, der kan anvendes på kamera Canon EOS550D (Tamron, 2012)

Bilag 2 Præsentation af billedserier

Her præsenteres samtlige 13 billedserier, der er fløjet i forbindelse med projektarbejdet og som er anvendt til databehandling i højere eller mindre grad. Billedserierne er optaget af to omgange, og derfor er de inddelt i 1. flyvning og 2. flyvning. De to flyvninger betyder også, at billedserierne fra de to flyvninger ikke er foretaget over det samme geografiske område. Før gennemgangen af billedserierne forklares det kort, hvilke principper, der har ligget til grund for de forskellige flyvninger og billedserier.

2.1 Oplæg til flyvning og optagelse af billedserier

Under forberedelserne til dataindsamlingen er der gjort en række tanker og overvejelser omkring, hvordan billederne skulle optages. Det har været vigtigt at billederne blev optaget på en sådan måde, at der var mulighed for at teste forskellige teorier og ideer, for på den baggrund at skabe det bedste resultat. Der har været mange tanker i spil, og herunder forsøges det at beskrive nogle af disse, der har dannet grundlag for de enkelte flyvninger. For at skabe overblik, opstilles disse i punktform.

1. Et af de store spørgsmål ved dette projekt er, om det er muligt at se det arkæologerne er interesserede i at se i billederne, dvs. farver, objekter og indridsninger. Det er derfor oplagt at optage billeder fra forskellige højder og med forskellige kameraer og objektiver, for at undersøge hvordan der skabes en god kvalitet i billederne.
2. Hvordan kan billederne hurtigt og effektivt knyttes sammen og orienteres i PhotoModeler, på baggrund af blandt andet genkendelige RAD-punkter? Det er derfor vigtigt, at RAD-punkterne er udlagt i marken i et sådan omfang, at det kan anvendes til flere typer af forsøg og kontroller i den efterfølgende databehandling.
3. Med hensyn til generering af højdemodel formodes det, at billedernes orientering i forhold til hinanden har en væsentligt betydning for, hvor godt højdemodellen bestemmes. Derfor kunne det være interessant at optage billeder i forskellige vinkler, dvs. både lod- og skråbilleder, for at teste forskellen i højdemodellernes kvalitet, dannet på baggrund af hvert sit datagrundlag. Brugen af forskellig brændvidde kunne også medvirke til en forskel i højdemodelsgenereringen.
4. Forskellige flyvemethoder, som f.eks. manuel eller automatisk flyvning, samt forskellige fotograferingsteknikker, som enkeltbilledsoptagelse eller kontinuerlig billedoptagning, vurderes også at have en indflydelse på, hvordan der opnås et godt resultat.

Med udgangspunkt i disse overordnede tanker og overvejelser, er der fløjet to dage og optaget 13 billedserier.

2.2 Flyvning 1

Alle billeder fra 1. flyvning er optaget, hvor helikopteren er forsøgt holdt stille i luften, og der er optaget ét billede for hver position. Før hver flyvning hvor der var skiftet objektiv, blev der optaget en række kalibreringsbilleder. 1. flyvning ligger vægt på afprøvning af forskellige optageforhold, som objektiv, brændvidde og flyvehøjde.

Serie 1:

Flyvehøjde:	ca. 20 m	Brændvidde:	18 mm
Objektiv:	Canon 18-55 mm	Antal flyvelinjer:	2
Kameravinkel:	Lodbilleder	Antal billeder:	21
GSD:	4,8 mm		

Ved nærmere eftersyn af disse billeder, kan det konstateres, at kvaliteten ikke den bedste. Det ses, når der zoomes ind på et RAD-punkt, ved at omkredsen af RAD-punktet ikke er helt skarpt. Billederne blev optaget med en blænde på $f/3,5$, en lukkertid på $1/800$ s og med en varierende ISO-værdi. Årsagen til uskarpheden vurderes til at være den lille blændeværdi.

Serie 2:

Flyvehøjde:	ca. 20 m	Brændvidde:	18 mm
Objektiv:	Canon 18-55 mm	Antal flyvelinjer:	2
Kameravinkel:	Ca. 15 grader frem, dvs. skråbilleder	Antal billeder:	20
GSD:	4,8 mm		

Ved nærmere eftersyn er kvaliteten ikke helt i top i disse billeder, da de synes en smule uskarpe, når der zoomes ind. Billederne blev optaget med en blænde på $f/3,5$, en lukkertid på $1/800$ s og med en varierende ISO-værdi. Først efter denne flyvning blev det gjort klart, at det ville være hensigtsmæssigt at justere blændeværdien. Dette blev derfor gjort til de øvrige flyvninger.

Serie 3:

Flyvehøjde:	ca. 6 m	Brændvidde:	18 mm
Objektiv:	Canon 18-55 mm	Antal flyvelinjer:	2
Kameravinkel:	Lodbilleder	Antal billeder:	21 og 2 oversigtbilleder
GSD:	1,4 mm		

Disse billeder er optaget over et delområde af det område, hvor billedserierne fra 20 m flyvehøjde dækker. I dette område er der udlagt et tættere grid af RAD-punkter, fordi der flyves lavere. Efter justering af blænden blev skarpheden i billederne også en del bedre. Dette skal selvfølgelig ses i forhold til, at flyvehøjden er lavere end tidligere, men til gengæld er RAD-punkterne også det mindre. Billederne er optaget med en blænde på $f/13$, en lukkertid på $1/800$ s og med en varierende ISO-værdi.

Serie 4:

Flyvehøjde:	ca. 4 m	Brændvidde:	10 mm
Objektiv:	Tamron 10-24 mm	Antal flyvelinjer:	2
Kameravinkel:	Lodbilleder	Antal billeder:	32
GSD:	1,7 mm		

Da der nu er skiftet objektiv og brændvidden er mindre er billederne fløjet en smule lavere (ca. 4 m), da der ønskes tilnærmelsesvis det samme footprint på jorden, som ved billederne optaget med 18 mm objektiv. Billederne dækker ca. samme område som serie 3 og de er optaget med en blænde på $f/13$, en lukkertid på $1/800$ s og med en varierende ISO-værdi. Billederne er af fornuftig kvalitet.

Serie 5:

Flyvehøjde:	ca. 15 m	Brændvidde:	10 mm
Objektiv:	Tamron 10-24 mm	Antal flyvelinjer:	1
Kameravinkel:	Lodbilleder	Antal billeder:	14
GSD:	6,5 mm		

Denne billedserie er tiltænkt at være sammenlignelig med serie 1, bortset fra objektivet og brændvidden. Derfor er flyvehøjden også lavere end serie 1, da ca. det samme footprint på jorden ønskes. Billederne er optaget med en blænde på $f/13$, en lukkertid på $1/800$ s og med en varierende ISO-værdi.

