



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2018 30 stp**

Fakultet for realfag og teknologi  
Ivar Maalen-Johansen

## **Kartlegging av Big Jump innen snowboard og freestyle skikjøring ved hjelp av fotogrammetri**

Mapping of Big Jump in Snowboard and Freestyle  
Skiing with Use of Photogrammetry

**Dag Kristoffersen**

Geomatikk  
Fakultet for realfag og teknologi





# Forord

En målsetning med min masteroppgave var å finne en praktisk oppgave der jeg kunne kombinere geomatikkfaget med noe innen idrett. En av grunnene til dette var at jeg da var sikker på at motivasjonen min ville være god gjennom hele prosessen. Ved å blant annet ta kontakt med Norges Idrettshøgskole (NIH) fikk jeg til slutt tilbudet om å skrive denne oppgaven.

Jeg vil derfor takke min veileder ved NIH, Matthias Felix Gilgien, for at han lot meg få lov til å skrive om dette temaet, og at han ville være min veileder. Det har hjulpet mye at problemstillingen nærmest var klar på forhånd, og at dataene fra feltarbeidet allerede var samlet inn. Gilgien har bidratt faglig til å finne gode løsninger og forklare ting jeg ikke har forstått. Jeg har lært mye i prosessen med å bruke ny programvare, forstå den, og se hvordan man løser praktiske problemer fra virkeligheten. Det har vært lærerikt.

Gjennom høsten har jeg hatt en kranglete skulder som dessverre har gjort at jeg ikke har kunnet jobbe så mye med oppgaven som jeg ønsket. Det har derfor bydd på uventede utfordringer i det å bruke tiden riktig, og å fokusere på det faglige i oppgaven. Som min hovedveileder ved NMBU, har Ivar Maalen-Johansen, bidratt stort i å hjelpe meg med disse utfordringene. Han har gitt kloke råd, og gitt meg forståelse i hva som er det essensielle når en jobber med en masteroppgave. Det er lett bruke tid på unødvendige ting i prosessen, men Maalen-Johansen har isteden bidratt til at jeg har hatt riktig fokus. Med hans hjelp har jeg klart å få oppgaven i havn, til tross for uventede utfordringer.

Fordi det vi skulle få til i masteroppgaven ikke fungerte optimalt, var jeg helt avhengig av å hente inn annen hjelp, og forstå hvorfor ting ikke fungerte. Jeg vil derfor også rette en takk til de menneskene jeg ikke har møtt, men som også har bidratt til oppgaven. Dette er Ty Hedrick, som har laget Matlab-kodene vi har brukt. Hedrick er stasjonært ved Universitetet i North Carolina, USA. Han har gitt oss forklaringer og råd på mail gjennom mye av prosessen. Disse rådene har bidratt til min forståelse. Det er også en gruppe fra Universitet i Zürich, Sveits, som har bidratt til denne oppgaven. Gilgien er selv sveitser, og har derfor et naturlig nettverk i Sveits. Gruppen fra Zürich har bidratt til innsamling av data under stevnet. Både når det gjaldt filming av hoppene, og å sende over ekstra kalibreringspunkt i etterkant. Uten dem hadde det ikke vært mulig å skrive denne oppgaven.

Jeg må også takke alle bekjente som har vist interesse for denne oppgaven. Selv om det kanskje ikke er så spennende for allmennheten å lese en geomatikkfaglig oppgave som fokuserer på tall og realfaglige detaljer en ikke forstår, har dette vært en artig oppgave å fortelle om. Alle jeg har møtt har følt at jeg har hatt en interessant oppgave. Og de har fått en forståelse for at geomatikkfaget kan være ganske gøy. Gjennom hele min studietid har det ikke vært å se lett å forklare til folk hva geomatikkfaget er. Det har følt litt vanskelig å forstå. Gjennom denne oppgave har de rundt meg forstått at geomatikk er så mye forskjellig, og at det er et meget spennende fagfelt.

Noen av disse personene har vært å finne på min nåværende arbeidsplass, Seiersten ungdomsskole. Her har jeg jobbet deltid mens jeg har skrevet oppgaven. At to av mine kolleger, norsklærerene Anette Bjerkerud og Charlotte Flaaten, har tilbudt seg å lese gjennom oppgaven før innlevering, har også bidratt til å få oppgaven bedre. Ved at Bjerkerud og Flaaten har kommet med enkle råd, har oppgaven også økt sin språklige kvalitet.

Ås, 29.januar 2018



# Sammendrag

Eliteutøvere innen snowboard og freestyle skikjøring er utsatt for skader på store hopp. Derfor har det Internasjonale Skiforbundet (FIS) satt i gang et arbeid for å bygge disse hoppene slik at det skal bli færre tilfeller av skader.

En del av dette arbeidet er å kartlegge hvor utøverne lander i konkurransesituasjoner. Denne oppgaven tar for seg denne utfordringen.

Et FIS-stevne i Mönchengladbach i Tyskland 2. og 3. desember 2016 ble filmet med videokamera fra to ulike vinkler. Filene ble prosessert i Dartfish for videre bruk. Målinger av punkter rundt bakken ble også funnet med GNSS-utstyr.

Til å finne landingspunktene er den fotogrammetriske metoden Direct Linear Transformation brukt. Denne metoden finner koordinater til punkt ved å se punktet fra to ulike vinkler. Gjennom en kalibrering der en bruker kjentpunkt, finner en parameterne. Disse parameterne brukes til å finne koordiner til nye, ukjente punkt.

For å få til dette er Matlab-kodene DLTcal5.m og DLTdv5.m brukt. Ved å bruke de innmålte kjentpunktene og to videofiler er parameterne funnet. Ved å legge inn et filmsett av to videoer for hvert hopp er landingspunkt beregnet.

Det viste seg at det ikke var mulig å beregne landingspunktene med gode nok tall fra konkurransen i Mönchengladbach. Koordinatene som ble beregnet var ikke i landingsområdet. Grunnene til at dette ikke fungerte er en usikkerhet rundt kvaliteten på kalibreringspunktene, og en utfordring med synkroniseringen av hoppene.

Ved å kopiere metoden som er beskrevet i denne oppgaven, kan en allikevel benytte metoden senere. Det anbefales å teste ut metoden i mindre skala før den brukes i andre konkurranser.



# Abstract

Elite athletes in Snowboard and Freestyle skiing are exposed to injuries at big jumps. Therefore, the International Ski Federation (FIS) has launched a work to build these jumps so that there will be fewer cases of injuries.

A part of this work is to map out where the athletes land in competitive situations. This task addresses this challenge.

A FIS-competition in Mönchengladbach in Germany on the 2nd and 3rd of December 2016 was filmed with video camera from two different angles. The files were processed in Dartfish for further use. Measurements of points around the ground was also made with GNSS equipment.

To find the landing points, the photometric method Direct Linear Transformation is used. This method finds coordinates to points by viewing a point from two different angles. Through a calibration where one uses known points, the parameters are found. These parameters are used to find coordinates for new, unknown points.

To achieve this, the Matlab codes `DLTcal5.m` and `DLTdv5.m` are used. By using the measured points and two video files, the parameters are found. By entering a set of two movies for each jump, landing points is calculated.

It turned out that it was not possible to calculate the landing points with good numbers from the competition in Mönchengladbach. The coordinates that were calculated were not in the landing area. The reasons why this did not work is an uncertainty about the quality of the calibration points, and a challenge with the synchronization of the jumps.

By copying the method described in this task, one can still use the method later. It is recommended to test the method on a smaller scale before it is used in other competitions.



# Innhold

<b>Forord</b>	<b>iii</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>v</b>
<b>Abstract</b>	<b>vii</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn . . . . .	1
1.2 Oppgavens formål og avgrensning . . . . .	2
1.3 Tidligere arbeid . . . . .	2
1.4 Oppgavens oppbygning . . . . .	3
<b>2 Teori</b>	<b>5</b>
2.1 Direct Linear Transformation . . . . .	5
2.1.1 Kalibreringen . . . . .	5
2.1.2 Digitaliseringen . . . . .	9
<b>3 Utstyr</b>	<b>11</b>
3.1 Maskinvare . . . . .	11
3.1.1 Antenne og mottaker fra Javad . . . . .	11
3.1.2 Kamera fra Sony . . . . .	12
3.2 Programvare . . . . .	12
3.2.1 Dartfish 9.0 . . . . .	12
3.2.2 Matlab . . . . .	13
3.2.3 Microsoft Excel . . . . .	13
<b>4 Metode</b>	<b>15</b>
4.1 Feltarbeidet . . . . .	16
4.2 Synkroniseringen . . . . .	16
4.3 Kalibreringen . . . . .	18
4.4 Digitaliseringen . . . . .	19
<b>5 Resultater</b>	<b>21</b>
5.1 Feltarbeidet . . . . .	21
5.2 Synkroniseringen . . . . .	22
5.3 Kalibreringen . . . . .	23
5.4 Digitaliseringen . . . . .	26
<b>6 Diskusjon</b>	<b>29</b>
6.1 Synkroniseringen . . . . .	29
6.2 Kalibreringen . . . . .	29
6.3 Digitaliseringen . . . . .	30
6.4 Oppsummering og veien videre . . . . .	31
<b>7 Konklusjon</b>	<b>33</b>

<b>Bibliografi</b>	<b>35</b>
<b>A Metode - vedlegg</b>	<b>37</b>
A.1 Synkroniseringen i Dartfish . . . . .	37
A.1.1 Innlesing av fil . . . . .	37
A.1.2 Klipping av fil . . . . .	38
A.1.3 Prosessering av fil . . . . .	39
A.2 Kalibreringen i Matlab . . . . .	41
A.2.1 Legge inn fastmerker . . . . .	41
A.2.2 Legge inn frontfil . . . . .	43
A.2.3 Kalibrere frontfil . . . . .	44
A.2.4 Legge inn sidefil . . . . .	45
A.2.5 Kalibrere sidefil . . . . .	47
A.2.6 Lagre kalibreringen . . . . .	48
A.3 Digitaliseringen i Matlab . . . . .	49
A.3.1 Legge inn videofiler og kalibreringsfil . . . . .	49
A.3.2 Digitalisere punkt . . . . .	52
A.3.3 Lagring av Excel-fil . . . . .	56
<b>B Resultater - vedlegg</b>	<b>59</b>
B.1 Kalibreringen . . . . .	59
B.1.1 Kalibering uten bruk av mastpunkter . . . . .	59
B.1.2 Kalibrering med bruk av mastpunkter . . . . .	65
B.2 Digitaliseringen . . . . .	73
B.2.1 Oversikt over landingspunktene . . . . .	73
B.2.2 Resultater når kalibreringen ikke har brukt mastpunkter . . . . .	76
B.2.3 Resultater når kalibreringen har brukt mastpunkter . . . . .	79



# Figurer

1.1	Hoppet som ble brukt i stevnet i Mönchengladbach. . . . .	2
1.2	Modell av et hopp med ovarenn og landingszone (Levy et al., 2015). . . . .	3
2.1	Visning av et kjentpunkt fra to vinkler. Punktet $(x, y, z)$ gjenskapes i sidekameraet som bildepunktet $(u_L, v_L)$ , og i frontkameraet som bildepunktet $(u_R, v_R)$ (Thomson, 2017). . . . .	5
2.2	Visning av to kjentpunkt fra to vinkler. Det første punktet $(x_1, y_1, z_1)$ gjenskapes i sidekameraet som bildepunktet $(u_{L1}, v_{L1})$ , og i frontkameraet som bildepunktet $(u_{R1}, v_{R1})$ . Det andre punktet $(x_2, y_2, z_2)$ gjenskapes i sidekameraet som bildepunktet $(u_{L2}, v_{L2})$ , og i frontkameraet som bildepunktet $(u_{R2}, v_{R2})$ . (Thomson, 2017). . . . .	6
2.3	Vising av nytt punkt ved bruk av bildepunkt. Ved å bruke sidekamerats bildepunkt $(u_L, v_L)$ og frontkameraets bildepunkt $(u_R, v_R)$ kan en finne det nye punktet $(x, y, z)$ (Thomson, 2017). . . . .	9
3.1	Antenne og mottaker brukt til innmåling av kalibreringspunkt. . . . .	11
3.2	Kamera brukt til filming av utøverne. . . . .	12
3.3	Utsnitt av Dartfish. . . . .	12
3.4	Utsnitt av Matlab. . . . .	13
3.5	Utsnitt av Excel. . . . .	13
4.1	Matthias måler inn kalibreringspunkt under feltarbeidet. . . . .	16
4.2	Utsnitt fra Excel med oversikten over hvordan de ulike videoopptakene er organisert. Poengsummen til de ulike hoppene er hentet fra de offisielle resultatene på hjemmesiden til FIS (FIS, 2018) . . . . .	17
4.3	Skisse av kalibreringspunkt. Den er først tegnet på papir, før den er laget digitalt. . . . .	18
4.4	Forskjell mellom rød sirkel og grønn diamant. Den røde sirkelen viser hvor det er trykket i bildet. Den grønne diamanten viser hvor punktet burde vært. . . . .	19
5.1	Hopp på formiddagen med skygge. Utøver er Billy Morgan og tidspunktet er 12:13. . . . .	22
5.2	Hopp på ettermiddagen med sol. Utøveren er Katie Ormerud og tidspunktet er 14:20. . . . .	23
5.3	Hopp på kvelden. Utøver er Katie Ormerud og tidspunktet er 18:06. . . . .	23
5.4	Kalibreringspunkt langs reklameskiltene. Punktene er i hjørnet av firkantene vendt mot bakken. Det er lett å se hvor punktene skal være fordi det veksler mellom hvite og gule reklameplakater. Punktene på venstre side er ikke mulig å se fra sidekameraet. En må da orientere seg etter hvor mastene er satt opp. . . . .	25
5.5	Kalibreringspunkt i mastene. Punktene er i hjørnet av firkanten vendt mot bakken. Punktene er der hvor den horisontale stangen treffer den vertikale på ytterkanten. Dette punktet er greit å se forfra, men vanskelig å se fra siden. . . . .	25

5.6	Nærbilde av reklameskilt og master. Når bakken ikke bøyer seg er det et presist punkt som er overgang mellom gult og hvitt reklameskilt. I bøyen er det mer upresist, og disse punktene ble vanskelig å bruke. I mastene ser vi at det er mange stenger som går på kryss og tvers. Det er derfor ulikt hvor godt disse punktene er synlig fra siden. . . . .	26
5.7	Endelig digitalisering av landingspunkt når kalibreringen brukte mastpunktene. Kalibreringspunktene har mørk farge og landingspunktene har fargene rød, grønn, rosa og blå. Vi ser at de estimerte landingspunktene er langt utenfor bakkens område. . . . .	28
A.1	Åpne Dartfish. Velg fanen Analyzer (grønn runding) og sett den i single-screen mode (rød runding) Åpne library (blå runding), bla fram til aktuell videofil og dra inn videofilen (lilla runding). . . . .	37
A.2	Spill av videoen (blå runding) og stopp den (blå runding) ved landingspunktet. Bruk piltastene på frame (lilla runding) til å finne nøyaktig landingspunkt. Marker startpunkt på prosessert video (grønn runding). Fortsett avspillingen (blå runding) av videoen, stopp den (blå runding) og marker slutt punkt på prosessert video (rød runding). . . . .	38
A.3	Nytt start- (grønn runding) og slutt punkt (rød runding) er markert. Start prosessering av ny video ved å velge Movie (lilla runding). . . . .	39
A.4	Se til at kun en video er valgt. Trykk Next. . . . .	39
A.5	Sett MPEG-4 H.264 Tablet HD som format på den nye videofilen. Sett speed til å være 1.0x. Trykk Next. . . . .	40
A.6	Skriv inn navn og velg mappe for lagring av den prosesserte videoen. Trykk Next og filen lages. . . . .	40
A.7	Start opp Matlab og kjør Matlab-koden DLTcal5.m. Vinduet DLTcal5 controls åpnes. Trykk på Initialize (rød runding). . . . .	41
A.8	Finn fram til den aktuelle csv-filen med koordinatene til de innmålte kjentpunktene. . . . .	41
A.9	Csv-filen må være på et format der komma brukes mellom x-, y- og z-koordinatene. På første linje skal det stå x, y, z. . . . .	42
A.10	Hvis csv-filen er på riktig format lastes kalibreringspunktene inn. . . . .	42
A.11	Bla fram til en av de prosesserte videofile som er filmet fra frontkameraet. Åpne filen. . . . .	43
A.12	Filen er åpnet. . . . .	43
A.13	Ved å zoome inn og ut (bruk shift og = på tastaturet for å zoome inn, - for å zoome ut) trykker du på hvor kontrollpunktene er. Se til at riktig punkt velges. . . . .	44
A.14	Ved å velge Compute coefficient (rød runding) får du opp Calibration residual (lilla runding). Denne bør ikke være for høy. Om residualet er for høyt må et punkt fjernes. Ved å velge Error analysis (grønn runding) får du opp en oversikt over hvilke punkt som bør fjernes. . . . .	44
A.15	En oversikt over hva som skjer med residualet ved fjerning av de forskjellige punktene kommer opp. Lukk vinduet og gå tilbake til vinduet med oversikt over alle punktene. Fjern det punktet som gjør at residualet synker mest (i dette tilfelle er det punkt 14) og gjenta prosessen ovenfor ved å sjekke residualet. Gjør dette helt til residualet er lavt nok. . . . .	45
A.16	Les inn prosessert videofil fra siden ved å velge Add a camera (rød runding). . . . .	45
A.17	Bla fram til en av de prosesserte videofile som er filmet fra sidekameraet. Åpne filen. . . . .	46
A.18	Filen er åpnet. . . . .	46

A.19	Velg riktig bildepunkt for sidekameraet. . . . .	47
A.20	Se til at residualet blir lavt nok med samme framgangsmåte som for frontkameraet. . . . .	47
A.21	Lukk dialogboksen med kalibreringen. Du får spørsmål om å lagre kalibreringen. Finn fram til egnet mappe og velg et passende navn. . . . .	48
A.22	Kalibreringen er lagret. . . . .	48
A.23	Det er lagret en Excel-fil med 11 parametere for hvert kamera. Dette er kalibreringen. Denne kan senere legges inn på nytt hvis en ønsker å endre noe på kalibreringen. . . . .	48
A.24	Det lagres også en Excel-fil med oversikt over bildekoordinatene for begge kameraene. . . . .	48
A.25	Start opp Matlab-koden DLTdv5.m. Et nytt vindu åpnes. Velg Initialize (rød runding). . . . .	49
A.26	Velg at du skal digitalisere ved hjelp av 2 videoer. . . . .	49
A.27	Velg frontfilen. Trykk Åpne. . . . .	50
A.28	Velg tilhørende sidefil. Trykk Åpne. . . . .	50
A.29	Svar ja på at de er kalibrert ved hjelp av DLT-metoden. . . . .	50
A.30	Åpne Excel-filen med kalibreringskoeffisientene. Navnet på den avsluttes med DLTcoefs. . . . .	51
A.31	Frontfilen med tilhørende sidefil vises. Kalibreringskoeffisientene er lagt inn. . . . .	51
A.32	Marker frontfilen og zoom deg inn (bruk shift og = på tastaturet). Tryk på et punkt. . . . .	52
A.33	Tilsvarende punkt kan velges for sidevideoen. For å ha minst mulig avvik bør punktet ideelt velges langs den blå linja. I dette tilfellet ser vi at den blå linja ikke er der hvor utøveren er. . . . .	52
A.34	Marker vinduet med sidefilen. Zoom inn og marker samme sted på utøveren. . . . .	53
A.35	Ved å zoome ut i begge vinduene ser en feilmarginene mellom det røde sirkelen og den grønne diamanten. . . . .	53
A.36	Avvik i frontfilen. . . . .	54
A.37	Avvik i sidefilen. . . . .	54
A.38	I vinduet ser man residualet (rød runding). Dette må ikke være for stort. . . . .	55
A.39	Velg Add a point (rød runding) for å legge til punktet på den andre foten og punktet på hodet. Benytt samme framgangsmåte. . . . .	55
A.40	Ved å avslutte programmet får du spørsmål om du vil lagre. Velg Ja. . . . .	56
A.41	Finn en egnet mappe for lagring. . . . .	56
A.42	Kall filen med navn i forhold til hoppet som er digitalisert. . . . .	56
A.43	Svar ja på at et 95 prosent konfidensintervall skal brukes. . . . .	56
A.44	Svar ja på at en kan bruke en minimum error på 1 pixel. . . . .	57
A.45	Filen lagres. . . . .	57
A.46	Det lages fem filer. Åpne filen der filnavnet ender på "xyzpts". . . . .	57
A.47	I landingsøyeblikket er det laget koordinater for x, y og z for begge føttene og hodet. . . . .	57
B.1	Kalibreringspunkt langs reklameskiltene. Punktene på venstre side er i nedre høyre hjørne av den hvite firkanten. Punktene på høyre side er i nedre venstre hjørne av den hvite firkanten. . . . .	59
B.2	Kalibreringspunkt brukt til frontvideoen. . . . .	61
B.3	Kalibreringspunkt brukt til sidevideoen. . . . .	61
B.4	Residual for videoene. . . . .	62

B.5	Oversikt over hva som ville skjedd med residualet hvis vi hadde fjernet et punkt fra frontvideoen. Hvis punkt 14 hadde blitt fjernet ville residualet sunket til ca. 5,4. Den romlige spredningen ville blitt dårligere og derfor beholdt vi punktet.	63
B.6	Oversikt over hva som ville skjedd med residualet hvis vi hadde fjernet et punkt fra sidevideoen. Legg merke til at skalen langs y-aksen har endret seg. . . . .	63
B.7	Kalibreringspunkt langs reklameskiltene. Punktene på venstre side er i nedre høyre hjørne av den hvite firkanten. Punktene på høyre side er i nedre venstre hjørne av den hvite firkanten. Merk at noen av punktene har endret navn i forhold til tidligere kalibrering. . . . .	65
B.8	Kalibreringspunkt i mastene. Punktene på venstre side er i nedre høyre hjørne av den hvite firkanten. Punktene på høyre side er i nedre venstre hjørne av den hvite firkanten. For punktene som er øverst på masten er det i etterkant satt opp en lyskaster som kan være i veien. . . . .	66
B.9	Kalibreringspunkt på toppen av ovarrennet. Punktet på venstre side er i nedre høyre hjørne av den hvite firkanten. Punktet på høyre side er i nedre venstre hjørne av den hvite firkanten. . . . .	66
B.10	Kalibreringspunkt brukt til frontvideoen. . . . .	68
B.11	Kalibreringspunkt brukt til sidevideoen. . . . .	68
B.12	Residual for videoene. . . . .	69
B.13	Oversikt over hva som ville skjedd med residualet hvis vi hadde fjernet et punkt fra frontvideoen. Legg merke til at det er vanskelig å forutsi hvilket punkt som bør fjernes først for å minske residualet så mye som mulig. . . . .	70
B.14	Oversikt over hva som ville skjedd med residualet hvis vi hadde fjernet et punkt fra sidevideoen. Legg merke til at residualets størrelse må multipliseres med 10 000. . . . .	70
B.15	Hopp 109. . . . .	73
B.16	Hopp 135. . . . .	73
B.17	Hopp 210. . . . .	73
B.18	Hopp 235. . . . .	74
B.19	Hopp 359. . . . .	74
B.20	Hopp 402. . . . .	74
B.21	Hopp 509. . . . .	75
B.22	Hopp 549. . . . .	75
B.23	Visning av landingspunktene i 3D. . . . .	77
B.24	Visning av landingspunktene og kalibreringspunktene i 3D. Kalibreringspunktene har mørk farge. . . . .	78
B.25	Visning av landingspunktene og kalibreringspunktene i 3D. Kalibreringspunktene har mørk farge. . . . .	80

# Tabeller

3.1	Oversikt over det viktigste utstyret som er benyttet. . . . .	11
4.1	Stegene i metoden for å digitalisere landingspunkt. . . . .	15
5.1	Oversikt over antall hopp som ble filmet . . . . .	21
5.2	De 8 hoppene som ble digitalisert. . . . .	27
5.3	Sammenlikning av tall for de to variantene med kalibrering og tilhørende digitalisering. . . . .	28
B.1	Kalibreringspunkt langs reklameplakatene. . . . .	60
B.2	Bildepunkt i frontvideoen og sidevideoen for kalibreringen. Kalibreringspunkt som ikke ble benyttet skrives NaN. . . . .	64
B.3	Verdier for to sett av 11 koeffisienter. . . . .	64
B.4	Kalibreringspunkt langs reklameplakatene. . . . .	67
B.5	Kalibreringspunkt i mastene. Punktene er blitt sendt over fra Zürich, og RMS er derfor ukjent. . . . .	67
B.6	Bildepunkt i frontvideoen og sidevideoen for kalibreringen. Kalibreringspunkt som ikke ble benyttet skrives NaN. . . . .	71
B.7	Verdier for to sett av 11 koeffisienter. . . . .	72
B.8	Resultat av digitaliseringen. Koordinater og residual til alle digitaliserte punkt. . . . .	76
B.9	Beregning av tyngdepunktet til landingen for hvert hopp. Hodet og begge bena er alle vektet likt i beregningen. Fargen vises i framstillingen på neste side. . . . .	76
B.10	Resultat av digitaliseringen. Koordinater og residual til alle digitaliserte punkt. . . . .	79
B.11	Beregning av tyngdepunktet til landingen for hvert hopp. Hodet og begge bena er alle vektet likt i beregningen. Fargen vises i framstillingen på neste side. . . . .	79



# Kapittel 1

## Innledning

### 1.1 Bakgrunn

Utøvere innen Slopestyle i snowboard og freestyle skikjøring er utsatt for skader. Slopestyle er en øvelse der en kjører gjennom flere elementer nedover en bakke. De siste elementene er store hopp. Det er på hoppene de fleste av skadene skjer. På grunn av alle skadene ønsker en å bli bedre til å bygge disse hoppene for å få færre skader.

Det internasjonale skiforbundet (FIS) har satt i gang dette arbeidet. Ingeniører i ulike land har fått i oppgave å hjelpe FIS. Målet er at det skal lages parametere en kan bruke når en bygger hoppene. På den måten håper en at det skal bli færre skader.

Arbeidet er delt inn i flere ledd. En oppgave er å finne virkningen av luftmotstanden. Både før hoppet og i selve svevet. Det gjøres tester i vindtunneler.

En annen oppgave er å finne virkningen av friksjonen mot snøen. Det gjøres tester gjennom hele vinteren i ulike typer løyper. Det ses også på forskjellen av friksjon mot snowboard, kontra friksjon mot ski.

En tredje oppgave er å finne virkningen av satsen til utøveren. Ved å bygge ulike hopp med ulik størrelse der utøveren både satser og ikke satser, kan en beregne effekten av utøverens egenkraft.

Det siste leddet er å lage en beregning ut ifra disse parameterne og se om dette kan stemme i en konkurransesituasjon. Gjennom flere ulike konkurranser skal en se på hvor utøverne faktisk lander. En skal se på hvilken hastighet de har på hoppkanten, og beregne hvor utøveren burde ha landet hvis det ikke var noen luftmotstand.

På den måten kan en se om beregningen av virkning av friksjon og luftmotstand stemmer med farten på hoppet. Og en kan se om flybanen vil stemme med virkningen av sats og luftmotstand i svevet.

Det er som en del av det siste del av arbeidet denne oppgaven kommer inn. Under et FIS-stevne i Mönchengladbach i Tyskland blir hele konkurransen filmet. Dette er en såkalt Big Jump-konkurranse der hoppet som er brukt er likt det som brukes i Slopestyle. Ved hjelp av fotogrammetriske metoder vil en finne landingspunktet. Målet er å teste en metode for å se om en får gode nok estimat på koordinatene til landingspunktet.

Som siste del av arbeidet vil en også beregne fart og avkastvinkelen på hoppet. Ved sistnevnte beregning kan en finne ut hvor landingspunktet ville vært uten luftmotstand. Denne delen av prosjektet er ikke en del av denne oppgaven.



Figur 1.1: Hoppet som ble brukt i stevnet i Mönchengladbach.

## 1.2 Oppgavens formål og avgrensning

Den fotogrammetriske metoden som er testet ut i denne oppgaven er Direct Linear Transformation (DLT). Metoden er testet ut gjennom bruk av ferdigproduserte Matlab-koder.

Oppgavens formål er å undersøke om denne metoden fungerer slik at den kan brukes ved flere konkurranser. På den måten kan en kopiere metoden når en ved senere konkurranser skal hente inn flere data. Det er derfor hensiktsmessig at metoden beskrives i detalj og at alle aspekter i fremgangsmåten tas med.

Om metoden viser seg å fungere godt vil mange av hoppene fra konkurransen i Tyskland digitaliseres. Et formål er derfor også å finne landingspunkt for mange hopp hvis en kan stole på metoden.

Det er viktig at både metoden som utvikles og funnene som presenteres har en god validitet. Derfor legges det vekt på å forstå de ulike feilkildene. Om de totale feilene er for store, kan ikke metoden brukes.

## 1.3 Tidligere arbeid

Det er allerede gjort et arbeid i tilknytning til det FIS nå skal få til. Problemet er at dette ikke har vært godt nok for eliteutøvere i denne typen konkurransesituasjon. Det er laget datamodeller for svevebanen, men inputparameterne har ikke vært gode nok. De er ikke oppdatert i forhold til dagens situasjon, og det har vært store sprik i beregning av luftmotstand og friksjon.

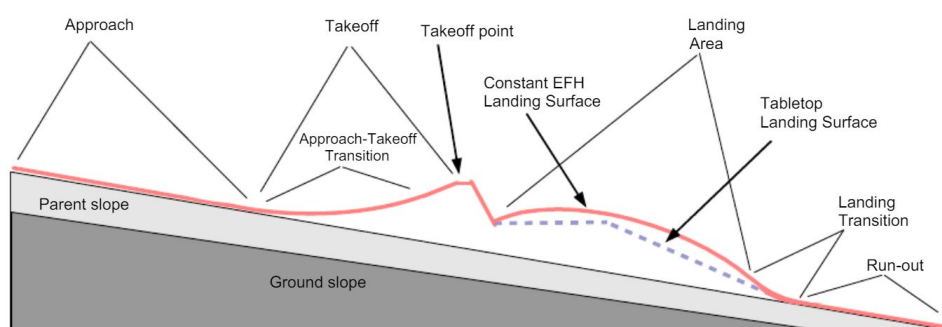


I grenen storslalåm innenfor alpint er det beregnet verdier for luftmotstand i vindtunneler (Meyer et al., 2012). Det er funnet ut at luftmotstanden varierer fra 4,54-5,30 prosent og opp til 11,00-14,28 prosent avhengig av teknikken en bruker. Teknikker og kroppsstillinger som er mest overførbare til snowboard og freestyle skikjøring er de med høyest luftmotstand.

Detaljerte snøforhold i utforbakkene som brukes i verdenscupen i alpint er funnet (Wolfsperger et al., 2014). Dette kan brukes til å beregne friksjon.

I terrengparker i USA er det beregnet satsverdier som variere fra å påvirke farten på hoppkan-  
tene fra -2,48 meter per sekund og opp til +1,12 meter per sekund utover i svevet (McNeil, 2012). Utgangsfarten kan altså påvirkes både negativt og positivt.

I USA har en brukt parametere til å lage modeller av hopp en vil bygge i terrengparker i offentlige skianlegg (Levy et al., 2015). En har tatt hensyn til luftmotstand, friksjon og sats. I tillegg til gravitasjonen og utøvernes vekt.