Serie 6:

Flyvehøjde:	1 billede med ca. 5 m interval fra 5m til ca.90m	Brændvidde:	18 mm
Objektiv:	Canon18-55 mm	Flyvemethode:	Lodretflyvning opad
Kameravinkel:	Lodbilleder	Antal billeder:	18

Denne billedserie skiller sig ud fra de øvrige, ved det at billederne optages fra forskellige højder. Flyvningen foregår ved, at helikopteren stiger til vejrs i stedet for horisontalflyvning, og der optages et billede for ca. hver 5 m. Billederne dækker derfor et større areal af det samme område jo højere der flyves. Billederne er bl.a. tiltænkt til en vurdering af, hvor meget der kan ses i billederne og ikke tiltænkt til at skulle knyttes sammen og orienteres. Billederne er optaget med en blænde på f/13, en lukkertid på 1/800 sek. og med en varierende ISO-værdi.

2.3 Flyvning 2 - nyt område

Alle billeder i 2. flyvning er optaget, mens helikopteren har været i bevægelse med en jævn hastighed. Billederne er alle optaget med kontinuerlig eksponering på nær billedserie 13. Endvidere har fokus i disse billedserier været på selve flyvemethoden og ikke optageforholdene, som de første seks billedserier beskæftiger sig med. Der er primært to funktioner, der er blevet anvendt og som er væsentlige at skelne imellem. Manuel flyvning med Hold-position betyder, at helikopterens xy-plan holdes fast af GPS-positionen, mens højden styres helt manuelt. Manuel flyvning med Hold-height betyder, at højden på helikopteren holdes fast af højdemåleren, mens xy-planet styres helt manuelt. Derudover er der mulighed for fuld automatisk flyvning.

Serie 7:

Flyvehøjde:	17 m	Brændvidde:	24 mm
Objektiv:	Tamron 10-24 mm	Antal flyvelinjer	1
Kameravinkel:	Lodbilleder	Antal billeder:	18
GSD:	3 mm	Flyvemethode:	Manuel m. Hold-position

Der blev fløjet manuelt med udgangspunkt i opstillede landmålerstokker, der signalerede retningen for flyvelinjerne. Denne flyvning blev hurtig stoppet, da det efter første flyvelinje stod klart, at styring med Hold-position var svær at styre for piloten. Helikopteren fløj i zigzag, sandsynligvis fordi der er en forsinkelse fra piloten har bedt om at helikopteren ændrer kurs, til at helikopteren rent faktisk begynder at flytte sig. Derfor er der en tendens til at overstyre helikopteren, som resulterer i en meget uensartet flyvning. Billederne, der blev optaget, er optaget med en blænde på f/16, en lukkertid på 1/1000 s og med en varierende ISO-værdi.

Serie 8:

Flyvehøjde:	17 m	Brændvidde:	24 mm
Objektiv:	Tamron 10-24 mm	Antal flyvelinjer	4, og 3 crosstracks
Kameravinkel:	Lodbilleder	Antal billeder:	Ca. 140
GSD:	3 mm	Flyvemethode:	Manuel m. Hold-height

Denne flyvemethode, hvor der blev fløjet manuelt med Hold-height, fungerede rigtig godt. Piloten stillede sig så han kunne flyve helikopteren i en linje, der var signaleret af to. Flyvelinjerne blev pæne og blev optaget med 10 m imellem hver, og med lidt længere afstand mellem crosstrackene. Mellem hver flyvelinje eller

crosstrack var helikopteren på jorden. Billederne, der blev optaget, er optaget med en blænde på f/16, en lukkertid på 1/1000 s og med en varierende ISO-værdi.

Serie 9:

Flyvehøjde:	17 m	Brændvidde:	24 mm
Objektiv:	Tamron 10-24mm	Antal flyvelinjer	2½
Kameravinkel:	Lodbilleder	Antal billeder:	54
GSD:	3 mm	Flyvemethode:	Automatisk m. waypoint

Det blev forsøgt at flyve med ren automatik ud fra nogle forudbestemte punkter, de såkaldte waypoints. Der blev defineret to waypoints for hver flyvelinje, dvs. ét waypoint i hver sin ende af flyvelinjen. Der blev indstillet hvor tæt på disse waypoints helikopteren skulle være, før den måtte flyve videre til næste waypoint. Resultatet af flyvningen var, at helikopteren stod ret længe og kredsede omkring hvert waypoint. Mellem hver waypoint fløj helikopteren i nærmest tilfældige linjer, og dermed ikke den direkte vej mellem de to waypoints. Kun flyvningen var automatisk, mens billedoptagningen stadig var manuel. Grundet en fejlkommunikation til piloten, blev der kun optaget billeder, når helikopteren var i et waypoint for de første 1½ flyvelinje. Herefter blev der optaget billeder mellem waypoints kontinuerligt. Grundet den usystematiske flyvning, er billederne ikke blevet anvendt til videre databehandling. Billederne, der blev optaget, er optaget med en blænde på f/16, en lukkertid på 1/1000 s og med en varierende ISO-værdi.

Serie 10:

Flyvehøjde:	17 m	Brændvidde:	24 mm
Objektiv:	Tamron 10-24 mm	Antal flyvelinjer	4, og 3 crosstracks
Kameravinkel:	Ca. 30 grader fra lod	Antal billeder:	140
GSD:	3 mm	Flyvemethode:	Manuel m. Hold-height

Denne serie minder utrolig meget om serie 8. Forskellen er, at det blev forsøgt at foretage flyvningen så hurtigt som muligt, med så få stop som muligt. Dvs. helikopteren var ikke nede på jorden mellem de første fire flyvelinjer, hvorefter helikopteren var på jorden mellem hver crosstrack, dels fordi piloten skulle bevæge sig over adskillige jordbunker og fordi det var tid til batteriskift på helikopteren. Den sammenhængende flyvning var meget krævende af piloten, men det tog kun omkring 15 minutter før alt var fløjet og fotograferet. Billederne, der blev optaget, er optaget med en blænde på f/16, en lukkertid på 1/1000 s og med en varierende ISO-værdi. Det var tanken at billederne skulle optages i lod, men efter databehandling blev det opdaget, at de faktisk var optaget med en hældning på ca. 30 grader fra lod. Dette skyldes sandsynligvis, at kameramouneten var kammet over og var derfor ikke automatisk i stand til at placere sig helt i lod. Dette blev desværre ikke opdaget i marken.

Serie 11:

Flyvehøjde:	56 m	Brændvidde:	24 mm
Objektiv:	Tamron 10-24mm	Antal flyvelinjer	4
Kameravinkel:	Lodbilleder	Antal billeder:	Billeder ikke sorteret
GSD:	10 mm	Flyvemethode:	Manuel m. Hold-position

Det ville være interessant at forsøge at optage billeder i en højere højde end hidtil prøvet. Derfor blev det forsøgt at flyve i 56 m flyvehøjde med 4 lange flyvelinjer over store dele af det arkæologiske undersøgelsesområde. Igen blev det konstateret, at flyvemethoden Hold-position ikke var optimal at anvende. På kontoret blev det opdaget, at der var blevet stillet på kameraet således, at lukkertiden var alt for lang.

Dette har betydet at billederne er meget uskarpe og der ses stor billedvandring i disse. Billederne er optaget med en blænde på $f/22$, en lukkertid på mellem $1/30$ s og $1/40$ s og med en varierende ISO-værdi. Disse billeder er i alt for dårlig kvalitet og derfor ikke anvendt i databehandlingen.

Serie 12:

Flyvehøjde:	56 m	Brændvidde:	24 mm
Objektiv:	Tamron 10-24 mm	Antal flyvelinjer	4
Kameravinkel:	Lodbilleder	Antal billeder:	Billeder ikke sorteret
GSD:	10 mm	Flyvemethode:	Manuel m. Hold-height

Denne billedserie minder meget om serie 11. Forskellen er, at der er blevet fløjet manuelt med Hold-height funktionen slået til. Igen viste det sig for piloten at være nemmere at styre helikopteren i pæne flyvelinjer. Dog var der ikke opsat landmålerstokke til at flyve efter og det vurderes også til at være svære at fornemme, hvad helikopteren tager billede af, når den er så højt oppe. Denne serie blev desværre også optaget med forkerte kameraindstillinger og er derfor ikke anvendelig til en orientering og produktion af ortofotos. Billederne, der blev optaget, er optaget med en blænde på $f/22$, en lukkertid på mellem $1/30$ s og $1/40$ s og med en varierende ISO-værdi.

Serie 13:

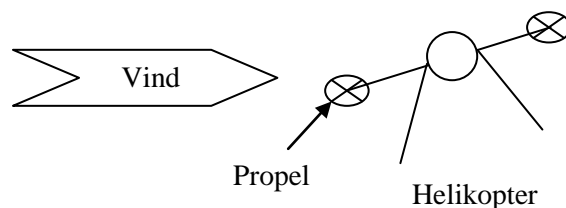
Flyvehøjde:	1 billede med ca. 5 m interval fra 90m til ca.5m	Brændvidde:	24 mm
Objektiv:	Tamron 10-24 mm	Antal flyvelinjer	Lodretflyvning nedad
Kameravinkel:	Lodbilleder	Antal billeder:	22

Denne serie er tilsvarende serie 6, hvor er der optaget et enkelt billede for ca. hver 5m, mens der er fløjet lodret. Billederne, der blev optaget, er optaget med en blænde på $f/22$, en lukkertid på mellem $1/30$ s og $1/40$ s og med en varierende ISO-værdi. På grund af den lange lukkertid er billederne ikke blevet skarpe og er svære at anvende.

Serie 13 var den sidste billedserier, der er blevet optaget til dette projekt. Af billedserierne fra 2. flyvning er det kun serie 10, der er blevet anvendt i den efterfølgende databehandling, mens de øvrige er anvendt til at vurdere på, hvilke flyvemethoder det bør anbefales at bruge.

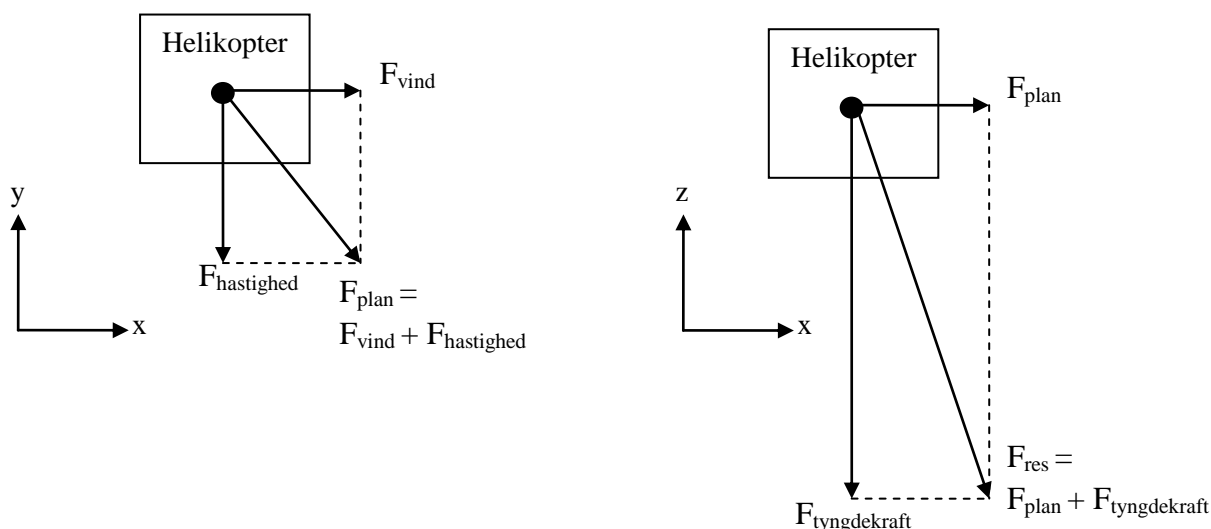
Bilag 3 Beregning af footprint ved flyvning i blæsevej

I forbindelse med de indledende undersøgelser blev det forsøgt illustreret, hvordan footprintet af et billede bliver på jorden, hvis kameraet har en fastholdt position under helikopteren, og der ikke kompenseres for helikopterens vipninger. Da helikopteren bevæger sig i planet ved at vippe en smule, vil helikopterens akse afvige fra lod, når den bevæger sig. Når helikopteren er lettet, er luften det medie den befinder sig i, og dermed er der tre ting, der påvirker helikopteren; tyngdekraften, luftens hastighed og retning (vind). Herudover har helikopterens egen hastighed og retning en indflydelse på dens bevægelse. Helikopteren vil vippe som følge af påvirkningerne, hvilket er illustreret på figur 3.1, men den vil samtidigt forsøge at modvirke dette ved at justere propellernes indbyrdes hastighed. Jo mere helikopteren vipper for at korrigere for vindpåvirkning eller hastighed, jo skævere bliver billedernes footprint.



Figur 3.1: For at kompensere for vindpåvirkning vipper helikopteren.

På figur 3.2 ses de kræfter, der påvirker helikopteren. Til venstre ses kræfterne, der påvirker helikopteren i planet. Det er kraften, der skal til for at helikopteren bevæger sig med en hastighed, og kraften der skal til for at ophæve påvirkningen af vinden. De to kræfter resulterer i en samlet påvirkning i planet, der hedder F_{Plan} . Til højre i figur 3.2 ses kræfterne, der påvirker helikopteren i rummet. Den resulterende kraft er summen af F_{Plan} og $F_{\text{tyngdekraft}}$. Den resulterende kraft F_{Res} skal ophæves af den kraft, som helikopteren laver ved hjælp af roterne, kaldet $F_{\text{helikopter}}$. $F_{\text{helikopter}}$ har samme størrelse som F_{Res} , men er modsatrettet.



Figur 3.2: Illustration af de kræfter, som helikopteren påvirkes af. Til venstre ses helikopteren oppe fra, og til højre ses helikopteren fra siden.