**Figur 1.2:** Modell av et hopp med ovarenn og landingssone (Levy et al., 2015).

Når det gjelder den fotogrametriske metodebruken må vi også se til alpint for å finne tidligere bruk. I en større studie gjort av skiteknikken innenfor slalåm er DLT-metoden brukt (Reid, 2010). En har ved en liknende arbeidsgang som i denne oppgaven sett på hvor de ulike delene på kroppen til utøveren er. Forskjellen er at dette er gjort dynamisk gjennom et lengere tidsperspektiv nedover en alpinbakke. Annen programvare er også brukt.

## 1.4 Oppgavens oppbygning

Etter denne innledningen følger oppgavens resterende deler. I teoridelen forklares teorien bak DLT i detalj. Det følger så en oversikt over utstyret som er brukt.

Metodedelen, resultatdelen og diskusjonsdelen følger videre. De er hovedsakelig strukturert i forhold til de gjentakende trinnene i arbeidsgangen. Trinnene i arbeidsgangen har fått navnene feltarbeid, synkronisering, kalibrering og digitalisering. Noen aspekter fra arbeidsgangen gjentas i de ulike delene. Etter disse delene kommer en konklusjon.

I tillegg til oppgaven gis en detaljert framgangsmåte for datagangen for metodedelen. Alle resultatene presenteres også i detalj. En tanke med oppgaven er at det skal være lettere å kopiere metoden ved en senere anledning. Derfor er disse tilleggene tatt med.



# Kapittel 2

## Teori

### 2.1 Direct Linear Transformation

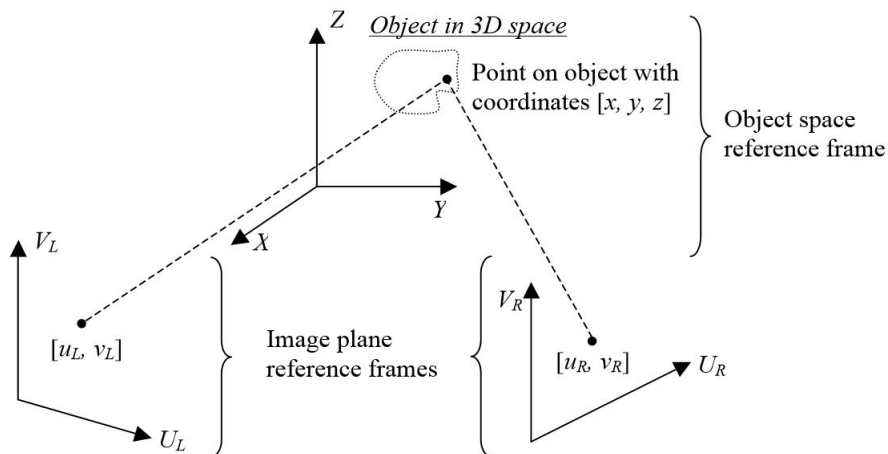
Metoden Direct Linear Transformation (DLT) er brukt for å digitalisere landingen. Det er en fotogrammetrisk metode som finner koordinatene  $(x, y, z)$  til et punkt i planet ved å se punktet fra to ulike vinkler (Thomson, 2017).

Det måles først inn kjentpunkt i planet som brukes til en kalibrering. I kalibreringen finner en parameterne. Disse brukes til å finne koordinatene til nye ukjente punkt i planet.

I utledningen av hvordan dette gjøres er likninger hentet fra artikkelen til Dr. Scott Thomson (Thomson, 2017).

#### 2.1.1 Kalibreringen

I kalibreringen har vi et innmålt kjentpunkt i terrenget  $(x, y, z)$  som kan gjenskapes som bildepunkt i både side- ( $u_L, v_L$ ) og frontkameraet ( $u_R, v_R$ ).



**Figur 2.1:** Visning av et kjentpunkt fra to vinkler. Punktet  $(x, y, z)$  gjenskapes i sidekameraet som bildepunktet  $(u_L, v_L)$ , og i frontkameraet som bildepunktet  $(u_R, v_R)$  (Thomson, 2017).

Til sammen har vi 7 kjente størrelser ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $u_L$ ,  $v_L$ ,  $u_R$ ,  $v_R$ ). Målet for kalibreringen er å finne 11 ukjente koeffisienter for hvert av kameraene. Det blir til sammen 22 ukjente størrelser. Sammenhengen for de kjente og ukjente størrelsene er gitt i likning 1a-1d.

$$u_L = \frac{L_1x + L_2y + L_3z + L_4}{L_9x + L_{10}y + L_{11}z + 1}, \quad (1a)$$

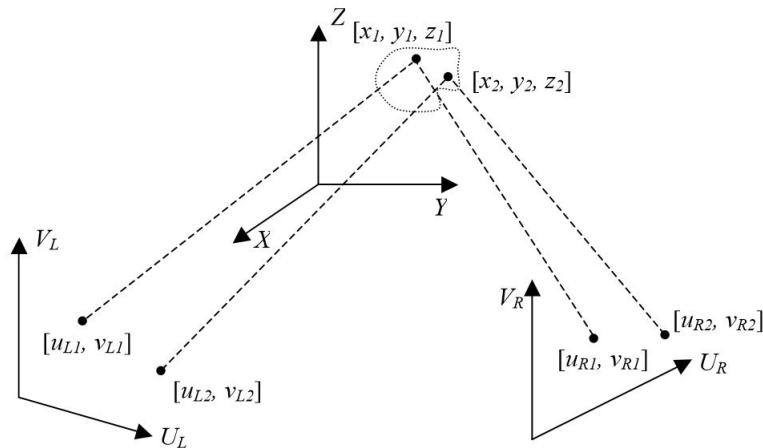
$$v_L = \frac{L_5x + L_6y + L_7z + L_8}{L_9x + L_{10}y + L_{11}z + 1}, \quad (1b)$$

$$u_R = \frac{R_1x + R_2y + R_3z + R_4}{R_9x + R_{10}y + R_{11}z + 1}, \quad (1c)$$

$$v_R = \frac{R_5x + R_6y + R_7z + R_8}{R_9x + R_{10}y + R_{11}z + 1}. \quad (1d)$$

Dette likningssystemet er ikke mulig å løse slik det er nå. Vi trenger mer enn 22 likninger for å finne 22 ukjente. Med et kalibreringspunkt får vi 4 likninger. Hvis vi bruker 6 kalibreringspunkt vil vi få 24 likninger. Vi må derfor bruke minst 6 kalibreringspunkt.

Med to kalibreringspunkt ser systemet slik ut:



**Figur 2.2:** Visning av to kjentpunkt fra to vinkler. Det første punktet ( $x_1$ ,  $y_1$ ,  $z_1$ ) gjenskapes i sidekameraet som bildepunktet ( $u_{L1}$ ,  $v_{L1}$ ), og i frontkameraet som bildepunktet ( $u_{R1}$ ,  $v_{R1}$ ). Det andre punktet ( $x_2$ ,  $y_2$ ,  $z_2$ ) gjenskapes i sidekameraet som bildepunktet ( $u_{L2}$ ,  $v_{L2}$ ), og i frontkameraet som bildepunktet ( $u_{R2}$ ,  $v_{R2}$ ). (Thomson, 2017).

For de to punktene i sidekameraet (uL1, vL1, uL2, vL2) får vi disse likningene:

$$u_{L1} = \frac{L_1x_1 + L_2y_1 + L_3z_1 + L_4}{L_9x_1 + L_{10}y_1 + L_{11}z_1 + 1}, \quad (2a)$$

$$v_{L1} = \frac{L_5x_1 + L_6y_1 + L_7z_1 + L_8}{L_9x_1 + L_{10}y_1 + L_{11}z_1 + 1}, \quad (2b)$$

$$u_{L2} = \frac{L_1x_2 + L_2y_2 + L_3z_2 + L_4}{L_9x_2 + L_{10}y_2 + L_{11}z_2 + 1}, \quad (2c)$$

$$v_{L2} = \frac{L_5x_2 + L_6y_2 + L_7z_2 + L_8}{L_9x_2 + L_{10}y_2 + L_{11}z_2 + 1}. \quad (2d)$$

For punkt 1 (uL1, vL1) kan vi ordne på likningene.

$$u_{L1}(L_9x_1 + L_{10}y_1 + L_{11}z_1 + 1) = L_1x_1 + L_2y_1 + L_3z_1 + L_4, \quad (3)$$

$$u_{L1} = L_1x_1 + L_2y_1 + L_3z_1 + L_4 - u_{L1}L_9x_1 - u_{L1}L_{10}y_1 - u_{L1}L_{11}z_1. \quad (4)$$

$$v_{L1} = L_5x_1 + L_6y_1 + L_7z_1 + L_8 - v_{L1}L_9x_1 - v_{L1}L_{10}y_1 - v_{L1}L_{11}z_1. \quad (5)$$

Setter vi punkt 1 i sidekameraet (uL1, vL1) inn på matriseform får vi denne løsningen:

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_{L1}x_1 & -u_{L1}y_1 & -u_{L1}z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & z_1 & 1 & -v_{L1}x_1 & -v_{L1}y_1 & -v_{L1}z_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \\ L_4 \\ L_5 \\ L_6 \\ L_7 \\ L_8 \\ L_9 \\ L_{10} \\ L_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{L1} \\ v_{L1} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Tilsvarende kan gjøre for alle punkt i det venstre bilde.

$$\begin{array}{l}
 \text{Point 1} \\
 \text{Point 2} \\
 \vdots \\
 \text{Point } N
 \end{array}
 \left\{ \begin{array}{l}
 \left[ \begin{array}{ccccccccccc}
 x_1 & y_1 & z_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_{L1}x_1 & -u_{L1}y_1 & -u_{L1}z_1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & z_1 & 1 & -v_{L1}x_1 & -v_{L1}y_1 & -v_{L1}z_1 \\
 x_2 & y_2 & z_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_{L2}x_2 & -u_{L2}y_2 & -u_{L2}z_2 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & z_2 & 1 & -v_{L2}x_2 & -v_{L2}y_2 & -v_{L2}z_2 \\
 \vdots & & & & & & & & & & \\
 x_N & y_N & z_N & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_{LN}x_N & -u_{LN}y_N & -u_{LN}z_N \\
 0 & 0 & 0 & 0 & x_N & y_N & z_N & 1 & -v_{LN}x_N & -v_{LN}y_N & -v_{LN}z_N
 \end{array} \right] \\
 \underbrace{\hspace{10em}}_{2N \times 11}
 \end{array} \right.
 \begin{array}{l}
 \left[ \begin{array}{c}
 L_1 \\
 L_2 \\
 L_3 \\
 L_4 \\
 L_5 \\
 L_6 \\
 L_7 \\
 L_8 \\
 L_9 \\
 L_{10} \\
 L_{11}
 \end{array} \right]
 \end{array}
 =
 \begin{array}{l}
 \left[ \begin{array}{c}
 u_{L1} \\
 v_{L1} \\
 u_{L2} \\
 v_{L2} \\
 \vdots \\
 u_{LN} \\
 v_{LN}
 \end{array} \right] \\
 \underbrace{\hspace{10em}}_{2N \times 1}
 \end{array}
 \cdot \quad (7)$$

Vi ønsker å løse matrisen med tanke på å finne de 11 ukjente for sidekameraet. Vi kaller derfor de tre delene av matrisen for FL, L og gL.

$$\mathbf{F}_L \mathbf{L} = \mathbf{g}_L, \quad (8)$$

Ved å først multiplisere med den transponerte til FL, og så invertere matrisen finner vi en løsning for L.

$$\mathbf{F}_L^T \mathbf{F}_L \mathbf{L} = \mathbf{F}_L^T \mathbf{g}_L. \quad (10)$$

$$(\mathbf{F}_L^T \mathbf{F}_L)^{-1} (\mathbf{F}_L^T \mathbf{F}_L) \mathbf{L} = (\mathbf{F}_L^T \mathbf{F}_L)^{-1} \mathbf{F}_L^T \mathbf{g}_L, \quad (11)$$

$$\mathbf{L} = (\mathbf{F}_L^T \mathbf{F}_L)^{-1} \mathbf{F}_L^T \mathbf{g}_L, \quad (12)$$

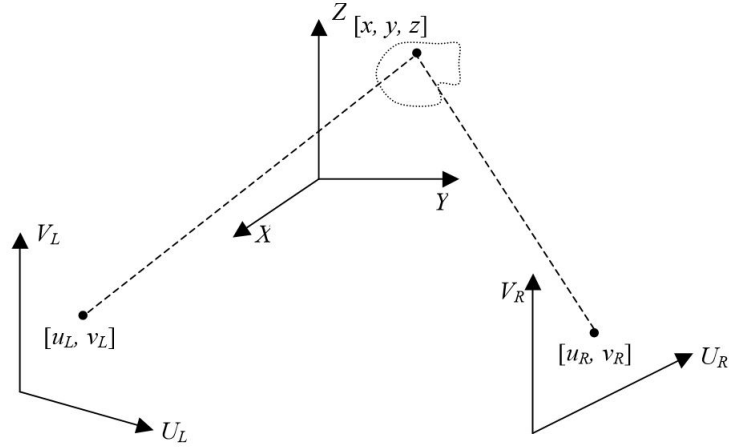
Tilsvarende løsning kan vi finne for frontkameraet.

$$\mathbf{R} = (\mathbf{F}_R^T \mathbf{F}_R)^{-1} \mathbf{F}_R^T \mathbf{g}_R. \quad (13)$$

Vi har nå funnet de 11 ukjente for både side- (L) og frontkameraet (R). Totalt 22 ukjente. Som vi ser er det to separate kalibreringer. Derfor må ikke de samme kalibreringspunktene brukes i begge bildene. Kravet er at det brukes minimum 6 kalibreringspunkt per bilde.

## 2.1.2 Digitaliseringen

I digitaliseringen av landingen er kalibreringen allerede gjort. Vi har to sett med 11 kjente koeffisienter. Målet er å finne koordinatene til der utøveren lander  $(x, y, z)$  ved bruk av bildepunktene i side-  $(u_L, v_L)$  og frontkameraet  $(u_R, v_R)$ .



**Figur 2.3:** Vising av nytt punkt ved bruk av bildepunkt. Ved å bruke sidekamerats bildepunkt  $(u_L, v_L)$  og frontkameraets bildepunkt  $(u_R, v_R)$  kan en finne det nye punktet  $(x, y, z)$  (Thomson, 2017).

Sammenhengen mellom de kjente og ukjente er:

$$u_L = \frac{L_1x + L_2y + L_3z + L_4}{L_9x + L_{10}y + L_{11}z + 1}, \quad (1a)$$

$$v_L = \frac{L_5x + L_6y + L_7z + L_8}{L_9x + L_{10}y + L_{11}z + 1}, \quad (1b)$$

$$u_R = \frac{R_1x + R_2y + R_3z + R_4}{R_9x + R_{10}y + R_{11}z + 1}, \quad (1c)$$

$$v_R = \frac{R_5x + R_6y + R_7z + R_8}{R_9x + R_{10}y + R_{11}z + 1}. \quad (1d)$$

Fordi vi nå har tre ukjente og fire likninger kan vi bruke dette systemet for å finne et punkt  $(x, y, z)$ . Vi setter opp de fire likningene på matrisform.

$$\begin{bmatrix} L_1 - L_9u_L & L_2 - L_{10}u_L & L_3 - L_{11}u_L \\ L_5 - L_9v_L & L_6 - L_{10}v_L & L_7 - L_{11}v_L \\ R_1 - R_9u_R & R_2 - R_{10}u_R & R_3 - R_{11}u_R \\ R_5 - R_9v_R & R_6 - R_{10}v_R & R_7 - R_{11}v_R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_L - L_4 \\ v_L - L_8 \\ u_R - R_4 \\ v_R - R_8 \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Hvis vi kaller venstre side for  $\mathbf{Q}$  og høyre side for  $\mathbf{q}$ , får vi:

$$\mathbf{Q} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \mathbf{q}, \quad (15)$$

Ved å multiplisere med den transponerte, og så invertere, finner vi en løsning for å finne koordinatene til punktet  $(x, y, z)$ .

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = (\mathbf{Q}^T \mathbf{Q})^{-1} \mathbf{Q}^T \mathbf{q}. \quad (16)$$

Ved å legge inn de to settene med 11 koeffisienter, og trykke på 4 bildepunkt ( $uL, vL, uR, vR$ ) får vi ut koordinatene  $(x, y, z)$  til så mange punkt vi vil for hver utøver.



# Kapittel 3

## Utstyr

I oppgaven er det benyttet både maskinvare til innsamling av dataene, og programvare til bearbeidingen av dataene.

**Tabell 3.1:** Oversikt over det viktigste utstyret som er benyttet.

Utstyr	Type	Del av oppgaven
Antenne og mottaker	Maskinvare	Feltarbeidet
Totalstasjon og kamera	Maskinvare	Feltarbeidet
Dartfish	Programvare	Synkroniseringen
Matlab	Programvare	Kalibreringen og digitaliseringen
Excel	Programvare	Kalibreringen og digitaliseringen

### 3.1 Maskinvare

#### 3.1.1 Antenne og mottaker fra Javad

Javad er et firma som produserer GNSS-mottakere og antenner. I feltarbeidet er utstyr fra Javad brukt til innsamlingen av kalibreringspunkt.



(a) Antenne: Javad GrAnt G3t (CBIL, 2017b).

(b) Mottaker: Javad Alpha gt3 (CBIL, 2017a).

**Figur 3.1:** Antenne og mottaker brukt til innmåling av kalibreringspunkt.

### 3.1.2 Kamera fra Sony

Sony er et firma som blant annet produserer videokameraer. I feltarbeidet er kameraet Sony PMW-EX3 brukt for å filme utøverne. Det er plassert på et stativ. Oppløsningen er 1920 pixler i bredden og 1080 pixler i høyden. Det tas 25 bilder per sekund. Kamerakonstanten er fra 5,8 til 81,2 mm. Den avhenger av zoomen, som er 14x. I opptakene som er gjort er det brukt lik zoom, men denne er ukjent.



(a) Kamera: Sony PMW-EX3 (Sony, 2017).



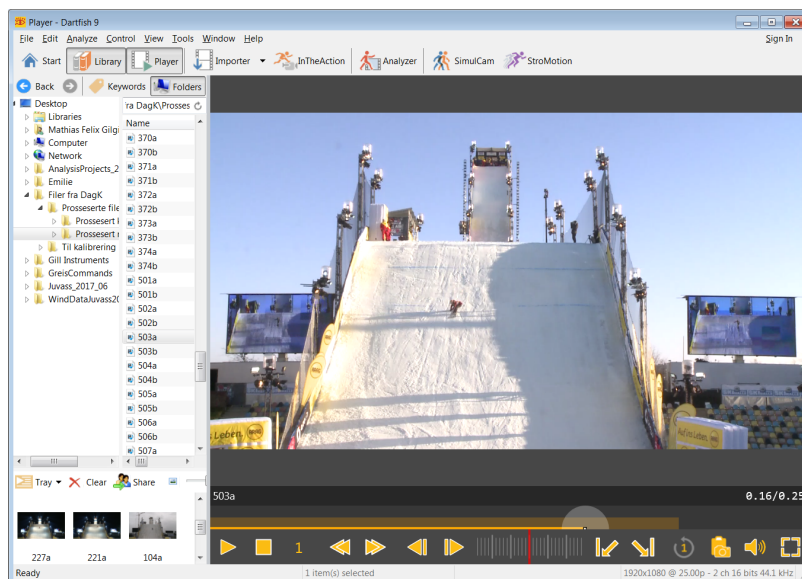
(b) Kamera med stativ: Sony PMW-EX3 (Sony, 2017).

**Figur 3.2:** Kamera brukt til filming av utøverne.

## 3.2 Programvare

### 3.2.1 Dartfish 9.0

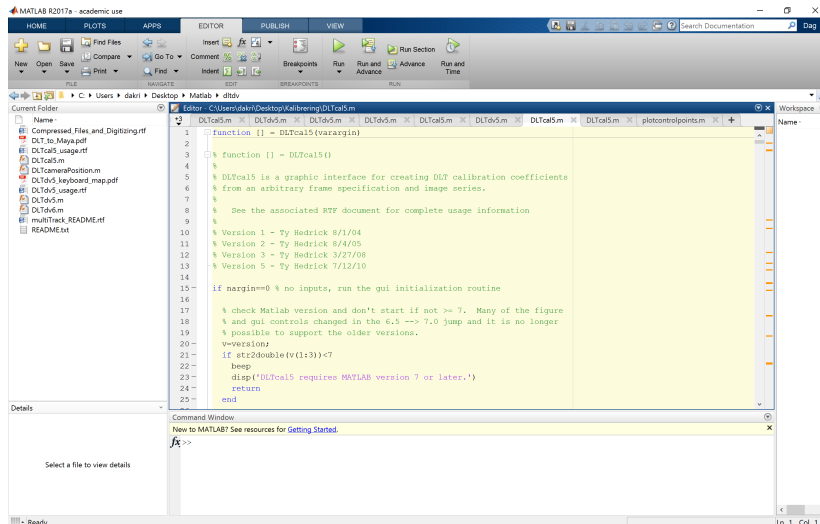
Dartfish er et program som brukes innen idrettsverdenen til ulike analyser (Dartfish, 2018). I oppgaven er det brukt til redigering av videofiler og prosessering til et annet filformat.



**Figur 3.3:** Utsnitt av Dartfish.

### 3.2.2 Matlab

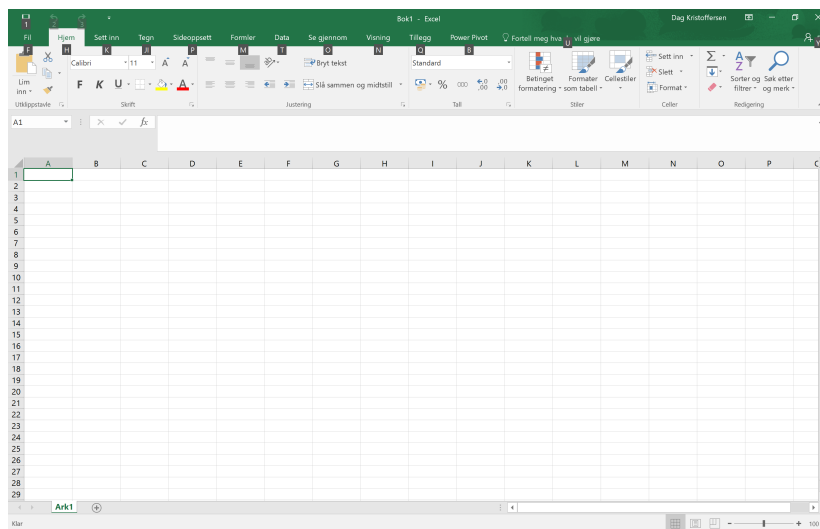
Matlab er et matematikkprogram som baserer seg på et eget scriptspråk (Matlab, 2018). I oppgaven er det hentet inn to større script som betegnes som Matlab-koder. Ved å kjøre disse scriptene er det åpnet program som har gjort det mulig å kalibrere og digitalisere filene.



Figur 3.4: Utsnitt av Matlab.

### 3.2.3 Microsoft Excel

Excel er et regneark i Microsoft Office-pakken. I oppgaven er Excel benyttet for å lage filer som kan leses inn i Matlab-kodene. Ved å benytte programmene i Matlab får en også ut resultater som må leses i Excel. I oppgaven er også Excel benyttet til å få en oversikt over videofilene, og lage tabeller som legges inn i dokumentet.



Figur 3.5: Utsnitt av Excel.



# Kapittel 4

## Metode

For å kunne finne koordinatene til landingspunktene måtte man gjennom flere steg. Dette innebar innsamling av data i felt og bearbeiding av dataene med egnet programvare. Det hele ble gjort ved at en fulgte en arbeidsgang for hele prosessen.

**Tabell 4.1:** Stegene i metoden for å digitalisere landingspunkt.

<b>Trinn</b>	<b>Mål for trinnet</b>	<b>Hvordan det utføres</b>
Feltarbeidet	Hente inn data ved å filme hele kvalifiseringen og alle finalene. Finne kalibreringspunkter i og rundt bakken.	Setter opp to kameraer, et foran og et på siden av bakken. Utfører målinger med GNSS i bakken.
Synkroniseringen	Bearbeide videofilene og synkronisere dem til videre bruk.	Systematiserer alle videofilene. Finner et egnet format de kan lagres i. Prosesserer én og én fil. Synkroniserer tilhørende videofil.
Kalibreringen	Finne koeffisienter til bruk i digitaliseringen.	Finner ut hvor i bakken fastmerkene er. Legger inn to videoer, en fra siden og en fra fronten. Utfører kalibreringen.
Digitaliseringen	Finne koordinater for landingspunkt til utøverne.	Legger inn koeffisientene fra kalibreringen. Legger inn to tilhørende videoer. Digitaliserer et og et hopp.

## 4.1 Feltarbeidet

Fra FIS-stevnet i Mönchengladbach ble både kvalifiseringene på dagtid og finalene på kvelden filmet. Det gjaldt både kvinner og menn. Det ble satt opp et kamera forfra og et kamera fra siden. Det viktige var at begge kameraene så hele landingsområdet i bakken. Kameraene ble styrt hver for seg automatisk. Det ble foretatt et filmopptak av hvert enkelt hopp. I forkant av hvert hopp ble det sagt hvilket startnummer utøveren som var i aksjon hadde. Alle filmene ble lagt i mapper som kunne bearbeides i etterkant ved å angi tidspunkt og nummer på filmen.

Rundt bakken ble det foretatt innmåling av punkter med GNSS-antenne. Meningen med dette var at en kunne bruke disse punktene til en kalibrering. Med kalibrering menes orientering av kameraene. Det ble foretatt innmåling av punkt langs reklameplakatene ved siden av bakken.

Målet fra feltarbeidet var at en skulle ha god nok kvalitet på videoene og kalibreringspunktene slik at de kunne brukes videre. Et mål var også at alle dataene skulle være godt nok systematisert.



**Figur 4.1:** Matthias måler inn kalibreringspunkt under feltarbeidet.

## 4.2 Synkroniseringen

Når videofilene var klare, ble de bearbeidet for det videre arbeidet. De ble prosessert til et annet format og tilhørende videofiler ble synkronisert.

Videofilene måtte tilpasses bruk i Matlab med følgende krav:

- filen skal kunne leses inn i Matlab.
- utøveren må være godt nok synlig i Matlab.
- størrelsen på filene må ikke være for store.

Grunnen til dette var at koder i Matlab skulle bli brukt til kalibreringen og digitaliseringen.

For å få til dette ble programmet Dartfish brukt. Hver enkelt fil ble lagt inn, klippet til og endret til et format i forhold til kravene for bruk i Matlab.

Det var flere ting som var viktig å ha kontroll på før prosessering kunne starte. Derfor ble det laget et Excel-skjema som ga en god oversikt over alle hopp. Excel-skjemaet inneholdt:

- navn, nasjonalitet og startnummer på utøver.
- gren og oversikt over om det var kvalifisering eller finale.
- hvilket hopp det var og poengsummen for utøver i det aktuelle hoppet.
- nummer på filer fra rådataene.
- nummer på fil for prosessert videofil.

Ved hjelp av dette Excel-skjemaet kunne en se hvilke frontfil som hørte til hvilken sidefil. Med frontfil menes video tatt forfra. Sidefil er video tatt fra siden. En kunne også kontrollere at det var riktig utøver ved flere kontrollsjekker:

- høre på stemmen som fortalte startnummeret.
- høre på speakeren som ofte sa nasjonaliteten eller navnet på utøveren.
- se om poengsummen for hoppet virket fornuftig (om utøveren for eksempel faller vil det gi en meget lav poengsum).

Etter at en videofil var prosessert måtte tilhørende videofil synkroniseres. Derfor ble sideopp-taket av det samme hoppet prosessert rett etter at frontvideoen var prosessert. På den måten kunne en lettere huske når filen var klippet til med tanke på landingsøyeblikket. Det fantes en løsning i Dartfish der en kunne legge til to filer samtidig. Denne løsningen ble ikke benyttet fordi en så utøverne dårligere på grunn av et mindre bildevindu.

Filene som ble prosessert ble kalt XXXa for frontfilen, og XXXb for sidefilen. Her utgjorde XXX et tresifret tall. Dette tallet tilga hoppet et eget nummer.

Målet for synkroniseringen var at en skulle få til å klippe til filene slik at de kom på et egnet format til Matlab. Målet var også å få synkronisert tilhørende videofiler. Til slutt måtte en ha lagret filene med egnete navn slik at de kunne brukes videre i kalibreringen og digitaliseringen.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
90	228	SKI	FINALS	Ladies	Run 2	02.des	18:29:10	6	Sarah	HOEFFLIN	SUI	81.40	800_0302	793_0232			
91	229	SKI	FINALS	Ladies	Run 2	02.des	18:31:15	4	Silvia	BERTAGNA	ITA	85.60	800_0304	793_0233			
92	231	SKI	FINALS	Ladies	Run 2	02.des	18:34:25	3	Mathilde	GREMAUD	SUI	88.00	800_0306	793_0234			
93	232	SKI	FINALS	Ladies	Run 2	02.des	18:36:20	2	Lisa	ZIMMERMANN	GER	72.40	800_0307	793_0235			
94	233	SKI	FINALS	Ladies	Run 3	02.des	18:58:35	8	Lara	WOLF	AUT	11.00	800_0318	793_0246			
95	234	SKI	FINALS	Ladies	Run 3	02.des	18:59:55	6	Sarah	HOEFFLIN	SUI	71.00	800_0319	793_0247			
96	235	SKI	FINALS	Ladies	Run 3	02.des	19:01:40	4	Silvia	BERTAGNA	ITA	82.40	800_0320	793_0248			
97	236	SKI	FINALS	Ladies	Run 3	02.des	19:03:15	1	Emma	DAHLSTROM	SWE	17.60	800_0321	793_0249			
98	237	SKI	FINALS	Ladies	Run 3	02.des	19:04:45	3	Mathilde	GREMAUD	SUI	58.00	800_0322	793_0250			
99	238	SKI	FINALS	Ladies	Run 3	02.des	19:06:30	2	Lisa	ZIMMERMANN	GER	69.40	800_0323	793_0251			
100	302	SNOWBOARD	QUAL	Men's Heat 1	Run 1	03.des	10:02:40	9	Jamie	NICHOLLS	GBR	25.75	800_0335	793_0262			
101	303	SNOWBOARD	QUAL	Men's Heat 1	Run 1	03.des	10:03:20	13	Michael	SCHAERER	SUI	76.00	800_0336	793_0263			
102	304	SNOWBOARD	QUAL	Men's Heat 1	Run 1	03.des	10:04:30	1	Seppe	SMITS	BEL	85.25	800_0337	793_0264			
103	305	SNOWBOARD	QUAL	Men's Heat 1	Run 1	03.des	10:05:25	8	Jonas	BOESIGER	SUI	19.50	800_0338	793_0265			
104	306	SNOWBOARD	QUAL	Men's Heat 1	Run 1	03.des	10:06:25	20	Fridtjof	TISCHENDORF	NOR	72.25	800_0339	793_0266			
105	307	SNOWBOARD	QUAL	Men's Heat 1	Run 1	03.des	10:09:50	12	Sebbe	de BUCK	BEL	56.50	800_0340	793_0267			
106	308	SNOWBOARD	QUAL	Men's Heat 1	Run 1	03.des	10:11:20	4	Ryan	STASSEL	USA	76.00	800_0342	793_0268			
107	309	SNOWBOARD	QUAL	Men's Heat 1	Run 1	03.des	10:12:45	16	Rowan	COULTAS	GBR	72.00	800_0343	793_0269			
108	310	SNOWBOARD	QUAL	Men's Heat 1	Run 1	03.des	10:14:05	17	Sebastien	KONNINENBERG	FRA	69.25	800_0344	793_0270			
109	311	SNOWBOARD	QUAL	Men's Heat 1	Run 1	03.des	10:15:20	32	Lukas	EHRLER	SUI	64.50	800_0345	793_0271			
110	312	SNOWBOARD	QUAL	Men's Heat 1	Run 1	03.des	10:16:20	29	Maximilian	PREISSINGER	GER	63.50	800_0346	793_0272			
111	313	SNOWBOARD	QUAL	Men's Heat 1	Run 1	03.des	10:17:10	33	Keita	INAMURA	JPN	82.00	800_0347	793_0273			
112	314	SNOWBOARD	QUAL	Men's Heat 1	Run 1	03.des	10:18:45	50	Kix	KAMP	USA	25.50	800_0348	793_0274			
113	315	SNOWBOARD	QUAL	Men's Heat 1	Run 1	03.des	10:19:20	41	Tim-Kevin	RAVNAK	SLO	62.50	800_0349	793_0275			
114	316	SNOWBOARD	QUAL	Men's Heat 1	Run 1	03.des	10:20:45	55	Leon	VOCKENSPERGER	GER	45.00	800_0350	793_0276			
115	317	SNOWBOARD	QUAL	Men's Heat 1	Run 1	03.des	10:22:15	25	Nicola	DIOLI	ITA	65.75	800_0351	793_0277			
116	318	SNOWBOARD	QUAL	Men's Heat 1	Run 1	03.des	10:23:10	42	Samuel	JAROS	SVK	34.25	800_0352	793_0278			
117	319	SNOWBOARD	QUAL	Men's Heat 1	Run 1	03.des	10:23:55	37	Alois	LINDMOSER	AUT	32.25	800_0353	793_0279			

**Figur 4.2:** Utsnitt fra Excel med oversikten over hvordan de ulike videoopptakene er organisert. Poengsummen til de ulike hoppene er hentet fra de offisielle resultatene på hjemmesiden til FIS (FIS, 2018)



### 4.3 Kalibreringen

For at vi skulle kunne digitalisere landingspunktene i det videre arbeidet måtte det gjennomføres en kalibrering først. Med kalibrering menes orienteringen til kameraene i forhold til bakken. Det skulle gjøres en kalibrering som skulle kunne brukes i alle digitaliseringene.