De tre kræfter regnes som vektorer, og kan derfor blot lægges sammen. Beregningerne for de enkelte kræfter (vektorer) regnes ud på følgende måde.

Tyngdekraft

Tyngdekraften er den kraft, der påvirker helikopteren som følge af dens vægt. I rummet er retningen nedad, og kraften påvirker derfor negativt i z-retningen

$$F_{\text{tyngdekraft}} = g \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot m [kg]$$

$$\text{Hvor } g \text{ er tyngdeaccelerationen } \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -9,81 \frac{m}{s^2} \end{bmatrix}$$

m er vægten af helikopteren i kg

3.1 Påvirkninger i luft

Fra mekanikken kendes formlen for kinetisk energi:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

m er massen (vægten) af et givent legeme

v er hastigheden af legemet

Når man beskæftiger sig med luft bestemmes massen således:

$$m = A \cdot \rho \cdot v$$

A er arealet der påvirkes af luft

ρ er luftens densitet

v er luftens hastighed gennem arealet

Formlen for massen indsættes i formlen for kinetisk energi, og kan efterfølgende anvendes til at beregne hvor meget vinden påvirker helikopteren:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot v \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot v^3$$

Kraft: vind

Kraften, som vinden påvirker med, afhænger altså af arealet af helikopteren og massefylden af luften.

Arealet af helikopteren er det areal, der bliver påvirket af vinden og er således svært at måle.

$$F_{vind} = \frac{1}{2} \cdot A_{\text{helikopter}} [m^2] \cdot \text{Densitet}_{\text{luft}} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot v_{\text{luft}} \left[\frac{m}{s} \right]^3$$

$A_{\text{helikopter}}$ er helikopterens areal i m^2

$\text{Densitet}_{\text{luft}}$ er luftens massefylde i kg/m^3

v_{luft} er en vektor, der beskriver luftens hastighed i x-retningen og y-retningen i m/s

Kraft: hastighed

Kraften, der skal få helikopteren til at bevæge sig i planet, er beregnet efter samme formel som vindens påvirkning.

$$F_{\text{hastighed}} = \frac{1}{2} \cdot A_{\text{helikopter}} [\text{m}^2] \cdot \text{Densitet}_{\text{luft}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot v_{\text{helikopter}} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]^3$$

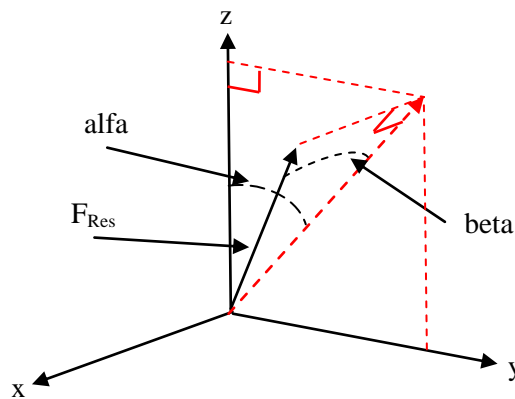
$A_{\text{helikopter}}$ er helikopterens areal i m^2

$\text{Densitet}_{\text{luft}}$ er luftens massefylde i kg/m^3

v_{luft} er en vektor, der beskriver helikopterens hastighed i x-retningen og y-retningen i m/s

3.2 Beregning af vinkler

Vinklen helikopteren vipper, som følge af vind og hastighed, kan beregnes ud fra den resulterende kræft F_{Res} . F_{Res} projiceres ind på yz-planet og vinklen alfa til z-aksen beregnes. Herefter beregnes vinklen beta mellem den projicerede F_{Res} og den oprindelige F_{Res} .



Figur 3.3: Rotationerne alfa og beta.

Vinklerne er analoge til rotationerne, der kendes fra fotogrammetrien, *alfa* til *omega* og *beta* til *phi*. Der foretages kun to drejninger, og rotationen *kappa* er altså 0 i dette tilfælde. Vinklerne indføres i rotationsmatricen på følgende måde:

$$D = \begin{bmatrix} \cos(0) & \sin(0) & 0 \\ -\sin(0) & \cos(0) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\text{beta}) & 0 & -\sin(\text{beta}) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\text{beta}) & 0 & \cos(\text{beta}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\text{alfa}) & \sin(\text{alfa}) \\ 0 & -\sin(\text{alfa}) & \cos(\text{alfa}) \end{bmatrix}$$

(Berhel, et al., 2001 s. 91)

3.3 Fra modelkoordinater til systemkoordinater

Den teoretiske beregning af billedets footprint under de givne vind- og hastighedsforhold kan nu beregnes ud fra stråleligningerne på følgende måde:

$$X = (Z - Z_0) \cdot \frac{D_{11} \cdot x + D_{21} \cdot y + D_{31} \cdot -c}{D_{13} \cdot x + D_{23} \cdot y + D_{33} \cdot -c} + X_0$$

$$Y = (Z - Z_0) \cdot \frac{D_{12} \cdot x + D_{22} \cdot y + D_{32} \cdot -c}{D_{13} \cdot x + D_{23} \cdot y + D_{33} \cdot -c} + Y_0$$

(Berhel, et al., 2001)