Til å utføre kalibreringen ble Matlab-koden `DLTcal5.m` brukt (Hedrick, 2017). Her skulle det legges inn en csv-fil fra Excel til innlesing. Denne filen inneholdt de innmålte punktene som skulle brukes. For å få til dette måtte csv-filen være på riktig format.

Etter dette ble en prosessert videofil forfra lagt inn. Ved å trykke i bildet ble punktene lagt inn. Tilhørende sidefil ble så lagt inn. En trykket deretter på nytt i bildet for å vise hvor punktene lå. Det var mulig å legge inn en vilkårlig prosessert sidefil, men det ville bidra til en større feilkilde. Avslutningsvis avsluttet en programmet og filen med de to settene med koeffisienter ble laget.

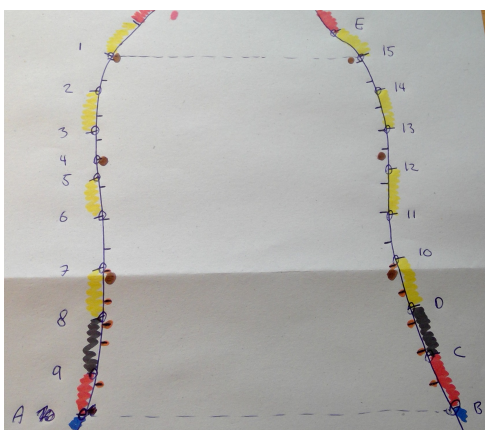
Underveis i kalibreringen måtte en tolke residuallet som ble oppgitt. Om dette var for høyt kunne en se hvilket punkt som utgjorde den største feilen. Dette kunne da fjernes. En måtte allikevel passe på at en hadde en god romlig oppløsning på punktene som ble brukt, og at minst 6 punkter ble brukt. En kunne benytte forskjellige punkt for de to videofilene.

Før punktene ble lagt inn måtte en ha kontroll på hvor i bildet punktene var. Det ble derfor tatt bilde av hvor punktene var, og gitt en beskrivelse av nøyaktig sted. Med penn og papir ble en skisse tegnet slik at en hadde en oversikt over hvor kontrollpunktene var.

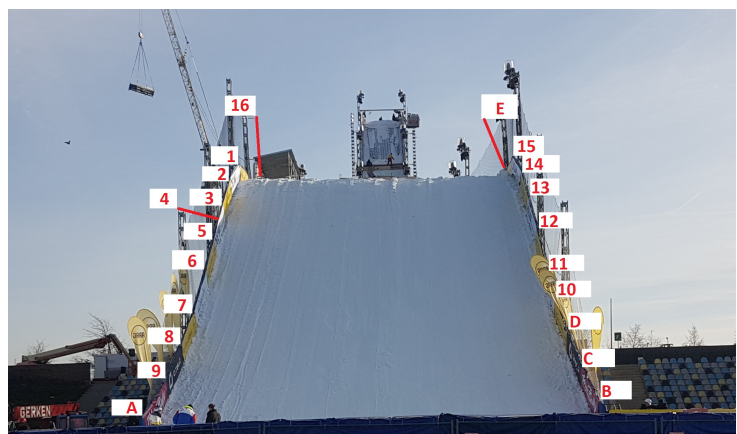
Det var også mulig å flytte på punkt for å få et mindre residual. Dette ble ikke gjort fordi en da tilga kalibreringen en ekstra feilkilde.

Målet var å få ut to sett av 11 parametere som kunne brukes som en fungerende kalibrering i den senere digitaliseringen av landingspunktene. Grunnen til at det trengtes to sett var at to videoer ble brukt til digitaliseringen. Hvis vi hadde hatt tre videoer, hadde vi trengt å få ut tre sett med koeffisienter.

Et annet mål var at en måtte forstå feiltallene en fikk ut, og at disse ikke var for store. Hvis residuallet var for stort kunne en gå videre med digitaliseringen, men det var da sannsynlig at digitaliseringen ville bli dårlig. Et siste mål var at det måtte være en god romlig spredning på punktene som ble brukt.



(a) Skisse på papir.



(b) Digital skisse.

**Figur 4.3:** Skisse av kalibreringspunkt. Den er først tegnet på papir, før den er laget digitalt.



## 4.4 Digitaliseringen

Hvis kalibreringen ble vellykket og en hadde fått prosessert filmopptakene, kunne en digitalisere landingspunktene. En ville da beregne koordinatene og vurdere om de stemte med virkeligheten.

Digitaliseringen ble også gjort i Matlab, men med koden DLTdv5.m (Hedrick, 2017). Ved å starte koden kunne en legge inn en frontvideo og tilhørende sidevideo. I tillegg ble kalibreringsfilen lagt inn.

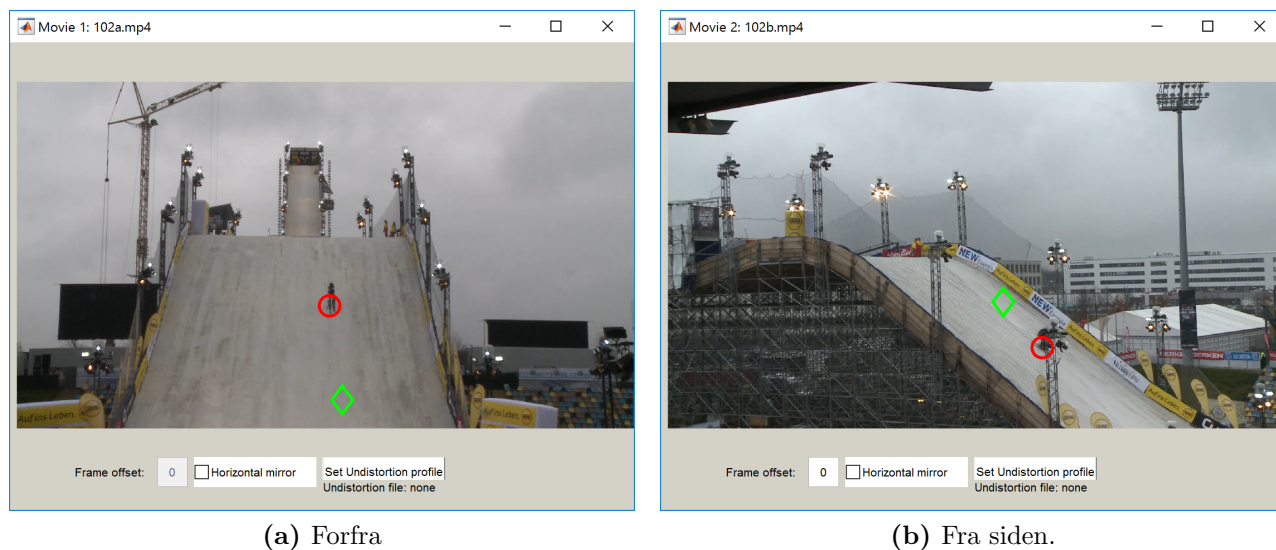
Det viktige var at en la inn frontvideoen først fordi kalibreringen leser inn de 11 parameterne for frontvideoen først. En måtte også påse at det var riktig utøver som ble lagt inn som tilhørende sidevideo. Dette kunne en sjekke ved navnet på videoene, og utøverens klær og landingspunkt.

Ved å finne høyrefoten i bildet trykket en på dets punkt i frontvideoen. En trykket så på høyrefoten i sidevideoen. Det kom opp en rød sirkel og grønn diamant der avstanden mellom dem viste feilkilden. Det kom også opp et tall på residualen som fortalte noe om avviket.

Et punkt for venstrefoten og hodet ble også lagret ved å gjenta prosessen. Koordinatene til de tre punktene og tilhørende residual ble så laget som en Excel-fil.

Ved å åpne disse Excel-filene kunne en beregne et tyngdepunkt for utøveren. En kunne også sortere tallene for å sammenlikne dem. For å se hvordan koordinatene stemte med de innmålte kalibreringspunktene kunne en vise alle punktene visuelt. Excel og Matlab ble benyttet til dette. Målet for digitaliseringen var å få ut koordinater for hodet, høyre- og venstrefoten, og at dette var koordinater som stemte.

En kunne beregne et tyngdepunkt som en kunne vise visuelt. Om dette tyngdepunktet ikke stemte måtte en gå tilbake til de tidligere stegene for å lete etter feil eller utføre stegene på nytt. Om resultatene stemte, måtte feilkildene tolkes for å kunne si om en kunne stole på det endelige resultatet.



**Figur 4.4:** Forskjell mellom rød sirkel og grønn diamant. Den røde sirkelen viser hvor det er trykket i bildet. Den grønne diamanten viser hvor punktet burde vært.



# Kapittel 5

## Resultater

Det ble gjort en rekke forsøk på å få til en god digitalisering ved hjelp av stegene beskrevet under metode. Ved å benytte ulikt antall kalibreringspunkt fikk man noe ulike resultater. De endelig resultatene vises under tillegget, mens de viktigste tallene kommer fram under denne delen.

### 5.1 Feltarbeidet

Innhenting av data under feltarbeidet var tilsynelatende vellykket. Det ble i alt tatt video av 280 av 324 hopp i konkurransen. De ble lagt i mapper, og det var mulig å identifisere hvilke utøvere som var på hvilke videoer. En sammensetning av frontvideoen og sidevideoen for hvert hopp var mulig. Den første runden med hopp på mennenes kvalifisering i freestyle ble ikke med. I tillegg var det noen hopp som ikke ble med grunnet bytte av batteri på kamera.

**Tabell 5.1:** Oversikt over antall hopp som ble filmet

Gren	Heat	Kjønn	Antall hopp i konkurransen	Antall hopp som ble filmet.
Freestyle	Kvalifisering	Menn	66	31
Freestyle	Kvalifisering	Damer	20	20
Freestyle	Finaler	Menn	30	30
Freestyle	Finaler	Damer	18	17
Snowboard	Kvalifisering	Menn	98	97
Snowboard	Kvalifisering	Damer	44	44
Snowboard	Finaler	Menn	30	23
Snowboard	Finaler	Damer	18	18

Innhenting av data til kalibreringen var delvis vellykket. Det ble målt inn punkter langs siden av reklameskiltene, og de aller fleste av disse fikk god nok løsning til å kunne brukes videre. Totalt ble det hentet inn 21 kalibreringspunkt. 16 av disse fikk en løsning som gjorde at de kunne brukes. Flertallet av punktene som ikke fikk god nok løsning var nederst til høyre i bakken.

En svakhet med omfanget av kalibreringspunktene som ble samlet inn var at den romlige spredningen var dårlig. Punkter ble kun hentet inn langs reklameskiltene, ikke rundt omkring andre steder i bakken.

På grunn av svakheten med den romlige spredningen ble det gjort forsøk på å få i tak i flere kalibreringspunkt i ett tid. En gruppe geomatikere fra Universitetet i Zürich hadde også vært

til stede på stevnet i Mönchengladbach. De jobbet med en annen del av prosjektet til FIS. De hadde hentet inn kalibreringspunkt fra andre steder rundt bakken. Disse punktene var oppe i lyskasterne og bak startrampen.

Ved å få inn de nye punktene og å kjøre en ny beregning av de gamle punktene var 35 kalibreringspunkt tilgjengelige. Alle punktene kunne brukes. Den romlige spredningen var god ved å både ha punkter langs reklameskilt, i lyskasterne, og ved startrampen.

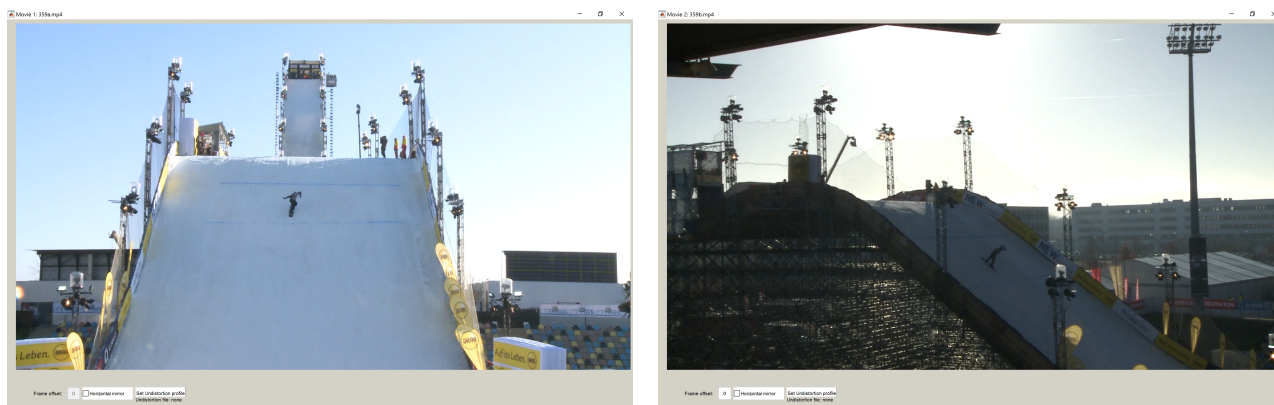
Fordi det var ukjent hvor gode de nye kalibreringspunktene var, ble det gjort to varianter av kalibrering og digitalisering av landingspunktene. Den ene varianten bruker kun de 16 punktene langs reklameplakatene og inneholder ikke mastpunktene. Den andre varianten bruker også punktene i mastene.

## 5.2 Synkroniseringen

I Dartfish skulle en prosessere frontvideoen og tilhørende sidevideo. De skulle etter dette være synkronisert. Selve prosesseringen var vellykket. Filene kunne brukes i Matlab senere. Systematiseringen ved å angi riktig navn slik at videoene stemte overens fungerte også. Det ble ikke noe rot eller tap av videoer.

Når det gjaldt synkroniseringen, viste det seg vanskelig av ulik grad. Tidspunktet på døgnet hoppet ble gjennomført avgjorde hvor lett det var å synkronisere videoene.

På formiddagen var bakken skyggelagt, og en kunne tydelig se utøveren. Med hvit bakgrunn i snøen og to ulike kameravinkler var det allikevel vanskelig å se når utøveren traff bakken. Det måtte tas utgangspunkt i utøverens bevegelser.



(a) Forfra.

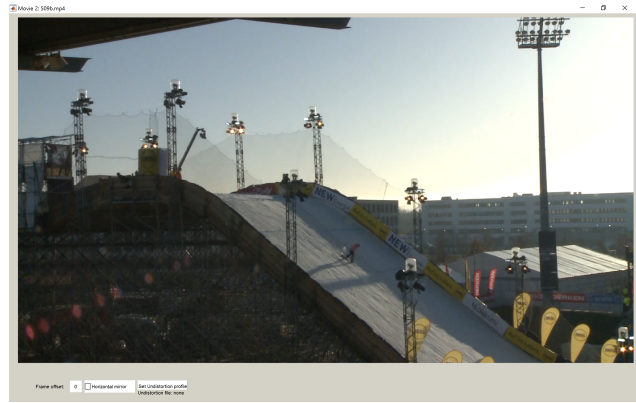
(b) Fra siden.

**Figur 5.1:** Hopp på formiddagen med skygge. Utøver er Billy Morgan og tidspunktet er 12:13.

Utøver ettermiddagen ble bakken sollagt og en kunne da bruke skyggen som utøveren lagde. Med hjelp av denne ble en synkronisering lettere.



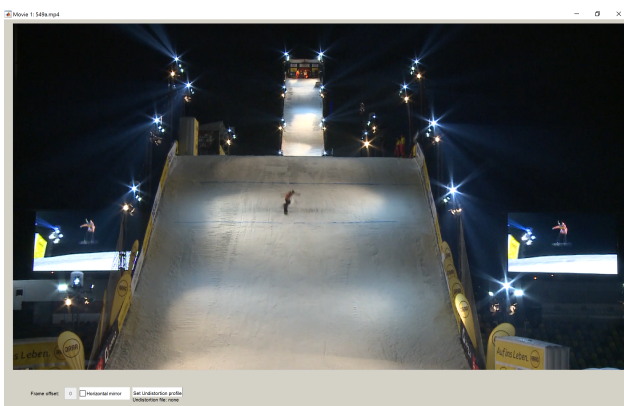
(a) Forfra.



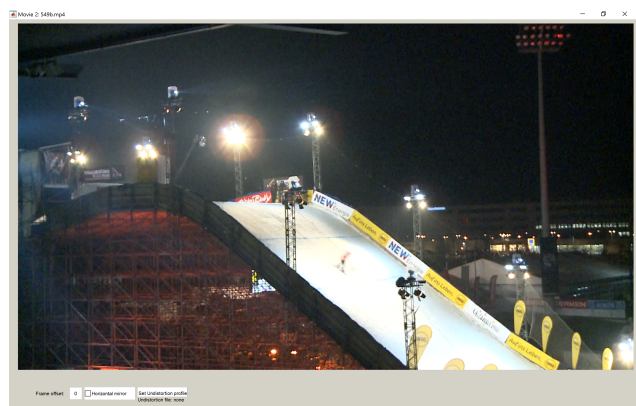
(b) Fra siden.

**Figur 5.2:** Hopp på ettermiddagen med sol. Utøveren er Katie Ormerud og tidspunktet er 14:20.

I finaleheatene på kveldstid ble flomlyset satt på i bakken. Dette blendet synet av utøveren i store deler av bakken på sidevideoen. En synkronisering ble derfor vanskelig. En måtte bruke de blå strekene som er sprayet over bakken for å se hvor utøveren var.



(a) Forfra.



(b) Fra siden.

**Figur 5.3:** Hopp på kvelden. Utøver er Katie Ormerud og tidspunktet er 18:06.

Med bakgrunn i den hvite bakgrunnen og flomlyset som blander ble det store feilkilder i synkroniseringen. Det er kun for videoene der en bruker skyggen til utøveren at vi kan gå god for synkroniseringen.

## 5.3 Kalibreringen

Det ble gjort flere forsøk på å få en god kalibrering som kunne brukes til digitaliseringen. For å få til dette måtte residualet som ble oppgitt være lavt. I tillegg måtte den romlige spredningen til punktene som ble brukt være god. Det ble gjort en kalibrering både med og uten mastpunktene.

Et mål med kalibreringen var å bruke flest mulig punkt spredd utover for å oppfylle kravet om god romlig spredning. Punktene måtte være på alle sider av bakken. De måtte også ha en dybde. Det vil si at de ikke var i et 2D-plan, men spredd utover i et 3D-rom. Alle punktene

som var synlig ble først lagt inn, før de dårligste punktene ble fjernet. Ved hjelp av å se på hvilke punkt som avviket mest, kunne en finne ut hvilke punkt som var dårligst.

Det viste seg at det ikke alltid var så lett å se hvilke punkt som var dårligst. Det måtte derfor gjøres flere forsøk for å finne ut dette. En annen svakhet var at residualet ble først lavt hvis en kun beholdt flere punkt i nærheten av hverandre. Et eksempel på dette var at en fikk et lavt residual hvis en kun brukte punkt langs den ene siden av bakken ved reklameplakatene.

Det måtte derfor gjøres en kalibrering der en brukte så mange punkt som mulig samtidig som at residualet ikke skulle bli for høyt. Dette gjaldt både med og uten bruk av mastpunktene.

Da kalibreringen ble gjort uten bruk av mastpunkter ble 12 punkt brukt til frontvideoen og 11 punkt brukt til sidevideoen. Residualet ble 6,8 for frontvideoen og 20,9 for sidevideoen.

Da kalibreringen ble gjort med bruk av mastpunkter ble 27 punkt brukt til frontvideoen og 22 punkt brukt til sidevideoen. Residualet ble 667,1 for frontvideoen og 1454,2 for sidevideoen.

Kravet med å ha minst 6 punkt for å få en overbestemmelse var oppfylt for alle kalibreringene.

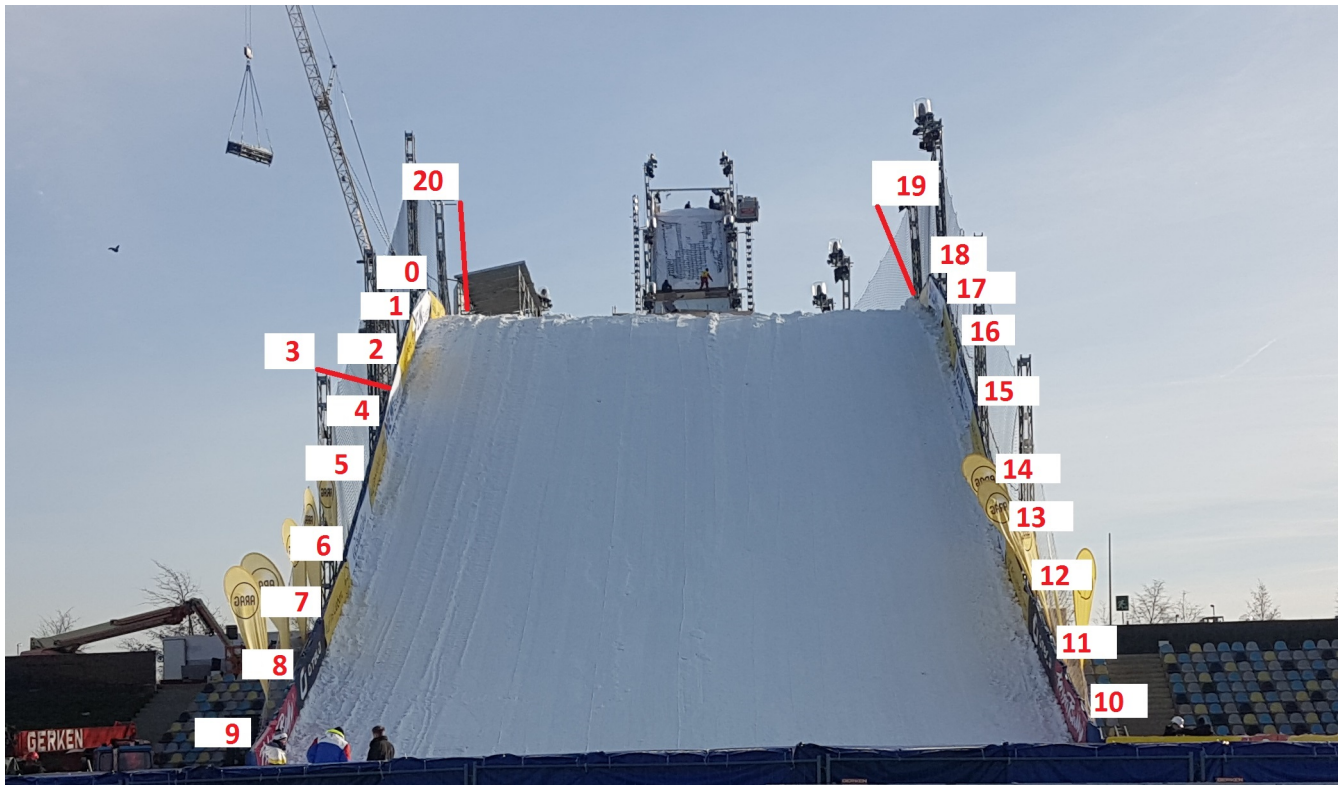
Det antas at residualet er oppgitt i centimeter, men det har ikke lyktes i å finne ut av om dette stemmer. Det er også usikkert om residualet er en gjennomsnittlig feil, en total feil, eller noe annet. Residualet er derfor kun en indikasjon på feilen.

Noen av punktene på venstre side av bakken var vanskelig å se ved bruk av sidevideoen. En kunne ikke se overgangen mellom fargene på reklameskiltene fordi en kun så baksiden av skiltene. De nederste kalibreringspunktene i bakken var ikke synlige fra noen av vinklene. Det var ellers greit å se hvor punktene var.

Når mastpunktene ble brukt var det noe vanskeligere å se akkurat hvor punktet var. Grunnen til dette var at vi så stengene på masten fra ulike vinkler. Med grå stenger var det også vanskeligere å se punktene. Alle mastene var synlig fra begge vinkler. De to punktene ved startrampen var kun synlige fra frontvideoen. Kalibreringen med bruk av mastpunktene ga en bedre romlig spredning, men residualet ble større.

Fordi det er en usikkerhet om hva residualet sier oss, avhenger derfor feilen for kalibreringen av om den romlige spredningen er god, og om en klarte å treffe punktene når kalibreringen ble utført.





**Figur 5.4:** Kalibreringspunkt langs reklameskiltene. Punktene er i hjørnet av firkantene vendt mot bakken. Det er lett å se hvor punktene skal være fordi det veksler mellom hvite og gule reklameplakater. Punktene på venstre side er ikke mulig å se fra sidekameraet. En må da orientere seg etter hvor mastene er satt opp.



**Figur 5.5:** Kalibreringspunkt i mastene. Punktene er i hjørnet av firkanten vendt mot bakken. Punktene er der hvor den horisontale stangen treffer den vertikale på ytterkanten. Dette punktet er greit å se forfra, men vanskelig å se fra siden.





**Figur 5.6:** Nærbilde av reklameskilt og master. Når bakken ikke bøyer seg er det et presist punkt som er overgang mellom gult og hvitt reklameskilt. I bøyen er det mer upresist, og disse punktene ble vanskelig å bruke. I mastene ser vi at det er mange stenger som går på kryss og tvers. Det er derfor ulikt hvor godt disse punktene er synlig fra siden.

## 5.4 Digitaliseringen

Det ble gjort et utvalg på 8 hopp som skulle digitaliseres. Det vil si at koordinatene til landingspunktene ble funnet. Det ble valgt ut fire hoppere, en fra hver gren. Felles for disse var at de fikk en poengsum på 80-tallet både i kvalifiseringen og finalen.

Et av hoppene som ble digitalisert var hopp nummer 210. Det var videoene herifra som ble brukt til kalibreringen. På denne måten kunne feilkildene minimeres. Grunnen til dette er at den samme videoen nå ble brukt i hele prosessen.



**Tabell 5.2:** De 8 hoppene som ble digitalisert.

Fil	Gren	Heat	Kjønn	Tid	Fornavn	Etternavn	Land	Poengsum
109	Frestyle	Kvalifisering	Menn	12:50:05	Oystein	Braaten	NOR	85.60
135	Frestyle	Finaler	Menn	18:12:10	Oystein	Braaten	NOR	85.40
210	Frestyle	Kvalifisering	Damer	14:42:15	Silvia	Bertagna	ITA	82.40
235	Frestyle	Finaler	Damer	19:01:40	Silvia	Bertagna	ITA	82.40
359	Snowboard	Kvalifisering	Menn	12:13:50	Billy	Morgan	GBR	86.00
402	Snowboard	Finaler	Menn	18:12:10	Billy	Morgan	GBR	83.50
509	Snowboard	Kvalifisering	Damer	14:20:20	Katie	Ormerod	GBR	83.00
549	Snowboard	Finaler	Damer	18:06:30	Katie	Ormerod	GBR	85.75

Det ble funnet koordinatene til tre punkter på kroppen. Høyre fot, venstre fot og hodet. Det ble angitt et residual for hvert punkt. Ved å vekte alle tre punktene likt ble det funnet et tyngdepunkt. Koordinaten til tyngdepunktet ble sammenliknet med koordinatene til kalibreringspunktene. Landingspunktene ble også sammenliknet innbyrdes.

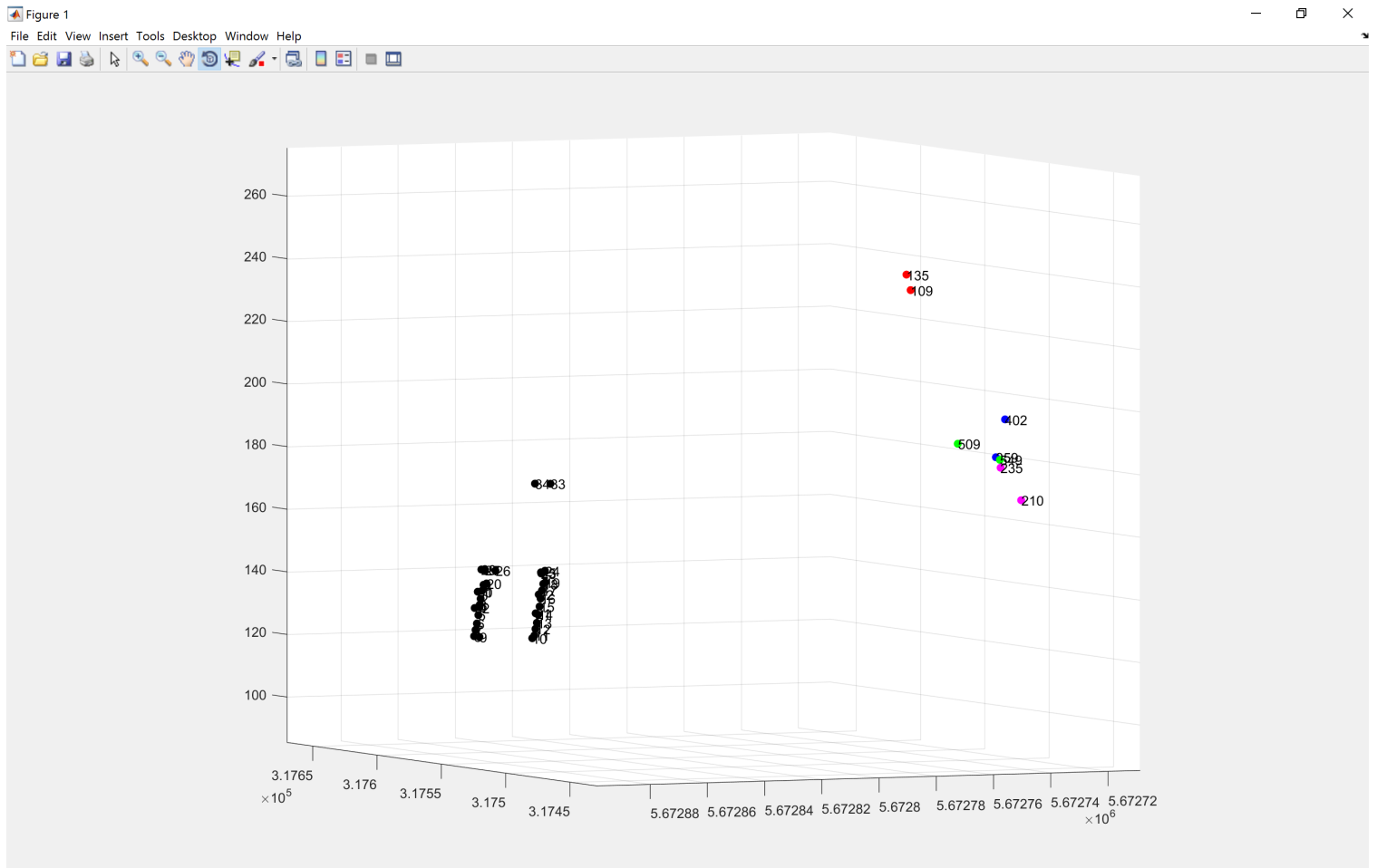
Da en brukte koeffisientene fra kalibreringen som ikke hadde brukt mastpunktene, fikk en et gjennomsnittlig residual på 0,005828 med et standardavvik på 0,000818 for de 24 digitaliserte punktene. Ved å sammenlikne tyngdepunktene innbyrdes ble gjennomsnittlig avstand 94,28 meter. Gjennomsnittlig avstand til de 16 kalibreringspunktene som ble brukt var 586,32 meter.