X, Y og Z: Systemkoordinater i m

X₀, Y₀ og Z₀: Koordinater til projektiionscentret i m

x og y: Modelkoordinater i m

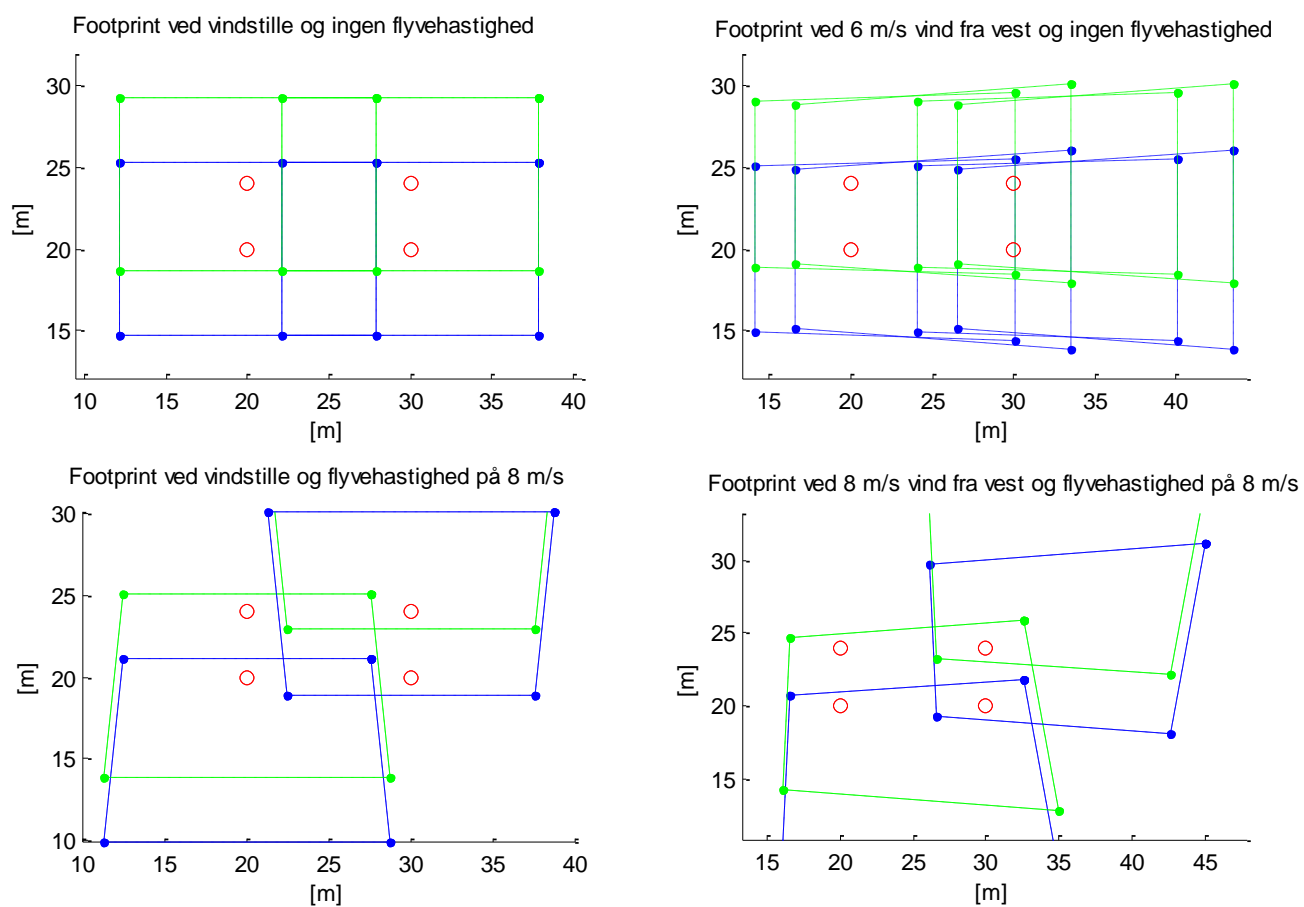
c: Kamerakonstant i m

$$D\text{'erne er elementer fra rotationsmatricen } D = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} \end{bmatrix}$$

De præsenterede beregninger er integreret i nogle Matlab-funktioner, der kan ses i bilag CD6.

3.4 Eksempler på anvendelser

Nedenfor ses fire eksempler på, hvordan beregningen af footprint kan være et nyttigt værktøj i planlægningen af en flyvning. Figurene viser, at blæst tydeligt påvirker, hvordan footprintet kommer til at se ud. Bevæger helikopteren sig med en konstant hastighed og ændrer vinden sig ikke, vil footprintene passe fint sammen, men hvis vinden eller hastigheden ændrer sig løbende, vil der blive problemer med at sikre overlappet.



Figur 3.4: Eksempler på footprint med ved forskellige påvirkninger. I de to nederste eksempler, hvor der flyves med en hastighed på 8 m/s, flyves der mod nord i venstre side af figurene, og mod syd i højre side af figurene.

Bilag 4 Tekniske og automatiske funktioner for Canon EOS 550D

Canon EOS 550D er et digitalt spejlreflekskamera, der ikke normalt anvendes til fotogrammetriske opgaver. Kameraet er et ikke-metrisk kamera, der har en række automatiske funktioner, som autofokus, billedstabilisering osv. der i mange tilfælde kan forbedre billedets kvalitet. I forbindelse med at anvende billeder, optaget med dette kamera, til fotogrammetriske formål, er det vigtigt at kende kameraets kalibreringsparametre og at disse fastholdes. Derfor går det ikke, at kameraet ændrer geometri ved nogle automatiske funktioner, der forbedrer billedet under billedoptagelsen. Det er vigtigt at kameraets indre geometri ikke ændrer sig, fra at billederne til kamerakalibreringen er optaget og til billedserien fra luften er færdigoptaget. Sker dette, er der ikke sammenhæng mellem kalibreringsparametrene og billederne. Derfor er det vigtigt at indstille kameraet, så det bliver så stabilt som muligt. Nedenfor beskrives kort nogle af de funktioner i kameraet Canon EOS 550D, som det vurderes kan påvirke kameraets stabilitet.

Integrated Cleaning System

Denne funktion bevirker, at billedsensoren bliver renses for støvpartikler ved en vibration, for at undgå urenheder i billederne. Proceduren er automatisk sat til at rense sensoren, hver gang kameraet tændes. Det frygtes, at vibrationerne kan påvirke placeringen af sensoren, så f.eks. placeringen af billedmidtpunktet ændres hver gang kameraet tændes. Derfor ønskes denne funktion slået fra, trods det at det sandsynligvis kun er et filter foran selve sensoren, der vibrerer og ikke selve billedsensoren. (Canon (3), 2012)

Billedstabilisator

Når kameraet udsættes for rystelser har Canon en billedstabiliseringsfunktion, der modvirker rystelserne i billedet. Funktionen bygger på at justere lysstrålens indfald gennem linsen, ved at rykke på en af linserne i objektivet. I princippet er det en god ide, i forbindelse med de fotogrammetriske optagelser, da helikopteren sandsynligvis videregiver nogle rystelser til kameraet. Omvendt er det ikke en hensigtsmæssig funktion at have slået til, fordi linseforskydningen, der foretages ved billedstabilisatoren, meget nemt kan få indflydelse på linsefortegningen. Derfor bør denne funktion også slås fra, for at skabe et så stabilt kamera som muligt. Hvordan billedstabilisatoren fungerer i Tamron-objektivet vides ikke præcist, men sandsynligvis er det noget tilsvarende der sker, og det bør derfor slås fra. (Canon (4), 2012)

Autofokus

Når der fokuseres, ændres brændvidden en smule. Brændvidden er en vigtig parameter at kende i forbindelse med fotogrammetriske målinger, og derfor fungerer det ikke, at denne hele tiden ændrer sig automatisk. Det er derfor vigtigt at autofokus slås fra, så brændvidden er konstant gennem hele optagelsen. (Canon (5), 2012)

Andre autofunktioner

Foruden ovenstående er der en lang række andre autofunktioner i kameraet, der gør det nemt og hurtigt at få et godt billede uden at sætte sig ind i de enkelte indstillinger. Ovenstående er dog de funktioner, der vurderes til at have størst indflydelse på kameraets stabilitet. Indstillinger som blænde, lukkertid, ISO-værdi osv. kan stilles manuelt eller automatisk, men er umiddelbart ikke funktioner, der ændrer geometrien i kameraet. Disse bør dog fastholdes, for billeder der tilhører den samme billedserie, for på den måde at afbilde de samme objekter ens i alle billeder.