Ved å benytte koeffisientene til kalibreringen som også benyttet mastpunktene ga residualene et snitt på 0,006097 med et standardavvik på 0,000633. Innbyrdes avstand mellom tyngdepunktene til landingspunktene var 56,94 meter. Gjennomsnittlig avstand til de 35 kalibreringspunktene var 182,18 meter.

Residualet er oppgitt til å være feil i avstand i antall pixler. Den statistiske størrelsen er root mean square. Forkortet blir dette en RMS-verdi. Oversatt til norsk blir det kvadratisk gjennomsnitt. Hvordan det er regnet ut har det ikke lyktes å finne ut av. Det er oppgitt at et residual på under 1 er bra, men dette må også ses i sammenheng med avviket mellom den røde sirkelen og den grønne diamanten.

I alle de nå totalt 48 digitaliseringene av koordinater til ulike landingspunkt skulle plasseringen til den røde sirkelen og grønne diamanten, som benyttes i Matlab-koden, samsvare hvis en kunne gå god for at digitaliseringen var vellykket. For ingen av de 48 tilfellene gjorde den det. Det kom ikke fram noe tallmateriale på avstanden.

Fordi denne røde sirkelen og grønne diamanten aldri samsvarte ble det gjort en rekke forsøk på å få til digitaliseringen. Som fortalt om under kalibreringsdelen, ble det prøvd med ulike kalibreringer. Koeffisientene fra de mange kalibreringene ble prøvd for video 210 for å se om en fikk de til å samsvare. De gjorde aldri det.



**Figur 5.7:** Endelig digitalisering av landingspunkt når kalibreringen brukte mastpunktene. Kalibreringspunktene har mørk farge og landingspunktene har fargene rød, grønn, rosa og blå. Vi ser at de estimerte landingspunktene er langt utenfor bakkens område.

**Tabell 5.3:** Sammenlikning av tall for de to variantene med kalibrering og tilhørende digitalisering.

Antall kalibreringspunkt front	Antall kalibreringspunkt side	Residual kalibrering front	Residual kalibrering side	Snitt residual digitalisering (*10 <sup>3</sup> )	Snitt avstand innbyrdes	Snitt avstand kalibreringspunkt
12	11	6,8	20,9	5,828 +/- 0,818	98,28m	586,32m
27	22	667,1	1454,2	6,097 +/- 0,633	59,94m	182,18m

# Kapittel 6

## Diskusjon

Som resultatene viser ble landingspunktene beregnet til å være utenfor bakkens område. Vi kan derfor ikke gå gode for dem. Det er derfor nyttig å analysere de ulike delene av metoden for å finne ut hvorfor resultatene ikke ble gode.

### 6.1 Synkroniseringen

I synkroniseringen er det avgjørende når på dagen hoppene utføres hvis den aktuelle metoden med spoling i Dartfish skal benyttes. Hvis vi ikke har hjelp av skyggen til utøveren, trenger vi flere blå streker i bakken for å kunne se hvor utøverne lander. Men med disse hjelpemidlene virker det tungvint å skulle gå gjennom en så lang prosess for å få ut koordinatene til landingspunktet. En kunne da heller benyttet enklere metoder hvis kravet til nøyaktig settes så lavt.

I en vitenskapelig rapport må det være høye krav til synkroniseringen. Det bør derfor settes inn en klokke som angir tidspunkt for videoene på tusendelet. Planen i Mönchengladbach var å ta opptak med GPS-klokke, men disse klokkene ble glemt igjen i Zürich.

Allikevel er det ikke sikkert dette ville fungert med filmopptakene vi hadde. Hvis vi anslår at utøverne har en fart på mellom 10 m/s og 20 m/s, vil utøverne bevege seg mellom 10 og 20 centimeter på 0,01 sekund. Svakheten med filmopptakene er at de kun tar 25 bilder i sekundet. Det er altså fire hundredel mellom hvert bilde. Utøveren vil da ha beveget seg fra 40 til 80 centimeter med lik fart. Dette er en for stor feilmargin.

For synkroniseringen bør en derfor ha opptak som tar langt flere bilder i sekundet. Et kamera med 1000 bilder i sekundet bør holde. Utøverne har da kun beveget seg 1 til 2 cm mellom to bilder hvis de har den samme farten. En må også kunne få inn tidspunktet for videoen slik at dette ikke blir borte på veien.

Om dette ikke er mulig må frontkameraet og sidekameraet synkroniseres når opptakene gjøres. Det må finnes en form for løsning som gjør at en kan starte to separate opptak samtidig. Versjonen QDaedalus har brukt en slik løsning (Guillaume et al., 2012).

Dette er kanskje den beste metoden for å få til en god synkronisering. Uten en god synkronisering blir det følgefeil som en ikke kan se bort ifra i sluttresultatet.

### 6.2 Kalibreringen

En utfordring knyttet til kalibreringen var å ha en god nok romlig spredning på punktene. Forståelsen av dette viste seg først når den endelige digitaliseringen skulle gjøres.

Kvaliteten på kalibreringspunktene vi selv hentet inn var god nok i forhold til RMS-verdien. På et åpent idrettsanlegg uten trær og hus som skygget for satellittene ble det god løsning på punktene som ble brukt. Langs reklameskiltene var det også greit å forstå hvor punktene var. I Matlab gikk det fint å plassere punktene i bildet. Selve bildemålingen ga lite utslag som feilkilde.

Det var allikevel en svakhet i at punktene nærmest lå i et 2D-plan. Ved mange forsøk på å få en god kalibrering, fikk vi en god kalibrering selv om punktene på høyre side i første omgang ble plassert feil. Punktene ble forskjøvet et hakk oppover. Feilen ble først oppdaget når flere bilder av innhenting ble gjort tilgjengelig.

At en slik feil ikke avslører en dårlig kalibrering er urovekkende. Den burde gjort det. Dette viser at en kan vri hele 2D-planen og allikevel ha en tilsynelatende god kalibrering.

For å få kalibreringspunktene spredt utover i et 3D-rom ble derfor punktene fra den andre gruppen som var til stede på stevnet hentet inn. Ved å legge til disse var det et håp om få en bedre kalibrering.

Det viste seg at residualet ble høyere, men at den avsluttende digitaliseringen ble bedre. Selv om vi ikke kunne gå god for denne digitaliseringen heller.

Ved testing av flere kalibreringer virket det som at et høyere residual skyldes at en tok med flere punkt i kalibreringen. Det virket som at det var summen av alle avvikene som ble oppgitt. Det som bygger opp under dette er at residualet ble svært høyt når punktene ved startrampen ble tatt med.

Uansett var residualet veldig høyt. Det mistenkes derfor at det var vanskelig å plassere punktene i bildet. Selv om de ble plassert på riktig sted på masten, har hele masten en grå bakgrunn. Det kan være vanskelig å se hvor punktene er. En annen feilkilde er at vi ikke har fått kvalitetssikret koordinatene vi fikk fra gruppen i Zürich. Det er derfor vanskelig å gå god for dem.

For å få en god kalibrering holder det derfor ikke å samle inn mange punkt rundt bakken. En må påse at de ikke ligger i et 2D-plan, men har en 3D-utstrekning. Det må passes på at punktene omfavner utøverens landingspunkt, slik at utøveren lander mellom punktene. En bør samle inn alle punktene selv, og ha full kontroll på hvor de er. Uten dette er det lett å gjøre feil i kalibreringen, og en kan få en tilsynelatende god kalibrering selv om den ikke er det.

Et annet aspekt er at det kan være lurt å gå to runder med innmåling av kalibreringspunktene. Selv om det er godt syn mot satellittene, kan en ikke vite at en får god nok løsning ved første innsamlingsrunde.

## 6.3 Digitaliseringen

Ved den avsluttende digitaliseringen fikk vi det endelige beviset på om metoden fungerte. Da de endelige koordinatene ble vist sammen med kalibreringspunktene, så vi at det ikke stemte. Det fungerte aldri med de gjentatte forsøkene som ble prøvd med video nummer 210.

Det var noe utfordringer med å se utøverne godt nok, og det kan også diskuteres om beregningen av tyngdepunktene er riktig, men dette utgjør ikke de store feilkildene.

Når vi zoomet inn under digitaliseringen, blendet lyskasteren en del av kroppen til utøveren på kveldstid. Dette problemet var ikke til stede på dagtid. På noen av hoppene var også mastene i veien, men disse hoppene ble ikke plukket ut blant de 8 hoppene som ble digitalisert. Uansett

var det greit å forstå hvor de ulike delene av kroppen var, selv om nøyaktigheten ble best på dagtid. Hodet er litt større enn spissen på foten, og fikk derfor en større feilkilde.

Ved beregning av tyngdepunkt ble de tre punktene på kroppen vektet likt. I andre studier har det muligens kommet fram at punktene skal vektet annerledes, og at det skal skilles mellom gren og kjønn. Dette har ikke blitt belyst her fordi utøverne hadde svært ulik kroppsstilling i landingsøyeblikket. Noen utøvere stod nærmest oppreist, mens andre var bøyd framover i landingen. Derfor vil en riktig vekting variere fra tilfelle til tilfelle. Det blir da uhensiktsmessig å bruke forskjellig type vekting i denne oppgaven.

Grunnen til at en har funnet tyngdepunktet er at det gir et godt bilde av hvor utøveren er i landingen. Det gir et bedre bilde enn en enkelt del av kroppen. Ved framstilling av resultatene er det også lettere å skille hoppene når det kun er et punkt å forholde seg til.

Den store indikasjonen på at noe er feil kommer fram i digitaliseringen. Når en ser på residualen som blir oppgitt, og når en ser på avstanden mellom den røde sirkelen og den grønne diamanten, forstår en at noe ikke stemmer. Dette er ikke feil som oppstår i digitaliseringen, men det er i dette steget man får oppgitt feilen.

Residualene som blir oppgitt ligger rundt 0,006. Selv om det ikke er kjent hvordan det er regnet ut, er det oppgitt til å være avstand i antall pixler. For å finne ut hvor stor avstand det er rundt der de fleste utøverne landet, tar en utgangspunkt i frontvideoen.

Frontvideoen har 1920 pixler i bredden. Tvers over bakken midt på er det ca. 20 meter. Dette utgjør en halv bredde av bildet. Et pixel utgjør da litt over 2x2 cm midt i bakken. Et residual på 0,006 blir da 0,12 millimeter.

Dette virker usannsynlig. Når vi ser på avviket mellom den røde sirkelen og grønne diamanten er det meterverdier vi snakker om. Det varierer fra noen få meter til et par titalls meter. I fasiten, som viser hvor punktene ble beregnet, er de noen hundre meter unna bakken.

Ty Hedrick, som har laget programmet, oppgir at et residual under 1 er bra. Med dette ville feilen vært på ca. 4 cm, et fornuftig tall i landmålingsverdenen. Han mente derfor at vi hadde en svært god digitalisering. Med ved å se på avstanden mellom den røde sirkelen og den grønne diamanten fikk han innsyn i at ting ikke fungerte allikevel. Det skulle være en klar sammenheng. Det var det ikke.

Dette er den store svakheten med metoden. At det ikke har vært mulig å tolke tallene som kommer fra digitaliseringen. Feilen ligger trolig ikke i selve steget med å digitalisere, men et sted før i prosessen.

## 6.4 Oppsummering og veien videre

Ved å bruke de ferdiglagde Matlab-kodene fungerte ikke bruken av metoden DLT for å finne landingspunktene fra stevnet i Mönchengladbach. Det var tydelig når en så hvor koordinatene havnet. Men om koordinatene hadde blitt å finne i bakken, kunne vi da stolt på at de var gode nok?

Hvis synkroniseringen skal godkjennes, må en finne en måte som faktisk synkroniserer hoppene. Dette er enten at opptakene starter samtidig, eller at en bruker en GPS-klokke. Ved bruk av GPS-klokke må en ha et kamera som tar mange nok bilder i sekundet. Slik det er nå, er det

kun ved et heldig sollys i bakken en ellers kan være trygg på synkroniseringen. I det lange løp, med opptak på kveldsrenn, er ikke dette holdbart.

Når kalibreringen skal gjøres, må det prøves og feiles en del. En må hente inn mange punkt på alle mulige steder rundt omkring bakken for å se hva som fungerer. Disse må være godt spredt rundt i et 3D-rom. Under et stevne er det vanskelig å få tilgang til å sette opp egne merker som kan brukes som siktepunkt når en skal trykke i bilde. En idé kan derfor være å prøve ut hele metoden i en mindre målestokk først. Ved å finne en lokal alpinbakke der en har tilgang til å sette opp egne siktepunkter får man testet kalibreringen uten noen feilkilder.

Kan man gjøre dette, og det viser seg at metoden fungerer bedre, er den mulig å bruke. Hvis koordinatene treffer der de skal, og det ikke er noen avstand mellom den røde sirkelen og grønne diamanten, kan man godta resultatene man får.

Allikevel er det fortsatt et spørsmålsteget ved residualene som oppgis. Selv om metoden DLT er dokumentert, er Matlab-kodene som er brukt ikke dokumentert på samme måte. Det er derfor ikke sikkert at andre ingeniører vil godta dokumentasjonen som gis.

# Kapittel 7

## Konklusjon

Dessverre ble det ikke gode nok resultater i denne oppgaven som kunne brukes videre i arbeidet med å lage parametere når en skal bygge hopp til bruk i Snowboard og Freestyle skikjøring. Denne oppgaven har derfor ikke bidratt direkte til skadeforebygging innen disse idrettene.

Allikevel har en testing av metoden gjort at en har kommet et lite steg nærmere målet. Det har blitt avdekket at en svært god synkronisering og en svært god kalibrering er viktig for i det hele tatt å kunne vurdere om vi kan bruke resultatene. En bør også ha et kamera som tar flere bilder i sekundet. Det ble gjort et godt arbeid i Mönchengladbach, men hvis denne metoden egentlig skal fungere, var det ikke godt nok.

Det anbefales derfor å få til dette før en tester metoden på nytt. Fremgangsmåten i metoden er forklart i denne oppgaven, og beskrevet i detalj under methodedelens tillegg. Om en ikke ønsker å benytte metoden, finnes det andre geomatikkrelevante metoder som kan benyttes. For noen av dem vil kravene til kvalitet senkes, men det er bedre enn å ikke få noe resultat.

Når dette er gjort kan en gå videre med FIS sitt arbeid. Ved å få ferdig dette arbeidet vil man til slutt ha funnet parametere som forhåpentligvis bidrar til færre skader innen de respektive idrettene.





# Bibliografi

- CBIL (desember 2017a). *Javad Alpha*. <http://www.cbil.co.uk/products/javad-gnss/alpha/>.
- CBIL (desember 2017b). *JAVAD Antenna GrAnt*. <http://www.cbil.co.uk/products/javad-gnss/grant/>.
- Dartfish (januar 2018). *Dartfish*. <http://www.dartfish.com/>.
- FIS (januar 2018). *International Ski Federation*. <http://www.fis-ski.com/index.html>.
- Guillaume, S., Bürki, B., Griffet, S., and Durand, H. M. (2012). Qdaedalus: Augmentation of total stations by ccd sensor for automated contactless high-precision metrology. In *FIG Working Week*, volume 2012, pages 1–15.
- Hedrick, T. (september 2017). *MATLAB tools for digitizing video files and calibrating cameras*. <https://www.unc.edu/thedrick/software1.html>.
- Levy, D., Hubbard, M., McNeil, J. A., and Swedberg, A. (2015). A design rationale for safer terrain park jumps that limit equivalent fall height. *Sports Engineering*, 18(4):227–239.
- Matlab (januar 2018). *Matlab*. <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>.
- McNeil, J. (2012). Modeling the “pop” in winter terrain park jumps. In *Skiing Trauma and Safety: 19th Volume*. ASTM International.
- Meyer, F., Le Pelley, D., and Borrani, F. (2012). Aerodynamic drag modeling of alpine skiers performing giant slalom turns. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(6):1109–1115.
- Reid, R. C. (2010). A kinematic and kinetic study of alpine skiing technique in slalom.
- Sony (desember 2017). *Sony PMW-EX3*. <https://www.sony.co.uk/pro/product/broadcast-products-camcorders-xdcam/pmw-ex3/overview/>.
- Thomson, D. S. (september 2017). *Direct Linear Transformation (DLT)*. <https://me363.byu.edu/sites/me363.byu.edu/files/userfiles/5/DLTNotes.pdf>.
- Wolfsperger, F., Hintermann, B., Christian, J., et al. (2014). Quantifying snow conditions of world cup alpine ski racing tracks. In *6th International Congress on Science and Skiing*.



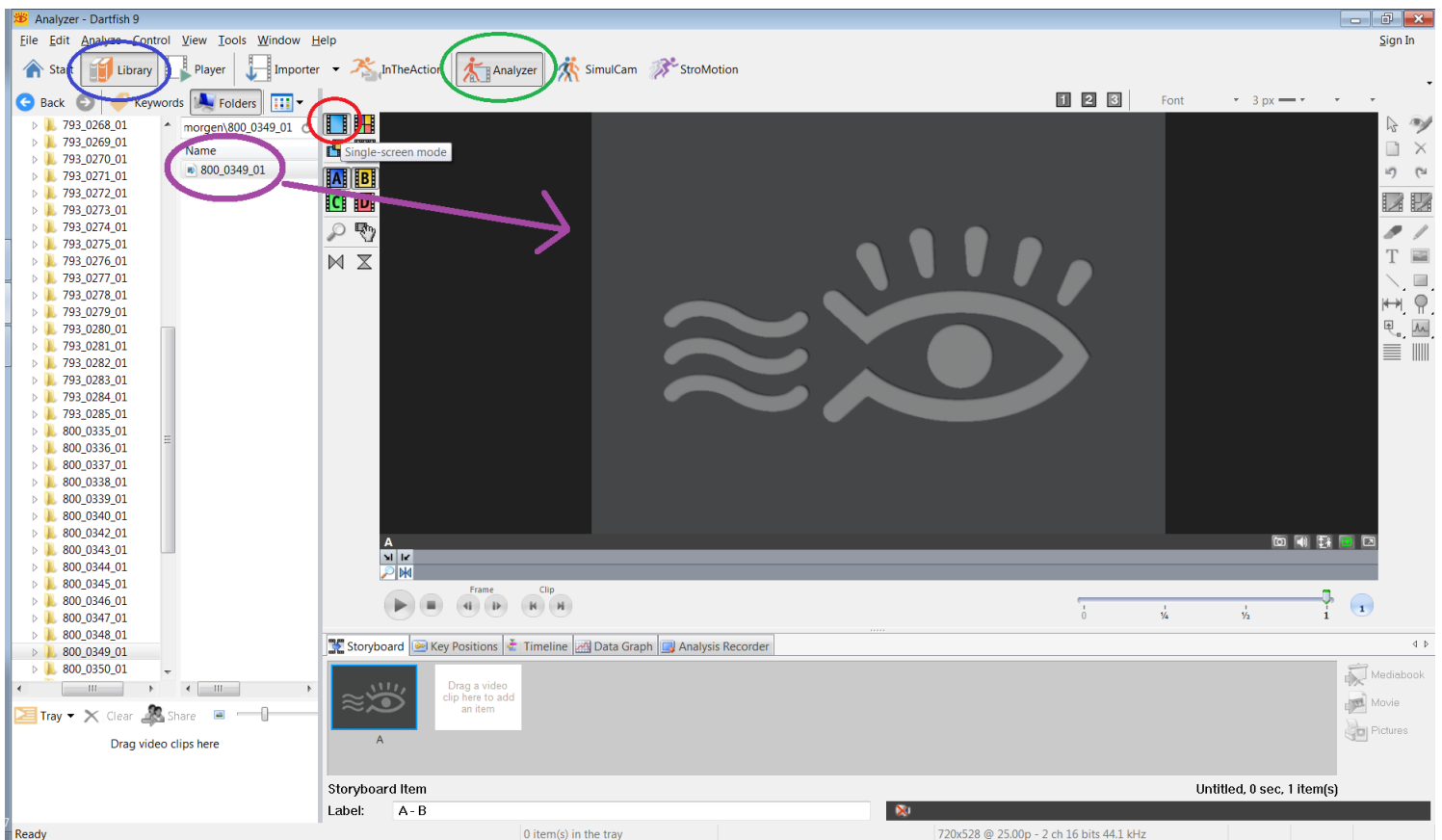
# Tillegg A

## Metode - vedlegg

### A.1 Synkroniseringen i Dartfish

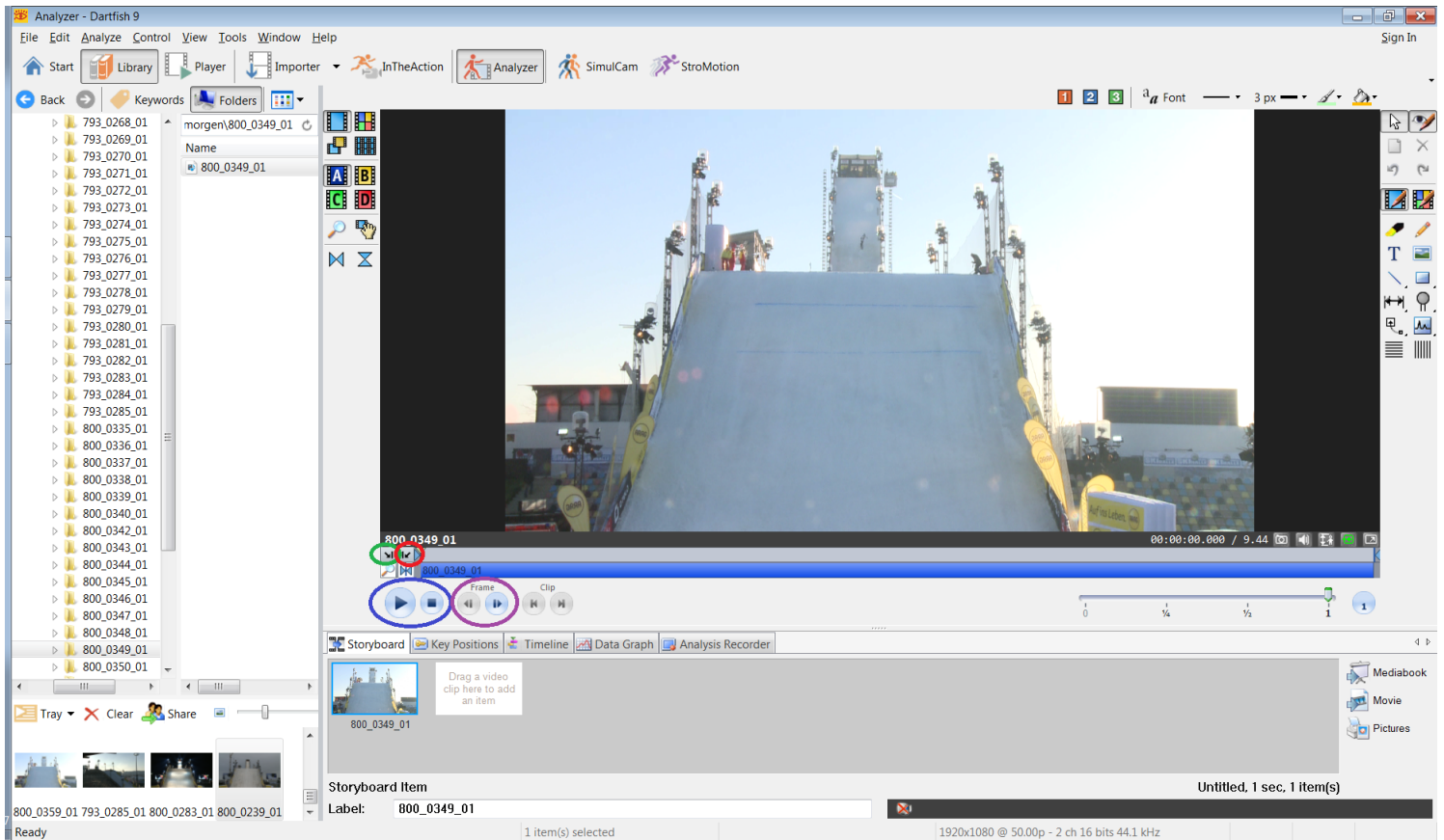
Utførelsen av prosesseringen gjøres i Dartfish. Det er viktig at stegene utføres i riktig rekkefølge.

#### A.1.1 Innlesing av fil



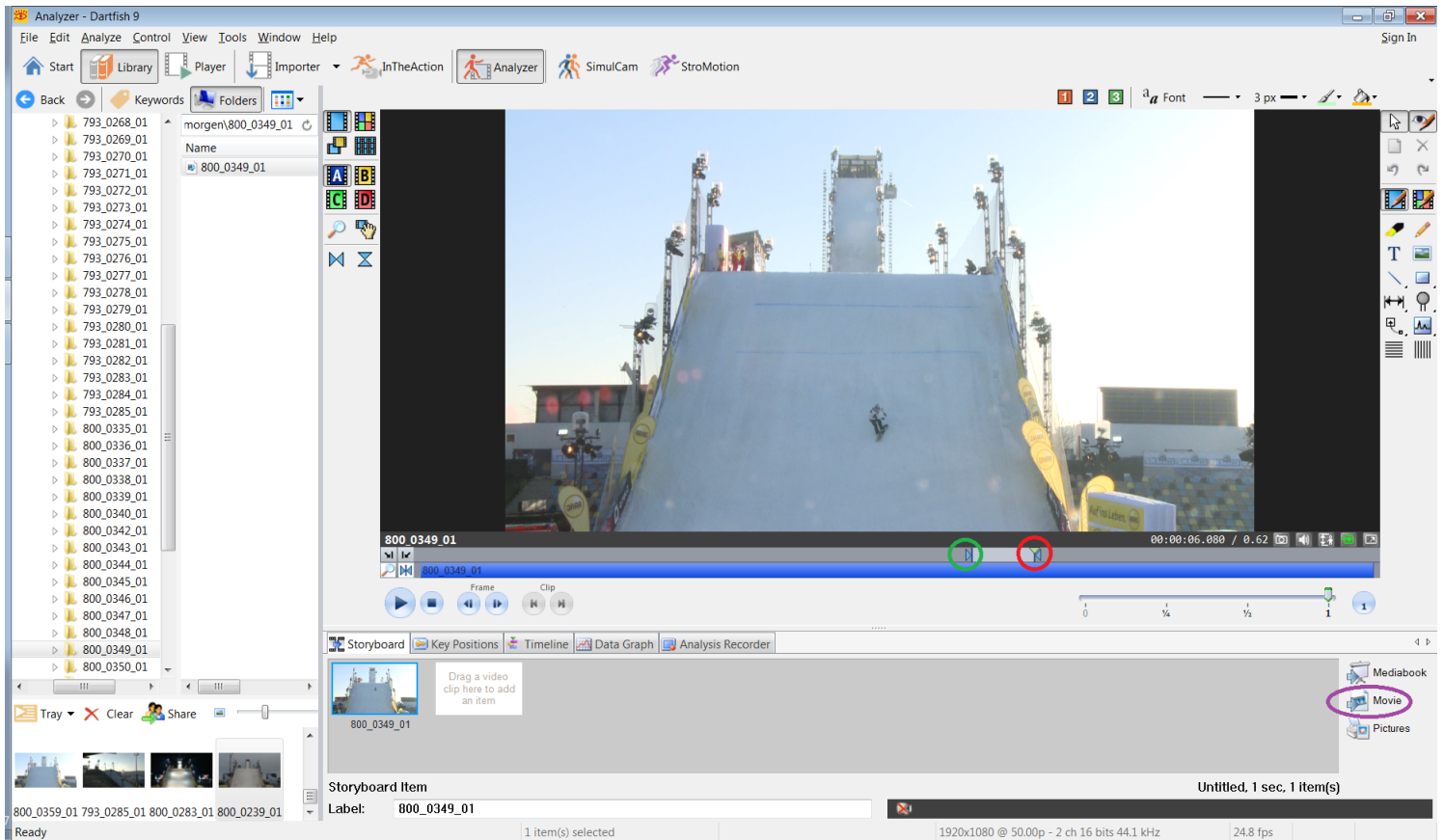
**Figur A.1:** Åpne Dartfish. Velg fanen Analyzer (grønn runding) og sett den i single-screen mode (rød runding) Åpne library (blå runding), bla fram til aktuell videofil og dra inn videofilen (lilla runding).

## A.1.2 Klipping av fil

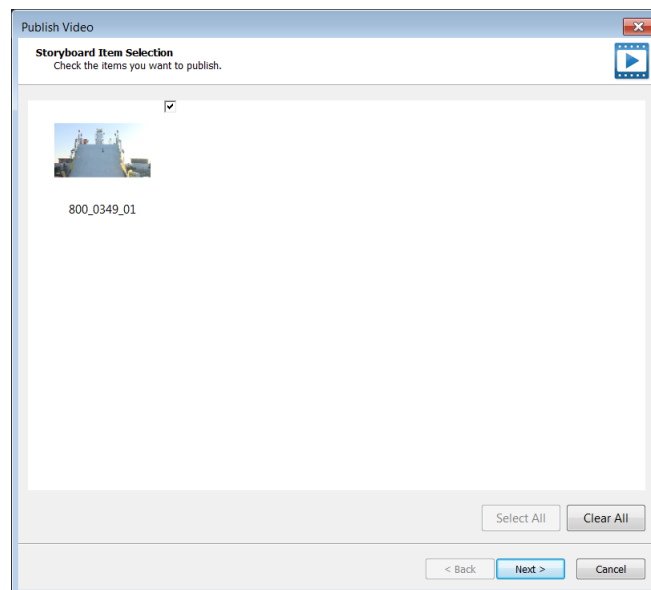


**Figur A.2:** Spill av videoen (blå runding) og stopp den (blå runding) ved landingspunktet. Bruk piltastene på frame (lilla runding) til å finne nøyaktig landingspunkt. Marker startpunkt på prosessert video (grønn runding). Fortsett avspillingen (blå runding) av videoen, stopp den (blå runding) og marker sluttunkt på prosessert video (rød runding).