Raw-format

Canon EOS 550D giver den mulighed at gemme billederne i jpg- og/eller i Raw-format. Umiddelbart vil det være bedst at anvende billeder i Raw-format, da der i disse billeder ikke foretages nogen billedbehandling af pixlerne, som det er tilfældet med jpg-formatet. Der blev under opstarten af 2. flyvning forsøgt at gemme i begge billedformater, men det viste sig, at kameraet ikke var i stand til at gemme så store mængder data, hvis

billeder skulle optages kontinuerligt. Derfor blev Raw-formatet valgt fra igen, da billeder i jpg-format havde vist sig være en succes i PhotoModeler.

Bilag 5 Eksempler på kameraindstillinger

Indholdet i bilaget er baseret på eksempler af billeder, der illustrerer nogle grundlæggende principper for indstilling af kameraet med hensyn til lukkertid, blænde og ISO-værdi. Eksemplerne bygger også på viden fra bogen Fototeknik (Tybjerg, 2008).

5.1 Lukkertid

Lukkertiden har indvirkning på lysforholdene i billedet. Er lukkertiden for kort kan billedet blive underbelyst som i figur 5.1, og omvendt hvis lukkertiden er for lang kan billedet blive overbelyst. Den største risiko ved lang lukkertid er dog risikoen for rystelser i billederne. I figur 5.2 ses hvordan billedet bliver uskarpt og der forekommer billedvandring, når kameraet er i bevægelse under optagelse og lukkertiden er lang. Omvendt fremstår objekterne skarpere, når lukkertiden bliver kortere, hvor kameraet stadig er i bevægelse. I figur 5.3 ses et eksempel på et billede, der er optaget fra helikopteren og hvor lukkertiden har været lang.

Lukkertid: 1/400 s, blænde: f/22, ISO: 6400



Lukkertid: 1/1600 s, blænde: f/22, ISO: 6400



Figur 5.1: Eksempel på lysforholdene i billedet alt efter hvilken lukkertid der vælges. Højre billede er underbelyst.

Lukkertid: 1/80 s, blænde: f/22, ISO: 800



Lukkertid: 1/800 s, blænde: f/5,6, ISO: 800



Figur 5.2: Eksempel på varierende lukkertid, hvor der er optaget billeder mens kameraet har været i bevægelse.



Figur 5.3: Eksempel på lang lukkertid (1/30 s) optaget fra helikopteren fra ca. 60 m højde. Billedet er optaget med Tamron 10-24 mm objektiv med en blænde på f/22 og en ISO-værdi på 200. Der ses tydeligt billedvandring i billedet.

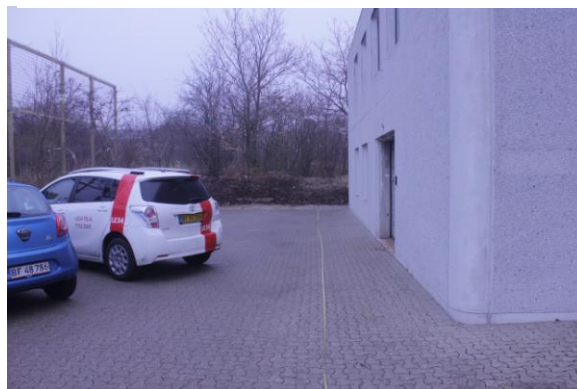
5.2 Blændetal

Blændetallet beskriver størrelsen af det hul i linsen, hvor der kommer lys igennem. Jo større blændetal, jo mindre er diameteren af lyshullet og omvendt. Konsekvensen af et højt blændetal er, at ISO-værdien automatisk (hvis den styres automatisk) bliver højere, for at kompensere for den mindre lysmængde, hvilket er tilfældet for figur 5.4. Efter teorien burde billedet med en højere blændeværdi give en bedre dybdeskarphed, hvilket også kan ses af figur 5.5.

Lukkertid: 1/800 s, blænde: f/22, ISO: 6400



Lukkertid: 1/800 s, blænde: f/5,6, ISO: 640



Figur 5.4: Eksempel på hvordan blændetallet påvirker lysforholdet i billedet ved fastholdt lukkertid, trods det at ISO-værdien variere. Venstre billede vurderes til at være underbelyst.

Lukkertid: 1/800 s, blænde: f/4, ISO: 100



Lukkertid: 1/800 s, blænde: f/13, ISO: 1000



Figur 5.5: Udsnit fra to billeder optaget med helikopteren i ca. 20 m højde. Det høje blændetallet udgør i sammenhold med ISO-værdien en større skarphed af objekterne i billedet til højre.

5.3 ISO-værdi

ISO-værdien angiver lysfølsomheden for billedsensoren, dvs. jo højere ISO-værdi, i jo højere grad bliver kameraet i stand til at opfange svagere lysstyrker. Dette kan være godt i forbindelse med korte lukkertider, men det kan også give overbelyste billeder som i figur 5.6. Endvidere kan en høj ISO-værdi give anledning til mere støj i billederne, hvilket resulterer i grynede billeder, der er illustreret i figur 5.7.

Lukkertid: 1/400 s, blænde: f/5,6, ISO: 400



Lukkertid: 1/400 s, blænde: f/5,6, ISO: 3200



Figur 5.6: Eksempel på varierende ISO-værdi. Billedet til højre er stærkt overbelyst.

Lukkertid: 1/800 s, blænde: f/5,6, ISO: 640



Lukkertid: 1/800 s, blænde: f/10, ISO: 2500

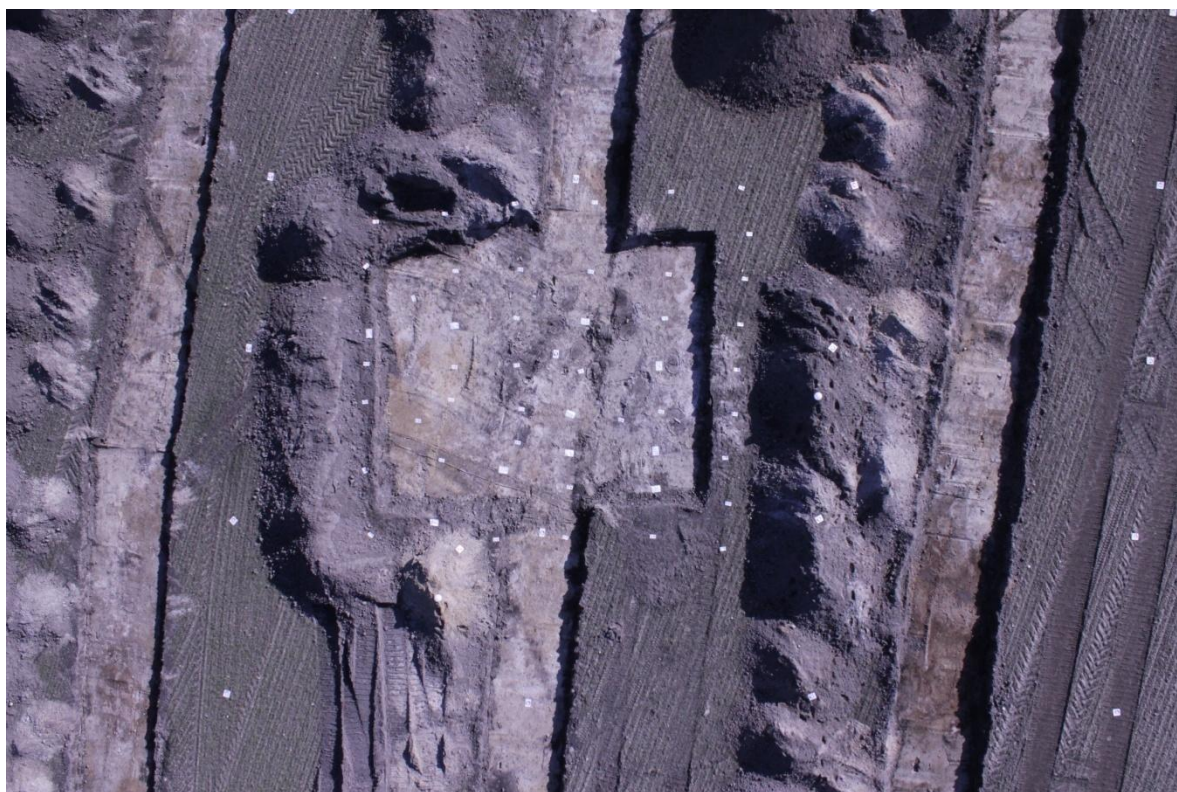


Figur 5.7: Udsnit af billeder hvor der er variation i ISO-værdien, hvor billedet til højre er mere grumset pga. af den høje ISO værdi.

Bilag 6 Eksempler på billeder til forsøg 1

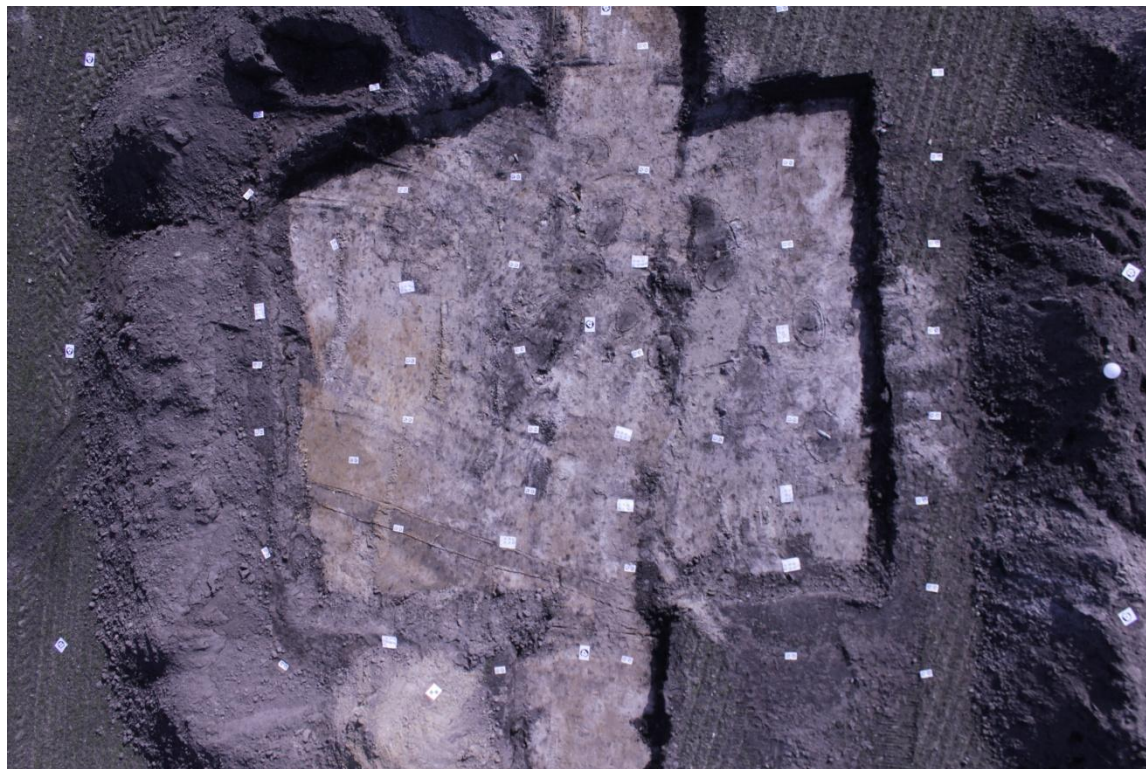


Figur 6.1: Billede fra 20 m flyvehøjde med 18 mm brændvidde, lukkertid 1/800 s, blændeværdi på f/13, samt en ISO-værdi på 1000.



Figur 6.2: Billede fra 40 m flyvehøjde med 18 mm brændvidde, lukkertid 1/800 s, blændeværdi på f/13, samt en ISO-værdi på 1000.

Bilag 7 Eksempel på billeder med forskellig blændetal



Figur 7.1: Billede fra ca. 20 m flyvehøjde, med 18mm brændvidde, lukkertid 1/800 s, blændeværdi på f/4,5, samt en ISO-værdi på 100.



Figur 7.2 Billedet i ca. 20 m flyvehøjde, med 18 mm objektiv, lukkertid 1/800 s, blændeværdi på f/13, samt en ISO-værdi på 1000.

Bilag 8 Opsamling på databehandling

Anbefaling	Fordel	Ulempe
Anvend SmartPoints til orientering	Det er automatisk, hurtigt og effektiv. Stort antal punkter – mange overbestemmelser.	Kun få punkter måles i flere end to billeder. Ikke højeste kvalitetspunkter. Forekomst af fejlrefereringer.
Automatisk måling af RAD-punkter	Det er automatisk, hurtigt og målingerne er af bedste kvalitet.	Forekomst af fejlrefereringer.
Anvend et lille højde-basisforhold	Lille højde-basisforhold giver god geometri, men tallet bør ses i forhold til terrænets form.	Lille højde-basisforhold øger risikoen for, at objekter er afbildet forskelligt i billederne, især ved store terrænforskelle.
Passende punkt-afstand i højde-model.	Alle objekter der ønskes modelleret kan blive modelleret.	Måske vil punktætheden være for stor i nogle områder (flade områder)
Udfør udtynding, rensning og udglatning på højdemodel	Resultatet er ikke så tungt at arbejde med og højdemodellen bliver renset for fejl.	Processen tager lidt tid.
Udvælg billeder til pixelfarvning af ortofoto	Giver et pænere ortofoto.	Det tager tid at udvælge billederne.

Tabel 8.1: Anbefalinger med tilhørende fordele og ulemper i forbindelse med databehandling.