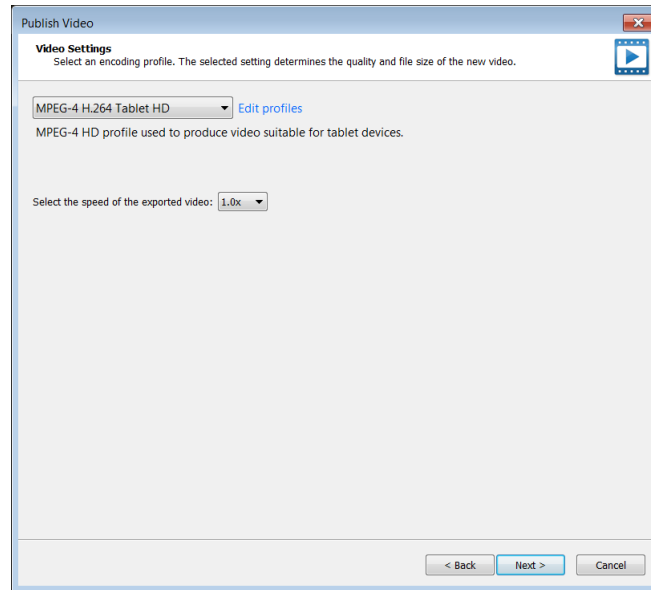
## A.1.3 Prosessering av fil



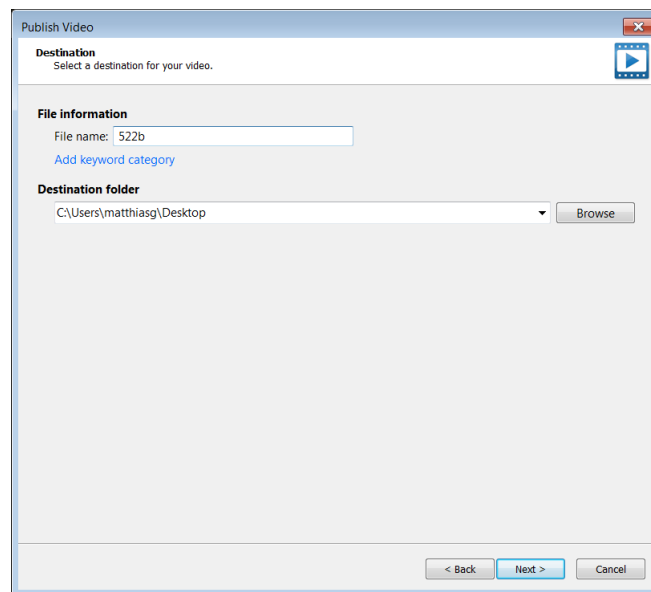
**Figur A.3:** Nytt start- (grønn runding) og slutt punkt (rød runding) er markert. Start prosessering av ny video ved å velge Movie (lilla runding).



**Figur A.4:** Se til at kun en video er valgt. Trykk Next.



**Figur A.5:** Sett MPEG-4 H.264 Tablet HD som format på den nye videofilen. Sett speed til å være 1.0x. Trykk Next.

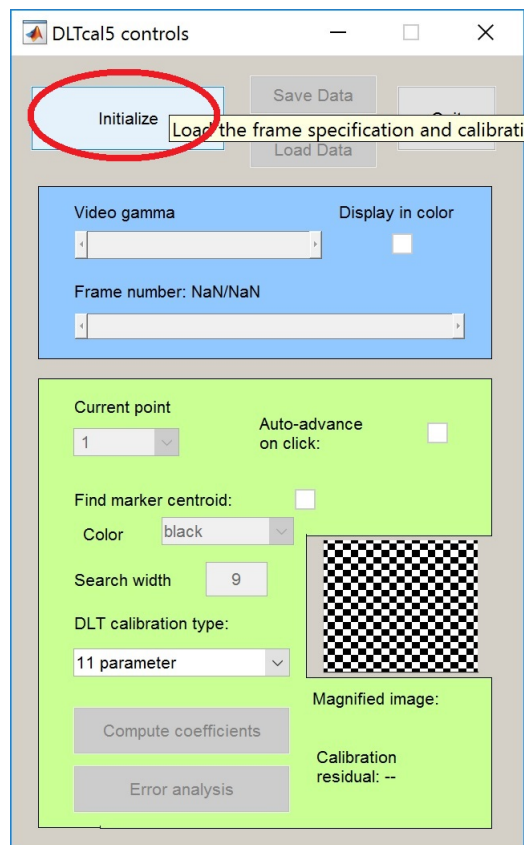


**Figur A.6:** Skriv inn navn og velg mappe for lagring av den prosesserte videoen. Trykk Next og filen lages.

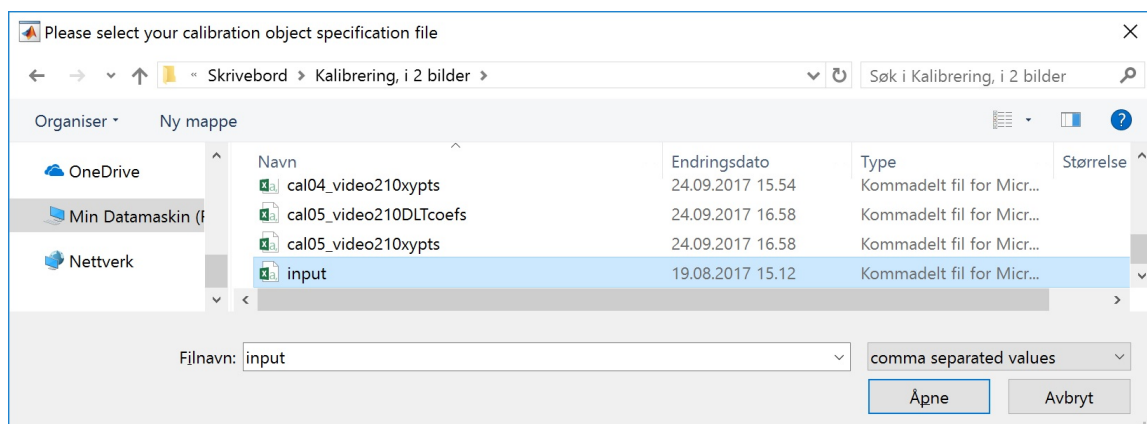
## A.2 Kalibreringen i Matlab

Utførelsen av kalibreringen i Matlab foregår ved hjelp av Matlab-koden DLTcal5.m. Det er viktig at stegene utføres i riktig rekkefølge.

### A.2.1 Legge inn fastmerker



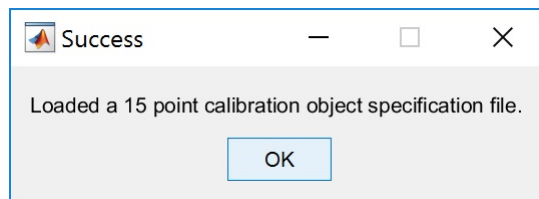
**Figur A.7:** Start opp Matlab og kjør Matlab-koden DLTcal5.m. Vinduet DLTcal5 controls åpnes. Trykk på Initialize (rød runding).



**Figur A.8:** Finn fram til den aktuelle csv-filen med koordinatene til de innmålte kjentpunktene.

	A	B	C
1	x, y, z		
2	317606.9126, 5672858.4485, 138.3916		
3	317603.7808, 5672860.4094, 136.7101		
4	317601.0372, 5672862.1071, 134.3679		
5	317599.0413, 5672863.3421, 132.5574		
6	317598.3327, 5672863.7519, 131.8812		
7	317595.5191, 5672865.3799, 129.5248		
8	317592.7847, 5672867.1075, 127.0736		
9	317589.8712, 5672868.912, 125.2029		
10	317586.8452, 5672870.7644, 123.4395		
11	317582.6511, 5672850.1773, 128.9572		
12	317585.3369, 5672848.5195, 131.3689		
13	317588.0258, 5672846.8246, 133.7623		
14	317590.7532, 5672845.2396, 136.111		
15	317593.4987, 5672843.5119, 138.4902		
16	317596.8032, 5672841.5987, 140.3483		

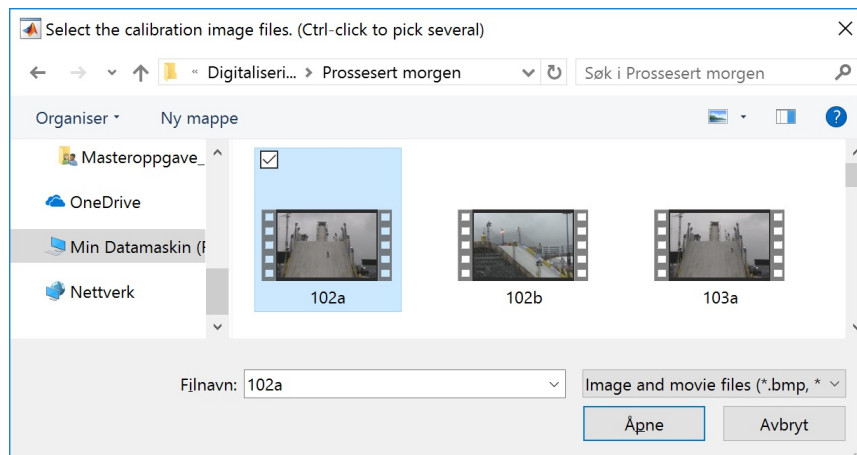
**Figur A.9:** Csv-filen må være på et format der komma brukes mellom x-, y- og z-koordinatene. På første linje skal det stå x, y, z.



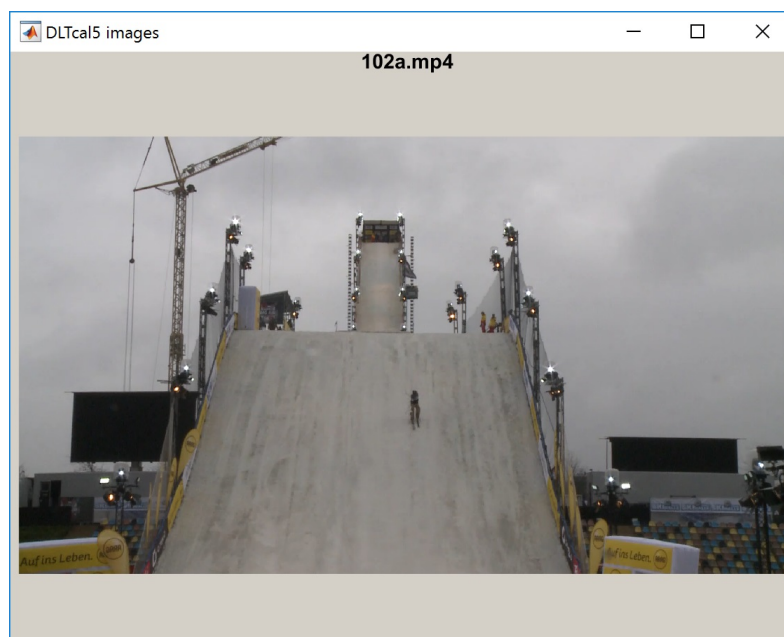
**Figur A.10:** Hvis csv-filen er på riktig format lastes kalibreringspunktene inn.



## A.2.2 Legge inn frontfil

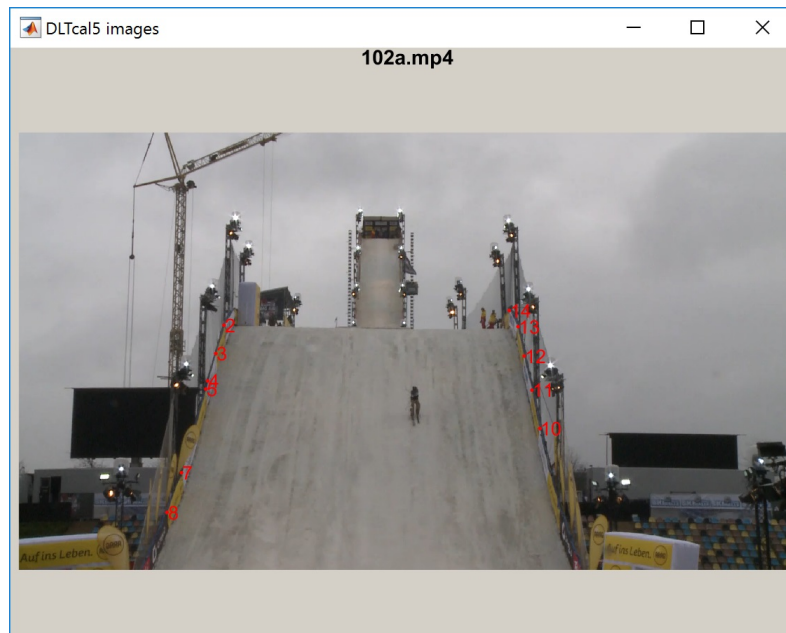


**Figur A.11:** Bla fram til en av de prosesserte videofilene som er filmet fra frontkameraet. Åpne filen.

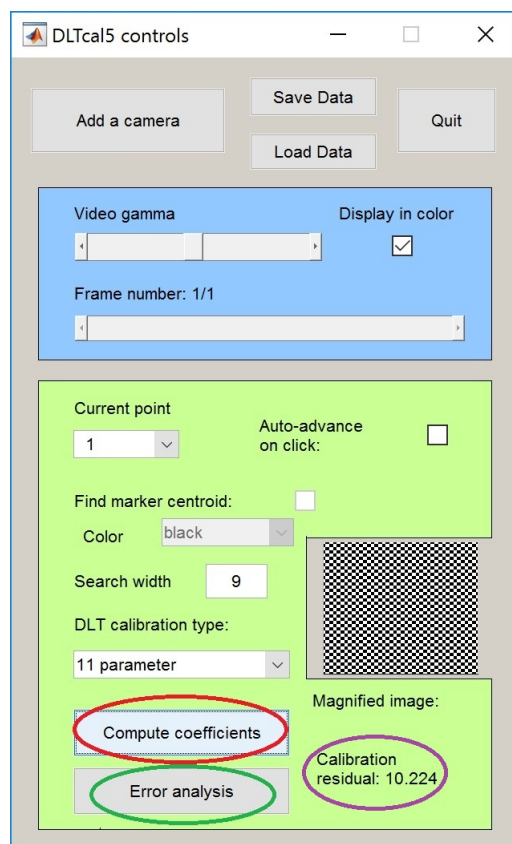


**Figur A.12:** Filen er åpnet.

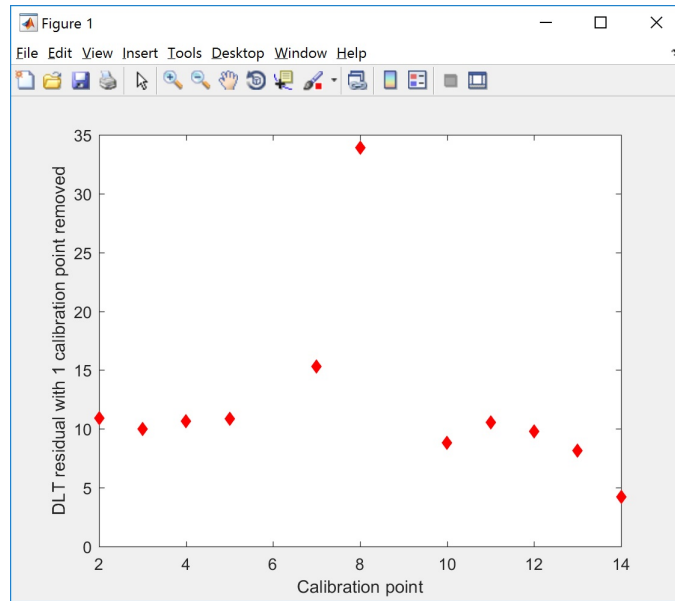
## A.2.3 Kalibrere frontfil



**Figur A.13:** Ved å zoome inn og ut (bruk shift og = på tastaturet for å zoome inn, - for å zoome ut) trykker du på hvor kontrollpunktene er. Se til at riktig punkt velges.

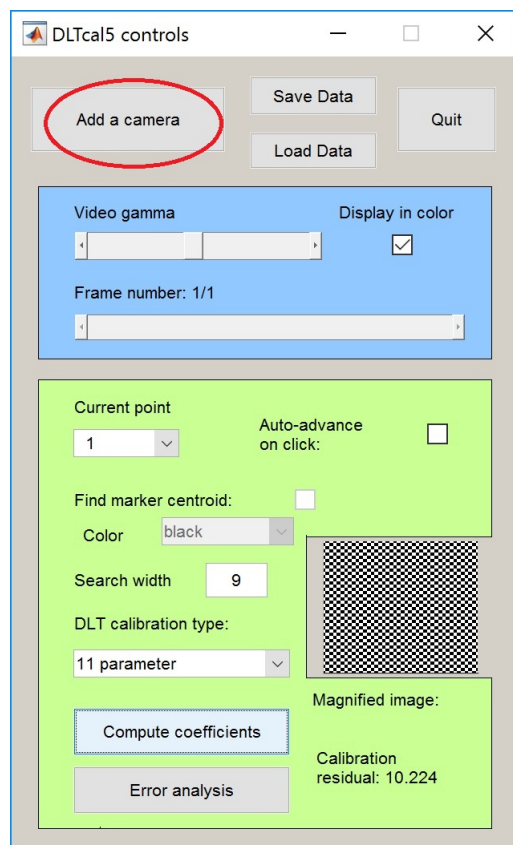


**Figur A.14:** Ved å velge Compute coefficient (rød runding) får du opp Calibration residual (lilla runding). Denne bør ikke være for høy. Om residualet er for høyt må et punkt fjernes. Ved å velge Error analysis (grønn runding) får du opp en oversikt over hvilke punkt som bør fjernes.

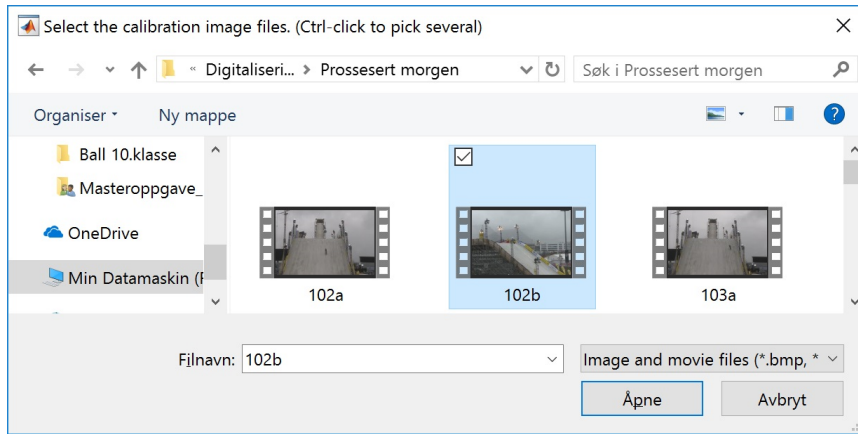


**Figur A.15:** En oversikt over hva som skjer med residualet ved fjerning av de forskjellige punktene kommer opp. Lukk vinduet og gå tilbake til vinduet med oversikt over alle punktene. Fjern det punktet som gjør at residualet synker mest (i dette tilfelle er det punkt 14) og gjenta prosessen ovenfor ved å sjekke residualet. Gjør dette helt til residualet er lavt nok.

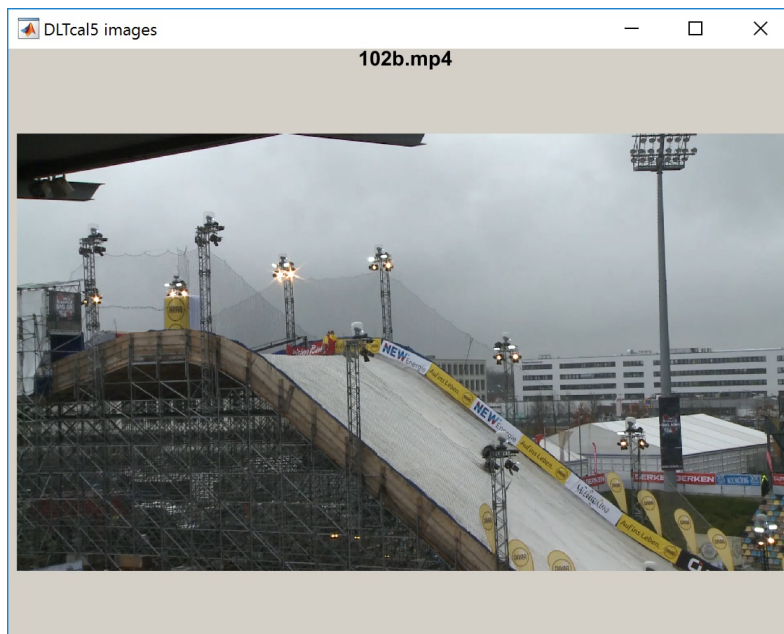
## A.2.4 Legge inn sidefil



**Figur A.16:** Les inn prosessert videofil fra siden ved å velge Add a camera (rød runding).



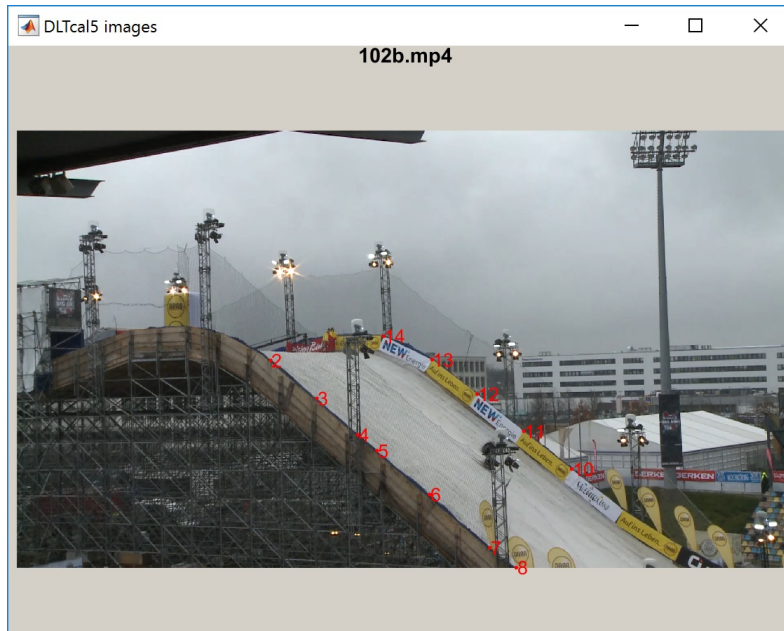
**Figur A.17:** Bla fram til en av de prosesserte videofilene som er filmet fra sidekameraet. Åpne filen.



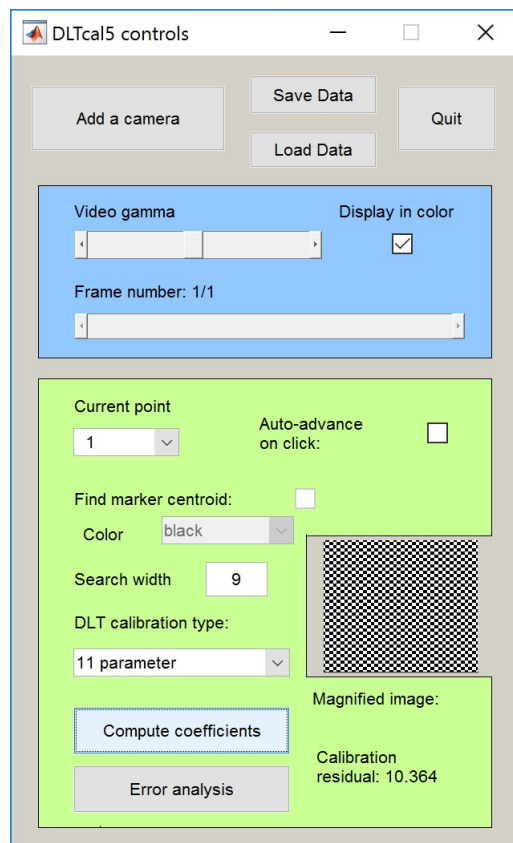
**Figur A.18:** Filen er åpnet.

## A.2.5 Kalibrere sidefil

Velg på samme måte som får frontkameraet bildepunkt for de samme fastpunktene. De samme punktene ligger tilgjengelig, men man trenger ikke bruke nøyaktig de samme punktene i kalibreringen.

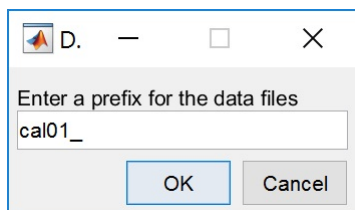


Figur A.19: Velg riktig bildepunkt for sidekameraet.

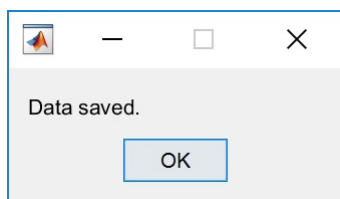


Figur A.20: Se til at residualen blir lav nok med samme framgangsmåte som for frontkameraet.

## A.2.6 Lagre kalibreringen



**Figur A.21:** Lukk dialogboksen med kalibreringen. Du får spørsmål om å lagre kalibreringen. Finn fram til egnet mappe og velg et passende navn.



**Figur A.22:** Kalibreringen er lagret.

	A	B
1	8.9399e-05,0.00016466	
2	-5.0022e-06,-9.2176e-06	
3	-0.0001286,-5.3748e-05	
4	0	
5	4.83e-06,3.7747e-05	
6	-2.6914e-07,-2.1091e-06	
7	-5.8569e-05,-0.00018836	
8	0	
9	2.4811e-07,3.0458e-07	
10	-1.9016e-07,-1.9332e-07	
11	-4.4167e-07,-5.1651e-07	

**Figur A.23:** Det er lagret en Excel-fil med 11 parametere for hvert kamera. Dette er kalibreringen. Denne kan senere legges inn på nytt hvis en ønsker å endre noe på kalibreringen.

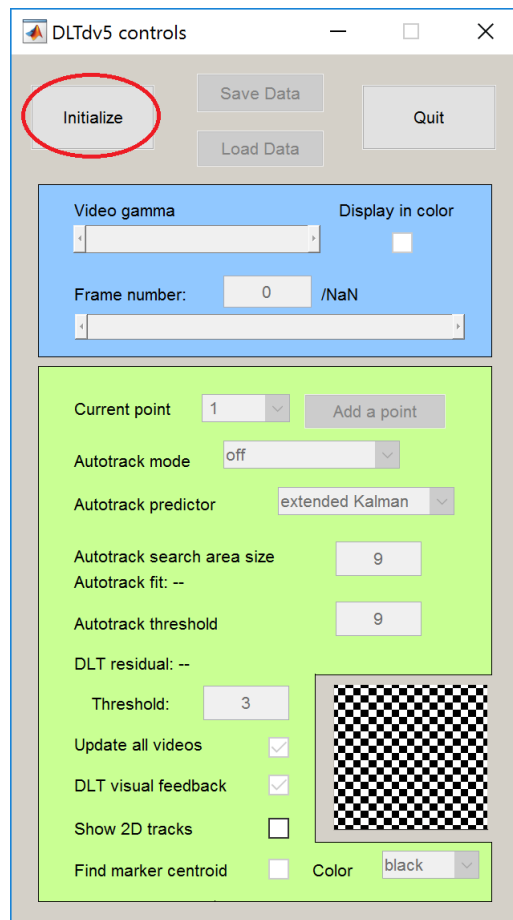
	A	B	C	D
1	cam1_X,cam1_Y,cam2_X,cam2_Y			
2	NaN,NaN,NaN,NaN			
3	509.152329,604.846761,629.343434,512.884343			
4	488.627551,534.796122,743.282828,419.146970			
5	468.585484,467.343830,844.292929,329.450000			
6	464.185862,447.024432,891.969697,289.854040			
7	NaN,NaN,1021.262626,181.571212			
8	404.049816,240.459721,1170.555556,50.602813			
9	368.094027,142.491754,1235.740741,1.040524			
10	NaN,NaN,NaN,NaN			
11	1289.232322,349.760427,1372.591096,244.532121			
12	1269.527583,444.339319,1254.060902,337.815295			
13	1250.460835,528.674723,1139.024913,429.466517			
14	1235.098309,601.346600,1027.603644,514.829551			
15	1213.388298,641.163486,907.853709,572.641760			
16	NaN,NaN,NaN,NaN			

**Figur A.24:** Det lagres også en Excel-fil med oversikt over bildekoordinatene for begge kameraene.

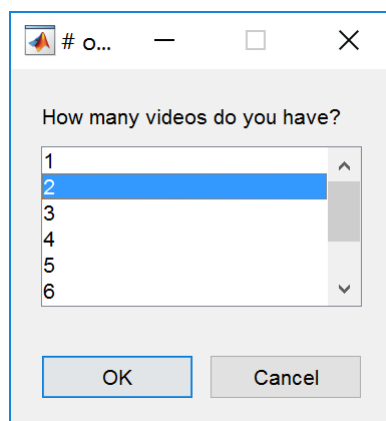
## A.3 Digitaliseringen i Matlab

Utførelsen av digitaliseringen i Matlab foregår ved hjelp av Matlab-koden DLTdv5.m. Det er viktig at stegene utføres i riktig rekkefølge.

### A.3.1 Legge inn videofiler og kalibreringsfil

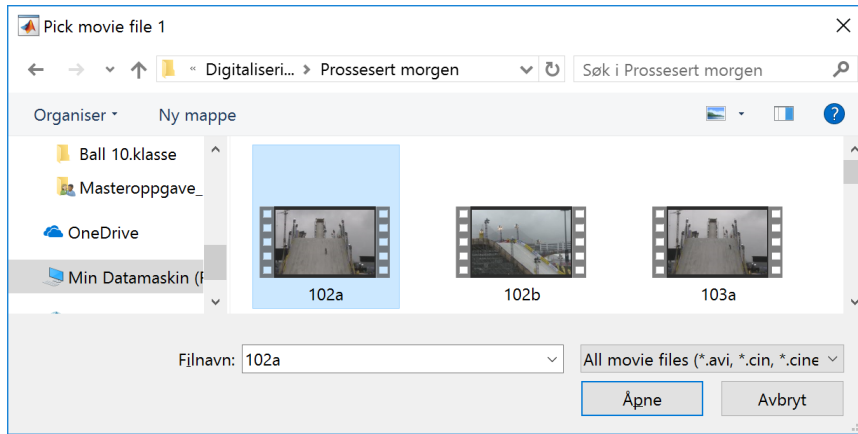


**Figur A.25:** Start opp Matlab-koden DLTdv5.m. Et nytt vindu åpnes. Velg Initialize (rød runding).

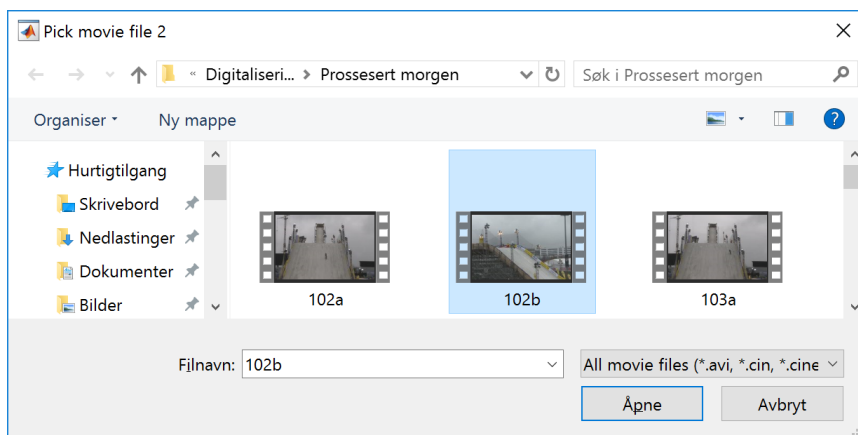


**Figur A.26:** Velg at du skal digitalisere ved hjelp av 2 videoer.

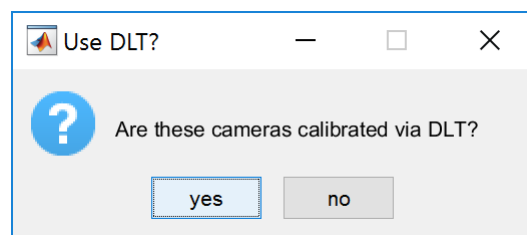




**Figur A.27:** Velg frontfilen. Trykk Åpne.

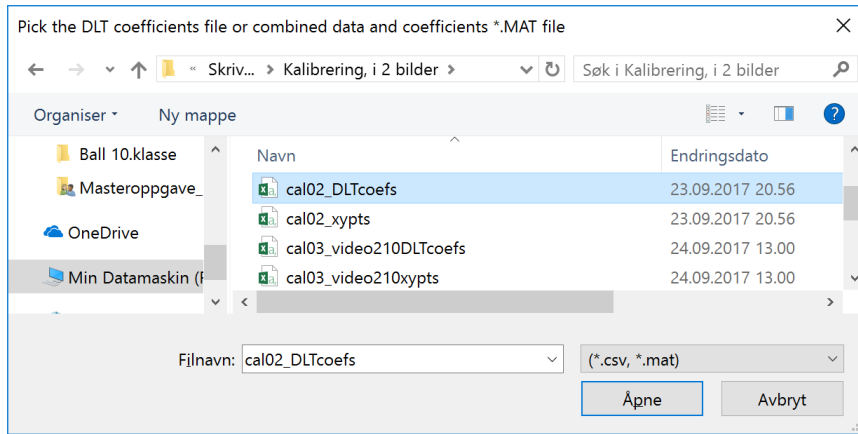


**Figur A.28:** Velg tilhørende sidefil. Trykk Åpne.

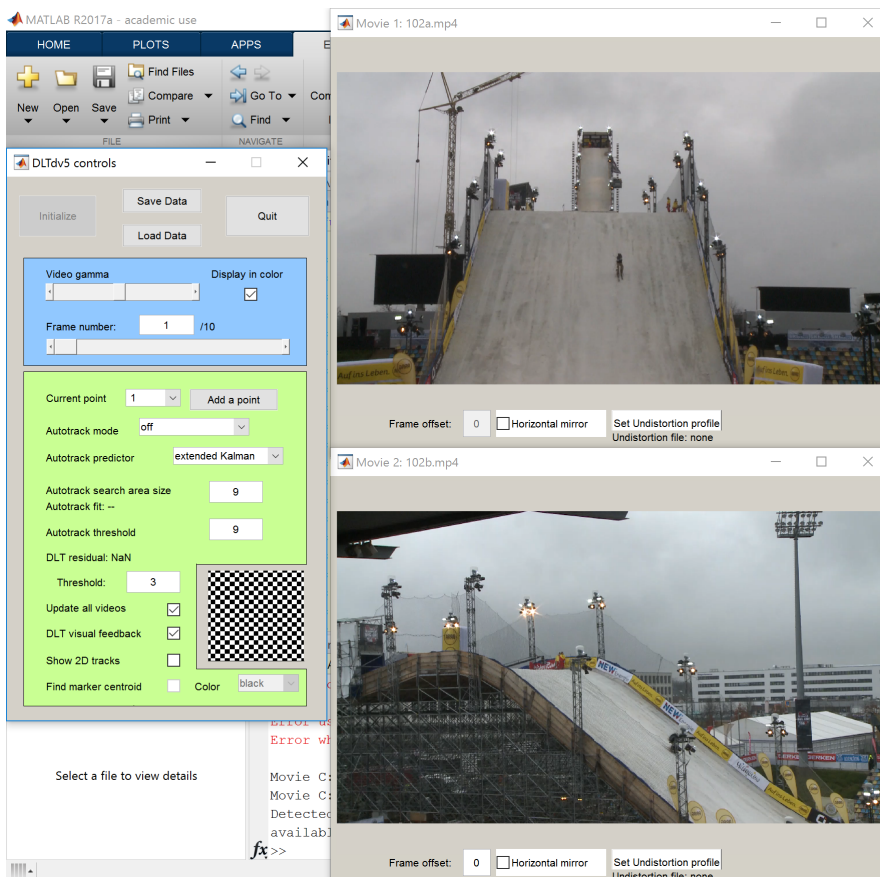


**Figur A.29:** Svar ja på at de er kalibrert ved hjelp av DLT-metoden.



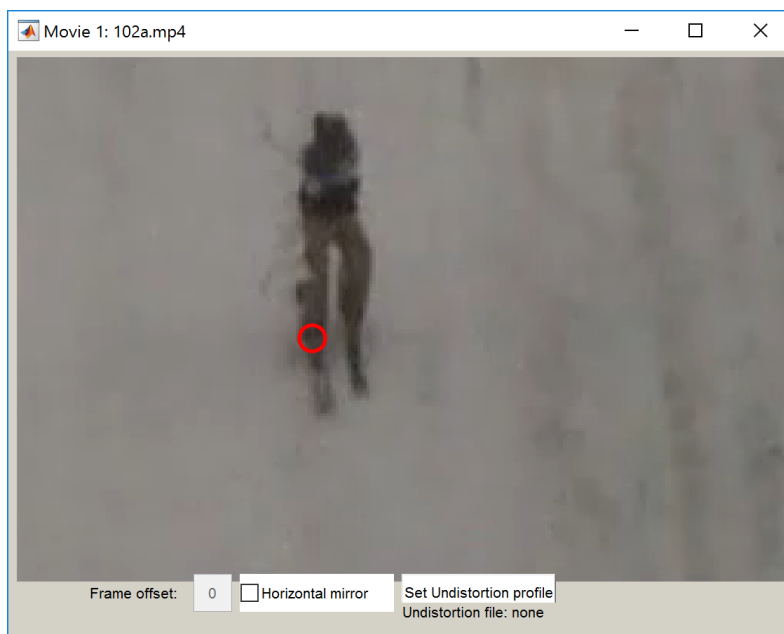


**Figur A.30:** Åpne Excel-filen med kalibreringskoeffisientene. Navnet på den avsluttes med DLTcoefs.

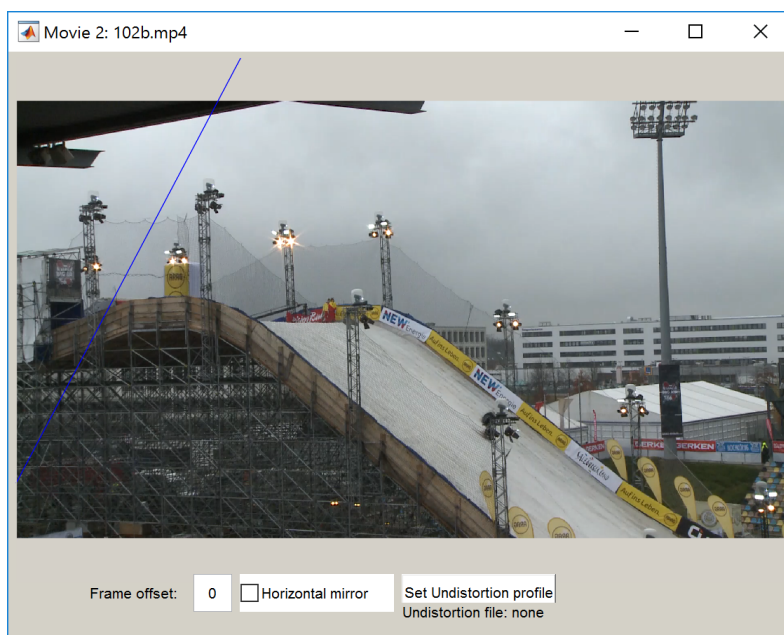


**Figur A.31:** Frontfilen med tilhørende sidefil vises. Kalibreringskoeffisientene er lagt inn.

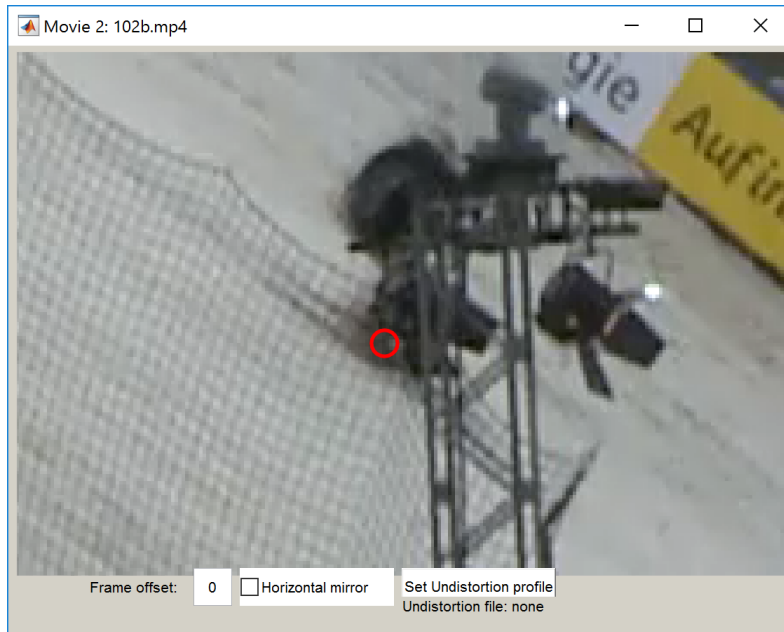
## A.3.2 Digitalisere punkt



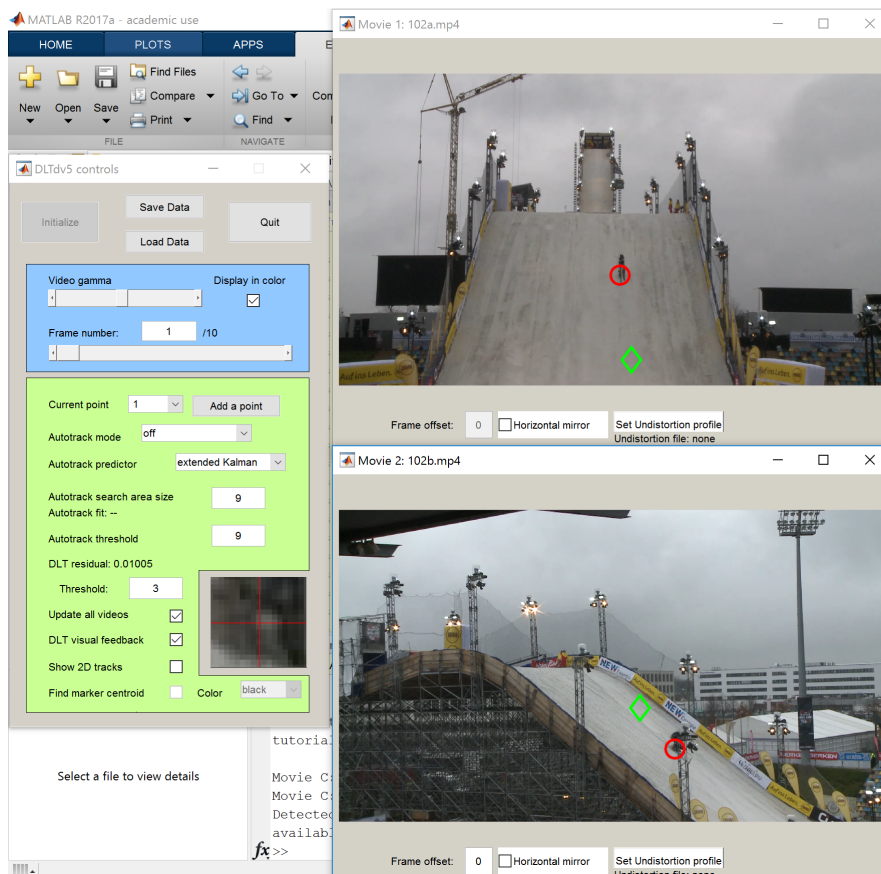
**Figur A.32:** Marker frontfilen og zoom deg inn (bruk shift og = på tastaturet). Tryk på et punkt.



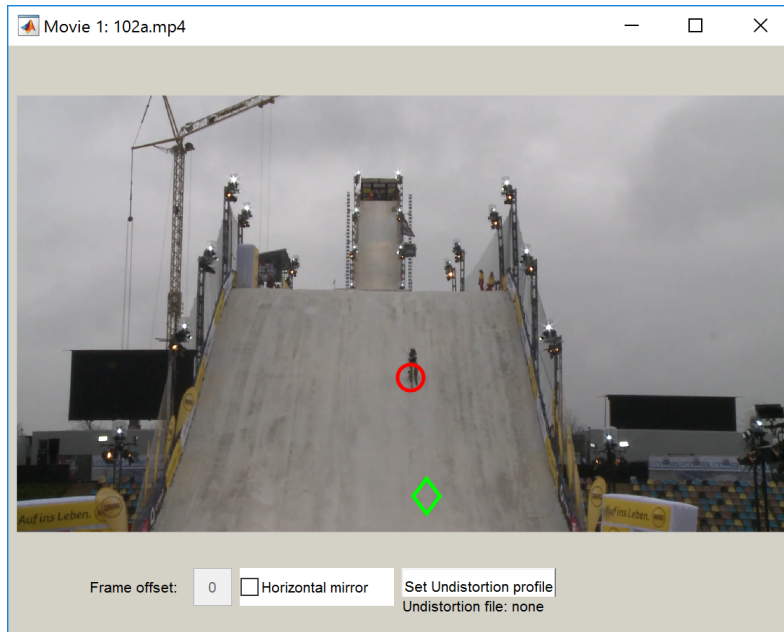
**Figur A.33:** Tilsvarende punkt kan velges for sidevideoen. For å ha minst mulig avvik bør punktet ideelt velges langs den blå linja. I dette tilfellet ser vi at den blå linja ikke er der hvor utøveren er.



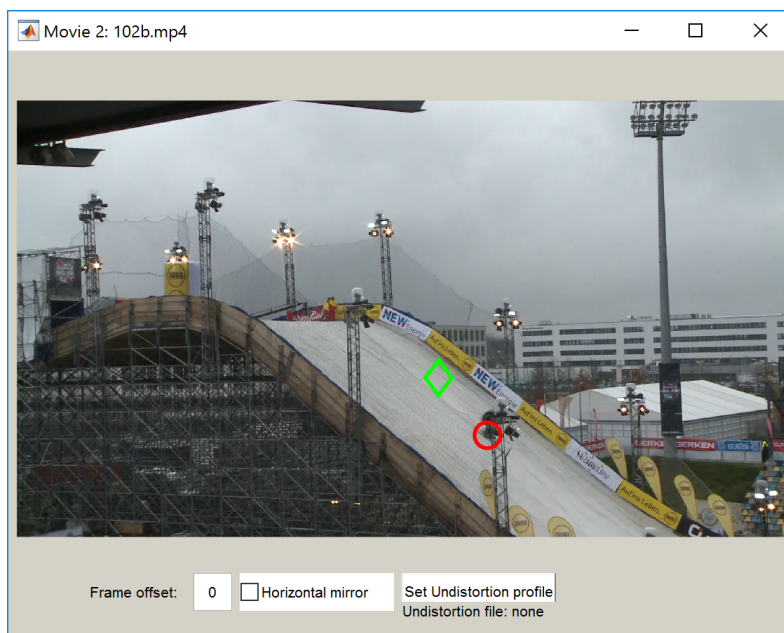
**Figur A.34:** Marker vinduet med sidefilen. Zoom inn og marker samme sted på utøveren.



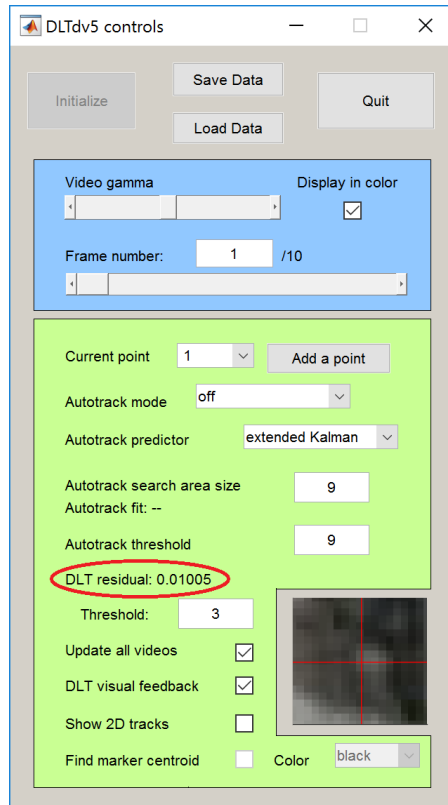
**Figur A.35:** Ved å zoome ut i begge vinduene ser en feilmarginene mellom det røde sirkelen og den grønne diamanten.



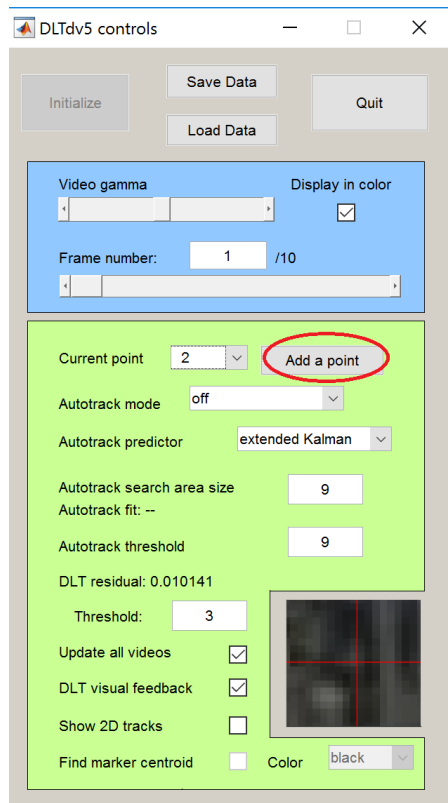
**Figur A.36:** Avvik i frontfilen.



**Figur A.37:** Avvik i sidefilen.

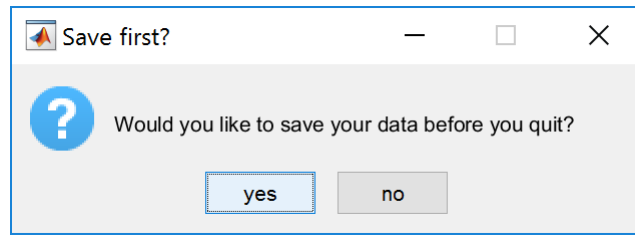


**Figur A.38:** I vinduet ser man residualen (rød runding). Dette må ikke være for stort.

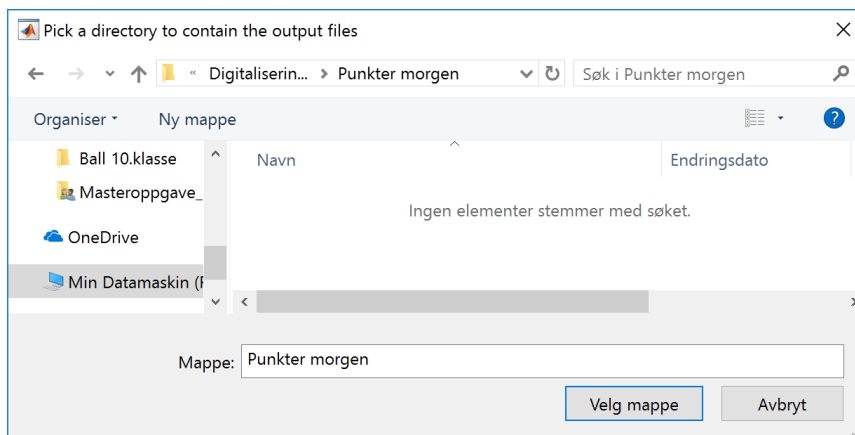


**Figur A.39:** Velg Add a point (rød runding) for å legge til punktet på den andre foten og punktet på hodet. Benytt samme fremgangsmåte.

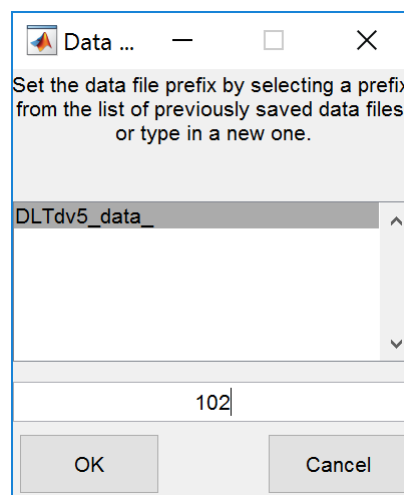
### A.3.3 Lagring av Excel-fil



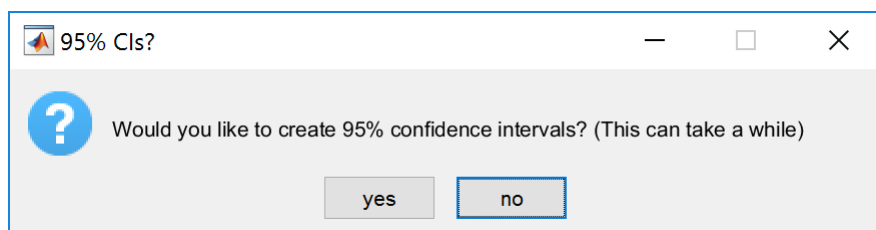
Figur A.40: Ved å avslutte programmet får du spørsmål om du vil lagre. Velg Ja.



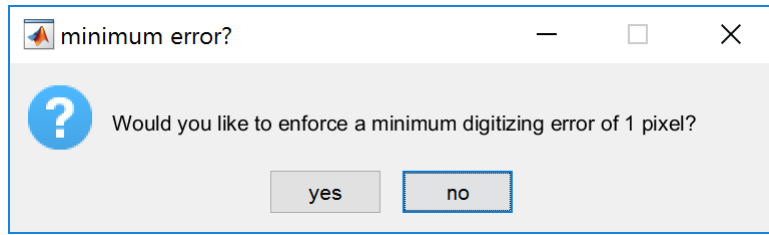
Figur A.41: Finn en egnet mappe for lagring.



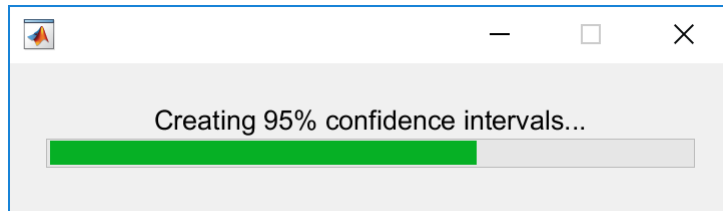
Figur A.42: Kall filen med navn i forhold til hoppet som er digitalisert.






Figur A.43: Svar ja på at et 95 prosent konfidensintervall skal brukes.



**Figur A.44:** Svar ja på at en kan bruke en minimum error på 1 pixel.



**Figur A.45:** Filen lagres.

-  102offsets
-  102xypts
-  102xyzCI
-  102xyzpts
-  102xyzres

**Figur A.46:** Det lages fem filer. Åpne filen der filnavnet ender på ”xyzpts”.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	pt1_X,pt1_Y,pt1_Z,pt2_X,pt2_Y,pt2_Z,pt3_X,pt3_Y,pt3_Z									
2	317848.403944,5673167.956494,100.708486,317852.190733,5673174.728096,99.612807,317846.646617,5673184.539572,91.402289									
3	NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN									
4	NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN									
5	NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN									
6	NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN									
7	NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN									
8	NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN									
9	NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN									
10	NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN									
11	NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN,NaN									
12										

**Figur A.47:** I landingsøyeblikket er det laget koordinater for x, y og z for begge føttene og hodet.



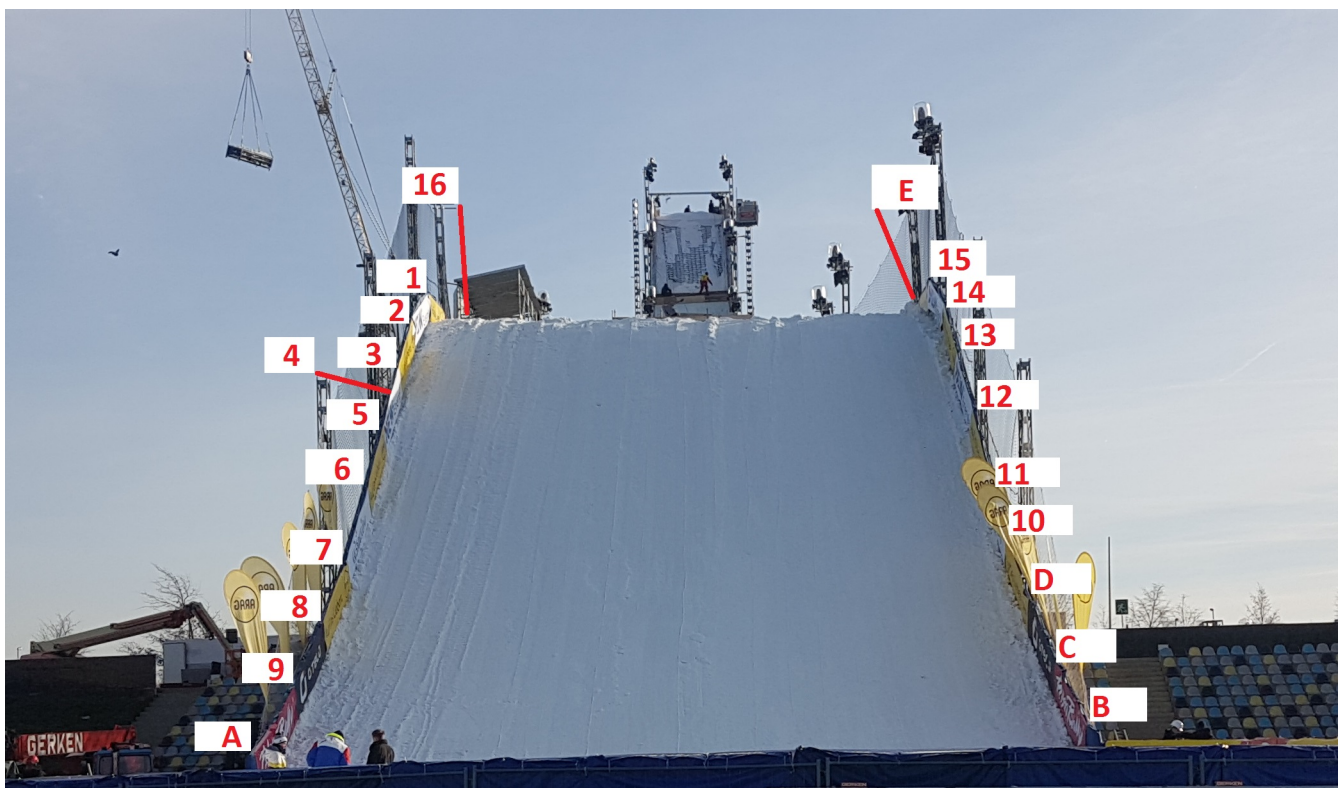


# Tillegg B

## Resultater - vedlegg

### B.1 Kalibreringen

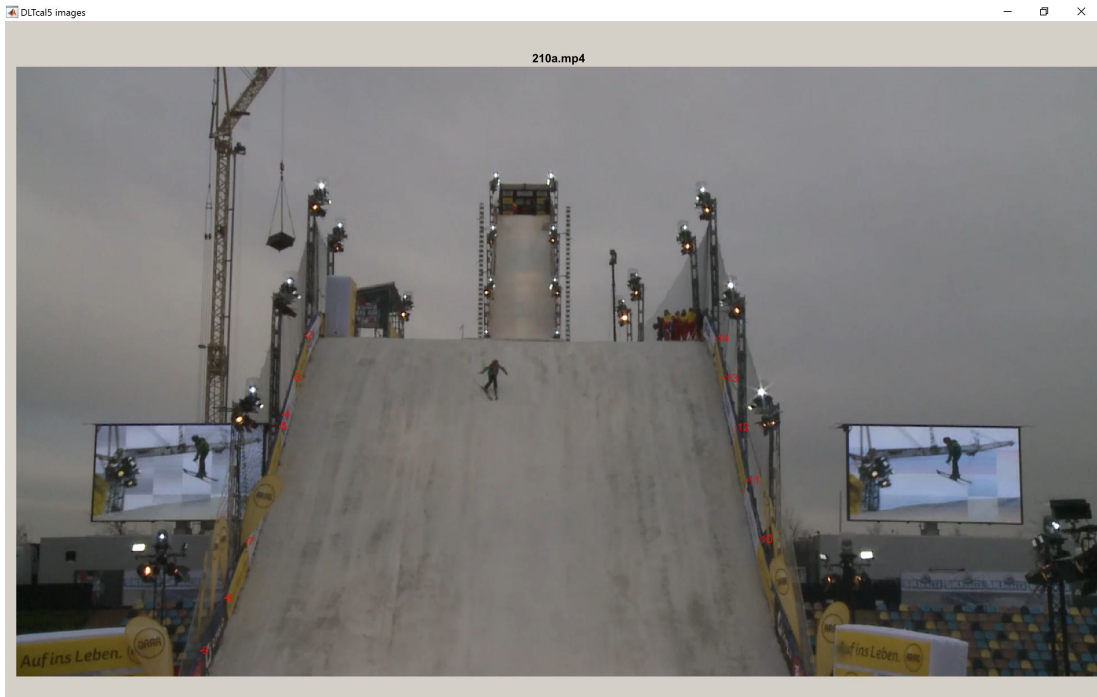
#### B.1.1 Kalibrering uten bruk av mastpunkter



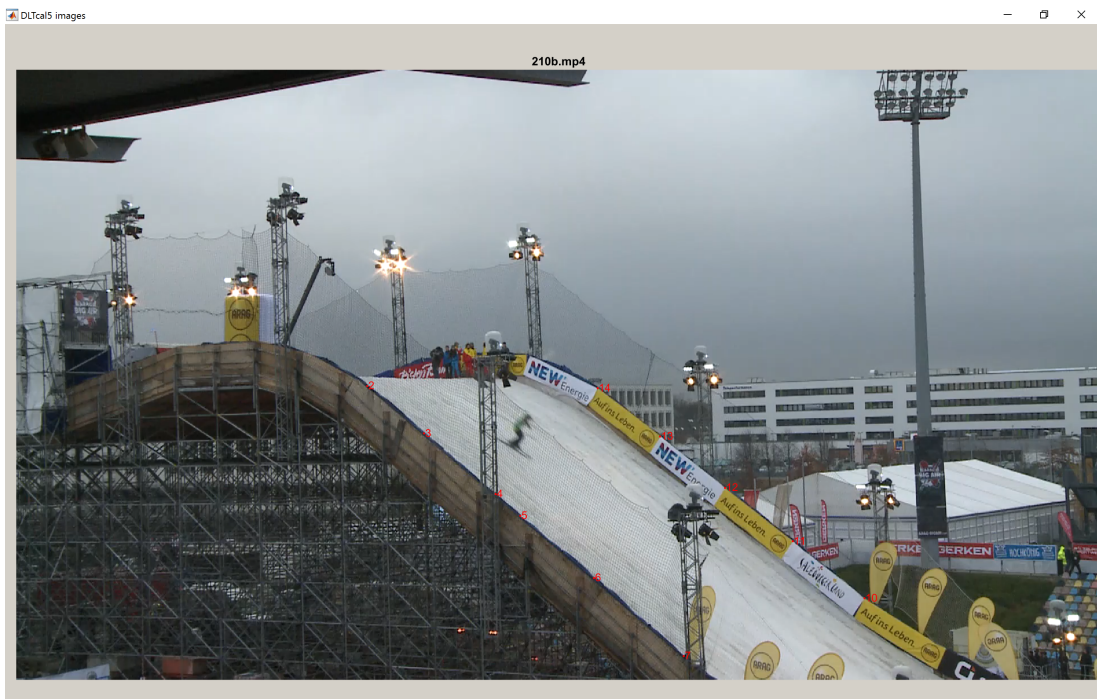
**Figur B.1:** Kalibreringspunkt langs reklameskiltene. Punktene på venstre side er i nedre høyre hjørne av den hvite firkanten. Punktene på høyre side er i nedre venstre hjørne av den hvite firkanten.