Bilag 9 Billedserie 5

På de følgende sider ses billederne fra serie 5. Billederne er optaget med Canon EOS 550D, udstyret med Tamron 10-24 mm objektiv.

Billederne er taget med en brændvidde på 10 mm i en højde på ca. 15 m. Ved gennemsyn af billederne er det muligt at få en ide om, hvad der kan ses i billederne og hvor store overlap der er.

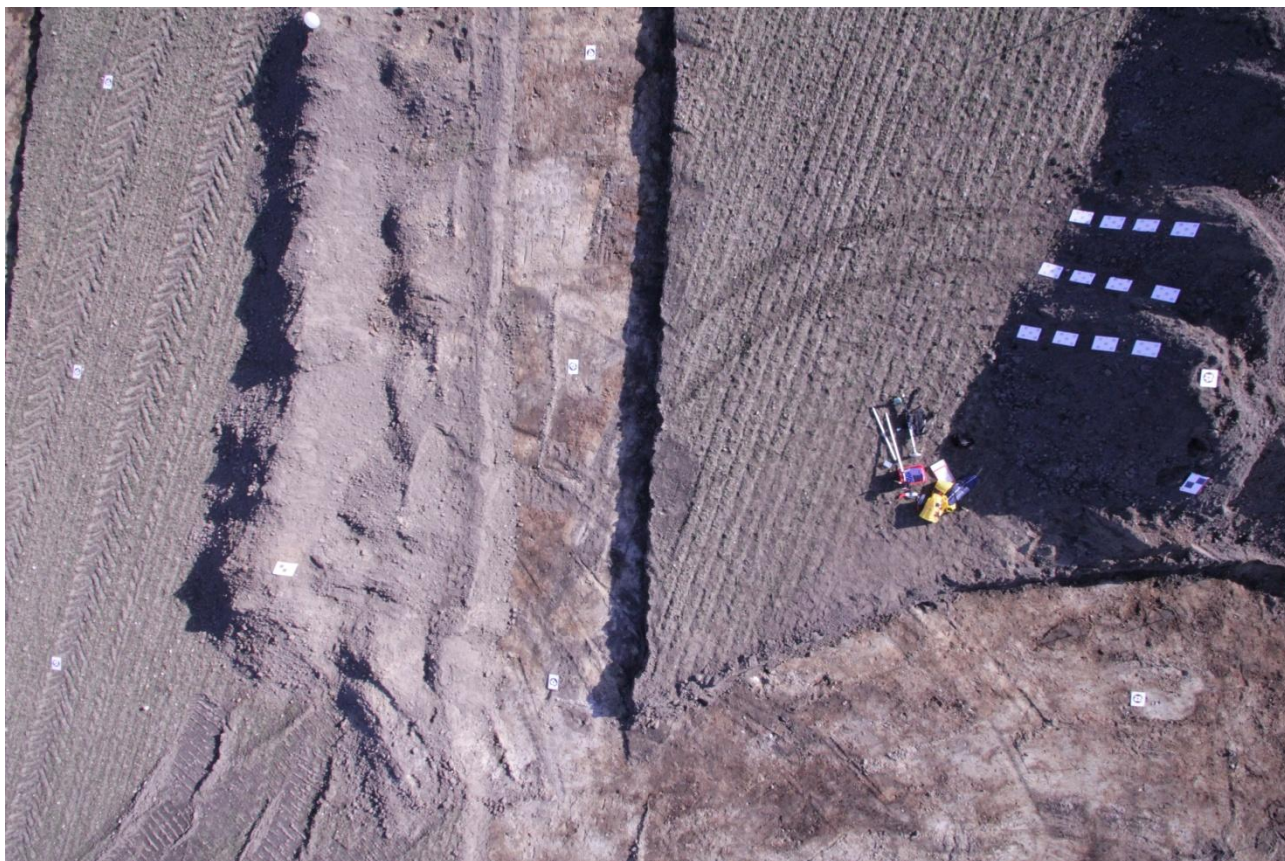














Bilag 10 Oversigt over billedserie

Flyveserie	Objektiv	Brændvidde (mm)	Blænde	Flyvehøjde (m)	GSD (mm)	Antal billeder	Antal flyvelinjer	Bemærkning/anvendelse
Serie 1	Canon 18-55	18	f/3,5	20	4,8	21	2	Billederne anvendes i kombination med serie 2, da de ikke er særlig skarpe pga. lavt blændetal.
Serie 2	Canon 18-55	18	f/3,5	20	4,8	20	2	Billederne er optaget med en hældning på ca. 15 grader. Disse er heller ikke særlig skarpe.
Serie 3	Canon 18-55	18	f/13	6	1,4	21	2	Delområde. Billederne er skarpere end de forrige, da blændetallet er indstillet til en højere værdi.
Serie 4	Tamron 10-24	10	f/13	4	1,7	32	2	Delområde. Billederne ser anvendelige ud.
Serie 5	Tamron 10-24	10	f/13	15	6,5	14	1	Billederne er tiltænkt at være sammenlignelig med serie 1.
Serie 6	Canon 18-55	18	f/13	-	-	18	-	Billederne er optaget med 5 m mellemrum, mens helikopteren er fløjet lodret op fra 5 – 80 m.
Serie 7	Tamron 10-24	24	f/16	17	3,0	39	1	Fløjet med Hold-position til. Billederne er ikke behandlet.
Serie 8	Tamron 10-24	24	f/16	17	3,0	247	7	Fløjet med Hold-height, hvor der er landet mellem hver flyvelinje. Billederne er ikke behandlet.
Serie 9	Tamron 10-24	24	f/16	17	3,0	54	2,5	Fløjet ved hjælp af waypoints. Helikopteren fløj meget uens. Billeder er ikke behandlet.
Serie 10	Tamron 10-24	24	f/16	17	3,0	145	7	Fløjet med Hold-height, hvor flyvelinjerne blev fløjet i et træk. Sammenlignelig med serie 8.
Serie 11	Tamron 10-24	24	f/22	56	10,0	315	2	Fløjet med Hold-position. Lukketiden var for stor og derfor blev billederne meget uskarpe. Billeder er ikke behandlet.
Serie 12	Tamron 10-24	24	f/22	56	10,0	80	2	Fløjet med Hold-height. Lukketiden var for stor og derfor blev billederne meget uskarpe. Billederne er ikke behandlet.
Serie 13	Tamron 10-24	24	f/22	-	-	21	-	Billederne er optaget med 5 m mellemrum, mens helikopteren er fløjet lodret ned fra 100 m til 5 m

Bilag 11 Ortofoto fra billedserie 5

Ortofotoet er lavet ud fra billederne i serie 5, der er taget med 10 mm brændvidde i ca. 15 m højde.

Ortofotoet er udskrevet i målforhold 1:100

Bilag 12 Ortofoto fra billedserie 10

Ortofotoet er lavet ud fra billederne i serie 10, der er taget med 24 mm brændvidde i ca. 17 m højde.

Ortofotoet er udskrevet i målforhold 1:100