**Tabell B.1:** Kalibreringspunkt langs reklameplakatene.

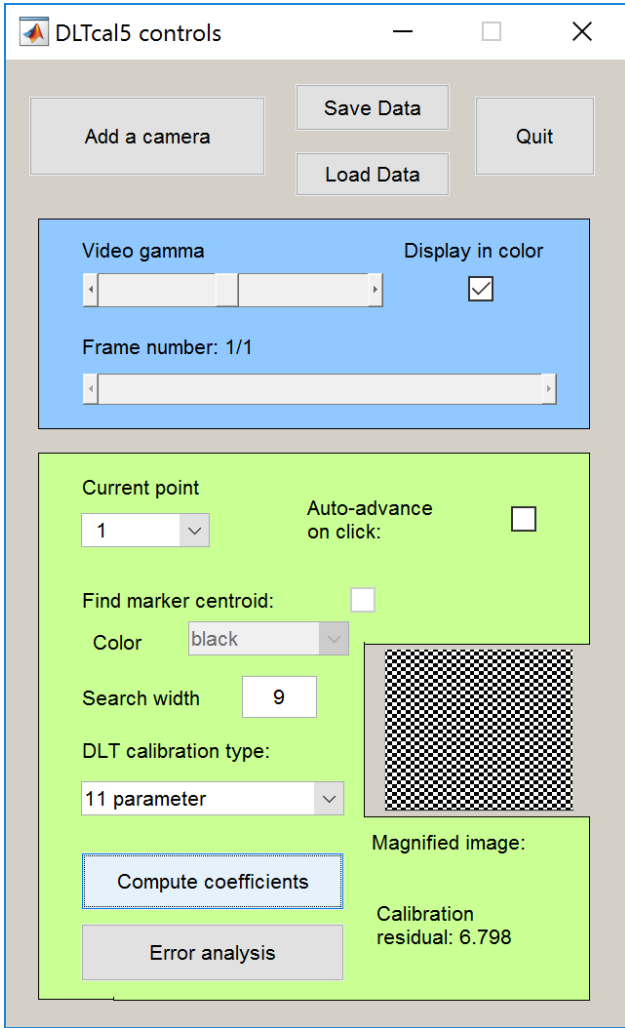
Punkt	Øst, m	Nord, m	Høyde, m	RMS, m	Synlig	Brukt
1	317606,9126	5672858,449	138,3916	0,0105	Ja	Nei
2	317603,7808	5672860,409	136,7101	0,0079	Ja	Ja
3	317601,0372	5672862,107	134,3679	0,0088	Ja	Ja
4	317599,0413	5672863,342	132,5574	0,0101	Ja	Ja
5	317598,3327	5672863,752	131,8812	0,0112	Ja	Ja
6	317595,5191	5672865,38	129,5248	0,0091	Kun side	Kun side
7	317592,7847	5672867,108	127,0736	0,0118	Ja	Ja
8	317589,8712	5672868,912	125,2029	0,0119	Kun front	Kun front
9	317586,8452	5672870,764	123,4395	0,0132	Kun delvis front	Kun front
A	317583,031	5672870,603	123,4381	4,1755	Nei	Nei
B	317566,7116	5672853,941	148,656	3,5579	Nei	Nei
C	317574,3212	5672853,941	135,2155	7,6458	Nei	Nei
D	317580,8365	5672852,699	126,276	1,6689	Ja	Nei
10	317582,6511	5672850,177	128,9572	0,0109	Ja	Ja
11	317585,3369	5672848,52	131,3689	0,0192	Ja	Ja
12	317588,0258	5672846,825	133,7623	0,0217	Ja	Ja
13	317590,7532	5672845,24	136,111	0,0216	Ja	Ja
14	317593,4987	5672843,512	138,4902	0,0144	Ja	Ja
15	317596,8032	5672841,599	140,3483	0,0249	Ja	Nei
E	317601,2693	5672840,428	137,7064	0,8894	Nei	Nei
16	317613,6479	5672854,395	138,2989	0,0087	Nei	Nei



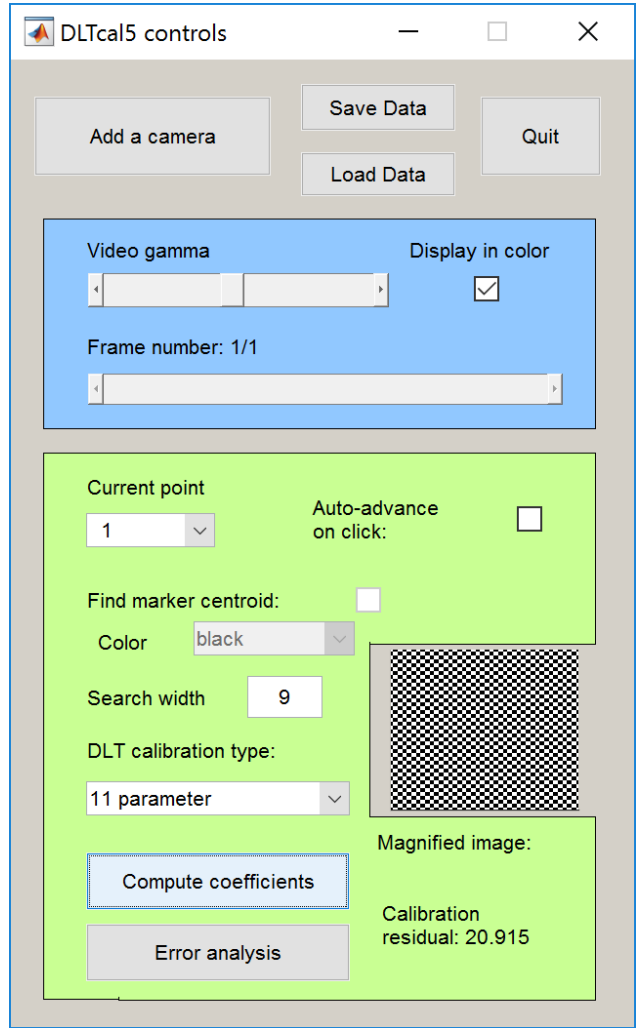
**Figur B.2:** Kalibreringspunkt brukt til frontvideoen.



**Figur B.3:** Kalibreringspunkt brukt til sidevideoen.

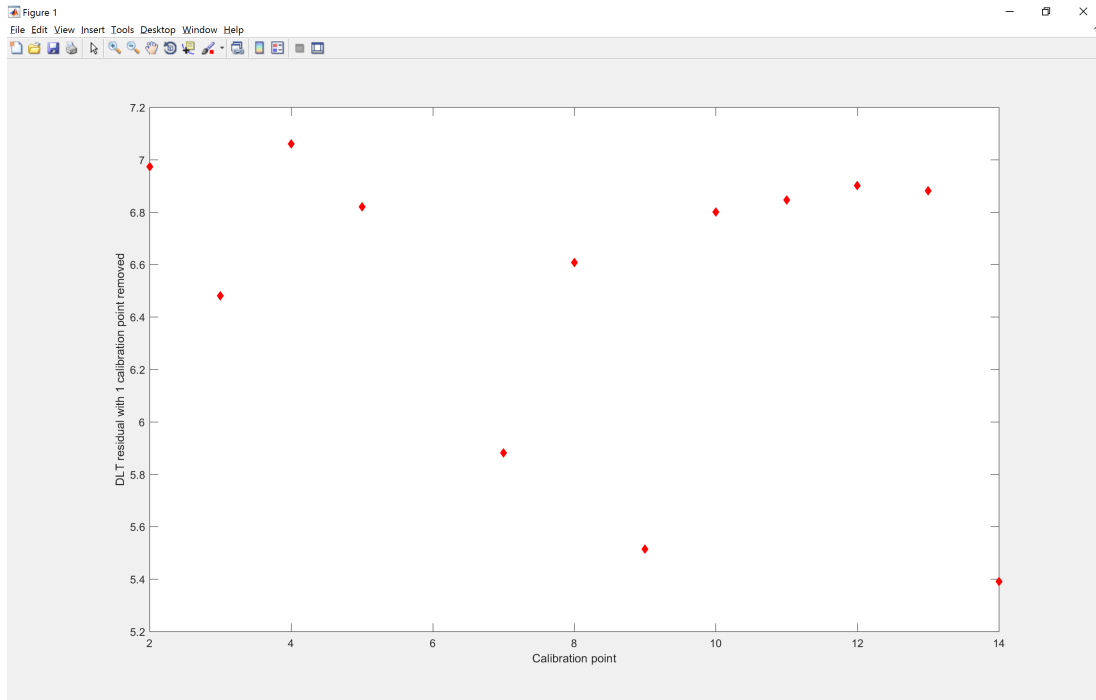


(a) Residual fra frontvideoen.

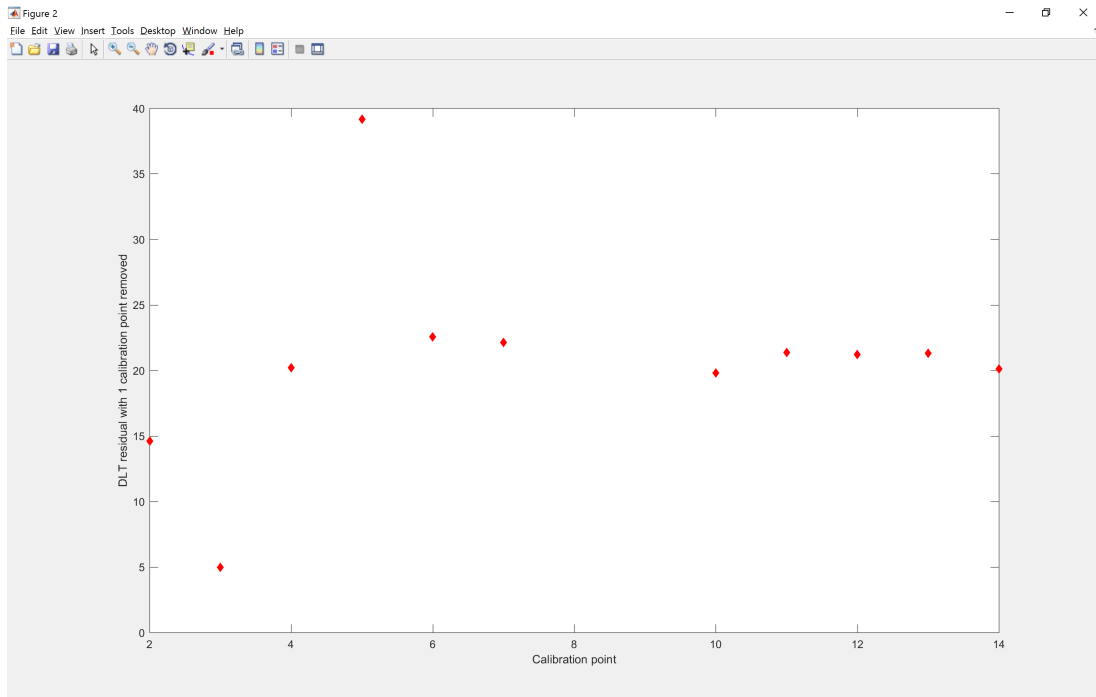


(b) Residual fra sidevideoen.

**Figur B.4:** Residual for videoene.



**Figur B.5:** Oversikt over hva som ville skjedd med residualen hvis vi hadde fjernet et punkt fra frontvideoen. Hvis punkt 14 hadde blitt fjernet ville residualen sunket til ca. 5,4. Den romlige spredningen ville blitt dårligere og derfor beholdt vi punktet.



**Figur B.6:** Oversikt over hva som ville skjedd med residualen hvis vi hadde fjernet et punkt fra sidevideoen. Legg merke til at skalen langs y-aksen har endret seg.

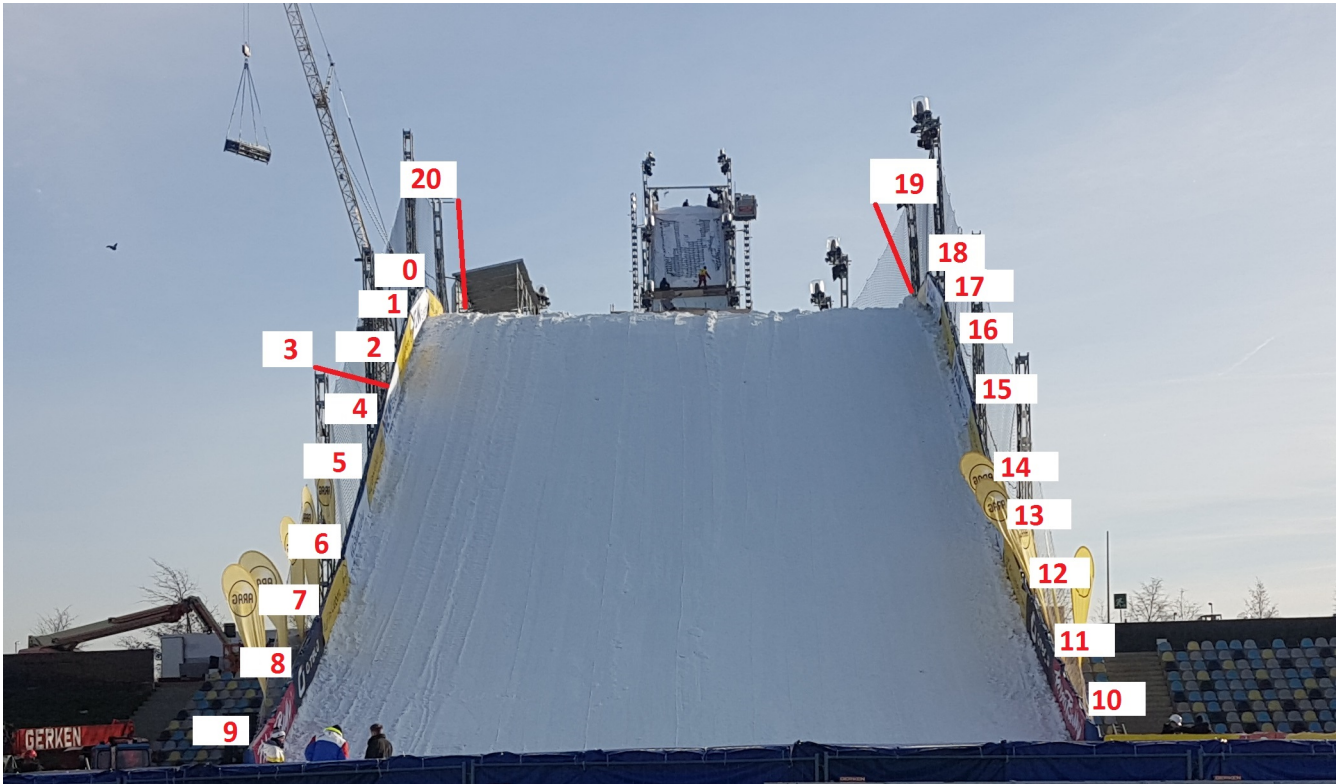
**Tabell B.2:** Bildepunkt i frontvideoen og sidevideoen for kalibreringen. Kalibreringspunkt som ikke ble benyttet skrives NaN.

Punkt	cam1_X	cam1_Y	cam2_X	cam2_Y
1	NaN	NaN	NaN	NaN
2	512.967221	603.703451	621.782348	519.995344
3	491.545977	528.841842	722.236706	436.283379
4	472.716402	463.616442	848.946180	328.979861
5	467.460612	442.771443	892.614604	290.525970
6	NaN	NaN	1022.907017	180.502082
7	408.160161	239.196547	1181.675462	42.496406
8	371.034525	139.247448	NaN	NaN
9	328.615747	46.151367	NaN	NaN
10	1315.871973	242.490361	1501.540937	144.841633
11	1293.681199	347.620459	1374.559207	245.606016
12	1274.240152	440.780695	1254.768700	339.929904
13	1254.297599	527.212079	1139.860879	430.642386
14	1238.990432	597.991387	1029.507412	516.256034
15	NaN	NaN	NaN	NaN
16	NaN	NaN	NaN	NaN

**Tabell B.3:** Verdier for to sett av 11 koeffisienter.

Koeffisient	Frontkamera	Sidekamera
1	8.9523e-05	2.632e-05
2	-5.009e-06	-1.4733e-06
3	-0.00013387	-1.0854e-05
4	0	0
5	-1.2672e-05	1.0826e-06
6	7.1048e-07	-6.0151e-08
7	-4.85e-05	-2.0619e-05
8	0	0
9	2.313e-07	2.489e-07
10	-1.8922e-07	-1.902e-07
11	-4.2564e-07	-4.1814e-07

## B.1.2 Kalibrering med bruk av mastpunkter



**Figur B.7:** Kalibreringspunkt langs reklameskiltene. Punktene på venstre side er i nedre høyre hjørne av den hvite firkanten. Punktene på høyre side er i nedre venstre hjørne av den hvite firkanten. Merk at noen av punktene har endret navn i forhold til tidligere kalibrering.





**Figur B.8:** Kalibreringspunkt i mastene. Punktene på venstre side er i nedre høyre hjørne av den hvite firkanten. Punktene på høyre side er i nedre venstre hjørne av den hvite firkanten. For punktene som er øverst på masten er det i etterkant satt opp en lyskaster som kan være i veien.



**Figur B.9:** Kalibreringspunkt på toppen av ovarrennet. Punktet på venstre side er i nedre høyre hjørne av den hvite firkanten. Punktet på høyre side er i nedre venstre hjørne av den hvite firkanten.



**Tabell B.4:** Kalibreringspunkt langs reklameplakatene.

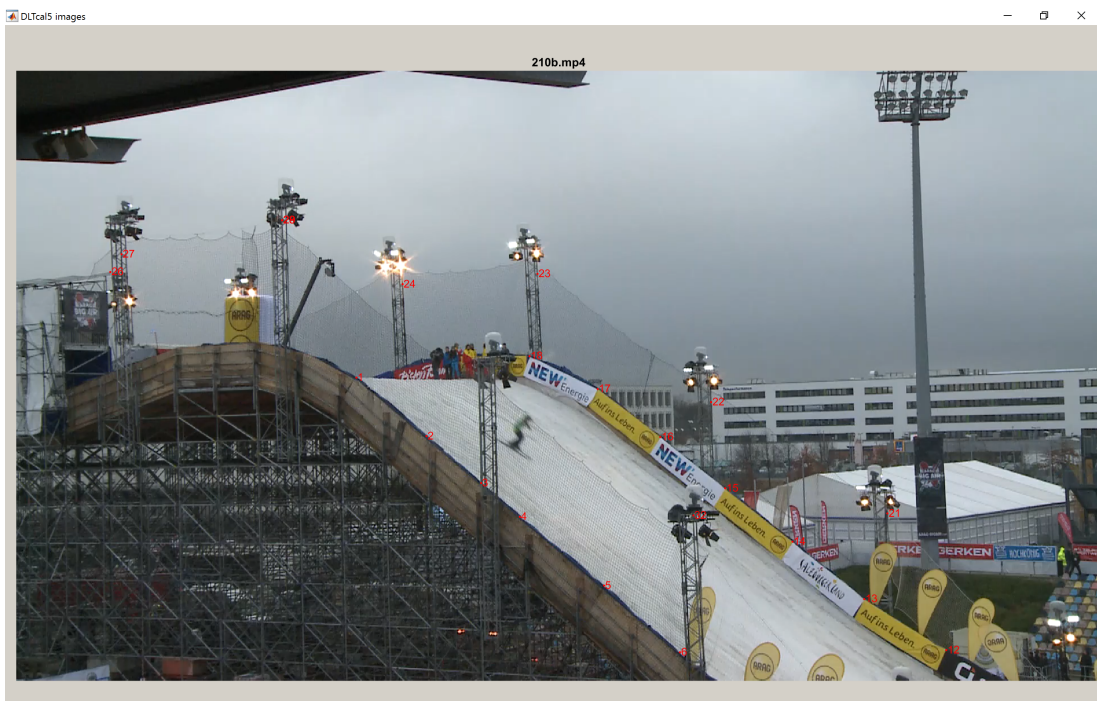
Punkt	Øst, m	Nord, m	Høyde, m	RMS, m	Synlig	Brukt
0	317606,9056	5672858,451	138,4232	0.0097	Ja	Nei
1	317603,7775	5672860,41	136,7625	0.0078	Ja	Ja
2	317601,0302	5672862,107	134,3968	0.0081	Ja	Ja
3	317599,0324	5672863,347	132,5902	0.0099	Ja	Ja
4	317598,3426	5672863,727	131,9293	0.0106	Ja	Ja
5	317595,519	5672865,375	129,5875	0.0087	Kun side	Kun side
6	317592,7986	5672867,107	127,1006	0.0117	Ja	Ja
7	317589,8701	5672868,911	125,2563	0.0119	Kun front	Kun front
8	317586,855	5672870,753	123,4941	0.0146	Kun delvis front	Nei
9	317583,031	5672870,603	123,4381	4.1755	Nei	Nei
10	317574,4064	5672856,024	123,1749	0.0152	Nei	Nei
11	317577,9641	5672853,676	123,7804	0.0106	Nei	Nei
12	317581,3818	5672851,768	125,6394	0.0152	Ja	Ja
13	317583,9092	5672850,139	127,3916	0.0153	Ja	Ja
14	317586,5868	5672848,487	129,8119	0.0151	Ja	Ja
15	317589,2701	5672846,791	132,2072	0.0154	Ja	Ja
16	317592,0071	5672845,212	134,5426	0.0112	Ja	Ja
17	317594,7364	5672843,482	136,9365	0.0104	Ja	Ja
18	317598,0383	5672841,553	138,7972	0.0124	Ja	Ja
19	317601,3595	5672839,367	139,0178	0.0129	Nei	Nei
20	317613,6474	5672854,394	138,3476	0.0088	Nei	Nei

**Tabell B.5:** Kalibreringspunkt i mastene. Punktene er blitt sendt over fra Zürich, og RMS er derfor ukjent.

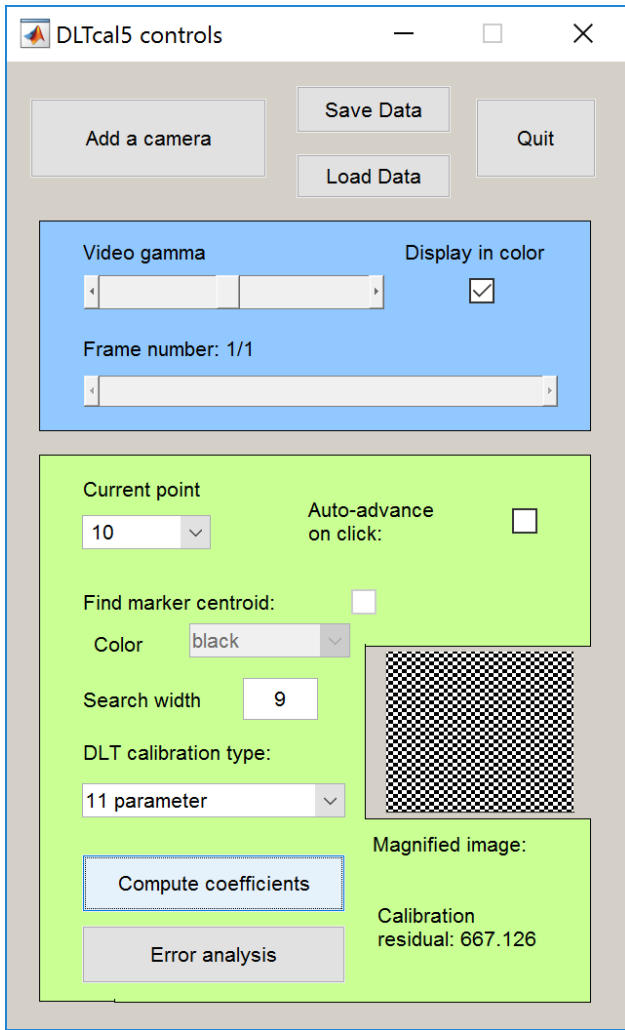
Punkt	Øst, m	Nord, m	Høyde, m	Synlig	Brukt
21	317582,248484650	5672851,317547750	130,548280293	Ja	Ja
22	317589,194742600	5672847,122140600	136,052553761	Ja	Ja
23	317596,217726205	5672843,094899400	142,264596385	Ja	Ja
24	317603,709634109	5672838,431729160	142,578159051	Ja	Ja
25	317611,647561851	5672836,251483790	141,570158848	Kun front	Kun front
26	317615,444237778	5672850,453819120	142,250374399	Ja	Ja
27	317614,136466711	5672854,691777120	142,673701718	Ja	Ja
28	317607,016577116	5672859,174294050	143,321396180	Ja	Ja
29	317607,015151775	5672859,173565390	143,321283169	Ja	Ja
30	317599,209703580	5672863,922897890	136,806659421	Ja	Kun front
31	317599,207013589	5672863,923995310	136,802210400	Ja	Kun front
32	317592,623718259	5672867,957662180	132,071755417	Ja	Ja
33	317667,552729568	5672807,815494860	165,907302814	Kun front	Kun front
34	317670,110934073	5672812,070392150	165,906389080	Kun front	Kun front



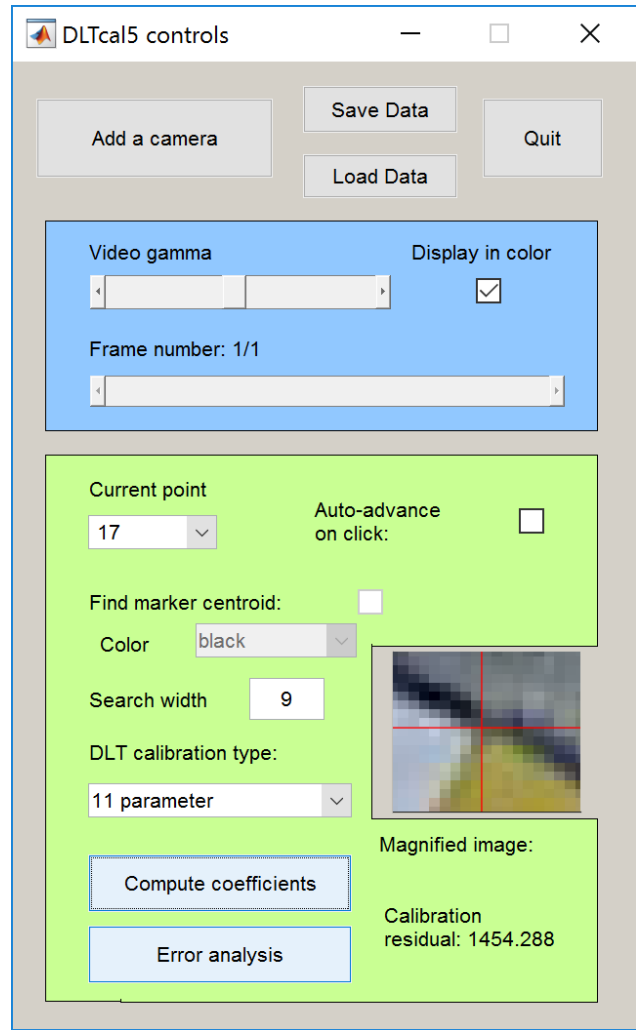
Figur B.10: Kalibreringspunkt brukt til frontvideoen.



Figur B.11: Kalibreringspunkt brukt til sidevideoen.

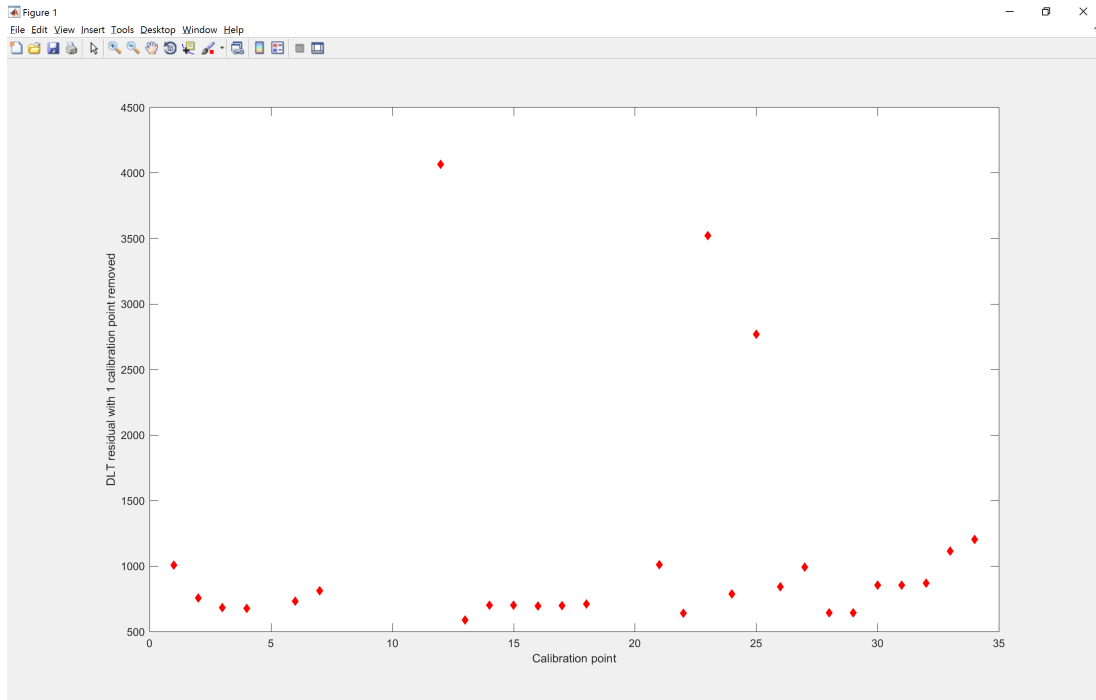


(a) Residual fra frontvideoen.

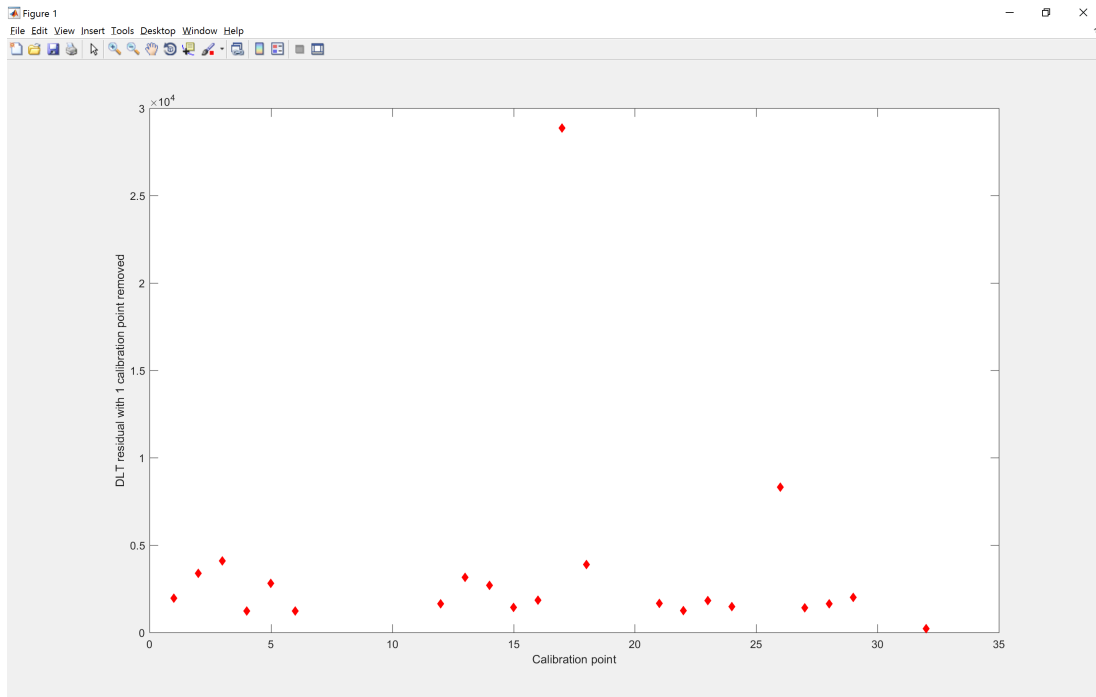


(b) Residual fra sidevideoen.

Figur B.12: Residual for videoene.



**Figur B.13:** Oversikt over hva som ville skjedd med residualet hvis vi hadde fjernet et punkt fra frontvideoen. Legg merke til at det er vanskelig å forutsi hvilket punkt som bør fjernes først for å minske residualet så mye som mulig.



**Figur B.14:** Oversikt over hva som ville skjedd med residualet hvis vi hadde fjernet et punkt fra sidevideoen. Legg merke til at residualets størrelse må multipliseres med 10 000.

**Tabell B.6:** Bildepunkt i frontvideoen og sidevideoen for kalibreringen. Kalibreringspunkt som ikke ble benyttet skrives NaN.

Punkt	cam1_X	cam1_Y	cam2_X	cam2_Y
0	NaN	NaN	NaN	NaN
1	513.055272	605.172700	602.670876	536.596959
2	492.184765	530.025258	726.588088	433.286452
3	471.185839	457.954927	823.327841	350.305446
4	466.800005	441.674179	891.710929	290.586278
5	NaN	NaN	1040.796390	168.982143
6	408.087458	240.077995	1175.024396	50.934926
7	371.870462	141.756942	NaN	NaN
8	NaN	NaN	NaN	NaN
9	NaN	NaN	NaN	NaN
10	NaN	NaN	NaN	NaN
11	NaN	NaN	NaN	NaN
12	1344.326908	146.394275	1646.247738	54.909827
13	1316.163745	242.729376	1501.090942	145.052950
14	1292.837159	347.626466	1374.082638	246.558716
15	1274.592641	439.160349	1255.000000	341.053780
16	1254.497640	525.928972	1140.265572	431.502145
17	1238.186637	597.362073	1029.525468	516.436322
18	1217.713989	640.516483	908.915296	574.586480
19	NaN	NaN	NaN	NaN
20	NaN	NaN	NaN	NaN
21	1350.034934	401.177200	1542.106634	296.534702
22	1288.313385	606.474670	1230.190905	493.336252
23	1238.876526	790.342470	923.037761	720.202381
24	1204.233345	728.196387	684.394638	701.955555
25	1109.701987	627.607366	NaN	NaN
26	667.540176	697.890737	167.191658	723.412692
27	552.693598	732.566362	187.076788	754.860184
28	518.258674	824.050999	471.074772	814.807573
29	518.646686	823.468982	471.299070	815.312242
30	455.660364	678.609782	NaN	NaN
31	455.854589	678.648627	NaN	NaN
32	384.040031	483.832931	1198.902553	292.976736
33	944.090653	871.522572	NaN	NaN
34	857.427632	872.665149	NaN	NaN

**Tabell B.7:** Verdier for to sett av 11 koeffisienter.

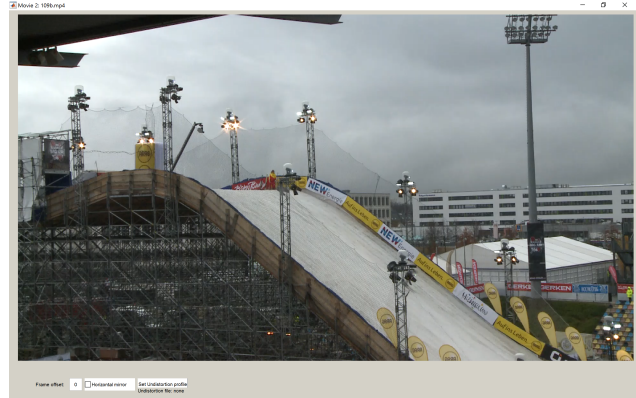
<b>Koeffisient</b>	<b>Frontkamera</b>	<b>Sidekamera</b>
1	-0.00021145	1.6384e-06
2	1.1835e-05	-9.6518e-08
3	0.00011675	0.00018829
4	0	
5	-0.00018208	2.3166e-06
6	1.0192e-05	-1.2923e-07
7	4.9069e-05	-2.411e-05
8	0	
9	-3.1376e-07	1.4287e-07
10	-1.5872e-07	-1.8427e-07
11	1.1927e-07	-1.6519e-07

## B.2 Digitaliseringen

### B.2.1 Oversikt over landingspunktene

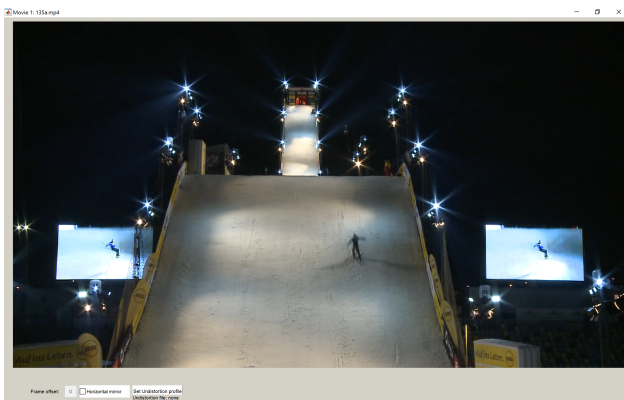


(a)

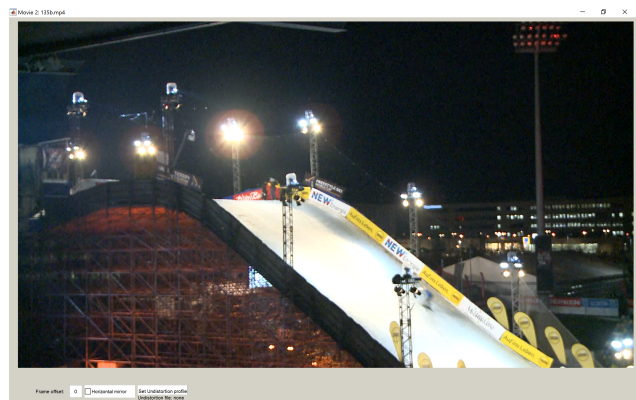


(b)

Figur B.15: Hopp 109.



(a)

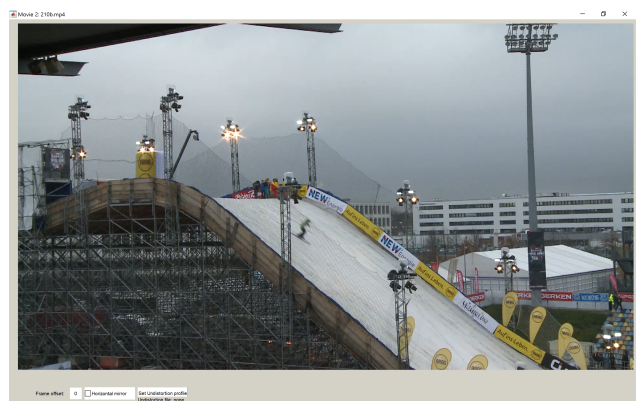


(b)

Figur B.16: Hopp 135.



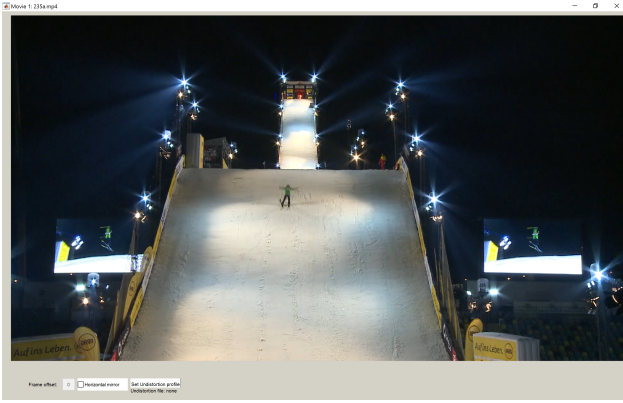
(a)



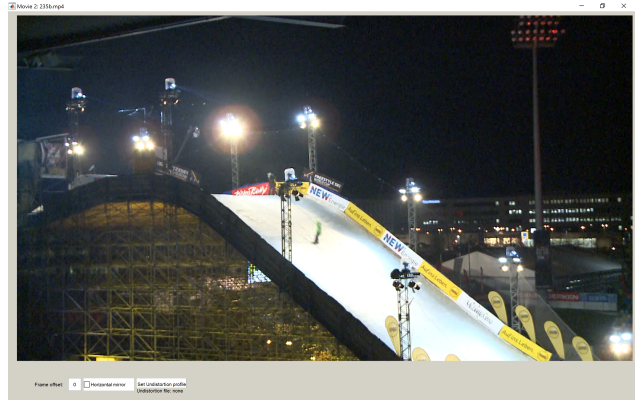
(b)

Figur B.17: Hopp 210.





(a)



(b)

Figur B.18: Hopp 235.

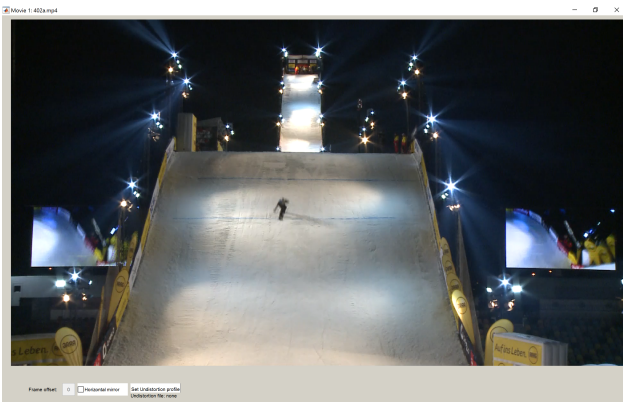


(a)

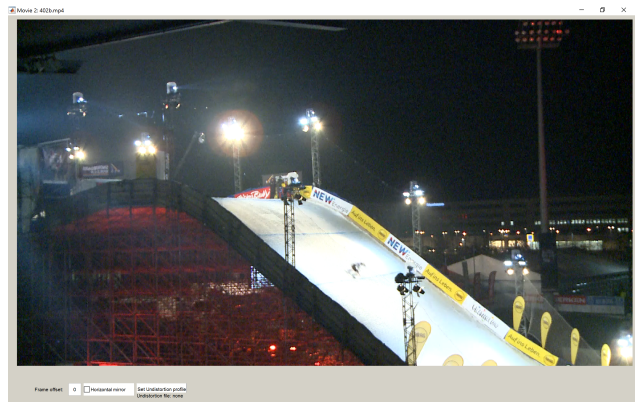


(b)

Figur B.19: Hopp 359.



(a)



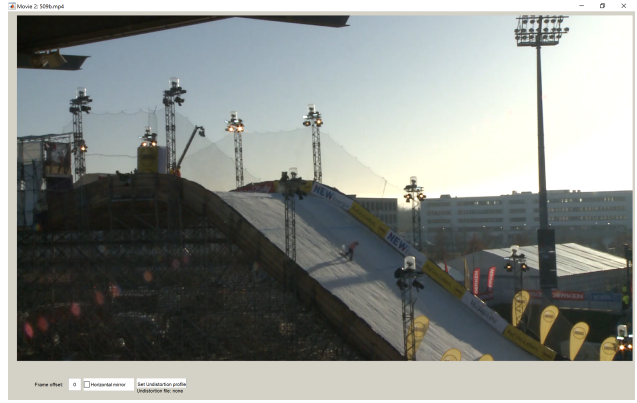
(b)

Figur B.20: Hopp 402.



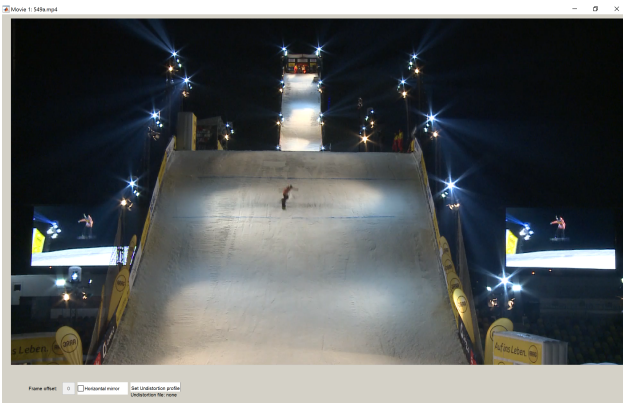


(a)

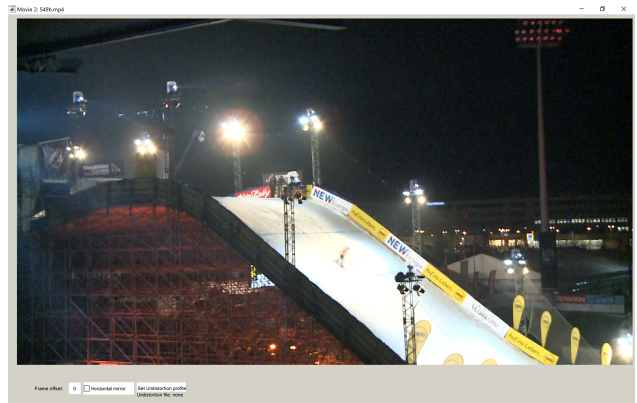


(b)

Figur B.21: Hopp 509.



(a)



(b)

Figur B.22: Hopp 549.

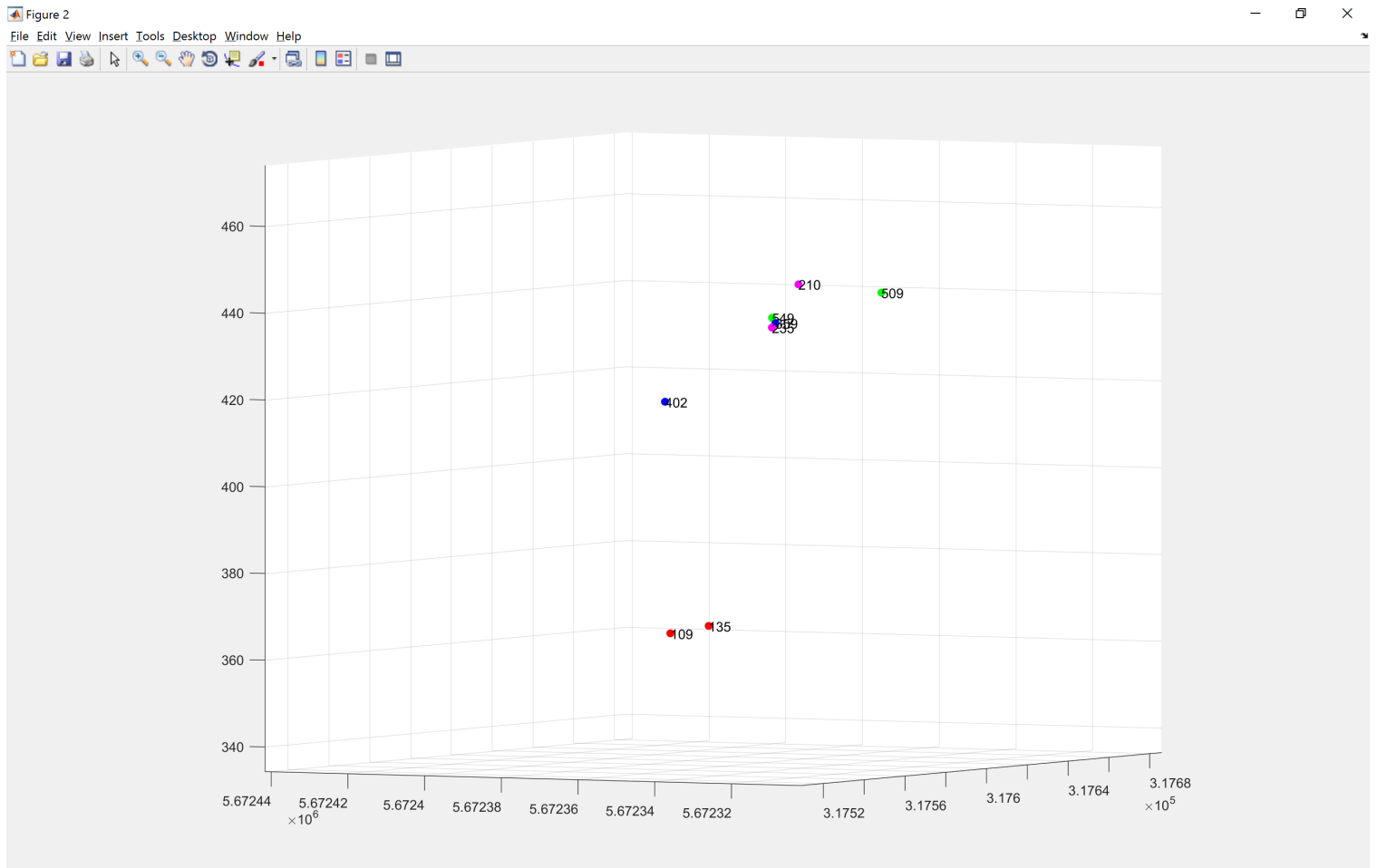
## B.2.2 Resultater når kalibreringen ikke har brukt mastpunkter

**Tabell B.8:** Resultat av digitaliseringen. Koordinater og residual til alle digitaliserte punkt.

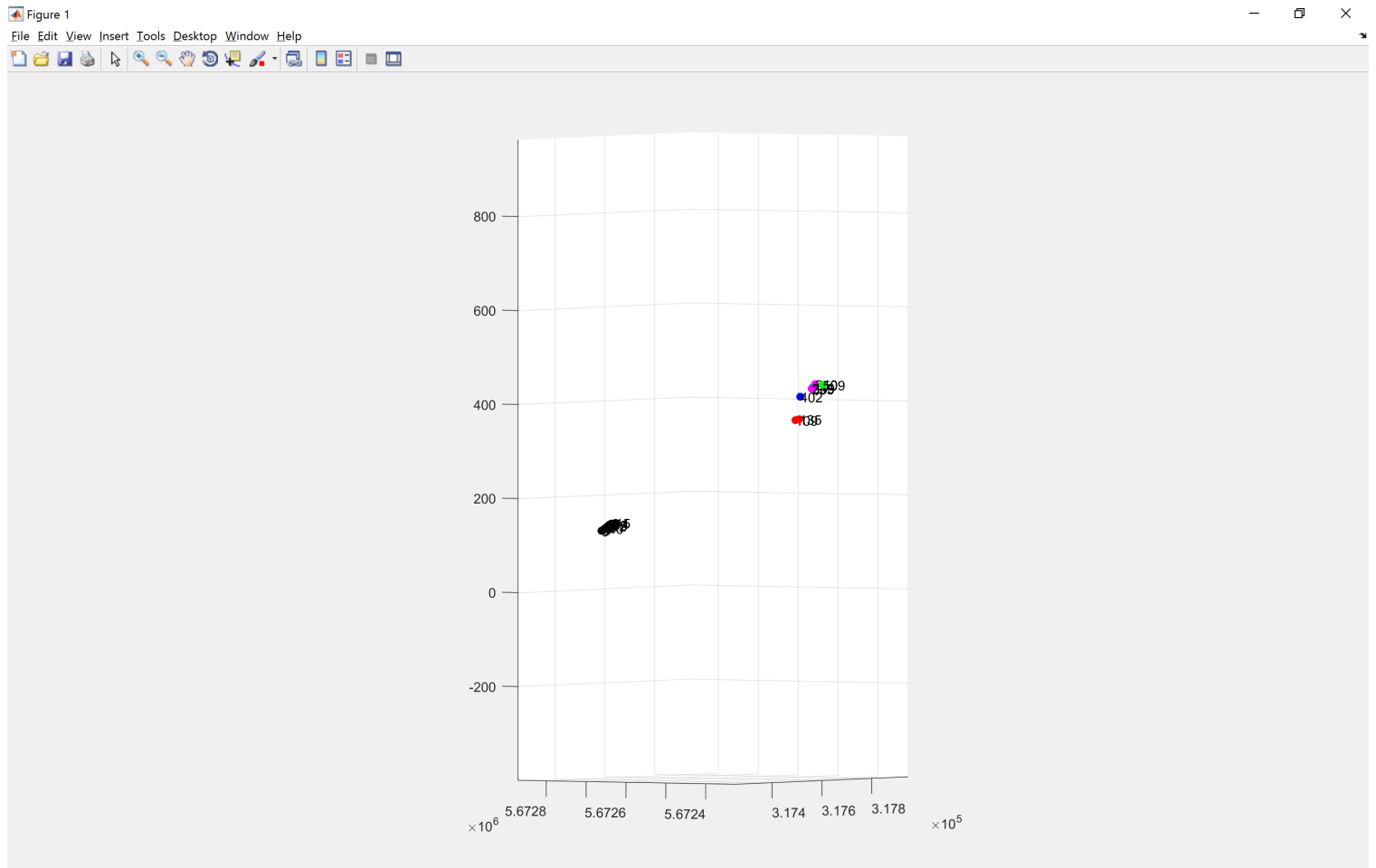
Fil	Sted	X	Y	Z	Residual
109	Høyre fot	317507,5984	5672348,955	360,098709	0,00431
109	Venstre fot	317501,3688	5672339,29	361,092484	0,004295
109	Hode	317532,8655	5672328,024	383,800147	0,004784
135	Høyre fot	317497,7973	5672336,238	359,717077	0,004487
135	Venstre fot	317489,1509	5672327,202	358,994839	0,004464
135	Hode	317538,9506	5672314,361	392,9923	0,00514
210	Høyre fot	317680,0131	5672408,806	431,161927	0,006104
210	Venstre fot	317672,5964	5672397,016	432,598808	0,006048
210	Hode	317704,3303	5672384,132	456,269412	0,006761
235	Høyre fot	317661,5411	5672408,43	420,339043	0,00587
235	Venstre fot	317652,6798	5672394,915	421,832726	0,005804
235	Hode	317691,439	5672380,12	450,391265	0,006617
359	Høyre fot	317660,2448	5672404,902	420,203181	0,006011
359	Venstre fot	317668,0518	5672399,742	427,054298	0,006178
359	Hode	317691,8503	5672383,725	447,646357	0,006749
402	Høyre fot	317646,8385	5672425,471	402,697951	0,005671
402	Venstre fot	317653,3275	5672417,927	409,92739	0,005829
402	Hode	317679,7686	5672410,014	428,131576	0,006357
509	Høyre fot	317648,0952	5672372,045	428,481182	0,006125
509	Venstre fot	317654,4729	5672367,684	434,236135	0,006245
509	Hode	317676,5409	5672344,013	457,416065	0,00684
549	Høyre fot	317665,6339	5672410,11	420,551837	0,006086
549	Venstre fot	317673,5939	5672406,857	426,543585	0,006244
549	Hode	317696,11	5672382,175	450,547852	0,006861

**Tabell B.9:** Beregning av tyngdepunktet til landingen for hvert hopp. Hodet og begge beina er alle vektet likt i beregningen. Fargen vises i framstillingen på neste side.

Fil	X	Y	Z	Farge
109	317513,9443	5672338,756	368,3304467	Rød
135	317508,6329	5672325,934	370,568072	Rød
210	317685,6466	5672396,651	440,010049	Rosa
235	317668,5533	5672394,488	430,8543447	Rosa
359	317673,3823	5672396,123	431,634612	Blå
402	317659,9782	5672417,804	413,585639	Blå
509	317659,703	5672361,247	440,0444607	Grønn
549	317678,4459	5672399,714	432,547758	Grønn



**Figur B.23:** Visning av landingspunktene i 3D.



**Figur B.24:** Visning av landingspunktene og kalibreringspunktene i 3D. Kalibreringspunktene har mørk farge.

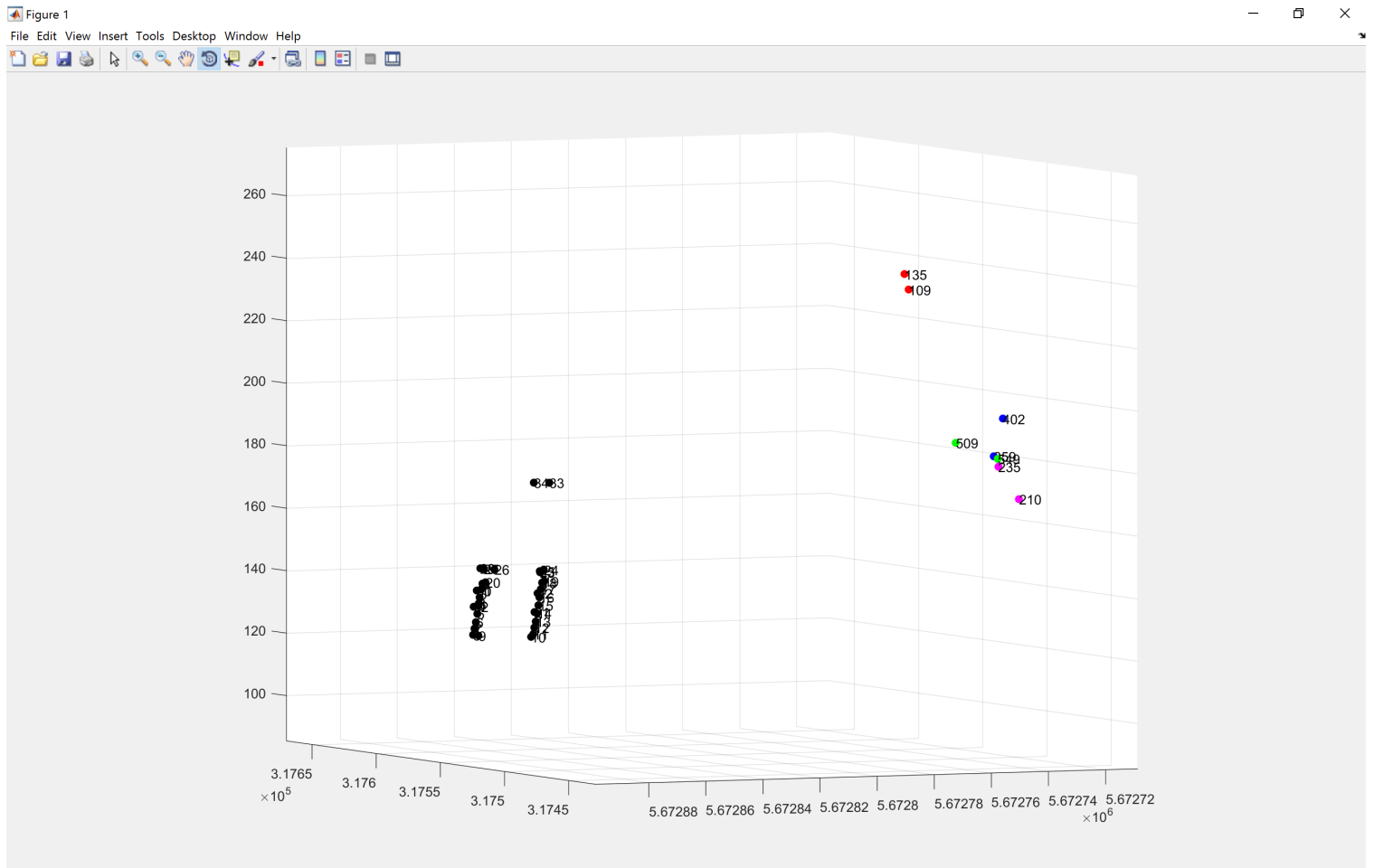
## B.2.3 Resultater når kalibreringen har brukt mastpunkter

**Tabell B.10:** Resultat av digitaliseringen. Koordinater og residual til alle digitaliserte punkt.

Fil	Sted	X	Y	Z	Residual
109	Høyre fot	317546,948	5672734,86	236,041843	0,007122
109	Venstre fot	317547,96	5672735,88	236,136518	0,007143
109	Hode	317534,178	5672742,9	227,113383	0,007181
135	Høyre fot	317553,04	5672733,82	241,284041	0,006471
135	Venstre fot	317554,278	5672734,45	241,972119	0,006403
135	Hode	317537,861	5672742,53	229,9168	0,006605
210	Høyre fot	317433,438	5672745,43	176,69062	0,006181
210	Venstre fot	317440,048	5672748,2	177,932793	0,006293
210	Hode	317414,572	5672757,38	163,919601	0,004965
235	Høyre fot	317456,664	5672742,7	187,477105	0,006532
235	Venstre fot	317462,154	5672745,94	188,18052	0,006638
235	Hode	317429,814	5672756,71	170,393298	0,005399
359	Høyre fot	317465,6	5672742,65	192,537557	0,006183
359	Venstre fot	317458,95	5672745,87	187,961139	0,006001
359	Hode	317437,284	5672755,83	174,784919	0,005124
402	Høyre fot	317479,336	5672734,07	203,24397	0,00623
402	Venstre fot	317472,252	5672737,34	198,301137	0,006107
402	Hode	317451,743	5672744,67	186,887074	0,005484
509	Høyre fot	317478,142	5672749,67	194,52417	0,006106
509	Venstre fot	317472,445	5672751,83	190,833353	0,006054
509	Hode	317458,472	5672761,62	180,644665	0,005479
549	Høyre fot	317462,411	5672742,11	191,422947	0,005922
549	Venstre fot	317454,475	5672744,6	186,696539	0,005686
549	Hode	317438,878	5672756,16	175,012515	0,00502

**Tabell B.11:** Beregning av tyngdepunktet til landingen for hvert hopp. Hodet og begge bena er alle vektet likt i beregningen. Fargen vises i framstillingen på neste side.

Fil	X	Y	Z	Farge
109	317543,029	5672737,88	233,097248	Rød
135	317548,393	5672736,93	237,72432	Rød
210	317429,353	5672750,33	172,847671	Rosa
235	317449,544	5672748,45	182,016974	Rosa
359	317453,944	5672748,12	185,094538	Blå
402	317467,777	5672738,7	196,14406	Blå
509	317469,686	5672754,38	188,667396	Grønn
549	317451,921	5672747,63	184,377334	Grønn



**Figur B.25:** Visning av landingspunktene og kalibreringspunktene i 3D. Kalibreringspunktene har mørk farge.





**Norges miljø- og biovitenskapelige universitet**  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway