

Nær naturlige stereoskopiske bilder og krav til oppløsning

Erlend Heiberg

Master i kommunikasjonsteknologi
Oppgaven levert: Juni 2007
Hovedveileder: Leif Arne Rønningen, ITEM

Oppgavetekst

For å undersøke hvordan mennesker oppfatter forskjellige tids/romlige oppløsninger skal visuelle tester utarbeides og gjennomføres med en gruppe forsøkspersoner. Testene vil fokusere på hvor nært opp til virkeligheten stereoskopiske videoopptak kommer, ved forskjellige romlige og tidsmessige oppløsninger.

Oppgaven gitt: 20. januar 2007

Hovedveileder: Leif Arne Rønningen, ITEM

FORORD

Denne rapporten er resultatet av en masteroppgave gitt av institutt for telematikk ved Norges Teknisk- Naturvitenskaplige Universitet (NTNU) i Trondheim. Masteroppgaven er en obligatorisk del av det 10. semesteret i sivilingeniørutdannelsen ved NTNU.

Jeg vil benytte anledningen til å takke veileder Leif Arne Rønningen for all hjelp. Takk også til de som stilte opp som forsøkspersoner, og ikke minst til min kjære samboer som hjalp til med korrekturlesing og motivasjon underveis.

Trondheim 24.06.2007



Erlend Heiberg

SAMMENDRAG

Stadig raskere nettverk samt bedre og billigere maskinvare åpner for nye muligheter innen kommunikasjon over nett. På lydfronten har vi kommet langt, men bildekvaliteten er fremdeles langt unna det vi kan kalle nær naturlige bilder, dvs. bilder som ikke kan skilles fra virkeligheten. Overgangen fra *standard definition (SD)* til *high definition (HD)* TV har defintivt gjort bildekvaliteten på videoopptak bedre, men om det er godt nok til at bildene oppfattes som nær naturlige er en annen sak. Vanlige bilder gir heller ingen god dybdefølelse, noe vi er vant til fra den tredimensjonale verden vi lever i.

I dette prosjektet har målet vært å finne ut hvor høy romlig (antall piksler) og tidsmessig (antall bilder per sekund) oppløsning som må til for at videoklipp skal oppfattes som nær naturlige. To forsøk, som har fokusert på hvert sitt oppløsningsparameter, har blitt gjennomført på en gruppe med 6 forsøkspersoner. For å se hvor nært virkeligheten vi kommer, har alle forsøkene foregått som en sammenlikning mellom en ekte modell og diverse videoopptak av den. Dette i motsetning til den mer tradisjonelle måten å teste bildekvalitet på, hvor bilder/video i ulik kvalitet sammenliknes med hverandre. Alle videoopptakene ble gjort stereoskopisk, slik at bildene ga inntrykk av å ha en tredje dimensjon.

På grunn av det lave antallet forsøkspersoner og en del tekniske problemer underveis, var det vanskelig å trekke konklusjoner med høy reliabilitet. Vi kan likevel med stor sikkerhet si at HD-oppløsning ikke er i nærheten av god nok for å nå målet om nær naturlige bilder. På en skala fra 1 til 7 fikk videoklippet med høyest oppløsning en gjennomsnittspoengsum på 3,67, og alle forsøkspersonene kommenterte på at detaljgraden i bildet var for lav.

Forsøket med tidsmessig oppløsning ble i stor grad ødelagt av teknisk trøbbel i form av ujevn avspilling. Dette gjorde seg i økende grad gjeldende ved høyere oppløsninger, og har derfor påvirket disse mest. Samtaler med forsøkspersonene bekreftet at dette var et irritasjonsmoment, som trakk ned på resultatet. Det bekrefter imidlertid at vi er i stand til å oppfatte høyere tidsmessige oppløsninger enn det som er vanlig på TV/film i dag (ca. 30 bilder per sekund) og at det derfor er mer å hente også på dette området. Hvor grensen går er imidlertid ikke klart.

INNHALDSFORTEGNELSE

FORORD	I
SAMMENDRAG	II
INNHALDSFORTEGNELSE	III
FIGURLISTE	VI
TABELLISTE	VIII
FORKORTELSER	IX
1. INNLEDNING	1
1.1 DISTRIBUTED MULTIMEDIA PLAYS (DMP)	1
1.2 BAKGRUNN / MOTIVASJON OG PROBLEMSTILLING	2
1.3 RAPPORTENS INNDELING	3
1.4 ANNET ARBEID	4
1.5 BEGRENSNINGER / AVGRENSNINGER	4
2. BILDEKVALITET	5
2.1 FRA VIRKELIGHET TIL BILDE	5
2.2 EKSPONERING	6
2.2.1 Blenderåpning	6
2.2.2 Eksponeringstid	6
2.2.3 ISO-verdi	7
2.3 FARGEDYBDE	7
2.4 HVITBALANSE OG FARGEKORRIGERING	8
2.5 OPPLØSNING	9
2.6 SKALERING OG INTERPOLASJON	9
2.7 MOIRÉ	11
2.8 INTERLACED OG PROGRESSIV SKANNING	11
3 BILDER I 3D	12
3.1 STEREOSKOPI	12
3.2 SYNET	13
3.2.1 Perspektiv	14
3.2.2 Detaljgrad	14
3.2.3 Størrelsen på kjente objekter	14
3.2.4 Blokkering av sikt (okklusjon)	15
3.2.5 Lys og skygger	15
3.2.6 Relativ bevegelse	15
3.3 AKKOMODASJON OG KONVERGENS	16
3.3.1 Konvergens	17
3.3.2 Akkomodasjon	17

3.3.3	<i>Konvergens og akkomodasjons rolle i forbindelse med dybdesynet vårt</i>	18
3.4	STEREOSKOPISE OPPTAK	19
3.4.1	<i>Generelt om fotografering</i>	19
3.5.2	<i>Det må ikke være en vertikal parallakse</i>	20
3.4.3	<i>Bildene må være i fokus og ha god dybdeskarphet</i>	21
3.4.4	<i>Hele bildet bør ligge bak stereovinduet</i>	24
3.4.5	<i>Kameraene må ikke vinkles inn mot objektet</i>	25
3.4.6	<i>Kamera konfigurasjon</i>	26
3.5	STEREOSKOPISE FRAMVISNINGSMETODER	29
3.5.1	<i>Cross-/parallellviewing (freeviewing)</i>	29
3.5.2	<i>Fargeseparasjon (coloured anaglyph)</i>	30
3.5.3	<i>Liquid Crystal Shutterglasses (LCS)</i>	32
3.5.4	<i>Polarisasjonsbriller</i>	32
3.5.5	<i>Lentikulære skjermer</i>	34
4	FORSKNINGSMETODE	36
4.1	KVALITATIV OG KVANTITATIV METODE	36
4.2	AKSJONSFORSKNING / ACTION RESEARCH	37
4.3	VALG AV METODE	38
4.4	VALIDITET OG RELIABILITET	40
5	UTSTYR OG TESTMILJØ	41
5.1	KAMERA OG LINSE	41
5.2	LAGRING	42
5.3	PROGRAMVARE	45
5.4	PROSJEKTØRENE MED STATIVER OG POLARIASJONSFILTRE.....	46
5.5	KAMERASTATIV	46
5.6	LYS 47	
5.7	FORSØKSOPPSETTET	47
5.7.1	<i>Lyssetting</i>	49
5.7.2	<i>Modellen: objektene som ble filmet</i>	51
6	GJENNOMFØRING AV OPPTAK OG KLARGJØRING TIL FRAMVISNING	54
6.1	ROMMET	54
6.2	KAMERAPLASSERING OG OPPTAK	54
6.3	REDIGERING	56
6.4	FRAMVISNING	57
7	FORSØK: NÆR NATURLIGE STEREOSKOPISE BILDER OG KRAV TIL OPPLØSNING	59
7.1	METODE	59
7.1.1	<i>Double-stimulus Impairment Scale (DSIS)</i>	59
7.1.2	<i>Double-stimulus Continuous Quality-scale (DSCQS)</i>	60
7.1.3	<i>Valgt metode</i>	60
7.2	PROSEDYRE	61
7.2.1	<i>Samtykkeerklæring og informasjon</i>	61
7.2.2	<i>Utfylling av spørreskjema, del 1</i>	61
7.2.3	<i>Tilvenning/avvenning</i>	62
7.2.4	<i>Forsøk 1 – Romlig oppløsning</i>	63

7.2.5 Forsøk 2 – Tidsmessig oppløsning	63
7.2.6 Utfylling av spørreskjema, del 4	64
8 FEILKILDER	65
8.1 TESTMILJØET	65
8.1.1 Lysforhold i rommet m.m.	65
8.1.2 Overvåkning	65
8.1.3 Plassering av videoveggene.....	65
8.1.4 Forslag til endringer/forbedringer	65
8.2 TEKNISK UTSTYR	66
8.2.1 Avspilling av videoklippene	66
8.2.2 Forslag til endringer/forbedringer	67
8.3 MODELLEN OG GJENNOMFØRING AV FORSØKENE.....	67
8.3.1 Antallet objekter	67
8.3.2 Objektene bevegelse.....	67
8.3.3 Synkronisering mellom video og modell.....	67
8.3.4 Lyssetting av modellen.....	67
8.3.5 Forslag til endringer og/eller forbedringer.....	68
9 SPØRRESKJEMAET.....	69
9.1 OPPBYGNING	69
9.2 DEL 1	69
9.3 DEL 2	73
9.4 DEL 3	73
9.5 DEL 4	73
10 RESULTATER OG DISKUSJON.....	75
10.1 FORSØKSPERSONENE	75
10.2 FORSØK 1	75
10.3 FORSØK 2	78
11 KONKLUSJON.....	80
REFERANSER.....	82
VEDLEGG A: INFORMASJON OG SAMTYKKEERKLÆRING.....	85
VEDLEGG B: SPØRRESKJEMA	87
VEDLEGG C: DATABLAD FOR SI-3300RGB MEGACAMERA	94

FIGURLISTE

<i>Figur 2.1: Kameraoppbygging.....</i>	<i>5</i>
<i>Figur 2.2: Bayer-filter [39].....</i>	<i>5</i>
<i>Figur 2.3: Forskjellige blenderåpninger med tilhørende f-tall.....</i>	<i>6</i>
<i>Figur 2.4: Utsnitt fra to bilder tatt med forskjellige ISO-verdier [40]</i>	<i>7</i>
<i>Figur 2.5: 16 bits vs. 8 bits fargedybde.....</i>	<i>7</i>
<i>Figur 2.6: Hvitbalanse [41].....</i>	<i>8</i>
<i>Figur 2.7: Interpolasjon ved hjelp av "nærmeste nabo"-metoden</i>	<i>10</i>
<i>Figur 2.8: Forstørring ved hjelp av bilinear interpolasjon.....</i>	<i>10</i>
<i>Figur 2.9: Eksempler på moiré [42]</i>	<i>11</i>
<i>Figur 2.10: Interlaced (til venstre) og progressiv (til høyre) skanning</i>	<i>11</i>
<i>Figur 3.1: Synsnervenes baner i hjernen [16]</i>	<i>13</i>
<i>Figur 3.2: Perspektiv</i>	<i>14</i>
<i>Figur 3.3: Detaljgrad og relativ størrelse</i>	<i>14</i>
<i>Figur 3.4: Okklusjon.....</i>	<i>15</i>
<i>Figur 3.5: Lys og skygge.....</i>	<i>15</i>
<i>Figur 3.6: Relativ bevegelse</i>	<i>15</i>
<i>Figur 3.7: Eksempler på monokulære hint som er i konflikt med hverandre</i>	<i>16</i>
<i>Figur 3.8: Konvergensvinkel.....</i>	<i>17</i>
<i>Figur 3.9: Akkomodasjon/fokusering.....</i>	<i>17</i>
<i>Figur 3.10: Avstand gitt konvergensvinkel på 1 grad</i>	<i>18</i>
<i>Figur 3.11: Konvergensvinkel og akkomodasjon.....</i>	<i>18</i>
<i>Figur 3.12: Ingen vertikal parallakse</i>	<i>21</i>
<i>Figur 3.13: Vertikal parallakse.....</i>	<i>21</i>
<i>Figur 3.14: Dybdeskarphet [43]</i>	<i>22</i>
<i>Figur 3.15: Eksempel på hvordan dybdeskarpheten påvirker et bilde.....</i>	<i>22</i>
<i>Figur 3.16: 3L-regelen – Less to the Left in the Left-eye view.....</i>	<i>24</i>
<i>Figur 3.17: Stereovinduet satt ved personen midt i bildet</i>	<i>25</i>
<i>Figur 3.18: Plassering av kameraene for stereoskopiske opptak</i>	<i>25</i>
<i>Figur 3.19: Keystone-feil</i>	<i>25</i>
<i>Figur 3.20: Ideelt kameraoppsett for stereoskopiske opptak.....</i>	<i>26</i>
<i>Figur 3.21: Kameraer med og uten forskøvet linse.....</i>	<i>27</i>
<i>Figur 3.22: Høyre (øverst) og venstre (nederst) bilde forskøvet for å gi korrekt stereoskopisk dybde.....</i>	<i>28</i>
<i>Figur 3.23: Crossviewing.....</i>	<i>29</i>
<i>Figur 3.24: Parallellviewing.....</i>	<i>30</i>
<i>Figur 3.25: Stereoskopi ved hjelp av fargeseparasjon.....</i>	<i>31</i>
<i>Figur 3.26: Rammesekvensiell videostrøm</i>	<i>32</i>
<i>Figur 3.27: Polarisasjon.....</i>	<i>33</i>
<i>Figur 3.28: Prinsippet bak lentikulærskjermer.....</i>	<i>34</i>
<i>Figur 3.29: Eksempel på sammenslåing av to bilder for visning på en lentikulær skjerm.....</i>	<i>35</i>

<i>Figur 4.1: Fire forskjellige hovedretninger/metoder for forskning [11]</i>	36
<i>Figur 4.2: Sammenheng mellom antall forsøkspersoner og forskerens involvering [18]</i>	37
<i>Figur 5.1: Kamera- og PC-oppsett</i>	42
<i>Figur 5.2: Flaskehalsen i overføringen av data fra kamera til harddisk</i>	43
<i>Figur 5.3: Overføring av data fra kamera til harddisk med RAID 0 konfigurasjon</i>	44
<i>Figur 5.4: Test av lese-/skrivehastighet med 8 disker i RAID 0</i>	45
<i>Figur 5.5: Prosjektørstativ for innstilling av inntil to prosjektører</i>	46
<i>Figur 5.6: Polarisasjonsfiltre montert i stativ</i>	46
<i>Figur 5.7: Monteringsplate for kamera</i>	47
<i>Figur 5.8: Skisse av testoppsettet, sett rett ovenfra</i>	49
<i>Figur 5.9: 3-punkts lyssetting [37]</i>	50
<i>Figur 5.10: Skisse av lysoppsettet, sett ovenfra</i>	50
<i>Figur 5.11: Lysoppsettet bak den ene videoveggen</i>	51
<i>Figur 5.12: Objektene som ble filmet</i>	52
<i>Figur 5.13: Roterende bord som modellen plasseres oppå</i>	53
<i>Figur 6.1: Bilde av forsøksoppsettet</i>	54
<i>Figur 6.2: Sammenlikning av bilder tatt i forskjellig avstand fra motivet</i>	55
<i>Figur 6.3: Endring av brennvidde ved forskjellige avstander for å oppnå samme utsnitt</i>	55
<i>Figur 7.1: Presentasjonsstruktur av testmateriale [2]</i>	60
<i>Figur 7.2: Prosedyren for gjennomføringen av forsøkene</i>	61
<i>Figur 7.3: Oversikt over videoklippene som ble brukt til tilvenning</i>	63
<i>Figur 8.1: Forslag til ny plassering av videoveggene</i>	66
<i>Figur 8.2: Objektens bevegelse (sett ovenfra)</i>	68
<i>Figur 9.1: Tid foran PC per uke</i>	70
<i>Figur 9.2: Skjermstørrelse PC</i>	70
<i>Figur 9.3: Format</i>	70
<i>Figur 9.4: Tid foran TV per uke</i>	71
<i>Figur 9.5: Skjermstørrelse TV</i>	71
<i>Figur 9.6: Avstand til TV-en</i>	72
<i>Figur 9.7: Gjennomsnittsrangering av tilvenningsklippene</i>	73

TABELLISTE

<i>Tabell 3.1: Dybdeskarphetstabell [4]</i>	23
<i>Tabell 4.1: Sammenlikning av kvantitativ og kvalitativ metode [11]</i>	39
<i>Tabell 5.1: Billedrate og oppløsning for SI-3300RGB MegaCamera</i>	41
<i>Tabell 5.2: Overføringshastigheter for PCI-Express</i>	43
<i>Tabell 5.3: Sammenheng mellom oppløsning, skjermstørrelse og avstand til skjermen</i>	48
<i>Tabell 7.1: The five-grade impairment scale [2]</i>	59
<i>Tabell 7.2: Antall bilder per sekund ved forskjellige rotasjonshastigheter</i>	64
<i>Tabell 10.1: Resultatene fra forsøk 1</i>	75
<i>Tabell 10.2: Oppløsninger som ble brukt til forsøk 1</i>	76
<i>Tabell 10.3: Parametere for å beskrive feil i videoklippene</i>	76
<i>Tabell 10.4: Resultat fra forsøk 2 med 10 sekunders rotasjonshastighet</i>	79
<i>Tabell 10.5: Resultat fra forsøk 2 med 15 sekunders rotasjonshastighet</i>	79
<i>Tabell 10.6: Resultat fra forsøk 2 med 20 sekunders rotasjonshastighet</i>	79

FORKORTELSER

CCD	Charge-Coupled Device
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor
CRT	Cathode Ray Tube
DMP	Distributed Multimedia Plays
DSIS	Double-Stimulus Impairment Scale
FPS	Frames Per Second
HTPC	Home Theater Personal Computer
HDTV	High Definition TeleVision
LCD	Liquid Crystal Display
MHP	Multimedia Home Platform
PCI	Peripheral Component Interconnect
PCI-e	PCI-Express
PPI	Pixels Per Inch
RAID	Redundant Array of Independent Disks
SDTV	Standard Definition TeleVision

1. Innledning

Elektronisk utstyr blir stadig mer avansert. Kameraer tilbyr høyere oppløsninger, prosessorer blir raskere, lagringsmedienes kapasitet øker og monitører blir større – for å nevne noe. Samtidig blir dette utstyret mer og mer tilgjengelig for folk flest fordi prisene synker. Også på nettverksfronten går utviklingen framover. Kapasiteten øker og prisene synker. Per mars 2006 hadde halvparten av alle husstander i Norge installert bredbånd [1], og veksten fortsetter. Alt dette gir nye muligheter for blant annet audiovisuell kommunikasjon over nettet.

1.1 *Distributed Multimedia Plays (DMP)*

Distributed Multimedia Plays, eller DMP, er en systemarkitektur som skal kunne tilby mest mulig realistisk kommunikasjon mellom to eller flere parter som befinner seg på forskjellige steder. Konseptet ble først foreslått i et Telenor-prosjekt i 1996-1999 som en utvidelse til det kommende digitale TV-systemet Multimedia Home Platform, MHP. DMP skal blant annet kunne tilby [3]:

- Stereoskopisk multiview video
- 3D lyd
- Garantert ende til ende forsinkelse på mindre enn 10-20 ms.
- Nær naturlig lyd og bildekvalitet

Med nær naturlig bildekvalitet menes det at virkeligheten og et bilde av den, skal være umulig å skille fra hverandre. Dette stiller svært store krav til oppløsning (både i tid og rom), fargegjengivelse, kontrast, lysstyrke og alle andre parametere som påvirker bildekvalitet. For å kunne oppfylle disse kravene kreves det både kamera- og skjermteknologi utover det som er tilgjengelig i dag. Selv om det stadig utvikles bedre komprimeringsalgoritmer må man anta at det vil være snakk om datarater langt utover det både internett og de fleste intranett i dag har kapasitet til. Eksempelvis er det i dag vanlig med megabitslinjer til de enkelte husstandene, mens kravene i DMP vil ligge på gigabitsnivå. Dagens nettverk gir heller ingen garantier for ende til ende forsinkelse, noe som er meget viktig for kommunikasjon i sanntid.

Å realisere DMP-arkitekturen 100 % er derfor ikke noe man kan forvente å gjøre i løpet av noen få år. Det er noe som må skje gradvis over lang tid, etter hvert som de nødvendige teknologiene utvikler seg. Mer info om DMP finnes i memoet "Distributed Multimedia Plays – Virtual Dinner" [3], hvor professor Leif Arne Rønningen presenterer noen tanker om

hvordan DMP kan realiseres 10-20 år fram i tid, og hvilke krav som må oppfylles for å få det til. Noen eksempler på bruksområder for DMP er:

- Film/video over nettet generelt
- Musikere som kan spille sammen selv om de befinner seg på forskjellige steder
- Virtuelle familiesamlinger (middag, bursdagselskap)
- Nettmøter (videokonferanser, telefonsamtaler)
- Spill

1.2 Bakgrunn / motivasjon og problemstilling

Mye av bakgrunnen/motivasjonen for denne oppgaven er DMP og spesielt nær naturlig bildekvalitet. Som nevnt er det mange faktorer som påvirker bildekvaliteten, og vi må derfor begrense oss til å se på noen av dem. I dette prosjektet har vi valgt å fokusere på hvordan oppløsning, både romlig og tidsmessig, påvirker kvaliteten på stereoskopiske bilder. Nettopp disse parameterne er valgt ut fordi:

- Alt vi ser rundt oss er i tre dimensjoner. Stereoskopisk bildemateriale virker derfor som en naturlig utvikling på veien mot nær naturlige bilder.
- Vi vet at det er stort rom for forbedring når det gjelder romlig oppløsning. Dette ser man enkelt ved å sammenlikne et bilde tatt med for eksempel 0,5 megapiksler (~SDTV) og 2 megapiksler (~HDTV).
- Parametere som kontrast og fargegjengivelse varierer kraftig på forskjellige skjermer/skjermtyper. Ved å teste oppløsning burde det være lettere å få generelle resultater som gjelder for alle typer skjermer.
- Oppløsning, både antallet bilder per sekund og antallet punkter bildet består av, er det som i størst grad påvirker dataraten i forbindelse med video. Å finne punktet hvor økt oppløsning ikke lenger gir noen gevinst i forbindelse med bildekvaliteten, vil derfor si noe om hvilke datarater man må forvente for å nå målet om nær naturlige bilder. Siden stereoskopiske bilder krever to sett med bilder, ett til høyre og ett til venstre øye, fører dette i utgangspunktet også til en dobling av dataraten.
- Det har vært mye debatt rundt HDTV og hvilket HDTV-format man skal satse på. Diskusjonen går stort sett på hva som er å foretrekke av 720p (1280x720 piksler, progressivt) eller 1080i (1920x1080 piksler, interlaced). Selv om det ikke er hovedmålet i denne oppgaven å besvare dette spørsmålet, er det likevel interessant å se hva vi kan forvente av TV-utstyr som blir mer og mer allment tilgjengelig. I og med at både IP-telefoni og HTPC-er blir vanligere, er det ikke umulig at TV-en i kombinasjon

med stadig bedre webkameraer, blir et skritt på veien mot å realisere DMP-arkitekturen.

Hovedspørsmålene vi ønsker å få svar på er:

- Hvor høy romlig oppløsning må til for at et bilde/videoklipp oppfattes som nær naturlig?
- Hvor høy tidsmessig oppløsning må til for at bevegelsene i et videoklipp oppfattes som nær naturlig?

1.3 Rapportens inndeling

Rapporten er delt opp i 11 deler. Del 1 tar for seg motivasjonen/bakgrunnen for masteroppgaven, samt andre relevante arbeider og begrensninger man har måttet ta hensyn til.

I del 2 gjennomgås en del generelle parametere som påvirker utseendet og kvaliteten på digitale bilder.

Del 3 presenterer teori rundt virkemåten til stereoskopiske bilder, hva man må tenke på ved stereoskopiske opptak, og hvilke metoder som er tilgjengelig for framvisning.

Del 4 beskriver kvalitativ og kvantitativ forskningsmetode, aksjonsforskning, forskjellige metoder for å samle inn data, hva som menes med validitet og reliabilitet i forbindelse med resultatdata, samt metoden jeg har brukt i prosjektet.

I del 5 går jeg gjennom alt utstyret som har vært brukt i prosjektet, mens del 6 tar for seg bruken av utstyret.

Del 7 beskriver gjennomføringen av forsøkene, og i del 8 ser jeg på feilkilder i forbindelse med forsøkene.

Del 9 er en gjennomgang av spørreskjemaet som ble brukt, og i del 10 gjennomgås og diskuteres resultatene fra forsøkene.

Del 11 består av konklusjon og forslag til eventuelt videre arbeid.

1.4 Annet arbeid

Flere studier [14][15] som har analysert den subjektive bildekvaliteten på video har konkludert med at kravet til tidsmessig oppløsning varierer, avhengig av innholdet. Blant annet reagerer vi svært negativt til mennesker som beveger seg hakkete/unaturlig [14]. I en rekke tester gjennomført av BBC [21], fant man ut at kravet til romlig oppløsning i stor grad er avhengig av avstanden til skjermen. Jo nærmere skjermen man befinner seg, jo høyere oppløsning må til.

Felles for disse studiene er at de gjerne tar utgangspunkt i et originalklipp og lager flere utgaver med redusert kvalitet. Typisk er bruk av forskjellige codec-er hvor bitrate og eller oppløsning kan låses. Slike forsøk gir dermed svar på hvor god en codec er, og hvor godt et videoklipp (eller bilde) er sammenliknet med originalen. Det gir imidlertid ikke svar på hvor god originalen er, siden man ikke har noen bedre versjon å sammenlikne den mot. Nettopp det er fokuset i denne rapporten. DMP er derfor svært relevant, siden denne arkitekturen stiller krav/har som mål å få til nær naturlige bilder. Det bildematerialet som kanskje ville vært referansen ellers, blir derfor utgaven med redusert kvalitet i dette studiet. Referansen blir ganske enkelt virkeligheten.

1.5 Begrensninger / avgrensninger

Det finnes mange faktorer som påvirker bildekvalitet. For at ikke denne oppgaven skulle bli for omfattende, har jeg begrenset meg til å se på de to oppløsningsparameterne. I tillegg har jeg gått mer i dybden på stereoskopiske metoder/teknologier fordi jeg anser dette som essensielt å forstå, for å kunne nå målet om nær naturlige bilder. Andre teknologier jeg har måttet benytte meg av, for eksempel lagrings- og kamerateknologi, er kun overfladisk beskrevet.

Parametere som komprimering og krav i forhold til overføring gjennom nettverk, er utenfor denne oppgavens omfang.

2. Bildekvalitet

Med virkeligheten som referanse, er kravet til bildekvalitet naturlig nok høyt. I dette kapitlet skal jeg derfor se litt på en del faktorer som påvirker et bildes utseende. Det blir for omfattende å gå i dybden på alt, så dette blir en rask gjennomgang for å få en viss oversikt.

2.1 Fra virkelighet til bilde

Selv om det er mulig å forbedre utseendet på mange bilder i ettertid ved hjelp av et redigeringsprogram, er det en stor fordel å ha gode originalbilder å jobbe med. Dette krever kjennskap både til kameraets innstillinger og lysforhold. De fleste moderne kameraer kan gjøre mange innstillinger automatisk, men med varierende suksess. Gode lysforhold er en viktig forutsetning for bilder med god teknisk kvalitet.

Jeg begynner med en kort gjennomgang av den grunnleggende virkemåten til et kamera. Alle kameraer er i utgangspunktet bygget opp av to hoveddeler;

en linse som slipper lys inn i kameraet, og en eller flere sensorer som registrerer lysets intensitet i forskjellige punkter (pikslar). Denne sensoren kan enten være analog film, eller en digital elektronisk

lyssensor i form av en CCD- eller CMOS-brikke. Siden det aldri var aktuelt å bruke analog film, kommer jeg ikke til å diskutere



Figur 2.1: Kameraoppbygging

dette alternativet. Det er viktig å merke seg at det kun er lysets intensitet som registreres i hver piksel, det vil si at kameraet i utgangspunktet ikke ser farger. Intensiteten til de

forskjellige fargekomponentene oppnås ved at det ligger

et såkalt Bayer-filter over bildesensoren [38][39]. Dette

filteret består av røde, grønne og blå linser som dekker

hver sin piksel. I figur 2.2 ser vi at antallet grønne linser

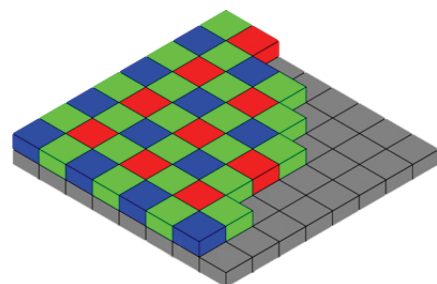
er større enn antallet røde og blå. Dette kommer av at

øyet vårt er mest følsomt for grønt lys, og det er derfor

viktigst å gjengi den grønne delen av spekteret med

størst nøyaktighet/oppløsning. Siden Bayer-filteret fører

til at vi kun har intensiteten til en av lyskomponentene for hver piksel, må bildet gjennom en



Figur 2.2: Bayer-filter [39]

prosess hvor man interpolerer seg fram til resten av fargeinformasjonen. Kvaliteten på bildet avhenger av algoritmen som blir brukt.

I kameraer med 3 bildesensorer trenger man ikke Bayer-filtre fordi lyset først går gjennom et prisme som splitter det i en rød, en grønn og en blå komponent, som deretter treffer hver sin sensor.

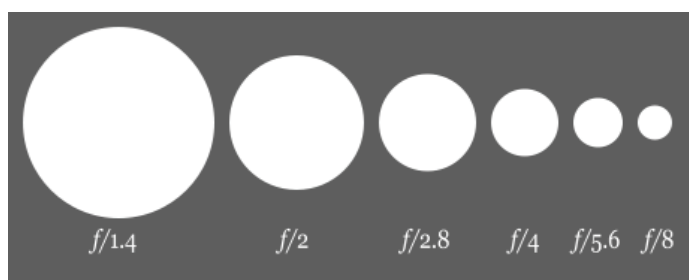
2.2 Eksponering

Dette er en svært viktig del av prosessen med å ta bilder og dreier seg om hvor mye lys som slipper inn i kameraet. Undereksponering vil si at for lite lys kommer inn i kameraet, og bildet blir mørkt og utydelig. Ved overeksponering slipper for mye lys inn, og (deler av) bildet blir i verste fall helt hvitt. Vi har tre parametere vi kan justere for å styre eksponeringen:

- størrelsen på blenderåpningen
- eksponeringstiden
- ISO-verdi/gain

2.2.1 Blenderåpning

Blenderåpningen er den åpningen som slipper lys inn i et kamera. Størrelsen på denne kan i de fleste linser varieres, og beskrives som f/x hvor x er et tall. Jo større x er, jo mindre er blenderåpningen, og mengden lys som slippes gjennom



Figur 2.3: Forskjellige blenderåpninger med tilhørende f-tall

blir derfor også mindre (se figur 2.3). En halvering av blenderåpningens størrelse betyr altså en halvvering av lysmengden som kommer inn i kameraet per tidsenhet. Størrelsen på blenderåpningen er også med på å styre dybdeskarpheten i bildet. En liten blenderåpning gir stor dybdeskarphet, mens en stor blenderåpning gir liten dybdeskarphet.

2.2.2 Eksponeringstid

Eksponeringstiden angir hvor lenge blenderåpningen holdes åpen når et bilde tas. Dobler vi eksponeringstiden, kan vi med andre ord halvere størrelsen på blenderåpningen og oppnå samme eksponering. Ulempen ved å øke eksponeringstiden er at det blir mer støy i bildene, og

motivet kan bli smurt utover hvis det er i bevegelse (ofte kalt motion blur). Eksponeringstiden må derfor tilpasses til situasjonen.

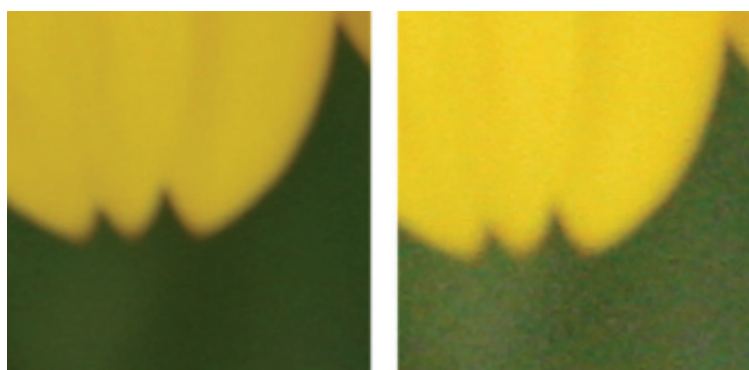
2.2.3 ISO-verdi

Det er vanlig å snakke om ASA-verdi for å beskrive hvor lysfølsom analog film er. I forbindelse med digital fotografering snakker man i stedet om ISO-verdi. Som nevnt tidligere er filmen erstattet med en bildesensor i digitale kameraer. I stedet for å bytte sensoren, kan man heller justere i hvor stor grad signalene fra sensoren skal forsterkes. ISO-verdien angir graden av denne

forsterkningen. Jo høyere ISO-verdi, jo mer forsterkning. En ISO-verdi på 200 tilsier for eksempel at man kan klare seg med halvparten så mye lys som ved ISO 100, og samtidig oppnå lik eksponering.

Ulempen ved å øke ISO-verdien er at også støyen i

bildet forsterkes, som vist i figur 2.4. På digitale videokameraer brukes gjerne betegnelsen gain for å beskrive forsterkningen av bildesignalet.



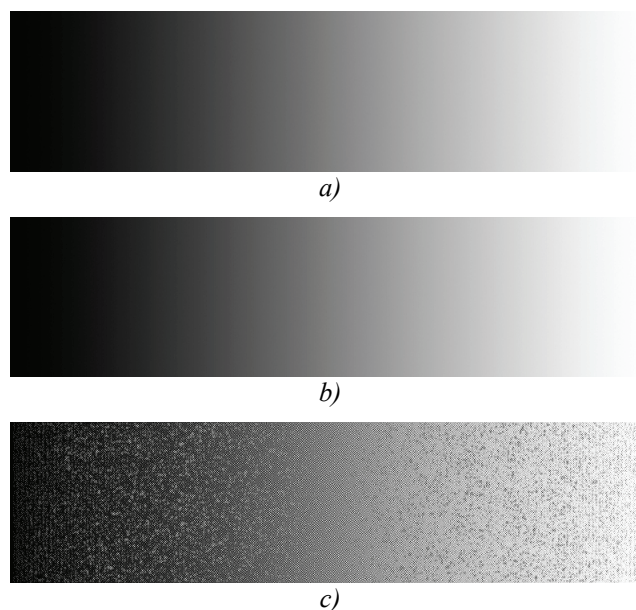
Figur 2.4: Utsnitt fra to bilder tatt med forskjellige ISO-verdier [40]

Bildet til venstre er tatt med ISO 100, mens bildet til høyre er tatt med ISO 1600 og har derfor betydelig støy.

2.3 Fargedybde

Det ble tidligere nevnt at lysets intensitet registreres i hvert enkelt punkt på bildesensoren.

Antallet intensitetsnivåer avgjøres av hvor mange bits som brukes for å beskrive en fargekomponent. Det vanligste er å bruke 8 bits per farge, som gir



Figur 2.5: 16 bits vs. 8 bits fargedybde

a) Originalen, b) 16-bitsversjon etter fem omganger med sharpen-filteret, c) 8-bitsversjon etter fem omganger med sharpen-filteret

256 intensitetsnivåer. Siden det er 3 farger blir det totalt 24 bits per piksel. Med 24 bits kan hver piksel gjengi ca. 16,7 millioner forskjellige farger. Noen kameraer støtter imidlertid 10, 12 eller 16 bits per farge, og kan dermed gjengi mange flere fargenyanser. I og med at dagens skjermer kun viser 8-bits farger vil man i utgangspunktet ikke se noen forskjell på et 8-bits og et 16-bits bilde. Hvis man derimot gjør mye postprosessering på bildene, vil det fort bli tydelig at 16-bits bildet forringes i mye mindre grad. I figur 2.5 er dette vist med en gradient som er gjort skarpere ved å kjøre *sharpen*-filteret i Adobe Photoshop fem ganger. Legg merke til hvordan 16-bitsversjonen (b) fremdeles holder god kvalitet, mens 8-bitsversjonen (c) rett og slett går i oppløsning. Forventer man å gjøre mye postprosessering, kan det derfor være en fordel å bruke så stor fargedybde som mulig. Ulempen er at bildene tar mye større plass og er mer ressurskrevende å jobbe med.

2.4 Hvitbalanse og fargekorrigering

Hvitbalanse er en form for fargekorrigering hvor man fjerner urealistiske fargeskjær i et bilde. Målet er at det vi oppfatter som hvitt i virkeligheten, også skal bli hvitt på bildet. Dette kan virke enkelt fordi øynene våre er gode til å avgjøre hva som er hvitt. Kameraer har ikke så lett for det, i og med at de ikke har forutsetninger for å forstå hvilke deler av bildet som skal være hvite. Figur 2.6 viser to bilder med henholdsvis feil og riktig hvitbalanse.



a)



b)

Figur 2.6: Hvitbalanse [41]

Bilde a) og b) viser henholdsvis feil og korrekt hvitbalanse.

Hvitbalansering kan gjøres i forbindelse med postprosessering, men det beste er å gjøre det før man tar bilder. Dette kan gjøres ved å ta bilde av en hvit flate under de samme lysforholdene som resten av bildene skal tas. Kameraet kan deretter bruke dette bildet til å

justere hvitbalansen. I forbindelse med postprosessering, angir man et punkt i bildet som man vet skal være hvit. Ved å justere fargeverdiene slik at dette punktet blir hvitt, påvirkes også fargene i resten av bildet.

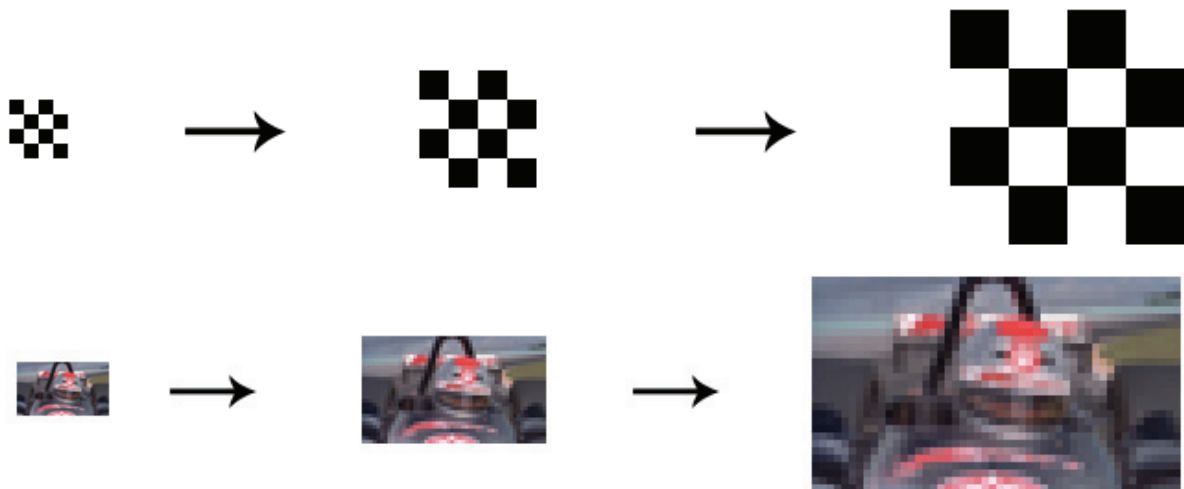
2.5 Oppløsning

Oppløsningen på et digitalt bilde sier noe om hvor mange punkter, eller piksler, bildet består av. Den oppgis vanligvis som antall piksler i bredden ganger antall piksler i høyden, eller som det totale antallet piksler (oppgis stort sett i MP, MegaPixels). Vi kaller denne formen for oppløsning romlig eller spatial. Høy spatial oppløsning gir mulighet for å gjengi små detaljer. Det er for øvrig viktig å se oppløsningen i sammenheng med størrelsen på mediet som skal brukes til framvisning. En oppløsning på 320 x 240 piksler vil for eksempel ikke se bra ut på et kinolerret, men på en mobiltelefon med en skjerm på 4 x 3 cm vil det være sylskarpt. Pikseltettheten, eller *ppi* (pixels per inch), er derfor en bedre måte å beskrive kvaliteten man kan forvente seg ved en gitt oppløsning på en bestemt skjermstørrelse. For å gjøre det enda vanskeligere må naturligvis avstanden til skjermen også tas med i beregningen.

For video har vi også en oppløsning i tidsplanet som kalles tidsmessig eller temporal oppløsning. Det er vanlig å oppgi denne som antall bilder/rammer per sekund. Ofte brukes uttrykket *fps*, som står for *frames per second*. Et lavt antall bilder per sekund gir en opplevelse av ujevne eller hakkete bevegelser.

2.6 Skalering og interpolasjon

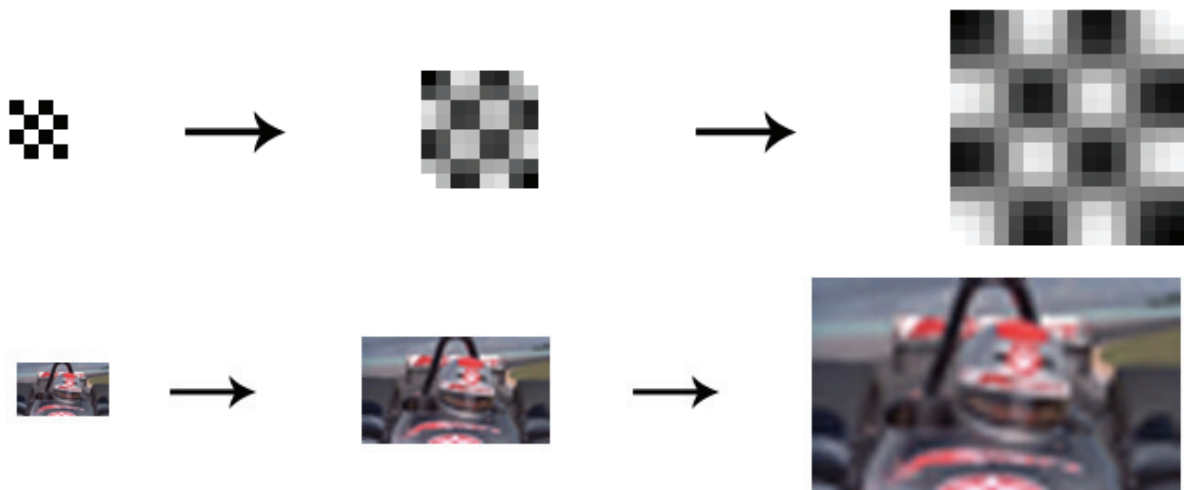
Endring av størrelsen på et bilde eller et videoklipp gjøres ved hjelp av interpolasjon. Det finnes flere interpolasjonsmetoder, og hvilken man bør velge kommer an på innholdet i bildet og hvor mye tid man har til rådighet (i forbindelse med video må for eksempel skaleringen kunne foregå i sanntid). Den enkleste er "*nærmeste nabo*"-metoden, som tar utgangspunkt i en og en piksel. Hver piksel erstattes med fire piksler i samme farge, i prinsippet det samme som å gjøre pikslene fire ganger så store. Fordelen med denne metoden er at den er rask, og den innfører ikke noen ny fargeinformasjon i bildet.



Figur 2.7: Interpolasjon ved hjelp av "nærmeste nabo"-metoden

Pikselstørrelsen firedobles ved hver forstørring. Ulempen ser vi i de nederste bildene som blir svært kornete. Bildet til venstre er originalen, mens de to neste er forstørret 2 og 4 ganger.

Andre, mer avanserte metoder er *bilineær* og *bikubisk* interpolasjon, som tar utgangspunkt i henholdsvis 4 og 16 piksler om gangen. Se [44] og [45] for mer detaljert beskrivelse av disse metodene. I figur 2.8 er den bilineære metoden brukt for å forstørre bildene. Legg merke til hvordan de nederste bildene ikke blir kornete som i figur 2.7. Det svart-hvite rutenettet mister imidlertid den skarpe kontrasten originalen har.



Figur 2.8: Forstørring ved hjelp av bilineær interpolasjon

2.7 Moiré

Moiré er et interferensmønster som gjerne oppstår rundt detaljer i bildet som nærmer seg grensen for bildesensorens oppløsning. Figur 2.9



Figur 2.9: Eksempler på moiré [42]

viser eksempler på hvordan moiré kan se ut. På TV ser man ofte denne effekten når folk har på seg klær laget av stoff med små ruter eller linjer.

2.8 Interlaced og progressiv skanning

Dette har å gjøre med hvordan bildene ”tegnes opp” på monitoren. Ved interlaced skanning vises først halve bildet (et *field*) ved å tegne opp de odde linjene på monitoren.



Figur 2.10: Interlaced (til venstre) og progressiv (til høyre) skanning

Deretter vises den andre

halvdelen av bildet ved å tegne opp linje 2, 4, 6 osv. Interlacing fører med seg en del ulemper, særlig når det er mye bevegelse i bildet (se figur 2.10). Det er vanskeligere å komprimere, og ved visning på progressive skjermer må man deinterlace bildet for å unngå at linjene som ikke blir tegnet opp skal være synlige. Fordelen med interlacing er at det sparer båndbredde. Progressiv skanning vil si at hele bildet tegnes opp fortløpende fra topp til bunn. Alle nye skjermer og prosjektører (LCD, plasma, DLP) bruker progressiv skanning.

3 Bilder i 3D

Vi lever i en tredimensjonal verden og det er dermed rimelig å anta at bilder som oppfattes som tredimensjonale vil oppleves som mer naturlig/ekte enn ”vanlige” todimensjonale bilder. Siden målsettingen med dette prosjektet er å se hvor nært opptil virkeligheten vi kan komme med utstyret vi har tilgjengelig, er det derfor et poeng å bruke bildemateriale hvor seeren ikke bare opplever bredde og høyde i bildet, men også dybde. I denne delen av oppgaven skal jeg gå gjennom forskjellige teknikker for å framstille bilder som oppfattes som tredimensjonale. Jeg begynner med å se på hvordan opptak gjøres og hvilke hensyn man må ta for å få brukbart bildemateriale. Deretter tar jeg en gjennomgang av forskjellige teknologier for framvisning, styrker og svakheter ved disse, og grunnen til at valget falt på polarisasjonsmetoden. Aller først skal jeg imidlertid begynne med å definere begrepet stereoskopi og ta en rask gjennomgang av hvordan synet vårt fungerer.

3.1 Stereoskopi

Definisjon [13]:

læren om å danne et tredimensjonalt (romlig) visuelt inntrykk for en observatør på grunnlag av to sentralperspektiviske bilder av et objekt, med ulike opptakssteder.

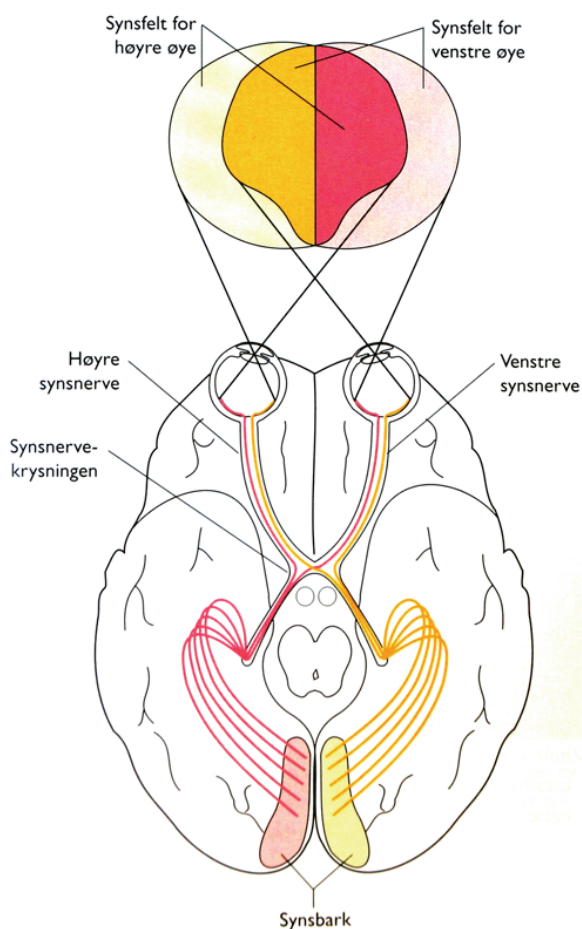
Sagt på en mer forståelig måte betyr dette at vi med utgangspunkt i to vanlige bilder av det samme objektet/den samme scenen, tatt fra litt forskjellige vinkler, lurer hjernen til å tro at vi virkelig ser en tredimensjonal scene. Grunnprinsippet for denne illusjonen er å sørge for at hvert øye kun ser ett av bildene. Hvordan dette gjøres kommer jeg tilbake til i delen om stereoskopiske framvisningsteknologier.

Prinsippet med å bruke to bilder, tatt fra forskjellige synsvinkler, er egentlig ganske logisk med tanke på at det også er sånn det fungerer i virkeligheten. Øynene våre har en horisontal avstand på 5 til 7 cm (vanlig å gå ut fra en standardavstand på 6,35 cm/2,5 tomme) og hjernen mottar derfor to bilder tatt fra forskjellige vinkler. Når man skal gjøre stereoskopiske opptak forsøker man å etterlikne dette ved å bruke to kameraer som ideelt sett plasseres ved siden av hverandre i øyeavstand. Detaljene rundt stereoskopiske opptak vil bli gjennomgått senere, men for å lettere forstå hvordan stereoskopi fungerer skal vi først se på hvordan synet vårt fungerer.

3.2 Synet

Øyets oppbygning og synets virkemåte er beskrevet i detalj mange steder [16]. Kort fortalt reflekteres lyset som treffer omgivelsene rundt, passerer gjennom hornhinna, linsa og treffer til slutt netthinna bestående av staver og tapper. Stavene er svært lysfølsomme, men gir ikke noe fargesyn. Tappene derimot gir oss fargesyn, men er avhengig av forholdsvis gode lysforhold. Fra netthinna ledes synsinformasjonen til hjernen via synsnervene. Synsnervene fra høyre og venstre øye møtes i synsnervekrysningen, like foran hypofysen. Her fortsetter halvparten av nervefibrene fra det høyre øyet over til venstre, og tilsvarene motsatt for nervefibrene fra det venstre øyet. Figur 3.1 viser hvordan informasjonen fra den høyre delen

av **begge** netthinnene våre overføres til den venstre siden av hjernen, mens informasjonen fra den venstre delen av netthinnene går til den høyre hjernehalvdelen. Vi ser også hvordan store deler av synsfeltet til de to øynene overlapper og vi får det vi kaller binokulært syn, fordi et bestemt område av omgivelsene blir avbildet i begge øynene. På grunn av den interokulære avstanden (avstanden mellom øynene) ser ikke dette fellesområdet helt likt ut i begge øynene. Dette gjør hjernen i stand til å tolke bildene slik at vi får dybdesyn og dermed evne til avstandsbedømming. Vi kan merke oss at forskjellen på de to bildene i det overlappende området blir mindre jo lenger bort det vi ser på befinner seg. Det er derfor vanskelig å bedømme avstanden til et objekt som er langt borte, og vi benytter oss derfor av tillært erfaring. Eksempelvis vet vi at en buss er et relativt stort objekt. Hvis bussen ser liten ut er det dermed naturlig å tro at den befinner seg langt unna. Dette er et eksempel på et såkalt monokulært holdepunkt for dybdesyn. Andre eksempler på denne typen hint er [22]:



Figur 3.1: Synsnervenes baner i hjernen [16]

Venstre øyes synsfelt går til venstre del av hjernen og høyre del av synsfeltet går til høyre hjernehalvdel.

3.2.1 Perspektiv

Linjer som er parallelle konvergerer jo lenger unna de kommer. Figur 3.2 er et godt eksempel på dette. Selv om dette er et todimensjonalt bilde får vi følelsen av dybde fordi de rette linjene i bildet ser ut til å møtes i horisonten.



Figur 3.2: Perspektiv

Legg merke til hvordan de rette linjene i bildet, for eksempel veien til høyre blir mindre og mindre og ser ut til å konvergere mot et punkt i horisonten.

3.2.2 Detaljgrad

Jo lenger unna et objekt befinner seg, desto færre detaljer er vi i stand til å oppfatte. Blasse farger og liten kontrast mot bakgrunnen tyder også på at objektet vi ser på er et stykke unna. Dette er relativt tydelig i figur 3.3.

3.2.3 Størrelsen på kjente objekter

Som nevnt vil objekter som vi vet er store, men som ser små ut, oppfattes som langt unna. Har vi to objekter med kjent størrelse og de ser like store ut, kan vi gå ut fra at det minste av objektene er nærmest oss. Figur 3.3 viser også dette tydelig med personene i forgrunnen som ser nesten like lange ut som rullebanen på flyplassen i bakgrunnen.



Figur 3.3: Detaljgrad og relativ størrelse

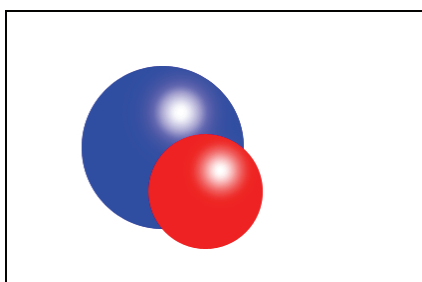
Legg merke til hvordan det blir mindre detaljer og blassere farger i horisonten. Se også på størrelsen til personene i forhold til rullebanen på Værnes i bakgrunnen.

3.2.4 Blokkering av sikt (okklusjon)

Når et objekt blokkerer for sikten til et annet objekt må det nødvendigvis ligge nærmere kameraet (se figur 3.4).

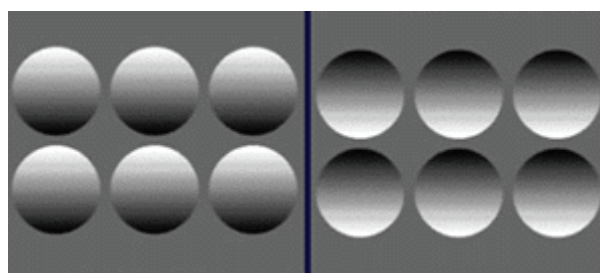
3.2.5 Lys og skygger

Lys og skygge kan gi informasjon om et objekts dimensjoner og dybde [35]. Vårt visuelle system antar at lys stort sett kommer ovenfra og et bilde kan derfor se helt annerledes ut (med tanke på oppfattelsen av dybde) når vi snur det opp ned, se figur 3.5.



Figur 3.4: Okklusjon

Fordi den røde kula dekker over deler av den blå oppfattes den som nærmere.



a)

b)

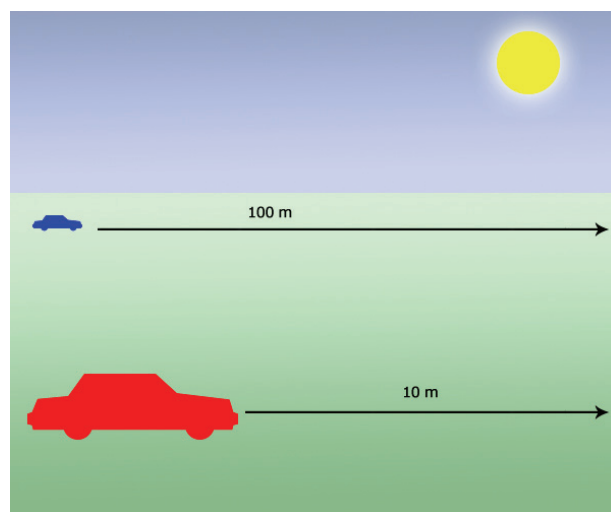
Figur 3.5: Lys og skygge

Fordi vi er vant til at lyset kommer ovenfra oppfattes de to bildene over helt forskjellig til tross for at b) er a) opp ned.

3.2.6 Relativ bevegelse

Objekter langt unna ser ut til å bevege seg tregere enn objekter i forgrunnen. Har man for eksempel to biler som beveger seg horisontalt over skjermen og kjører med samme hastighet, vil den bilen som er nærmest se ut til å bevege seg fortere, fordi den krysser synsfeltet vårt i løpet av kortere tid, se figur 3.6.

Binokulært syn, eller den binokulære forskjellen (forskjellen mellom de overlappende synsfeltene), er likevel det viktigste hintet som gjør oss i stand til å oppfatte dybde. Man skal imidlertid være klar over at de monokulære holdepunktene kan ha



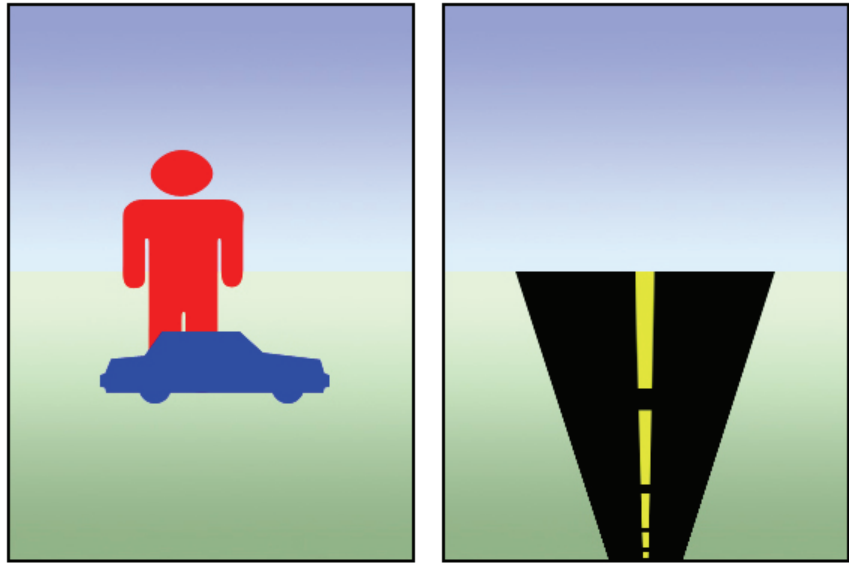
Figur 3.6: Relativ bevegelse

Fordi synsfeltet vårt blir bredere desto større avstand, vil bilen i horisonten måtte krysse en større avstand for å bevege seg fra det ene til det andre ytterpunktet av synsfeltet vårt, i forhold til bilen som er mye nærmere oss.

en ugunstig effekt hvis de presenteres feil. Resultatet av en konflikt mellom dybdehint kan være:

- Et av hintene blir dominerende og det er kanskje ikke det riktige/tilsiktete
- Følelsen av dybde blir over-/underdrevet
- Bildet blir ubehagelig/slitsomt å se på
- Det blir vanskelig å få de to bildene til å flyte sammen til ett

I forbindelse med stereoskopiske opptak er det derfor viktig å ha disse punktene i bakhodet. Hvis ønskelig kan man benytte dem til å forbedre dybdeeffekten i en scene, men man må i hvert fall sørge for at det ikke blir konflikt i forhold til den binokulære forskjellen.



Figur 3.7: Eksempler på monokulære hint som er i konflikt med hverandre.

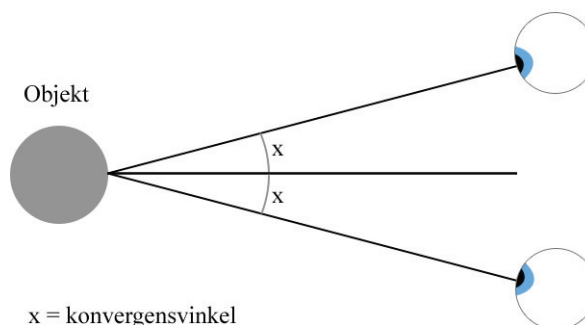
Det skal også nevnes at ca. 10 % (dette tallet er litt usikkert) av befolkning lider av såkalt stereoblindhet, noe som betyr at de ikke har binokulært syn. For dem vil derfor de monokulære hintene derfor være ekstra viktige. Figur 3.7 viser eksempel på et bilde hvor de monokulære er i konflikt med hverandre.

3.3 Akkomodasjon og konvergens

To begrep som er essensielle å kjenne til og forstå i forbindelse med stereoskopi er akkomodasjon og konvergens(vinkel). Akkomodasjon er evnen øyets linse har til å endre fasetning for å fokusere på objekter i forskjellige avstander. Konvergensvinkelen er den vinkelen øyet har i forhold til objektet man ser på.

3.3.1 Konvergens

Den enkleste måten å forstå dette på er å få en person til å fokusere på et objekt som man sakte fører nærmere vedkommende. Etter hvert som objektet kommer nærmere, vil man se at øynene roterer innover mot hverandre (vedkommende skjeler), for å følge objektet. Når objektet beveges bort vil øynene rotere utover igjen inntil de ser parallelt rett fram. Vinkelen øynene har inn mot objektet de ser på kalles konvergensvinkelen og blir større jo nærmere objektet man kommer [17]. Det er verdt å merke seg at en stor konvergensvinkel er slitsomt for øynene. Dette kan lett bekreftes ved å plassere for eksempel en finger noen cm rett foran nesa. Man vil umiddelbart merke at det er anstrengende, og jo nærmere man fører fingeren, desto verre blir det.



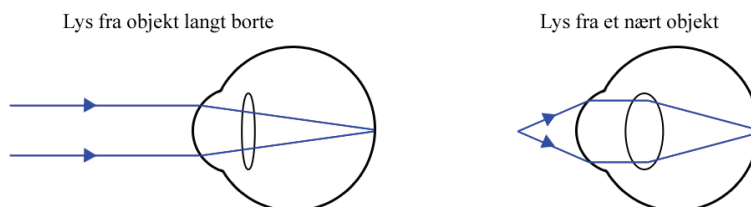
Figur 3.8: Konvergensvinkel

Vinkelen øyet har når den ser på et objekt i forhold til når det ser rett fram.

3.3.2 Akkomodasjon

Akkomodasjon er som sagt den endringen som gjøres i øyets linse, for at vi skal kunne se skarpt på forskjellige avstander [16].

Figur 3.9 viser hvordan linsa må endre fasong når



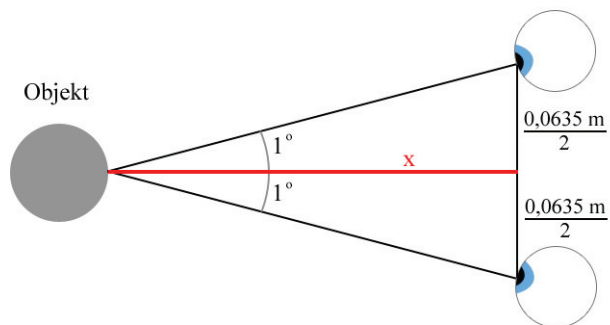
Figur 3.9: Akkomodasjon/fokusering

Endringen i øyets linse når man fokuserer på objekter i forskjellig avstand (strålegangen gjennom øyet er tegnet forenklet).

man ser på et objekt langt borte, og på et nært objekt, for at lyset skal treffe netthinna. Linsas fasong endres ved hjelp av *ciliarlegemet* som ligger som en ring rundt linsa. Når vi ser på objekter langt borte er musklene i ciliarlegemet avslappet, noe som fører til at fibre som knytter det til linsa er stramme. Linsa får dermed en flat fasong. Når vi fokuserer på nære objekter strammes ciliarlegemet, fibre blir slakke og linsa blir rundere. Det er begrenset hvor nært vi klarer å fokusere på et objekt, og de fleste vil ikke klare å fokusere på noe som er nærmere enn 10-12 cm.

3.3.3 Konvergens og akkomodasjons rolle i forbindelse med dybdesynet vårt

Det som skjer når man ser på et relativt nært objekt er altså at øynene roterer litt innover mot midten. Hjernen registrerer hvor mye øynene har rotert, konvergensvinkelen, og ut fra dette kan den avgjøre omtrent hvor langt unna objektet er. Avstanden til objektet avgjør hvordan man må fokusere, det vil si hvor mye endring som må gjøres i linsas fasjon [17]. Det skal sies at man ikke er



Figur 3.10: Avstand gitt konvergensvinkel på 1 grad
Avstand til objektet og konvergensvinkel stemmer overens.

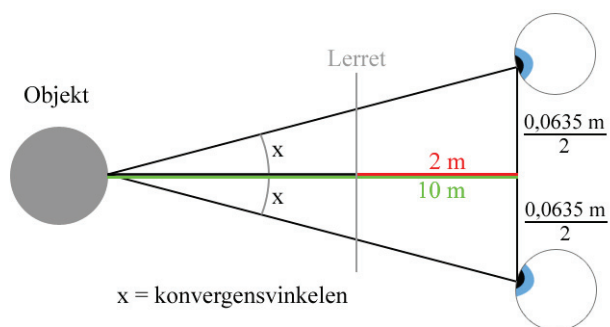
helt sikker på hvilken rekkefølgen dette skjer i, men egen erfaring med stereoskopiske bilder tilsier at jeg først får bildene til å flyte sammen til ett, for så å fokusere så de blir skarpe. Figur 3.10 viser et eksempel hvor konvergensvinkel er på 1 grad og øyeavstand er 6,35 cm. Avstanden x til objektet blir da:

$$x = (0,0635 \text{ m} / 2) / \tan(1^\circ) = 1,8 \text{ m}$$

Problemet med stereoskopi er at bildene som vises egentlig er todimensjonale, og avstanden til skjermen/lerretet de vises på er derfor konstant. Et eksempel [17] for å forklare problemet med dette er følgende:

Man ønsker å vise et stereoskopisk bilde av et objekt som befinner seg 10 meter unna. Ved hjelp av to kameraer plassert side om side, 10 meter unna objektet, tar man to bilder. Man benytter seg av en stereoskopisk

framvisningsmetode og viser det stereoskopiske bildet på et lerret som er plassert 2 meter unna seeren. Hjernen mottar to forskjellige bilder av kula, ett fra hvert øye, og justerer konvergensvinkelen slik at de flyter sammen til ett. Konvergensvinkelen antyder hvor langt unna objektet befinner seg, og linsenes fasjon justeres (akkomodasjon) for å oppnå fokus på 10 meters hold. Problemet er at den faktiske avstanden til lerretet hvor bildet vises bare er 2



Figur 3.11: Konvergensvinkel og akkomodasjon
Uoverensstemmelse mellom konvergensvinkel og akkomodasjon ved stereoskopisk framvisning.

meter. Resultatet er et bilde som er helt ute av fokus. Hjernen forstår ikke disse motstridende signalene og vil forsøke å gjøre bildet skarpt ved å endre fasingen på linsa. Denne uoverenstemmelsen mellom konvergens og akkomodasjon kan bli slitsom og gi ubehag, for eksempel hodepine, i lengden. I disse forsøkene, hvor det er ønskelig at 3D-effekten skal føles naturlig, bør man derfor tilstrebe at konvergens og akkomodasjon stemmer overens i best mulig grad. Rent praktisk betyr det at opptak bør gjøres i omtrent samme avstand som de skal vises seeren, noe som er relativt enkelt å få til i kontrollerte omgivelser. Hvor stor forskjell som er akseptabel mellom avstanden konvergensvinkelen antyder og den faktiske avstanden til visningsmediet, er diskutert i "*Stereoscopy, Principles and Applications*" [17], av Marc Bernatchez.

3.4 Stereoskopiske opptak

Som vi nå vet er stereoskopi en måte å skape en illusjon av dybde, ved å presentere forskjellige bilder til hvert øye. For å få til dette må det gjøres to sett med opptak og opptakene må gjøres med en horisontal avstand. Hvor stor denne avstanden skal være kommer litt an på hva vi ønsker å oppnå. Hvis målet er å skape en mest mulig naturlig dybdefølelse bør avstanden tilsvare øyeavstanden vår. Ønsker man å overdrive dybdefølelsen, for eksempel i et landskapsbilde hvor det kan være vanskelig å bedømme avstanden, kan avstanden mellom kameraene økes.

3.4.1 Generelt om fotografering

Hvis man ønsker å ta gode bilder bør man først gjøre seg kjent med utstyret, slik at den tekniske kvaliteten blir bra. Med teknisk kvalitet mener jeg for eksempel riktig eksponering i forhold til lysforholdene, fokus i riktig plan, tilstrekkelig dybdeskarphet osv. Dette er ting som i stor grad er avhengig av korrekte kamerainnstillinger og er i den forstand noe man kan lese seg til (se kapittel 2). Dette danner grunnlaget for det mer kunstneriske aspektet ved det å ta gode bilder, for eksempel komposisjon, utsnitt, valg av fokus og dybdeskarphet for å framheve objekter osv.

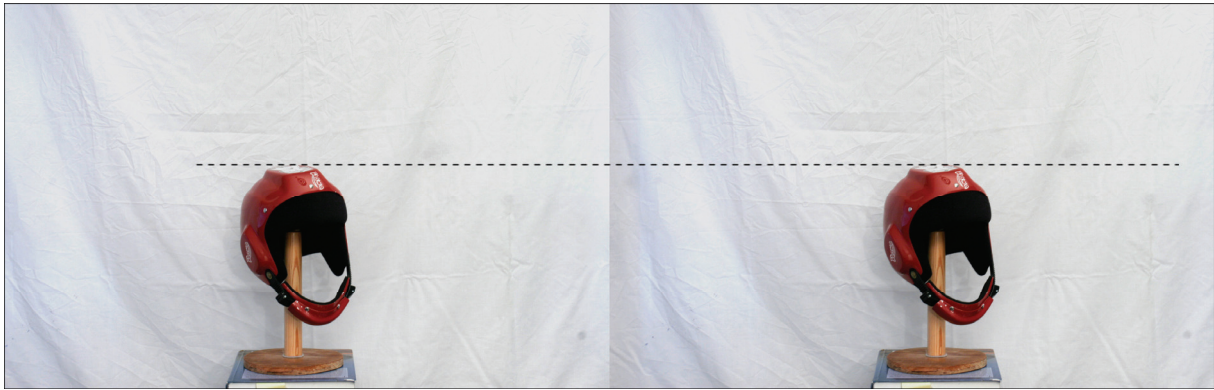
Når man skal ta stereoskopiske bilder dukker det opp en rekke nye momenter man må ta hensyn til, både på den tekniske og på den mer kunstneriske siden. Noen av disse momentene kan betegnes som regler og bør alltid følges, mens andre er mer å regne som generelle retningslinjer. Noen av reglene/retningslinjene som ofte går igjen er [12][36]:

- Det må ikke være en vertikal parallakse.
- Hele bildet bør ligge bak stereovinduet.
- Hele bildet bør være i fokus.
- Ikke sikt kameraene direkte mot objektet som skal filmes, hold dem heller parallelt i forhold til hverandre.
- Avstanden til det nærmeste objektet i scenen bør være 20 til 30 ganger større enn avstanden mellom kameraene.
- Unngå bruk av zoom. Reduksjonen av angulær oppløsning kan ødelegge dybdeoppfattelsen.
- Forsøk å få med en del av bakgrunnen, for eksempel bakken og omliggende objekter. Dette vil gi en bedre følelse av dybdegradienten og forbedre den stereoskopiske effekten.
- Desto større avstand mellom kameraene, jo mer dybde blir det i bildet.

I den neste delen av rapporten skal jeg gå grundigere gjennom de reglene jeg mener er viktigst i forbindelse med dette prosjektet.

3.5.2 Det må ikke være en vertikal parallakse

Jeg har tidligere beskrevet hvordan øynene roterer innover, konvergerer, når vi ser på et nært objekt. Dette gjør oss i stand til å kompensere for horisontale forskjeller i stereoskopiske bildepar. Å korrigere for vertikale forskjeller ved å se ned med et øye og opp med det andre, klarer vi derimot ikke. Hvis objektene i de to bildene som utgjør et stereoskopisk bilde ikke ligger i samme høyde, får vi derfor et problem. Figur 3.12 og 3.13 viser eksempler på bildepar som henholdsvis ikke har og har en vertikal parallakse. Legg merke til hvordan det høyre bildet i figur 3.13 er forskjøvet nedover. Stereoskopiske bilder med vertikal parallakse er svært anstrengende å se på, og blir parallaksen for stor klarer vi ikke lenger å smelte bildene sammen til ett. Det er ikke mye som skal til før det blir ubehagelig, og dette er derfor en viktig regel man **alltid** bør følge.



Figur 3.12: Ingen vertikal parallakse

Objektene på de to bildene ligger på samme horisontale nivå, noe som betyr at det ikke er en vertikal parallakse.



Figur 3.13: Vertikal parallakse

Det høyre bildet er her forskjøvet nedover slik at det blir en vertikal parallakse. Dette fører til at det blir slitsomt og ubehagelig å se på bildene i 3D.

3.4.3 Bildene må være i fokus og ha god dybdeskarphet

Fokus i denne sammenheng vil si at objektet vi tar bilde av framstår som klart og tydelig, mens dybdeskarphet sier noe om det området foran kameraet (i dybderetning) hvor objekter vil være i fokus.

Dybdeskarpheten i et bilde avgjøres blant annet av størrelsen på blenderåpningen i kameraet. Jo mindre blenderåpning, jo større blir dybdeskarphetsområdet. Hvor stor dybdeskarphet som er nødvendig kommer helt an på scenen det skal tas bilde av, og avstanden fra kameraet til det nærmeste objektet som skal være i fokus.

Generelt sett kan man si at dybdeskarpheten blir dårligere hvis man tar bilder veldig nært objektet man fokuserer på, eller med mye zoom. Vidvinkel og stor avstand fungerer motsatt og gir større dybdeskarphet. For å gjøre dette enklere, finnes det tabeller som kan være til hjelp for å bestemme hvor liten blenderåpning en må bruke for å oppnå en gitt dybdeskarphet

på en viss avstand.

Tabell 3.1 viser for eksempel en oversikt over dybdeskarpheten ved bruk av et 50 mm objektiv på et digitalt speilreflekskamera.

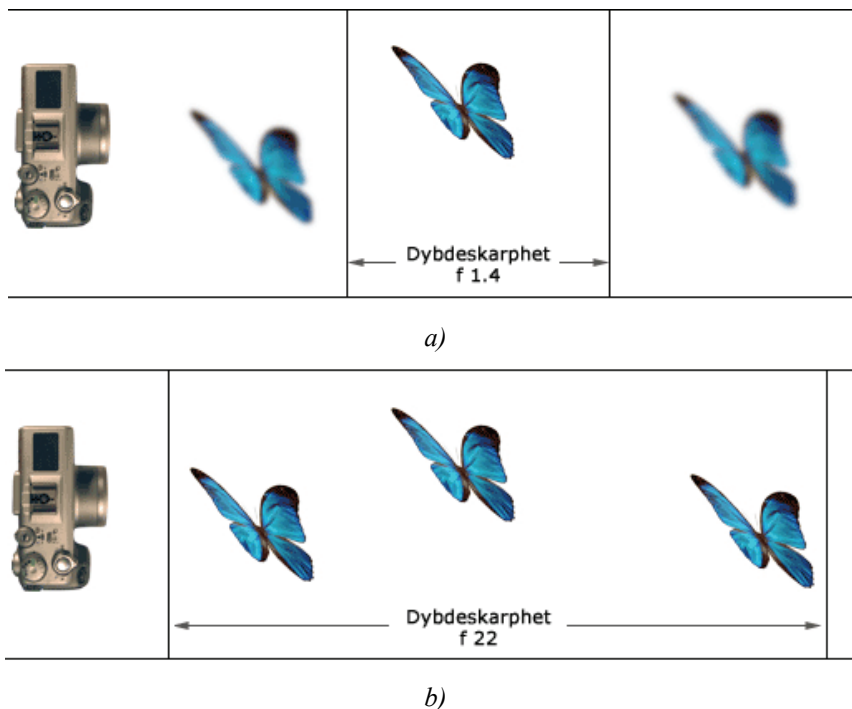
Tallene øverst, f/1.4 osv. angir størrelsen på blenderåpningen.

Desto større tall, desto mindre blenderåpning og dermed større

dybdeskarphet. Vi ser for eksempel at ved en

avstand på 2 meter fra objektet det tas bilde av og en blenderåpning på f/8, vil alt som befinner seg i området mellom 1,79 og 2,27 meter, være i fokus samtidig.

Problemet med å redusere blenderåpningen er at det kommer mindre lys inn i kameraet. Til en viss grad kan man kompensere for dette ved å bruke mer lysfølsom film, eller øke ISO-verdien på digitale kameraer. Dette gir imidlertid bilder med mer støy. Løsningen er derfor å bruke mye lys.



Figur 3.14: Dybdeskarphet [43]

Lite f-tall betyr liten dybdeskarphet, mens stort f-tall gir stor dybdeskarphet.



Figur 3.15: Eksempel på hvordan dybdeskarpheten påvirker et bilde

Bildet til høyre er tatt med en blenderåpning på f/16, mens bildet til venstre er tatt med f/4. Legg merke til hvordan hele bildet er i fokus til høyre, mens bare lyset i forgrunnen er skarpt til venstre.

Når vi tar stereoskopiske bilder ønsker vi ofte at alt som befinner seg i kameraets synsfelt skal være i fokus. Dette gjelder kanskje spesielt i et prosjekt som dette, fordi vi skal gjøre en direkte sammenlikning mellom virkelighet og bilde. Når man ser på noe, forsøker øynene våre automatisk å fokusere best mulig. Hvis man ikke klarer å fokusere og se tydelig, føles det ubehagelig. Ser man inn i et rom med diverse objekter plassert i forskjellig avstand, vil man fokusere forskjellig avhengig av om objektet man ser på er nært eller langt borte. Når man fokuserer på noe nært, vil det som ligger lenger unna bli uklart og motsatt. Hvis man så lager et stereoskopisk bilde av det samme rommet, hvor kameraet fokuserer på de nære objektene og dybdeskarpheten er dårlig, vil deler av bildet være skarpt og deler være uskarpt. Når man forsøker å fokusere på objektene lengst bort, vil disse ikke kunne bli skarpe uansett, fordi selve bildet er uskarpt. Dette er ubehagelig og virker definitivt ikke spesielt naturlig. Vi trenger derfor en dybdeskarphet som er stor nok til at alt som befinner seg i området, fra det nærmeste objektet til objektet lengst unna, kan være i fokus samtidig.

Depth of Field Table

Focal Length:	Film Format, Digital Camera, or Circle of Confusion:	Units:
50 mm	Canon 20D	meters

Calculate

Canon 20D Focal Length: 50 mm																				
Distance (meters)	f/1.4		f/2		f/2.8		f/4		f/5.6		f/8		f/11		f/16		f/22		f/32	
	Near	Far	Near	Far	Near	Far	Near	Far	Near	Far	Near	Far	Near	Far	Near	Far	Near	Far	Near	Far
0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.26	0.24	0.26	0.24	0.26
0.5	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.49	0.51	0.49	0.51	0.49	0.51	0.48	0.52	0.47	0.53	0.46	0.54	0.45	0.56
0.75	0.74	0.76	0.74	0.76	0.74	0.76	0.73	0.77	0.73	0.77	0.72	0.78	0.71	0.80	0.69	0.82	0.67	0.85	0.64	0.90
1	0.99	1.01	0.99	1.01	0.98	1.02	0.97	1.03	0.96	1.04	0.95	1.06	0.92	1.09	0.90	1.13	0.86	1.20	0.81	1.30
1.5	1.48	1.52	1.47	1.53	1.45	1.55	1.44	1.57	1.41	1.60	1.38	1.65	1.33	1.71	1.28	1.82	1.20	2.00	1.11	2.32
2	1.96	2.04	1.94	2.06	1.92	2.09	1.89	2.13	1.85	2.18	1.79	2.27	1.71	2.40	1.62	2.62	1.50	3.01	1.36	3.80
2.5	2.44	2.57	2.41	2.60	2.37	2.64	2.33	2.70	2.26	2.79	2.18	2.94	2.06	3.17	1.93	3.56	1.76	4.32	1.57	6.19
3	2.91	3.10	2.87	3.14	2.82	3.20	2.75	3.30	2.66	3.44	2.54	3.66	2.39	4.02	2.21	4.68	1.99	6.09	1.75	10.6
3.5	3.37	3.63	3.33	3.69	3.26	3.78	3.17	3.91	3.05	4.11	2.89	4.43	2.70	4.98	2.47	6.03	2.20	8.61	1.90	21.7
4	3.84	4.18	3.77	4.26	3.69	4.37	3.57	4.55	3.42	4.82	3.23	5.26	2.99	6.06	2.70	7.70	2.38	12.5	2.04	102
4.5	4.29	4.73	4.21	4.83	4.11	4.98	3.96	5.20	3.78	5.56	3.54	6.17	3.25	7.29	2.92	9.81	2.55	19.2	2.16	∞
5	4.75	5.28	4.65	5.41	4.52	5.60	4.35	5.89	4.12	6.35	3.84	7.15	3.51	8.71	3.12	12.6	2.70	33.6	2.27	∞
5.5	5.20	5.84	5.08	6.00	4.92	6.23	4.72	6.59	4.46	7.18	4.13	8.23	3.75	10.4	3.31	16.3	2.84	88	2.37	∞
6	5.64	6.41	5.50	6.60	5.32	6.88	5.08	7.32	4.78	8.06	4.41	9.40	3.97	12.3	3.48	21.7	2.97	∞	2.45	∞
8	7.37	8.75	7.14	9.10	6.83	9.65	6.44	10.5	5.96	12.2	5.39	15.5	4.75	25.3	4.07	240	3.38	∞	2.73	∞
10	9.03	11.2	8.69	11.8	8.24	12.7	7.68	14.3	7.00	17.5	6.23	25.3	5.39	69	4.53	∞	3.69	∞	2.92	∞
15	12.9	17.9	12.2	19.4	11.4	22.1	10.3	27.5	9.13	42.0	7.86	165	6.56	∞	5.32	∞	4.20	∞	3.24	∞
20	16.5	25.5	15.3	28.7	14.0	35.0	12.4	51	10.8	141	9.04	∞	7.37	∞	5.84	∞	4.51	∞	3.42	∞
30	22.7	44.2	20.6	55	18.3	84	15.7	335	13.1	∞	10.6	∞	8.39	∞	6.46	∞	4.88	∞	3.62	∞
50	32.5	108	28.4	208	24.1	∞	19.9	∞	15.9	∞	12.4	∞	9.44	∞	7.07	∞	5.21	∞	3.80	∞
∞	93	∞	66	∞	46.6	∞	32.9	∞	23.3	∞	16.5	∞	11.7	∞	8.27	∞	5.87	∞	4.16	∞
Hyperfocal Distance	93		66		46.6		32.9		23.3		16.5		11.7		8.27		5.87		4.16	
Circle of confusion: 0.019 mm																				

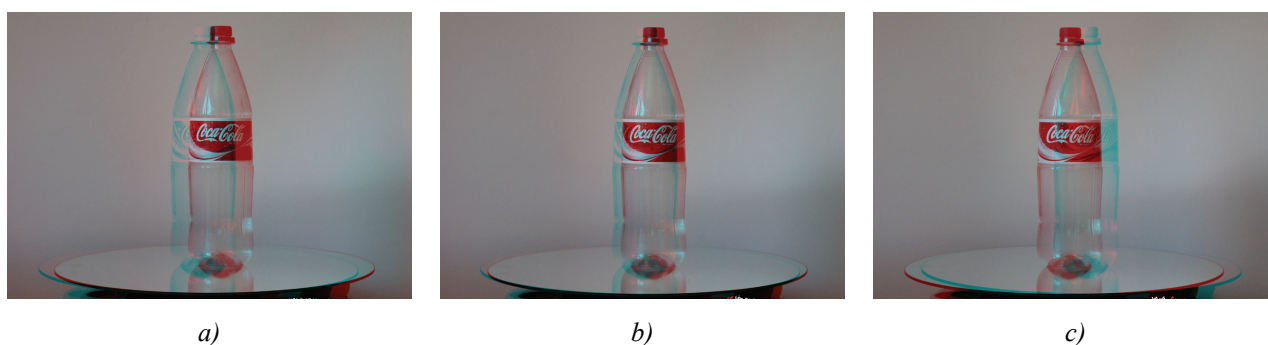
Tabell 3.1: Dybdeskarphetstabell [4]

Oversikt over dybdeskarpheten ved forskjellig avstand, brennvidde og blenderåpning.

3.4.4 Hele bildet bør ligge bak stereovinduet

Dette er ikke en regel som alltid må følges, men når man gjør avvik fra den bør det være bevisst og for å oppnå en bestemt effekt.

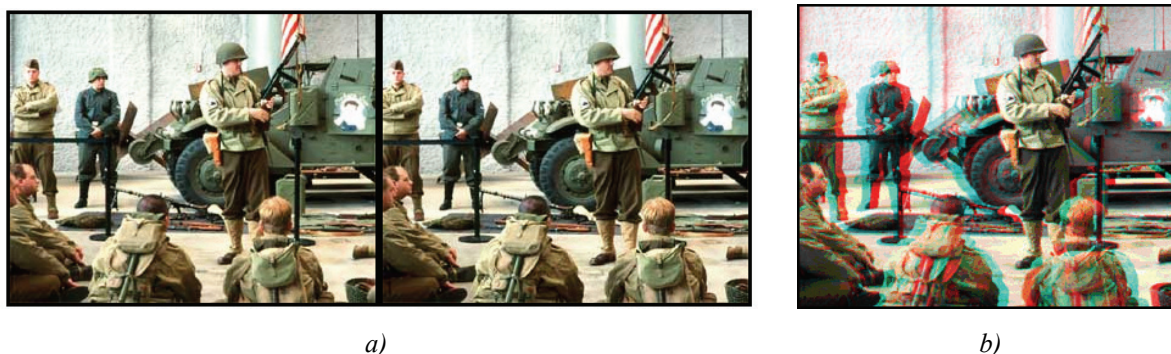
Med stereovinduet mener vi det ”vinduet” som rammen rundt det stereoskopiske bildet danner. Den enkleste måten å sikre at alt havner bak stereovinduet er å bruke den såkalt 3L-regelen som sier følgende: *”Less to the Left in the Left-eye view”*. Når man skal bruke denne regelen tar man utgangspunkt i det objektet i scenen som befinner seg nærmest kameraet. Hvis dette objektet befinner seg bak stereovinduet, vil nødvendigvis alt annet også gjøre det. Ved å sørge for at avstanden fra dette objektet til venstre bildekant er minst på det bildet som skal presenteres for det venstre øyet, er man sikret at objektet havner bak stereovinduet. Hvis avstanden fra venstre bildekant er lik på begge bildene, dvs perfekt overlapping, vil objektet bli liggende akkurat i stereovinduplanet. Dette er demonstrert i figur 3.16.



Figur 3.16: 3L-regelen – Less to the Left in the Left-eye view

I a) ligger flaska bak stereovinduet, i b) ligger den ca. i stereovinduplanet og i c) ligger den foran. Den blå delen av flaska utgjør det venstre øyets bilde og vi ser hvordan avstanden til venstre bildekant stemmer med 3L regelen. Grunnen til at flaskene i b) ikke overlapper 100 % er at det objektet som er nærmest i bildet, egentlig er framkanten av speilet.

Figur 3.17 demonstrerer ett av problemene man kan komme borti hvis man lar deler av bildet komme ut av stereovinduet. I dette bildet er stereovinduet satt like foran personen i midten av bildet. Effekten dette gir er at personene i forkant av bildet er kuttet av ved midjen, og ser ut til å sveve i løse lufta. Skal man la objekter komme ut av bildet, er det derfor et poeng å plassere dem slik i bildet at de ikke er i kontakt med deler av bilderammen.

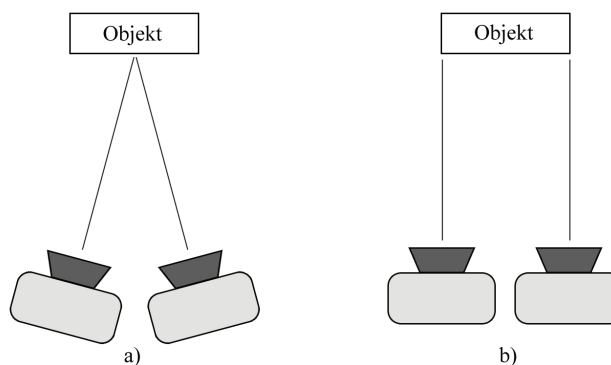


Figur 3.17: Stereovinduet satt ved personen midt i bildet

Stereovinduet er satt slik at alt foran personen midt i bildet ser ut til å komme ut av skjermen/papiret. Dette gir en uheldig effekt fordi personene i forgrunnen ser ut til å sveve i lufta. a) er for crossviewing, b) er anaglyph

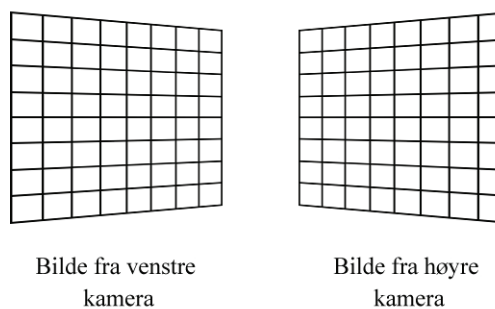
3.4.5 Kameraene må ikke vinkles inn mot objektet

Når man setter opp kameraene for å gjøre stereoskopiske opptak har man to mulige konfigurasjoner. Den ene måten er å plassere kameraene parallelt i forhold til hverandre slik at begge peker rett fram. Det andre alternativet er å vinkle kameraene litt innover mot midten, gjerne slik at objektet man fokuserer på befinner seg på samme sted i bildet på begge kameraene (objektet blir liggende i stereovinduplanet). Den siste metoden regnes ofte for å være feil [22] fordi den introduserer en viss forvrengning av bildet, såkalt *keystone-feil*. I figur 3.19 er dette demonstrert. Hvor stor denne feilen blir, avhenger altså av hvor mye kameraene er vinklet innover. Resultatet av denne feilen er at vi får en vertikal parallakse større enn 0 som er størst ut mot kantene og gradvis blir mindre innover mot midten.



Figur 3.18: Plassering av kameraene for stereoskopiske opptak

a) Plassering av kameraene som gir keystone-feil
b) Korrekt plassering av kameraene som ikke gir keystone-feil

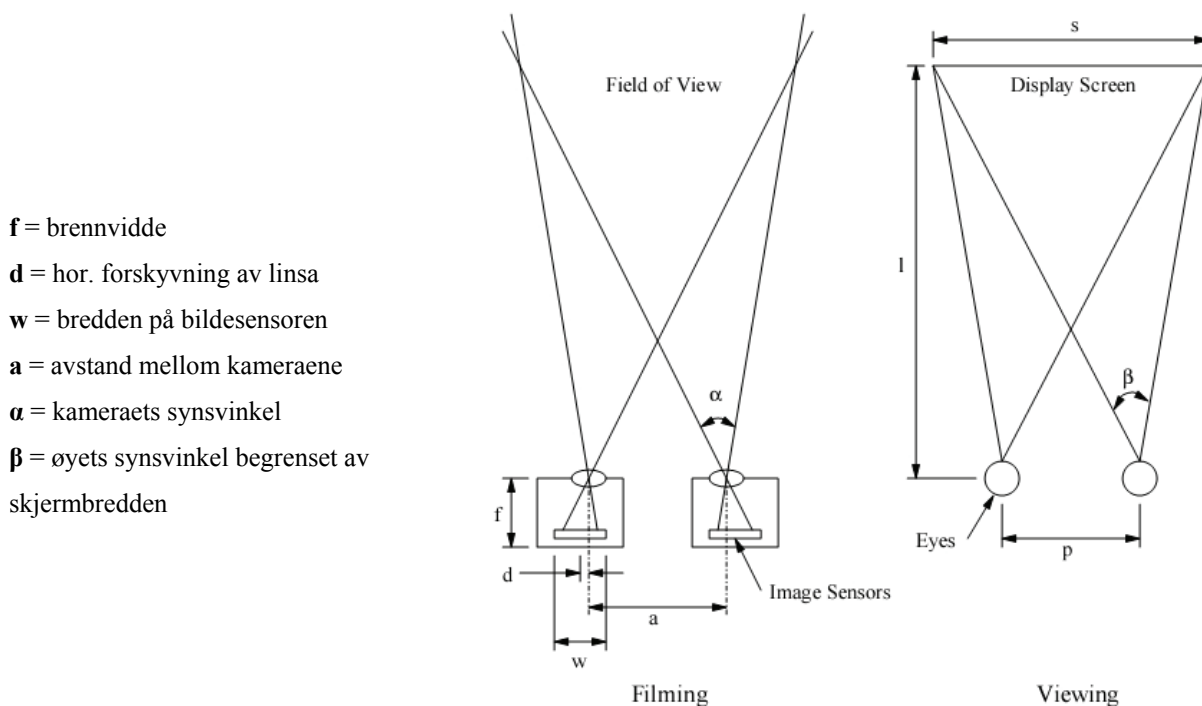


Figur 3.19: Keystone-feil

Keystone-feilen blir tydelig når man tar bilde av et rutenett med kameraoppsettet i figur 2.11 a) Legg merke til hvordan rutene (keystone 'ene) ikke er like store.

3.4.6 Kamera konfigurasjon

På bakgrunn av teorien som nå er gjennomgått, kan vi gå videre og se hvordan kameraene skal settes opp i praksis. Den ideelle måten å sette opp kameraene på gitt et bestemt visningsoppsett, er beskrevet i figur 3.20.



Figur 3.20: Ideelt kameraoppsett for stereoskopiske opptak

Følgende likninger beskriver forholdet mellom kamera- og visningsoppsett:

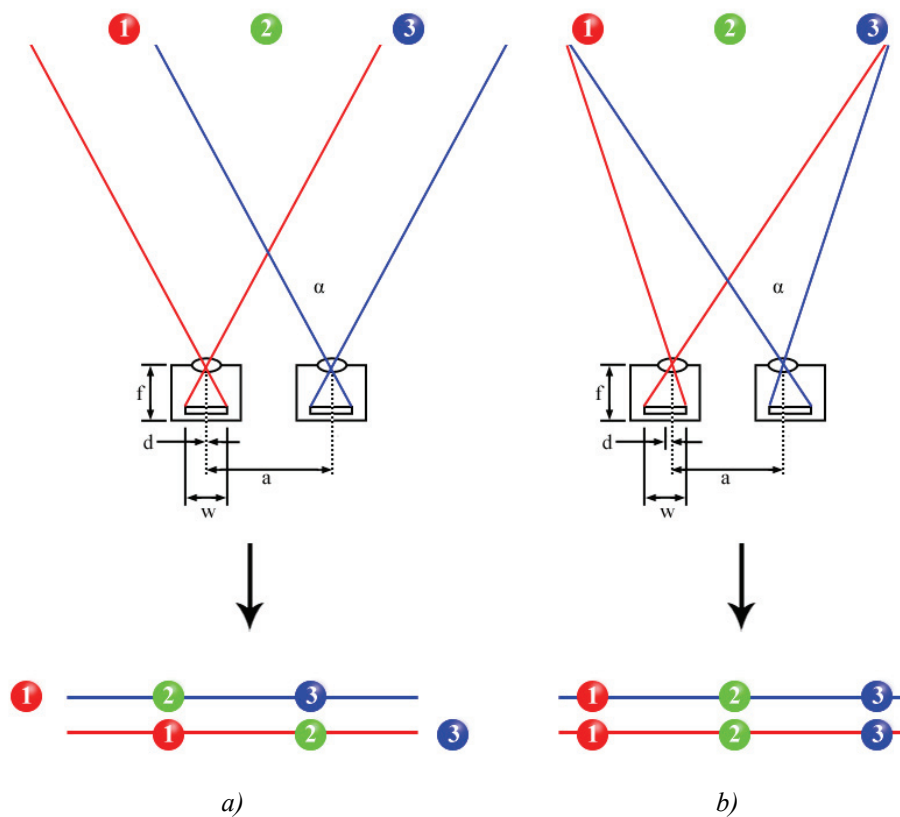
$$a = p \tag{3.1}$$

$$\alpha = \beta \tag{3.2}$$

$$f/l = w/s = 2d/p \tag{3.3}$$

Likning 3.1 sier ganske enkelt at avstanden mellom kameraene skal tilsvare avstanden mellom øynene våre. Samtidig må kameraets horisontale synsvinkel (α) tilsvare øyets synsvinkel (β), begrenset av skjermens høyre og venstre kant (likning 3.2). Den siste likningen (3.3) kan for eksempel brukes til å regne ut nødvendig avstand til skjermen gitt en bestemt brennvidde, CCD/CMOS-størrelse og ønsket skjermstørrelse. Det den også sier noe om, er hvor mye linsa må forskyves horisontalt i forhold til midten av bildesensoren for at bildene fra kameraene skal overlappe perfekt i en bestemt avstand. I figur 3.21 har vi tre objekter som vi ønsker skal

ligge akkurat i stereovinduplanet. I a) er to identiske kameraer plassert ved siden av hverandre uten noen forskyvning i linsa. Vi ser at det bare er et område i midten hvor begge kameraene overlapper. Området som overlapper vil nødvendigvis bli større i forhold til området som ikke gjør det, desto lenger unna det man filmer befinner seg. Når bildene fra de to kameraene projiseres oppå hverandre ser vi hvordan dette gir en helt annet dybdefølelse enn det som var planlagt. Bruker vi 3L-regelen på det grønne objektet (objekt 2), ser vi at avstanden til venstre bildekant er mye større i det venstre/røde bildet enn i det høyre/blå. Det betyr at det grønne objektet vil se ut til å komme mot oss, ut av skjermen. Det røde og det blå objektet vil kun være synlig på hvert sitt bilde og vil derfor ikke gi noen stereoskopisk effekt.



Figur 3.21: Kameraer med og uten forskøvet linse

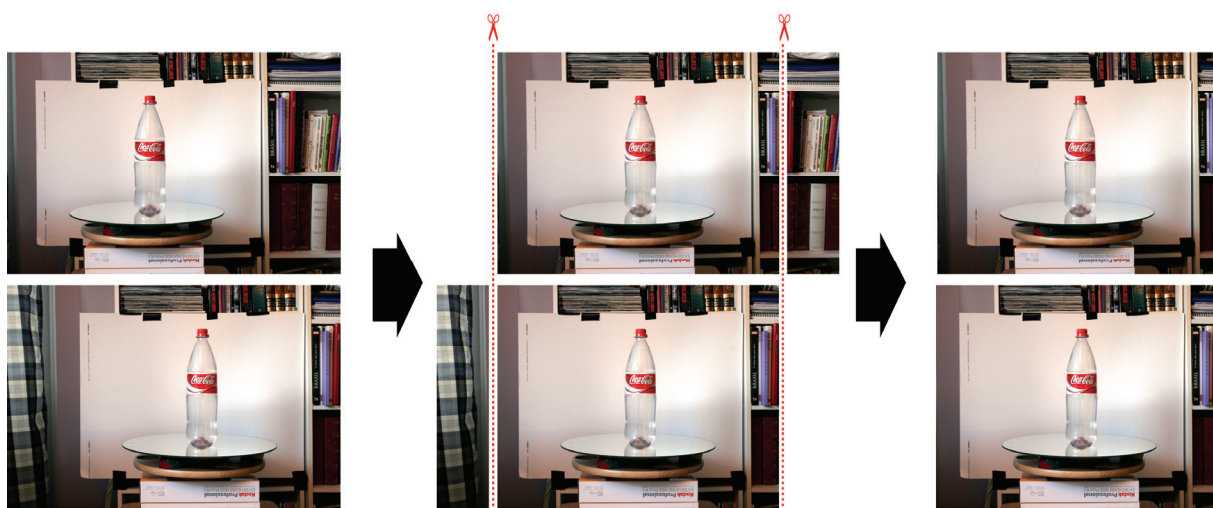
I b) er derimot linsene flyttet litt mot hverandre slik at kameraets synsvinkel endres. Hvor mye linsene skal flyttes er gitt av likning 3.3. Dette fører til at bildene fra de to kameraene overlapper hverandre perfekt, og dermed blir objektene liggende akkurat i stereovinduplanet slik vi ønsket. Objekter plassert nærmere vil komme ut av skjermen og objekter bak vil ligge ”inni” skjermen.

Dette er som sagt den ideelle måten å plassere kameraene på, men med de aller fleste kameraer vil man få et problem når man forsøker å realisere dette oppsettet. Man trenger for

det første kameraer som ikke er bredere enn a , altså øyeavstanden vår. Dette er fullt mulig å skaffe i dag, og det begynner også å komme små kameraer som støtter HDV, slik at man kan få relativt god kvalitet på opptakene. Et annet problem man kan komme borti er synkronisering av kameraene. Dette gjelder spesielt det å kunne starte kameraene samtidig, samt å justere zoom og fokus. I motsetning til diskrete innstillinger som gjerne gjøres i menyer (blenderåpning, lukkertid, hvitbalanse), justeres for eksempel zoom ofte på en glidende skala. Man må derfor bruke full zoom eller ingen zoom for å sikre at kameraene er innstilt identisk. Når det gjelder fokus har de fleste kameraer mulighet for autofokus, men siden bildene de ser er litt forskjellig risikerer man at de også fokuserer litt forskjellig. Manuell innstilling av fokus byr på de samme problemene som med zoom.

Å starte opptakene nøyaktig samtidig kan også være viktig, avhengig av hva som foregår i scenen man filmer og hvor mange rammer kameraet tar per sekund. I stor grad kan man synkronisere de to videostrømmene i ettertid ved hjelp av et redigeringsverktøy, men hvis kameraene ikke ble startet helt likt vil aldri rammene vise nøyaktig det samme øyeblikket. Ved raske bevegelser, eller få fps, vil derfor forskjellen mellom en ramme fra høyre og en fra venstre videostrøm kunne være ganske forskjellig. Dette er særlig ugunstig ved bevegelser i vertikalplanet, fordi det innfører en vertikal parallakse større enn 0. Jo mindre bevegelse og jo høyere fps, desto mindre problem er startsynkronisering.

For kameraer som kan kobles til en felles kontroller som kan styre tingene nevnt over, er ikke synkronisering noe problem. I andre tilfeller må man bare gjøre det beste ut av det.



Figur 3.22: Høyre (øverst) og venstre (nederst) bilde forskøvet for å gi korrekt stereoskopisk dybde. Ved å øfre noe horisontal oppløsning kan bildene justeres slik at flaska ligger akkurat i stereovinduplanet.

Et siste problem som ingen standardkameraer kan gjøre, er å flytte linsa horisontalt i forhold til bildesensoren. Siden dette er et viktig moment for å kunne realisere det ideelle kameraoppsettet er det et stort irritasjonsmoment. Det man imidlertid kan gjøre er å ofre noe horisontal oppløsning for oppnå den samme effekten som det å flytte linsa gir. I stedet for å bruke bildeinformasjonen fra hele bildesensoren bruker vi kun den delen hvor bildet fra de to kameraene overlapper hverandre. Den delen vi mister tilsvarer avstanden mellom kameraene, dvs. 6-7 cm. Hvor mye dette utgjør i oppløsning, eller piksler, kommer helt an på hvor stort det totale synsfeltet til kameraet er, i en gitt avstand. Hvis kameraene for eksempel har et synsfelt som er 100 cm bredt i avstand x , vil synsfeltet etter at vi har fjernet den delen som ikke er overlappende være ca. 93 cm. Med en horisontal oppløsning på 720 punkter sitter vi altså igjen med 93 % av denne, dvs. ca. 670 piksler. Dobler vi bredden på synsfeltet halverer vi dermed den tapte oppløsningen osv.

3.5 Stereoskopiske framvisningsmetoder

Det finnes en rekke forskjellige framvisningsmetoder for stereoskopiske bilder. Metodene har sine styrker og svakheter, og hvor godt en bestemt metode egner seg er derfor avhengig av situasjonen. Uavhengig av framvisningsmetode må vi ha to sett med bilder, ett for venstre og ett for høyre øye. Ved hjelp av forskjellige teknikker prøver man å skille de to bildene slik at de kun er synlige for det øyet de tilhører.

3.5.1 Cross-/parallellviewing (freeviewing)

Dette er to metoder som ikke krever noe ekstrautstyr i form av briller eller spesielle filtre, derav samlebetegnelsen

freeviewing. Stereoskopiske bilder som skal sees med en av disse metodene, krever at de to bildene, evt. videoene, plasseres ved siden av hverandre – gjerne med litt mellomrom og med vertikal parallakse lik null. Ved crossviewing plasseres det venstre bildet til høyre og det



Figur 3.23: Crossviewing

3D-effekten oppnås ved at det venstre øyet ser på bildet til høyre og det høyre øyet ser på bildet til venstre. De to bildene er tatt fra litt forskjellige perspektiver.

høyre bildet til venstre, se figur 3.23. Som navnet tilsier må man altså se i kryss.

Parallellviewing plasseres bildene motsatt og man ser derfor parallelt, se figur 3.24. For å se det tredimensjonale resultatet må man lære seg en spesiell teknikk. Hvor lett det er å lære seg denne teknikken varierer fra person til person.

Begge disse metodene egner seg dårlig til visning for et publikum, nettopp fordi det krever trening å få det til. Samtidig blir størrelsen på bildene begrenset til 50 % fordi de må plasseres ved siden av hverandre. Ved parallellviewing må bildebredden stort sett reduseres ytterligere til et sted



Figur 3.24: Parallellviewing

3D effekten oppnås ved at det venstre øyet ser på bildet til venstre og det høyre øyet på bildet til høyre. Vanskeligere å få til enn crossviewing.

mellom 6 og 7 cm, dvs øyeavstanden vår. Metoden er med andre ord kun egnet til svært små bilder. Crossviewing har ikke den samme begrensningen på bildestørrelse, men jo større bildene er, jo vanskeligere/mer anstrengende blir det å se på dem. Dette kan kompenseres for ved å øke avstanden til skjermen.

Grunnen til at jeg nevner disse metodene er de er nyttige å beherske når man jobber med stereoskopiske bilder. Man kan enkelt teste om bildene man har tatt gir den ønskede 3D-effekten, uten å ha tilgang til avansert framvisningsutstyr. I forbindelse med stereoskopiske videoopptak kan man koble kameraene til to monitorer plassert ved siden av hverandre, og se det tredimensjonale resultatet umiddelbart.

3.5.2 Fargeseparasjon (coloured anaglyph)

Denne metoden går ut på å skille de to bildene fra hverandre ved hjelp av farger. Et vanlig RGB-bilde består av en rød, en grønn og en blå kanal. Ved å fjerne den røde kanalen i det ene bildet og den blå (eventuell den blå og den grønne) i det andre, for så å slå bildene sammen til et, sitter man igjen med et bilde som er en kombinasjon av de to. For å skille bildene fra hverandre, må man bruke briller hvor den ene glasset er et rødt filter mens det andre glasset er

blått/cyan farget. Dette fører til at øyet med rødt filter ikke ser den røde channelen (dvs. det ene bildet), mens det andre øyet ikke ser den blå channelen.

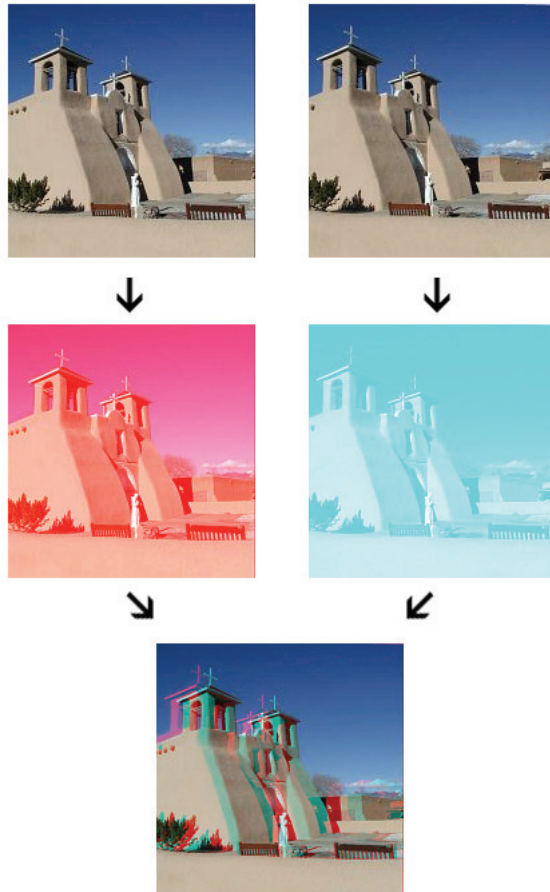
Den største fordelen med denne metoden er at den ikke stiller spesielle krav til visningsmediet, det vil si at den kan brukes på vanlige TV-er, prosjektører, PC-skjermer osv.

Dataanimasjonsfilmer er spesielt egnet siden det relativt enkelt å gjøre to sett med ”opptak” fra forskjellige vinkler, som deretter kan slås sammen til en anaglyph videostrøm.

Brillene som må brukes er enkle og billige, noe som er et godt argument hvis det er mange som skal se på samtidig.

Den store ulempen ved denne metoden er at fargekvaliteten blir sterkt redusert. I tillegg kan man oppleve noe ubehag etter å ha brukt brillene over en lengre periode, fordi øynene har tilpasset seg de fargede glassene. Det kan også være ubehagelig å lese rød eller blå tekst når man har brillene på seg. Et annet problem er såkalt *ghosting*, hvor det ene øyet ser deler av bildet som egentlig er beregnet på det andre øyet.

Graden av ghosting er avhengig av brillene og skjermen man ser på. Det kan med andre ord være store forskjeller fra skjerm til skjerm. Det går an å kompensere for ghosting, men dette må gjøres for hver enkelt skjerm, med mindre de er av akkurat samme type.

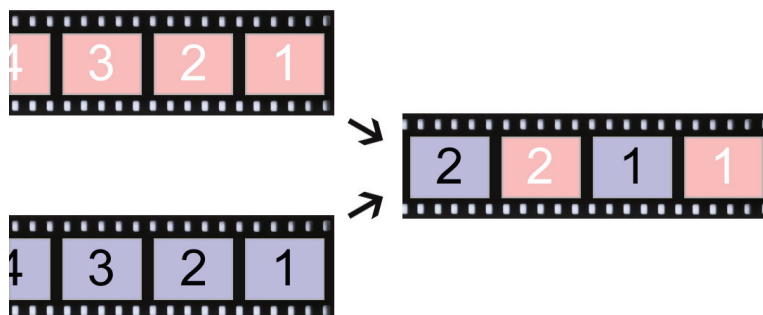


Figur 3.25: Stereoskopi ved hjelp av fargeseparasjon

Bildene viser prosessen fra et stereoskopisk bildepar til et anaglyph stereobilde.

3.5.3 Liquid Crystal Shutterglasses (LCS)

Shutterglasses er en spesiell type briller hvor brilleglassene inneholder flytende krystaller og et polariseringsfilter. Disse glassene har den egenskapen at de blir ugjennomsiktige når man setter spenning på dem. For å oppnå 3D-effekten viser man videoen rammesekvensielt, dvs. at man annenhver gang viser en ramme fra den høyre og venstre videostrømmen (for et stillbilde viser man det høyre og venstre bildet annenhver gang).



Samtidig som en ramme fra den høyre videostrømmen vises gjøres det venstre brilleglasset

ugjennomsiktig, og tilsvarende motsatt når en ramme fra den venstre videostrømmen vises. Ved å gjøre dette mange ganger per sekund oppnår man i prinsippet at det høyre og venstre øyet kun ser bildet/filmen fra sitt perspektiv. Brillenes åpne- og lukkefrekvens synkroniseres mot skjermen enten via kabel eller trådløst.

Denne metoden fungerer svært godt og er lett å bruke. Problemet er at man halverer oppfriskningshastigheten til skjermen man ser på fordi den fordeles på hvert av øynene. Man bør derfor ha en skjerm som støtter høy oppfriskningshastighet (gjærne 120Hz eller høyere) for at bildet skal være flimmerfritt og ikke bli slitsomt å se på i lengden. I forhold til anaglyphmetoden krever LCS systemet mer avansert og dermed dyrere utstyr. Et sett med shutterglasses koster per dags dato omtrent 900 kr i Norge og det blir derfor en dyr løsning for større forsamlinger. Hvis det derimot bare skal brukes av en person, er det vel verdt den ekstra utgiften i forhold til anaglyphmetoden, da bildekvaliteten er overlegen.

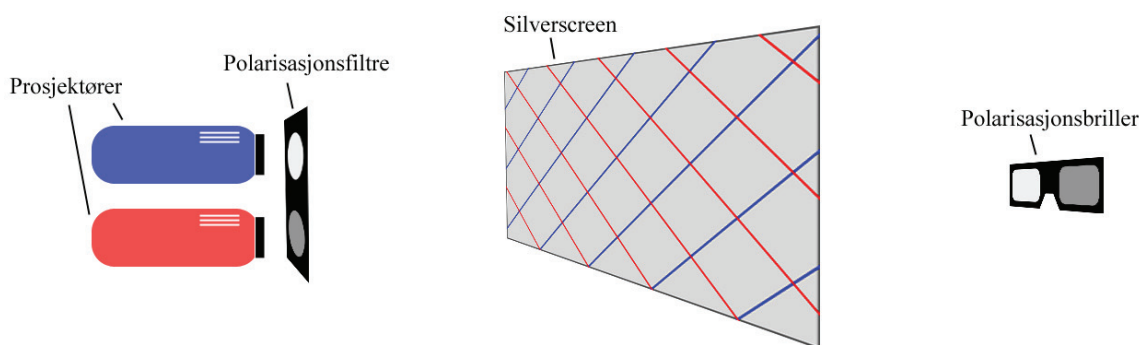
3.5.4 Polarisasjonsbriller

Polarisasjonsbriller er briller hvor glassene er byttet ut med polarisasjonsfiltre. Filtrene er plassert ortogonalt i forhold til hverandre slik at de slipper gjennom lys i forskjellige retninger. Det finnes to måter å bruke polarisasjon på for å oppnå en stereoskopisk effekt. Hvis man skal se det stereoskopiske materialet på en monitor, må denne dekket med en film som kan skifte mellom to polarisasjonsretninger, tilsvarende filtrene i brilleglassene. Den stereoskopiske filmen vises rammesekvensielt, samtidig som den dekkende filmen endrer

Figur 3.26: Rammesekvensiell videostrøm
To videostreamer flettes sammen til en.

polarisasjonsretning. Dette fører til at det høyre øyet kun ser skjermbildet når en ramme fra den høyre videostrømmen vises og motsatt. Likheten med LCS metoden er slående, og i prinsippet har man bare flyttet de alternerende brilleglassene til filmen som dekker skjermen. Med andre ord er man ikke kvitt problemet med halvert oppfriskningshastighet.

Den andre måten å bruke polarisasjon på er å plassere to identiske prosjektører på baksiden av et lerret. Foran hver prosjektør plasseres et polarisasjonsfilter, tilsvarende det vi finner i brilleglassene. Bildene justeres slik at de overlapper mest mulig perfekt og de to videostrømmene sendes til hver sin prosjektør. Seerne befinner seg på andre siden av lerretet og bruker polarisasjonsbriller slik at hvert øye kun ser lyset, dvs. bildet, fra den ene prosjektøren. I denne forbindelse er det viktig å merke seg at man må bruke et lerret som ikke påvirker lysets polarisasjon. Det betyr at lerretet må ha en metallisk overflate, for eksempel en såkalt silverscreen.



Figur 3.27: Polarisasjon

Oppsett for visning av stereoskopiske bilder ved hjelp av 2 prosjektører, polarisasjonsfiltre og polarisasjonsbriller. Legg merke til at lyset fra de to prosjektørene polariseres 90 grader på hverandre og diagonalt på skjermen.

Fordelen med polarisasjonsmetodene er at de gir omtrent samme bildekvalitet som LCS-metoden, samtidig som brillene er mye billigere. Det er derfor en metode som egner seg godt for større forsamlinger. Ulempen ved den første metoden er at man som sagt ikke unngår halvering av oppfriskningshastigheten. Den andre metoden krever mye plass på baksiden av lerretet, samt to sett med filtre og prosjektører. Et problem som gjelder begge metodene er at 3D-effekten blir ødelagt hvis man legger hodet over på siden, fordi polarisasjonsbrillene og filtrene ikke lenger stemmer overens. For å unngå dette kan man bruke sirkulære polarisasjonsfiltre, men dette fører gjerne med seg andre problemer i form av interferens mellom bildeparene. Det er også en utfordring å justere de to bildene slik at de overlapper

hverandre perfekt. Spesielle stativer finnes som gjør det enklere, men siden begge prosjektørene nødvendigvis ikke kan stå ortogonalt på lerretet, er det vanskelig å unngå noe keystone feil i horisontalplanet.

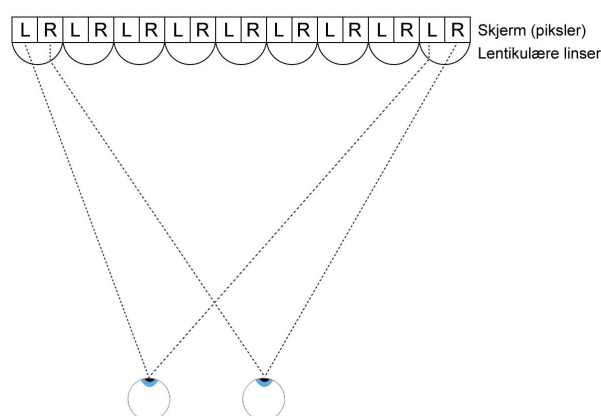
3.5.5 Lentikulære skjermer

Dette kan kanskje bli framtidens teknologi for å vise stereoskopiske bilder. Lentikulære skjermer virker på den måten at to horisontalt tilliggende piksler dekkes med en linse, slik at man til enhver tid kun ser ett av dem. Hvilken piksel man ser avhenger av vinkelen mellom øyet og linsa. Hele skjermen dekkes med slike linser, og siden øynene ser skjermen fra forskjellige vinkler, vil hvert øye i prinsippet bare se halvparten av skjermbildet.

Ved å fjerne annenhver pikselkolonne i et stereoskopisk bildepar og så flette de to bildene sammen til ett, vil man dermed oppnå en stereoskopisk effekt uten bruk av briller.

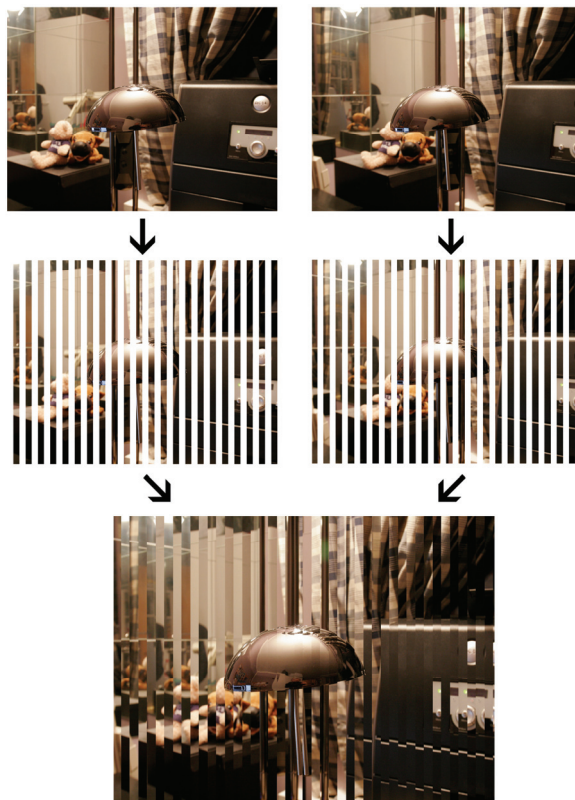
Man kan også se for seg at hver linse dekker mer enn to piksler slik at man kan flette sammen flere synsvinkler, noe som gir muligheten til å se rundt objekter ved å bevege hodet lateralt.

Den store ulempen ved denne metoden er at den horisontale oppløsningen i beste fall halveres. Skjermer med veldig høy oppløsning er derfor nødvendig for å oppnå samme bildekvalitet som man får med andre stereoskopiske framvisningsmetoder. Det er imidlertid en interessant teknologi å følge med på, da stereoskopisk framvisning uten behov for briller ville vært en stor fordel.



Figur 3.28: Prinsippet bak lentikulærskjermer

Pga. linsene ser det høyre øyet kun det høyre bildet uansett vinkel i forhold til skjermen. Tilsvarende motsatt for det venstre øyet.



Figur 3.29: Eksempel på sammenslåing av to bilder for visning på en lentikulær skjerm

Ved å redusere oppløsningen med 50 % i hvert bilde og slå dem sammen får vi et resultat som ved visning på en lentikulær skjerm oppfattes som tredimensjonal. Bredden på "stripene" er overdrevet for å synes bedre.

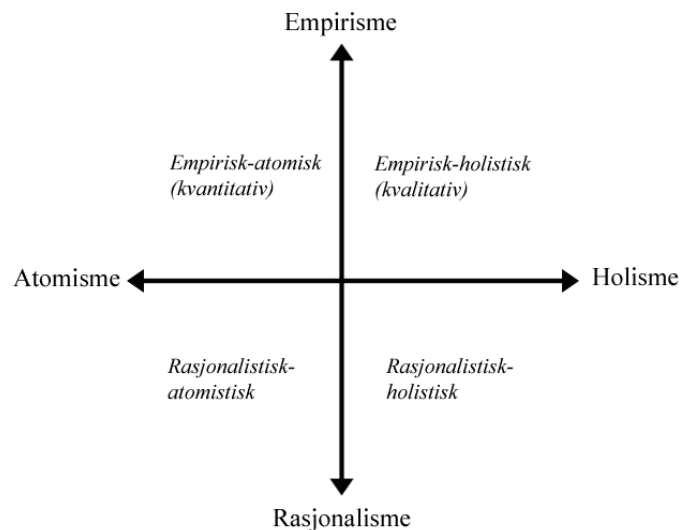
4 Forskningsmetode

Denne delen beskriver kvantitativ og kvalitativ forskningsmetode, aksjonsforskning samt begreper som validitet og reliabilitet. Valg av forskningsmetode i dette prosjektet vil også bli begrunnet og diskutert.

4.1 Kvalitativ og kvantitativ metode

Forskning kan grovt sett deles opp i fire hovedretninger [11]. Dette er gjort i figur 4.1, hvor vi får fire kvadranter som tilsvarer hver av retningene. De to metodene over x-aksen er empiriske metoder, det vil si at de bygger på erfaring og observasjon. Metodene under x-aksen bygger mer på rasjonalitet, at ting er fornuftig og logisk.

Den empirisk-holistiske kvadranten representerer et verdenssyn, hvor man mener at helheten er mer enn summen av de enkelte delene. Dermed kan resultatene bli misvisende hvis man begrenser seg til å se på kun en liten del av helheten. Den empirisk-atomistiske kvadranten representerer det motsatte, et verdenssyn hvor helheten er summen av de



Figur 4.1: Fire forskjellige hovedretninger/metoder for forskning [11]

enkelte delene. Selv om de fleste nok er enige i at helheten er noe mer enn summen av delene, er dette et syn hvor man mener at det å studere en liten del av helheten, likevel kan gi en god oppfattelse av virkeligheten. Forenklet sagt kan vi si at det empirisk-holistiske synet representerer kvalitativ metode, mens empirisk-atomistisk representerer kvantitativ metode.

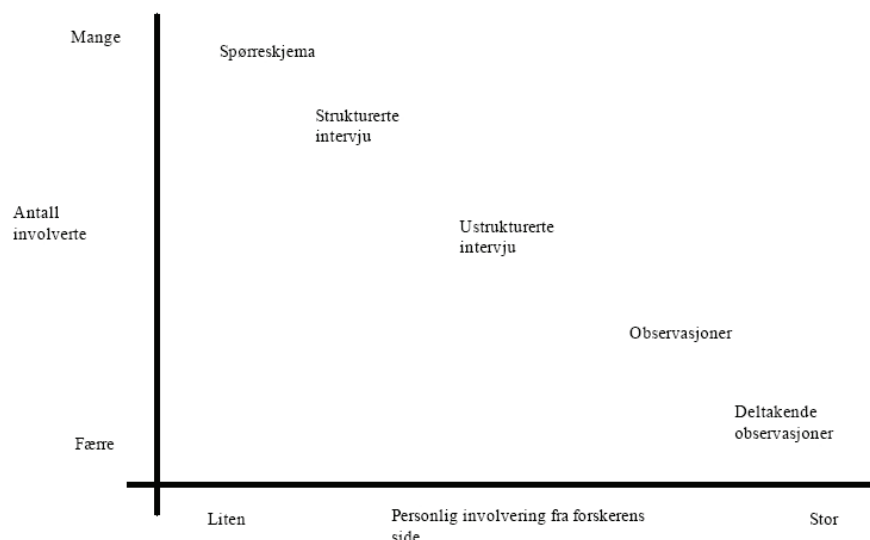
Når man velger kvantitativ (empirisk-atomistisk) metode i et forskningsprosjekt, vil det være naturlig at man på forhånd har sett for seg hvilke resultater som er forventet eller hvilke konklusjoner som er sannsynlige å komme fram til. Man vil gjerne bruke datainnsamlingsmetoder som gir konkrete tall, som igjen gir grunnlag for statistiske utregninger. Noen eksempler på slike datainnsamlingsmetoder er [31]:

- Direkte målinger, for eksempel av temperatur, avstand, hastighet osv. Kan gjøres med sensorer av forskjellig slag.
- Indirekte målinger, for eksempel av IQ eller kunnskaper om et tema. Kan gjøres med strukturerte intervjuer med ja/nei spørsmål eller andre faste svaralternativer.

Ved bruk av kvalitativ (empirisk-holistisk) metode vet man ofte ikke på forhånd nøyaktig hvilke alternativer som er sannsynlige resultater. Det man ønsker å studere handler kanskje ikke om antall og eksakte tallverdier, men mer om kvaliteter. Typisk for kvalitative datainnsamlingsmetoder er at dataene i større grad består av ord enn av tall, i forhold til kvantitativ metode. Innsamlingsmetoder kan for eksempel være [31]:

- Intervjuer med åpen eller halv åpen struktur, gjerne muntlige.
- Observasjoner, deltakende/ikke deltakende, skjulte/ikke skjulte.

Sammenlikner vi datainnsamlingsmetodene, er det tydelig at de kvalitative metodene går mer i dybden og krever mer involvering fra forskerens side. Mer involvering betyr stort sett at man må bruke mer tid på hver forsøksperson. Gitt de



Figur 4.2: Sammenheng mellom antall forsøkspersoner og forskerens involvering [18]

samme tidsrammene vil derfor en kvantitativ datainnsamlingsmetode ofte gi rom for å bruke flere forsøkspersoner enn en kvalitativ. Figur 4.2 viser sammenhengen mellom forskerens involvering, antallet forsøkspersoner og datainnsamlingsmetoder. Rent kvantitativ metode befinner seg da øverst til venstre i figuren, mens rent kvalitativ metode er nederst til høyre.

4.2 Aksjonsforskning / Action Research

Aksjonsforskning kan sies å være et alternativ eller et supplement til de to metodene beskrevet tidligere. I [34] beskrives *action research* som en familie av forskningsmetoder som

forfølger aksjon (endring) og forskning (forståelse) samtidig. Det er vanlig å bruke en syklisk prosess som skifter mellom aksjon og kritisk refleksjon. Forståelsen/læringen man oppnår i de første syklene, brukes til å forbedre metoden i de neste, som igjen brukes til å forbedre metoden ytterligere.

I forhold til kvalitativ og kvantitativ metode, går ofte aksjonsforskning i mer kvalitativ retning. Det er ingenting i veien for å bruke det i kvantitativ sammenheng, men siden kommunikasjon er en viktig faktor i aksjonsforskning vil det ofte være svært tidkrevende å bruke en kvantitativ framgangsmåte. Aksjonsforskning kan imidlertid være et godt verktøy for eksempel i en pilotstudie, som legger opp til en større kvantitativ undersøkelse.

4.3 Valg av metode

For lettere å se hvilken metode som egner seg for dette prosjektet, er det greit å ha en sammenlikning av kvalitativ og kvantitativ metode å ta utgangspunkt i, slik som tabell 4.1.

Til å begynne med var målet å få konkrete tall som kunne vise hvordan oppløsning påvirker oppfattelsen av bildekvalitet. Studien må derfor kunne sies å være temmelig avgrenset fordi vi kun skulle se på oppløsningsparameterne i forbindelse med video. Ifølge punkt 1, 3 og 6 i tabellen er dette typisk kvantitativt. Dataene skulle samles inn ved hjelp av et strukturert spørreskjema og primært bestå av konkrete tall. På forhånd ble det også forsøkt å luke ut feilkilder i form av uklare spørsmål, forstyrrende elementer i testmiljøet osv. Disse tingene taler for å bruke den kvantitative forskningsmetoden.

Underveis oppstod det imidlertid en del problemer som gjorde at den rent kvantitative framgangsmåten måtte revurderes. Noen av problemene var rent tekniske, men andre skyldtes nok i stor grad at denne typen vurdering av bildekvalitet ikke er gjort tidligere. Å sammenlikne mot virkeligheten fører med seg nye momenter, som gjør at man ikke kan bruke standardiserte metoder direkte. På grunn av disse problemene gikk mye tid bort, og det ble derfor vanskelig å få gjennomført forsøkene med så mange personer som ønsket. Siden et av hovedpunktene ved kvantitativ metode er å samle inn relativt mye data, slik at man kan få ut noe fornuftig statistikk, ble det bestemt å gjennomføre forsøkene på en mer kvalitativ måte. I denne forbindelsen ble jeg oppmerksom på aksjonsforskning, og gjennomføringen av forsøkene er derfor preget av denne metodikken. I stedet for å kjøre flest mulig gjennom forsøkene fokuserte jeg heller på noen få. Selv om spørreskjemaet var relativt strukturert, var

jeg hele tiden tilgjengelig for spørsmål og diskusjon når testene ble gjennomført. Etter hver gjennomkjøring av forsøket ble spørreskjemaet vurdert, og eventuelle uklarheter endret/rettet før neste forsøksperson. Også måten forsøkene ble gjennomført på ble vurdert fortløpende, på grunnlag av tilbakemeldinger fra forsøkspersonene og egne observasjoner underveis.

Hovedmetoden brukt er derfor primært i tråd med aksjonsforskning og kvalitativ metode. Jeg ser imidlertid for meg at læringen i dette prosjektet kan brukes som grunnlag for en senere, rent kvantitativ gjennomføring av tilsvarende forsøk. I den forstand kan dette prosjektet ses på som en slags pilotundersøkelse.

		Kvantitativ metode	Kvalitativ metode
1	Helhetssyn / kontekst	Ser på det som studeres isolert og avgrenset/uten kontekst. Jo mer avgrenset, jo lettere å studere.	Ser på helheten der konteksten ofte har betydning.
2	Historisk sammenheng	Sjelden interessert i historisk sammenheng.	Ofte interessert i sammenhengen mellom fortid, nåtid og framtid.
3	Mål	Forsøker å beskrive og gjerne forklare en sammenheng eller bevise en hypotese. Er ute etter universelle regler.	Forsøker å forstå det spesifikt menneskelige.
4	Forskningsplan	Fast forskningsplan som planlegges slik at feilkilder lukes ut på forhånd. All data samles inn og statistikk hentes ut.	Avhengig av data, kan endres underveis. Kanskje finner man en bedre måte å spørre forsøkspersonene om ting underveis eller en annen måte å tolke dataene på.
5	Forskerens rolle	Forskeren forholder seg objektiv og kan i prinsippet byttes ut underveis.	Forskeren har et mer fortrolig forhold til forsøkspersonene og kan derfor ikke byttes ut underveis.
6	Studerer	Studerer ting som kan avgrenses og måles, fortrinnsvis objektivt.	Studerer det spesifikt menneskelige. Baserer seg ofte på opplevde erfaringer og menneskers måte å gi opplevelsene mening og innhold.
7	Utvalg av stikkprøve	Representativt utvalg som gir informasjon om resten av befolkningen.	Forsøkspersoner velges ut fordi de har kjennskap til fenomenet. Forsøker ofte å få stor spredning i alder og personenes erfaringer.
8	Størrelse på stikkprøve	Fordel med relativt mange forsøkspersoner.	Ikke like viktig med mange forsøkspersoner.
9	Innsamlede data består av	Veldefinerte variabler. Definisjonen av dem kalles operasjonelle definisjoner.	Bruker mangfold som data. Beskriver essenser, temaer, mønstre og oppfatninger.
10	Mulige/tenkelige resultater	Bestemt på forhånd hvilke tenkelige resultater man kan få.	Åpenhet for hva resultatet kan bli.
11	Overførbarhet	Resultatene fra stikkprøven kan ofte generaliseres til resten av befolkningen.	Ser etter gjentakende mønstre og likhetstrekk. Det finnes en viss overførbarhet, men ikke generaliserbarhet.
12	God forskningskvalitet er	<ul style="list-style-type: none"> - Reliabilitet - Validitet - Reproduserbarhet 	<ul style="list-style-type: none"> - Perspektivbevissthet - Intern logikk - God kvalitet på data - Legitimitet

Tabell 4.1: Sammenlikning av kvantitativ og kvalitativ metode [11]

4.4 Validitet og reliabilitet

Validiteten til dataene som samles inn sier noe om hvor relevante de er for det man forsøker å finne ut. Ønsker man for eksempel å undersøke folks TV-vaner, er det lite relevant å spørre om hva de spiser til frokost. Å spørre om de har TV, er derimot svært relevant.

Reliabiliteten sier noe om hvor pålitelige de dataene man samler inn er. Å måle vanntemperaturer ved å stikke en finger i vannet gir for eksempel dårlig reliabilitet. Ved å bruke flere termometre samtidig og sjekke at verdiene stemmer overens, får man derimot god reliabilitet.

Det er viktig å merke seg at god reliabilitet ikke nødvendigvis gir god validitet. God validitet er derimot helt avhengig av god reliabilitet [30].

5 Utstyr og testmiljø

Denne delen tar for seg utstyret som ble brukt til forberedelsene og gjennomføringen av forsøkene beskrevet senere i rapporten. Utstyrrelaterte problemer som oppstod underveis er beskrevet i kapittel 6.

5.1 Kamera og linse

Kameraet som ble brukt for å gjøre opptak var av typen SI-3300RGB MegaCamera fra Silicon Imaging [5]. Dette er et spesialkamera som kobles til og styres ved hjelp av en PC, som også lagrer bildedataene. I motsetning til vanlige håndholdte kameraer kan SI-3300 stilles inn til å gjøre opptak i en rekke forskjellige oppløsninger, både romlig og tidsmessig. De to går imidlertid på bekostning av hverandre slik at høy romlig oppløsning tvinger den tidsmessige ned, og motsatt. Tabell 5.1 viser noen mulige kombinasjoner av de to.

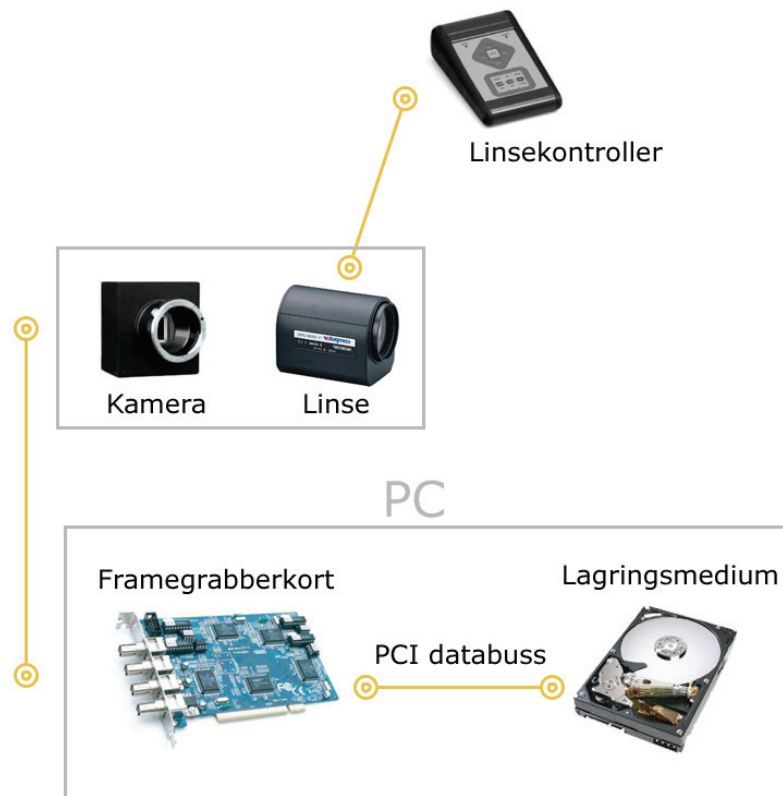
Romlig oppløsning (i piksler)	2048 x 1536	1920 x 1080	1280 x 720	640 x 480
Bilder per sekund	12	18	37	90

Tabell 5.1: Billedrate og oppløsning for SI-3300RGB MegaCamera

For en komplett oversikt over de tekniske spesifikasjonene, se vedlegg D.

Kameraene kan utstyres med forskjellige linser. Linsene som ble brukt var av typen Computar Zoom Lens [8]. De har en brennvidde på 8-48mm, og fokus, zoom og blenderåpning styres manuelt av en ekstern kontrollenhet.

For å gjøre opptak med denne typen kamera må man først koble det til en PC via et *framegrabber* ekspansjonskort (se figur 5.1). Dette kortet tar imot data fra kameraene og overfører informasjonen til PC-ens primær- eller sekundærminne. Opptakene styres ved hjelp av programvaren som følger med kameraet. Programmet er omfattende, og personlig erfaring tilsier at det ikke er så intuitivt som man kunne ønske. Det er imidlertid ikke noe stort problem å finne ut hvordan man gjør enkle opptak, hvis man følger manualen.



Figur 5.1: Kamera- og PC-oppsett

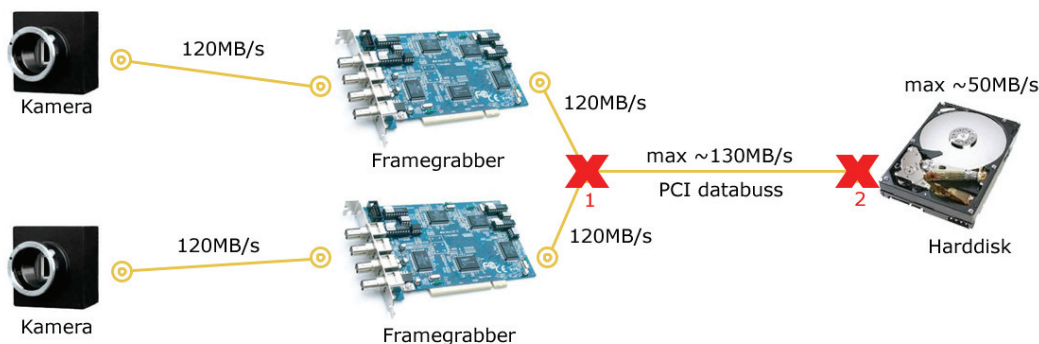
Kameraet er koblet til en PC via et framegrabber kort som overfører data til et lagringsmedium (harddisk/RAM) over PCI databussen.

Kameraene er med andre ord ikke like brukervennlige som de vanlige håndholdte modellene. Den store fordelen er fleksibiliteten de gir med tanke på oppløsning, samt alle de manuelle innstillingene som er tilgjengelig. Det er også veldig greit at opptakene lagres direkte på harddisken slik at de kan brukes med en gang. I forbindelse med stereoskopiske opptak har de også fortrinnet at størrelsen på kameraene (45mm bredde) tillater at de plasseres like tett som øynene våre. Det skal sies at det har begynt å komme små (<80mm bredde) håndholdte kameraer på markedet som tilbyr HD oppløsninger. Selv om de mangler fleksibiliteten til SI-3300RGB når det gjelder oppløsninger, er de både mer brukervennlige og definitivt mer portable.

5.2 Lagring

Som sagt må SI-3300RGB kobles til en PC via et framegrabberkort. Det finnes forskjellige kort som støtter ett eller to kameraer, og som kobles til PC-en via PCI, PCI-X eller PCI-Express databussen. Kortene som var tilgjengelig på NTNU støttet tilkobling for ett kamera

og hadde PCI-grensesnitt. Overføring av data fra kamera til lagringsmedium måtte derfor gå over PCI databussen. På de fleste hovedkort har PCI-bussen en bredde på 32 bit og opererer på 33Mhz. Dette gir en teoretisk båndbredde på 33Mhz x 32 bit som er 1056Mb/sekund eller 132MB/s. Denne båndbredden deles av alle enhetene som er koblet til bussen. Siden kameraene har en utgående datarate på inntil 120MB/s, har ikke PCI-bussen nok båndbredde til å overføre data fra to kameraer samtidig (se figur 5.2).



Figur 5.2: Flaskehals i overføringen av data fra kamera til harddisk
 De røde X'ene markerer flaskehals i overføringen. X1 markerer begrensningen til PCI-bussen, mens X2 er begrensningen på harddiskens skrivehastighet.

Dette kan løses på to måter. Enten kan man koble kameraene til hver sin PC slik at de har hele PCI-bussen for seg selv. Det andre alternativet er å bruke et annet framegrabberkort, som er laget for PCI-X eller PCI-Express databussen. PCI-Express er mest utbredt og kommer i forskjellige varianter. Ut fra tabell 5.2 ser vi at et PCI-e 1x kort vil gi nok båndbredde til å ta imot data fra begge kameraene samtidig. Hvilken løsning man skal velge bør vurderes ut fra pris og hva som er enklest å få til.

PCI-Express (PCI-e)	Båndbredde
1x	250 MB/s
4x	1000 MB/s
8x	2000 MB/s
16x	4000 MB/s

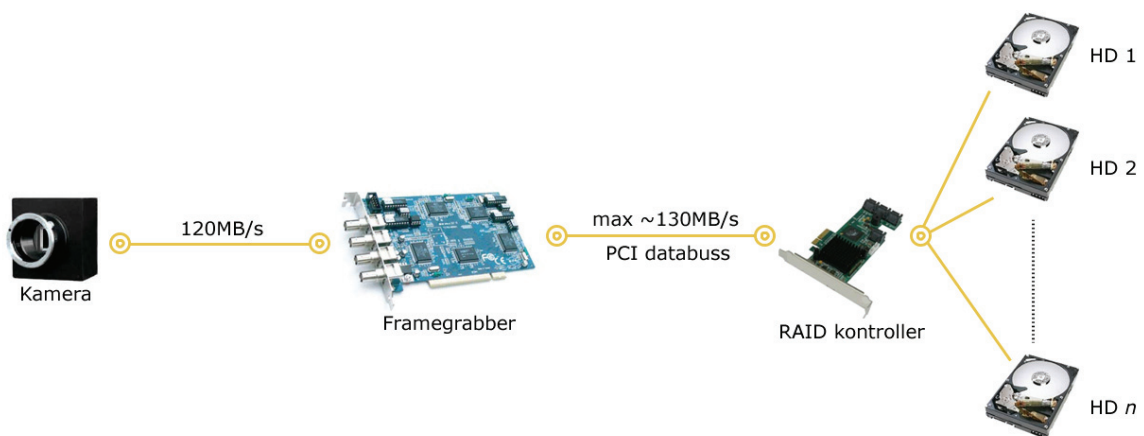
Tabell 5.2: Overføringshastigheter for PCI-Express
 PCI-e kommer i flere utgaver. 16x brukes gjerne til skjermkort som krever svært stor båndbredde.

Datastrømmene fra kameraene må lagres på PC-ens harddisk. Standard harddisker er imidlertid ikke raske nok til å skrive 120MB/s kontinuerlig. For å komme opp i denne skrivehastigheten må man benytte seg av flere harddisker satt opp i en RAID 0 konfigurasjon.

RAID eller Redundant Array of Independent (Inexpensive) Disks, er et system for å fordele data utover flere disk. Det finnes flere nivåer av RAID som gir forskjellig funksjonalitet.

RAID 0 er et av de vanligste nivåene, og gir økt lese- og skrivehastighet. Når to eller flere disketter settes opp i RAID 0, ser de for operativsystemet ut som en enkelt disk. Fordelen med dette ytelsesmessig er at når en fil leses fra eller skrives til disk, så kan halvparten leses fra/skrives til hver disk. Med fire disketter kan man skrive $\frac{1}{4}$ til hver disk og så videre. Dette betyr at man kan doble skrive- og lesehastigheten ved å doble antallet disketter (teoretisk sett). RAID 0 er ofte kjent som striping fordi man skriver data i en "stripe" over alle disketter i RAID'et.

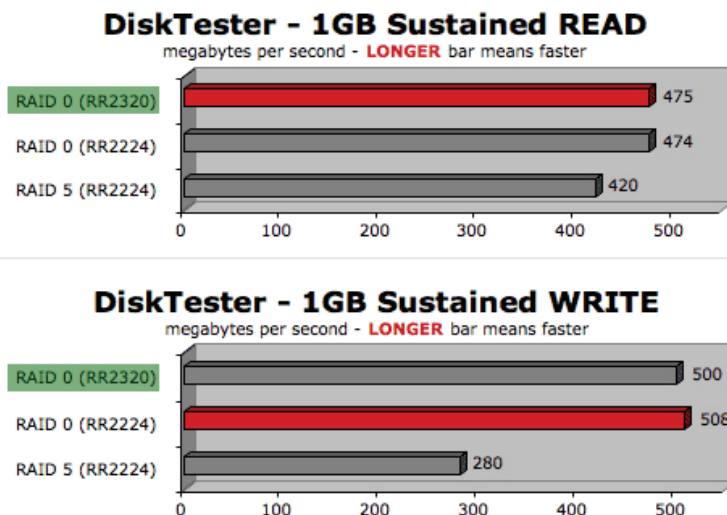
For å sette opp et RAID må man koble disketter via et RAID kontrollerkort. Kortet jeg hadde tilgjengelig var av typen RocketRAID 2320, og støttet tilkobling for opptil 8 harddisketter.



Figur 5.3: Overføring av data fra kamera til harddisk med RAID 0 konfigurasjon
 Med kun ett kamera tilkoblet og bruk av RAID 0 forsvinner flaskehalsene i figur 5.2

Kortet ble valgt på grunnlag av flere tester [23] [24] [25] som viste at det hadde den nødvendige ytelsen. Jeg valgte likevel å gjøre en liten test for å forsikre meg om at det fungerte som ønsket. 7 stykk 250GB SATA II harddisketter ble koblet opp mot kontrolleren og konfigurert for et RAID 0 oppsett. Dette skulle teoretisk sett gi en sjudobling av skrive- og lesehastighet i forhold til en enkelt disk. På forhånd ble en av disketter testet alene med programmet SiSoft Sandra [9]. Ved kontinuerlig

lesing/skriving ble hastigheten målt til ca. 50MB/s for en enkelt disk. Forventningen var dermed at sju diskur burde gi en lese-/skrivehastighet på ca. 350MB/s. Av en eller annen grunn ble ikke ytelsen høyere enn ca. 240MB/s. Dette stemmer dårlig sammenliknet med resultatet fra en av testene på nett (se figur 5.4), til tross for at det der ble brukt 500GB diskur som muligens



Figur 5.4: Test av lese-/skrivehastighet med 8 diskur i RAID 0

Det er her brukt 8stk. 500GB diskur og ytelsen er derfor noe høyere enn det man kan forvente med tilsvarende antall 250GB diskur.

kan være noe raskere. 240MB/s skulle imidlertid være nok til å gjennomføre forsøkene som planlagt, selv med to ukomprimerte videostrømmer, så feilsøking ble ikke gjennomført.

For å unngå fragmentering av RAID-systemet, ble maskinens operativsystem installert på en separat disk. I tillegg ble RAID-diskene defragmentert før avspilling.

5.3 Programvare

Programvaren som ble brukt til å gjøre opptak heter Xcap [7], og er laget av selskapet Epix [6] Inc. I tillegg til å styre opptaksprosessen, brukes programmet til å styre kamerainnstillinger som hvitbalanse, eksponering, gain, fargedybde osv.

Programmene Adobe Premiere Pro 2.0 og Adobe After Effects 7.0 ble brukt til redigering av videomaterialet.

Avspilling av videoklippene ble gjort ved hjelp av programmet Stereoscopic Player [10]. Programmet kan spille av flere 3D-formater, og støtter mange visningsmetoder (anaglyph, shutterglasses, cross-/parallell view osv.).

5.4 Prosjektørene med stativer og polarisasjonsfiltre

Ettersom den stereoskopiske effekten skulle oppnås ved hjelp av polarisasjon, var det nødvendig med to prosjektører. En av utfordringene ved polarisasjonsmetoden er å få stilt inn bildene fra prosjektørene slik at de overlapper mest mulig perfekt. For å gjøre det enklest mulig å gjøre disse innstillingene, ble prosjektørene plassert i et spesielt stativ (se figur 5.5). Dette stativet gjør det mulig å stille prosjektørenes posisjon individuelt ved hjelp av fire skruer. Prosjektørene var av typen Canon SX50 og hadde en oppløsning på 1400 x 1050 piksler, samt oppfriskningsrate på 60 Hz. Polarisasjonsfiltrene ble plassert foran prosjektørenes linser ved hjelp av et eget stativ (se figur 5.6).



Figur 5.5: Prosjektørstativ for innstilling av innstil to prosjektører

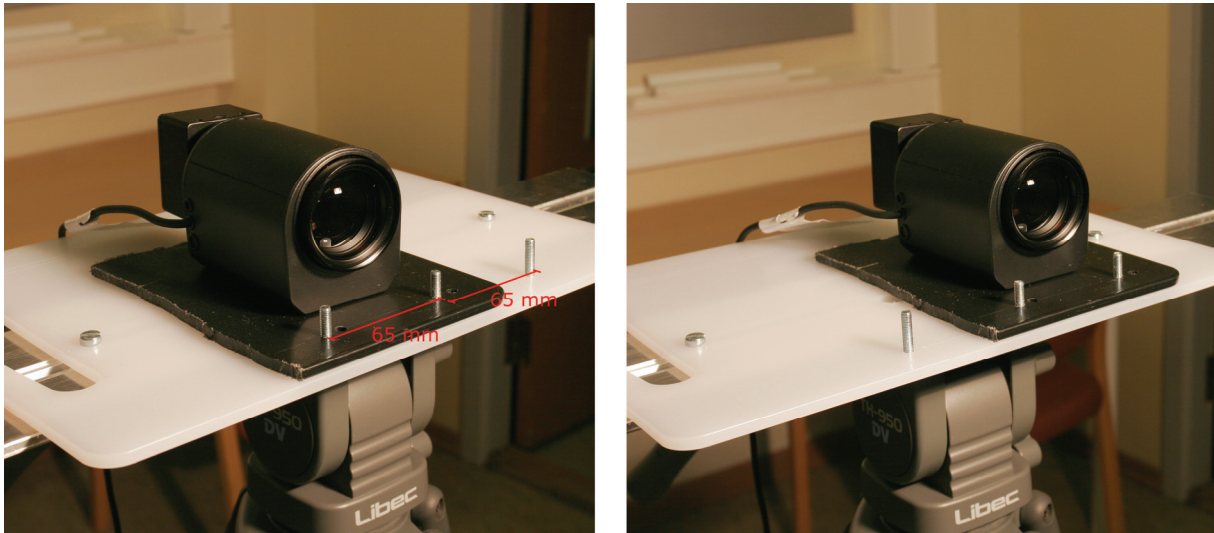
Egner seg godt for innstilling til visning av stereoskopiske bilder ved hjelp av polarisasjon.



Figur 5.6: Polarisasjonsfiltre montert i stativ

5.5 Kamerastativ

Et kamerastativ av typen Libec TH-950 ble brukt som base for montering av kameraene. Det ble etter hvert klart at det var enklest å gjøre opptakene med ett enkelt kamera, og en monteringsplate som gjorde det enkelt å flytte kameraet 6,5 cm horisontalt måtte derfor monteres på stativet. Virkemåten er beskrevet i figur 5.7.



Figur 5.7: Monteringsplate for kamera

Bildet til venstre viser kameraet i høyre posisjon mens bildet til høyre viser kameraet i venstre posisjon. Kameraet er festet til den svarte platen som festes på to av de tre boltene. Avstanden mellom boltene er 65 mm.

5.6 Lys

Som nevnt i kapittel 2, er mye lys svært viktig for å kunne gjøre gode opptak. Profesjonelt lysutstyr var ikke tilgjengelig, og valget falt derfor på 500W arbeidslamper. Lysoppsettet blir beskrevet nærmere i kapittel 5.7 *Forsøksoppsettet*.

5.7 Forsøksoppsettet

Siden målet i dette prosjektet var å se hvor nært virkeligheten man kommer med utstyret som er tilgjengelig i dag, var det ønskelig å gjennomføre forsøkene på en litt annerledes måte enn det som er vanlig. I forbindelse med studier som ser på bildekvalitet, er det vanlig å ha et originalt bilde(videoklipp), som brukes som sammenlikningsgrunnlag for en rekke utgaver med redusert kvalitet. De kan være redusert for eksempel ved ulik grad av komprimering, forskjellig fargesampling osv. Den beste originalen er ganske enkelt virkeligheten, og forsøkspersonene i dette prosjektet fikk derfor sammenlikne videoklippene med en ekte modell. Dette medførte imidlertid noen begrensninger/krav som måtte tas hensyn til:

- For å gi best mulig sammenlikningsgrunnlag var det et poeng at modell og bilde var like store. Skjermstørrelsen var nødvendigvis begrenset, og det betydde at størrelsen på modellen også var det.

- Siden forsøket skulle gjennomføres på flere personer over flere dager, var det også et krav at lysforhold til og omgivelsene rundt modellen kunne holdes mest mulig konstante.
- Modellene måtte også bestå av statiske objekter som ikke endret form eller farge i løpet av forsøksperioden (for eksempel ingen matvarer).
- Alle bevegelser som ble gjort, måtte være enkle å gjenskape likt hver gang.

For å tilfredsstille disse kravene, og samtidig gjøre det enkelt for forsøkspersonene å sammenlikne videoklipp med modell, ble oppsettet vist i figur 5.8 bygget. Oppsettet bestod av to identiske vegger på ca. 2 x 2 meter, plassert 90 grader på hverandre. På hver vegg, i samme høyde, ble det skåret ut en åpning på 100 cm x 56 cm (16:9 widescreen dimensjoner).

Grunnlaget for

å velge denne størrelsen på åpningen, var at de enkelte pikslene ikke skulle være synlig for

Avstand / oppløsning	1920 x 1080	1400 x 787	1280 x 720
0,5 m	480 x 270 mm	350 x 197 mm	320 x 180 mm
1 m	960 x 540 mm	700 x 394 mm	640 x 360 mm
1,5 m	1440 x 810mm	1050 x 590 mm	960 x 540mm
2 m	1920 x 1080 mm	1400 x 787 mm	1280 x 720 mm

Tabell 5.3: Sammenheng mellom oppløsning, skjermstørrelse og avstand til skjermen

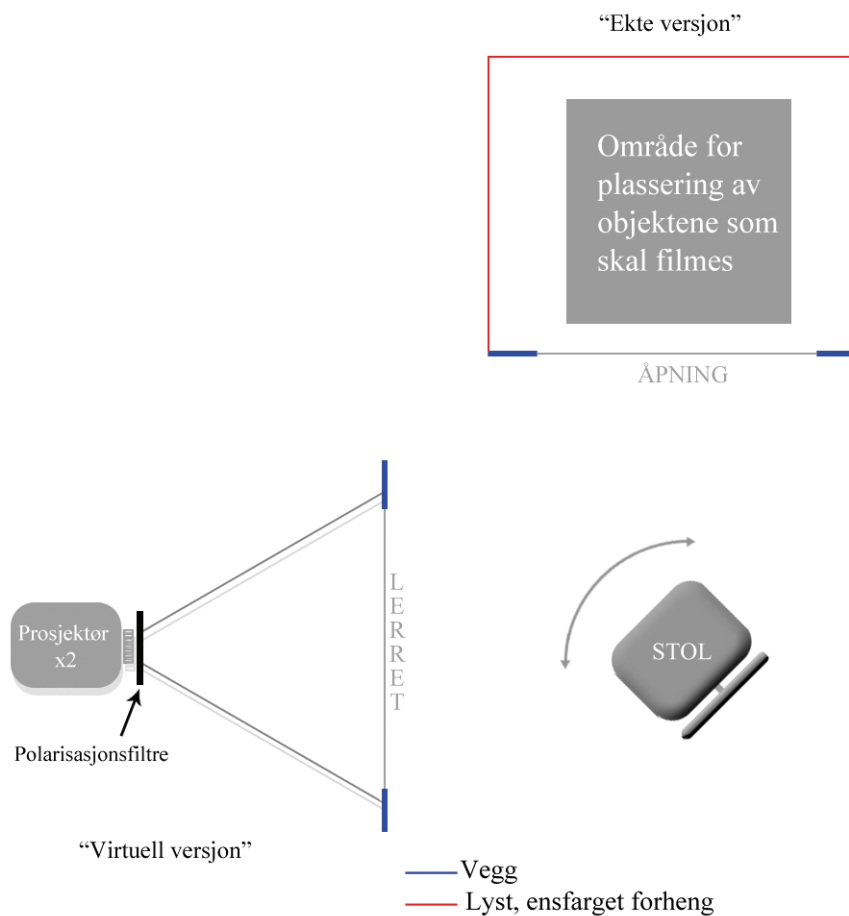
Tabellen viser hvor stor skjerm man kan tillate seg på en gitt avstand med en gitt oppløsning uten at de enkelte pikslene blir synlige.

forsøkspersonene på 1,5 til 2 meters avstand. For å komme fram til disse tallene, sjekket jeg selv hvor nært en vanlig LCD-skjerm jeg måtte befinne meg før jeg kunne se de enkelte pikslene. Ved en pikselstørrelse på 0,25 x 0,25 mm ble pikslene synlig på ca. 50 cm avstand. Gitt at dette skalerer lineært, vil man ved en avstand på 1 meter kunne øke pikselstørrelsen til 0,5 mm osv. Tabell 5.3 viser hvor stort bilde man kan tillate seg på forskjellige avstander ved forskjellige oppløsninger. Vi ser at oppløsningen på 1400 x 787 piksler krever en avstand på ca 1,5 meter.

På baksiden av den ene åpningen ble modellene som skulle brukes plassert. Rundt disse ble det laget et lite ”rom” på ca. 1 m x 2 m ved hjelp av et hvitt forheng (markert med rødt i figur 5.8). Målet med dette forhenget var å gi en mest mulig nøytral bakgrunn, som ikke skulle ta oppmerksomheten bort fra objektene i forsøkene. Forhenget ble derfor spent opp så stramt som mulig, for å fjerne alle rynker og bretter. Den lyse fargen ble også valgt for å reflektere mest mulig lys og gi så gode lysforhold som mulig.

Bak åpningen i den andre veggen, ble det satt opp et lerret. For å kunne vise stereoskopisk videomateriale på dette lerretet, måtte bakprojisering benyttes. Prosjektørene ble plassert mest mulig på midten, både vertikalt og horisontalt, i forhold til lerretet.

En dreibar stol ble plassert slik at den stod midt foran hver av ”skjermene” i omtrent samme avstand som



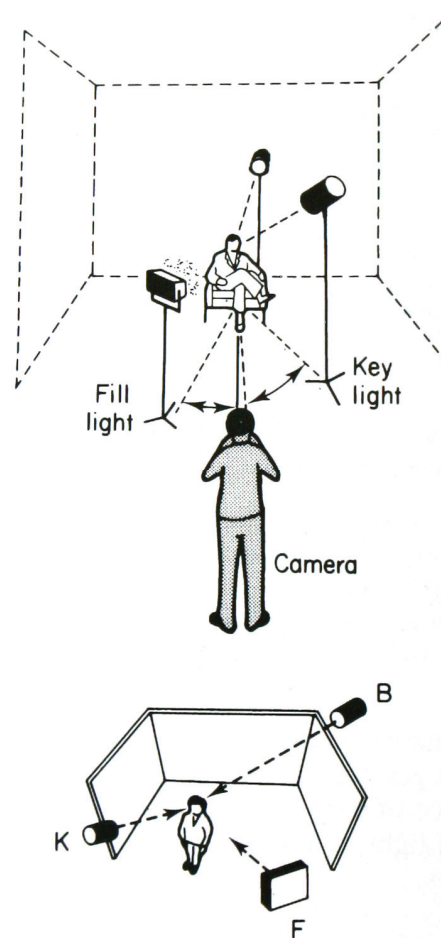
Figur 5.8: Skisse av testoppsettet, sett rett ovenfra

opptakene ble gjort. Ved å justere høyden på stolen kunne man sikre seg at forsøkspersonene så modellen fra samme utgangspunkt som kameraene.

5.7.1 Lyssetting

En vanlig måte å lyssette på er å bruke et 3-punkts oppsett (se figur 5.9). Som navnet antyder benytter man seg av tre lyskilder, ett hovedlys (key light), ett fyll-lys (fill light) og ett baklys. Hovedlyset plasseres litt høyere enn og litt til siden for det som skal filmes. Dette er vanligvis en hard lyskilde, som får fram fasongene og strukturen i overflaten på det som filmes. Fyll-lyset plasseres på motsatt side av kameraet og brukes for å dempe skyggene og kontrastene fra hovedlyset. Denne lyskilden bør derfor være mykere, noe man kan oppnå ved å reflektere lyset fra en stor hvit overflate, i stedet for å lyse direkte på det som filmes. Baklyset plasseres bak og over det som filmes for å få objektene til å gå mindre i ett med bakgrunnen.

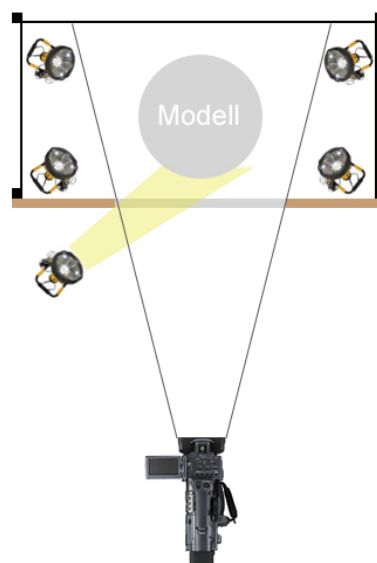
Det viste seg å bli vanskelig å bruke et vanlig 3-punktsoppsett for å lyssette objektene i dette prosjektet. Utgangspunktet var å sikre identiske lysforhold både i forbindelse med opptakene og under gjennomføringen av forsøkene. Det var derfor ikke ønskelig å ha noe lysutstyr foran veggen fordi det i så fall også burde stå der under gjennomføringen av forsøkene, og dermed kunne bli ganske forstyrrende. Problemet med å plassere alt lyset på baksiden av veggen var mangelen på plass. Dette gjorde det umulig å få plassert hovedlys og fylllys korrekt i forhold til objektene som skulle lyssettes. Det var også et poeng at selve lyskildene ikke skulle være synlig for forsøkspersonene, noe som begrenset plasseringen av lysene enda mer. For å gjøre det enda vanskeligere nyttet det ikke å la lysene lyse direkte på objektene. På grunn av den korte avstanden mellom lys og objekt førte dette til ubehagelige hot spots på de objektene som hadde en blank overflate.



Figur 5.9: 3-punkts lyssetting [37]

Figuren viser hvordan man bruker 3 lyskilder for å lyssette et objekt som skal filmes.

Lysoppsettet jeg endte opp med er vist i figur 5.10. Lysene ble plassert slik at de lyste skrått oppover. På den måten var det primært lys reflektert fra tak og vegger, som traff objektene som skulle filmes. Dette ga et relativt jevnt, mykt lys og vi unngikk stort sett hotspots på objektene. Problemet var at det objektet som til enhver tid befant seg nærmest kameraet, ikke ble lyst opp like godt forfra som de andre objektene. Det ble derfor nødvendig å plassere en lyskaster på forsiden av veggen som lyste opp denne delen av



Figur 5.10: Skisse av lysoppsettet, sett ovenfra

modellen. Denne lyskasteren ble fjernet før testene ble gjennomført, og lysforholdene ble derfor dessverre ikke helt identiske.



Figur 5.11: Lysoppsettet bak den ene videoveggen

Bildet er satt sammen av to bilder, det ene tatt skrått mot venstre og det andre skrått mot høyre.

5.7.2 Modellen: objektene som ble filmet

Utgangspunktet var å velge objekter med forskjellige egenskaper, for eksempel farger, detaljer, overflate og lignende. Følgende objekter ble valgt:

Objekt A – Melkekartong

Melkekartongen har mange detaljer i forskjellige størrelser, for eksempel skriften. Den egner seg derfor godt for å se hvordan den romlige oppløsningen påvirker muligheten til å tyde det som står skrevet.

Objekt B – Juicekartong

Har de samme egenskapene som melkekartongen, men har i tillegg flere og sterkere farger.

Objekt C – Tom Coca Cola-flaske, type 1,5 liter

I motsetning til de andre objektene er cola-flaska gjennomsiktig. Den har også en blank overflate, og det kan være interessant å se hvor godt vi klarer å gjengi disse egenskapene på video.



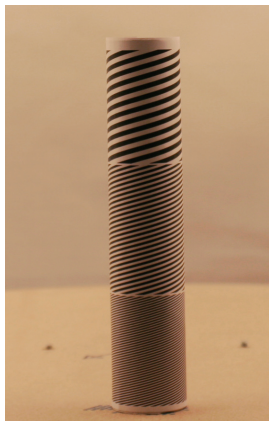
A



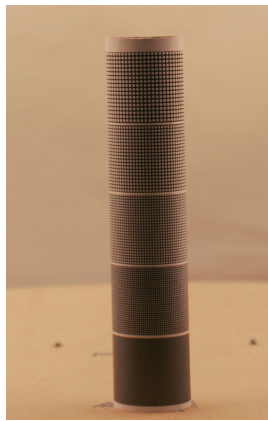
B



C



D



E



F

Figur 5.12: Objektene som ble filmet

Objekt D og E – Sylindere med forskjellige mønstre

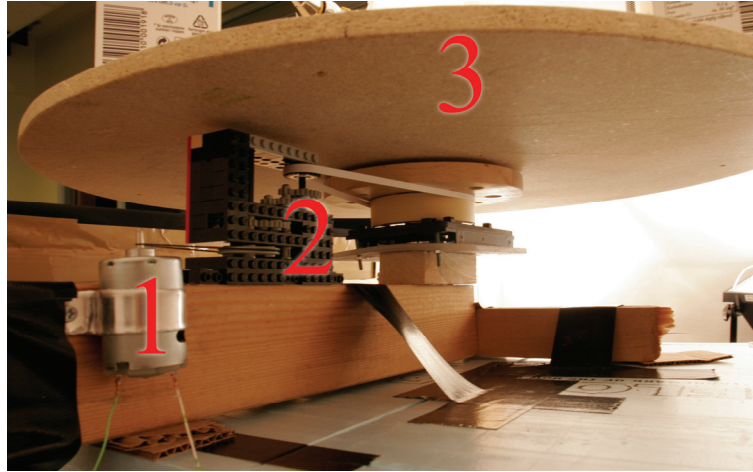
Disse objektene består av sylindere med forskjellige mønstre printet på utsiden. Den ene sylindere har mønstre i form av rutenett med forskjellig størrelse, mens mønsteret på den andre består av skrå linjer med forskjellige tykkelse. Målet med disse er å prøve å provosere fram ”feil”, for eksempel i form av moiré, og eventuelt finne ut ved hvilke oppløsninger de oppstår/forsvinner.

Objekt F – Legomodell

Legomodellen har mange små detaljer, skarpe farger, og Legoklossene skaper mange linjer i forskjellige retninger.

Bordet objektene ble plassert på

Som nevnt måtte alle bevegelser kunne gjenskapes likt gang på gang. En enkel måte å gjøre dette på er å bruke en roterende bevegelse med konstant hastighet, fordi den gjentar seg selv hele tiden. Objektene ble derfor plassert på et rundt bord som kunne roteres ved hjelp av en liten elektromotor. På grunn av motorens høye turtall (13000 rpm ved 6 volt), måtte den gires kraftig ned. Dette ble gjort ved å lage en girboks i Lego. I tillegg kunne rotasjonshastigheten styres ved å endre spenningen til motoren.



Figur 5.13: Roterende bord som modellen plasseres oppå
1: elektromotor, 2: girboks bygget i Lego, 3: platen objektene stod på

6 Gjennomføring av opptak og klargjøring til framvisning

Denne delen går gjennom hele prosessen fra montering av utstyr, gjennomføring av opptak, redigeringsarbeidet i etterkant og innstilling av prosjektørene for framvisning.

Problemer/vanskeligheter som oppstod underveis og forslag til endringer/forbedringer blir diskutert fortløpende.

6.1 Rommet

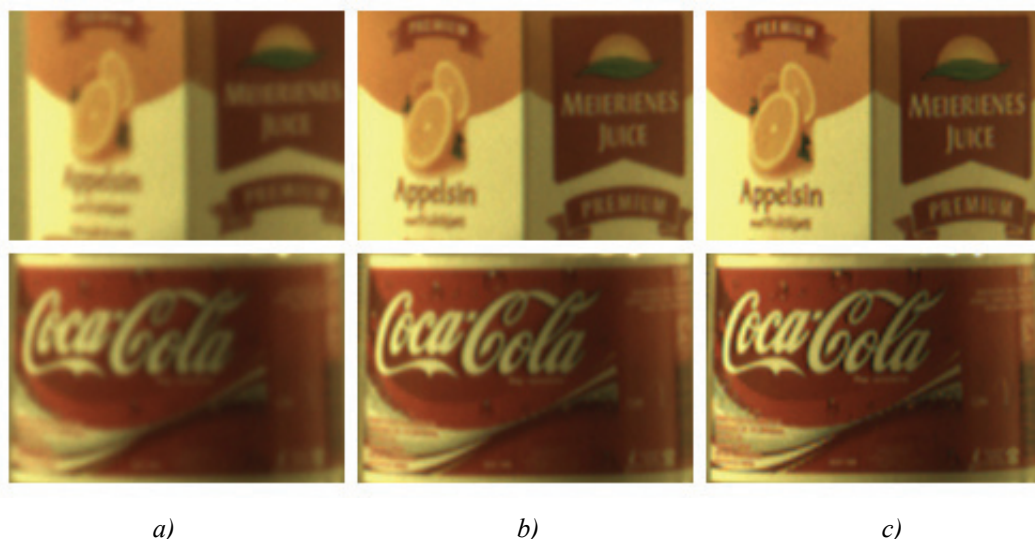
Figur 6.1 viser et bilde av rommet som ble brukt til opptak og framvisning. På grunn av rommets bredde og plasseringen av lerretet, var avstanden fra modellen til stolen hvor forsøkspersonene skulle sitte begrenset til ca. 2 meter. Dette gitt at forsøkspersonene skulle sitte likt plassert i forhold til de to videoveggene.



Figur 6.1: Bilde av forsøksoppsettet

6.2 Kameraplassering og opptak

I utgangspunktet var det meningen å gjøre opptakene i samme avstand fra modellen som forsøkspersonene skulle sitte fra lerretet. Av en eller annen grunn ble imidlertid bildene fra kameraene svært uskarpe på denne avstanden, uansett innstillinger av linsa. Dette til tross for at vi var lengre unna enn linsas oppgitte minimumsavstand til nærmeste objektet. Ved å flytte kameraet lenger unna modellen og zoome inn slik at utsnittet ble like stort, ble imidlertid bildet bedre. Figur 6.2 viser en sammenlikning av bilder tatt i forskjellige avstander fra modellen.

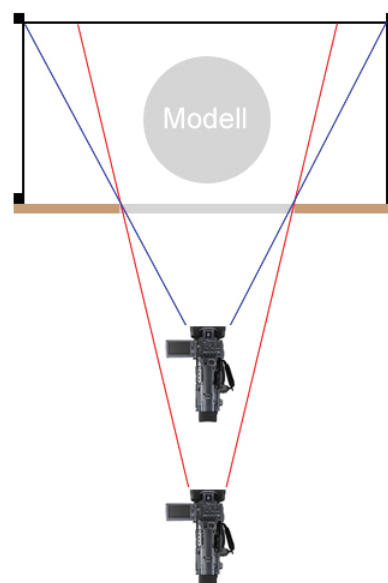


Figur 6.2: Sammenlikning av bilder tatt i forskjellig avstand fra motivet
 a) 2 meters avstand, b) 2,5 meters avstand, c) 3 meters avstand

Problemet med å gjøre opptakene i en annen avstand enn de skal vises fram er at synsvinkelen ikke blir helt lik i de to tilfellene. Dette er illustrert i figur 6.3.

Jo lenger unna et objekt man befinner seg, jo mindre av bakgrunnen ser man. Det ble derfor en avveining mellom bildeklarphet og en liten forskjell i utseende. Den ensfargede bakgrunnen gjorde imidlertid forskjellen så liten at jeg valgte å prioritere bildekvalitet. Opptakene ble derfor gjort i en avstand på 3 meter.

For ytterligere å øke bildekvaliteten ble opptakene gjort i maksimal oppløsning. Deretter ble videomaterialet skalert ned til prosjektørens naturlige oppløsning. Ved denne oppløsningen klarte imidlertid kameraene bare 17 bilder per sekund. For å unngå at opptakene skulle se ujevne ut, ble rotasjonshastigheten til modellen satt til en halv omdreining i minuttet mens opptakene ble gjort. Dette tilsvarer at modellen roterer $3/17$ grad per ramme. Ved å spille av videoen med varierende antall bilder per sekund og justere hastigheten på modellen tilsvarende, kunne vi dermed simulere opptak gjort med høyere tidsmessig oppløsning og høyere rotasjonshastighet. Denne måten å gjøre det på



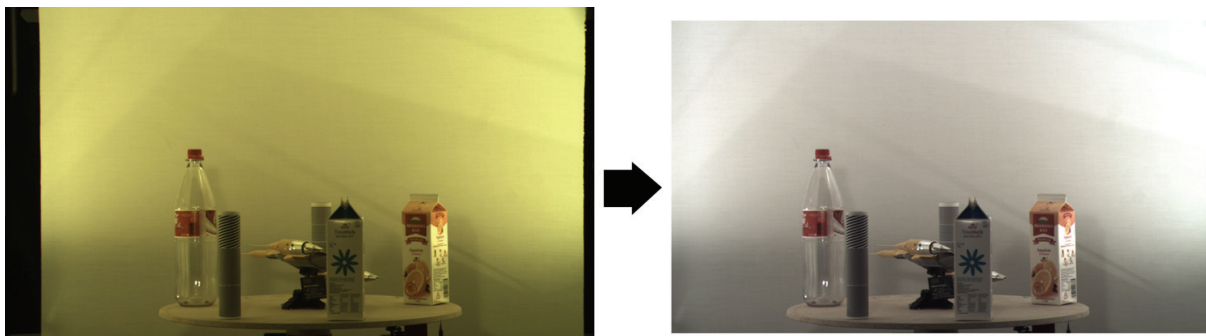
Figur 6.3: Endring av brennvidde ved forskjellige avstander for å oppnå samme utsnitt

Pga den ensfargede bakgrunnen endrer ikke bildet seg veldig mye selv om avstanden økes.

var også svært tidsparende, da det holdt å gjøre opptakene en gang, i stedet for å måtte gjøre opptak for mange forskjellige rotasjonshastigheter.

Det siste kameraproblemet oppstod da to kameraer skulle brukes samtidig. For det første var det kun mulig å koble ett kamera til linsekontrollenheten om gangen. Dette gjorde det svært vanskelig å få identiske innstillinger på kameraene. I tillegg var det vanskelig å gjøre nøyaktige justeringer med kontrollenheten, og den hadde ingen form for indikasjon på hvordan linsa til enhver tid var innstilt. Eksempelvis ingen visning av brennvidde, lukkeråpning osv. Av en eller annen grunn ga også de to linsene forskjellige bilder når de var justert likt (max/min zoom på begge for eksempel). Løsningen ble derfor å bruke ett kamera og gjøre opptakene to ganger med kameraet flyttet 6,5 cm horisontalt mellom opptakene. Dette fungerte bra, i og med at modellens bevegelse var repeterende. Noen ideell løsning er det imidlertid ikke, da det begrenser hva som kan filmes i tillegg til at det blir mer jobb fordi opptakene må gjøres to ganger.

Alle opptakene ble gjort slik at utsnittet omfattet litt mer enn det som var nødvendig. På denne måten var det litt justeringsmuligheter i forbindelse med redigeringen. I figur 6.4 ser vi originalklippet til venstre og det valgte utsnittet til høyre. Det høyre bildet har også blitt fargekorrigert.



Figur 6.4: Original med større utsnitt enn nødvendig til venstre, fargekorrigert og korrekt utsnitt til høyre

6.3 Redigering

Som sagt ble det gjort to opptak, ett for venstre og ett for høyre øye. Råmaterialet ble importert i Adobe Premiere Pro. De to videoklippene ble synkronisert på rammenivå og justert for å gi ønsket stereoskopisk effekt (se 3.4.6). Deretter ble klippene eksportert som to separate og ukomprimerte avi-filer.

Videre redigering foregikk i Adobe After Effects. Dette programmet ble valgt primært fordi man står fritt til å velge antallet bilder per sekund et videoklipp skal eksporteres med. Her ble fargene justert ved hjelp av et "auto levels"-filter. Filterets innstillinger ble lagret slik at det enkelt kunne brukes om igjen på andre videoklipp.

Klippene som skulle brukes i det første forsøket ble skalert ned til sine respektive oppløsninger og eksportert med en tidsmessig oppløsning på 17 fps. Klippene som ble brukt i forsøk 2 ble alle skalert ned til 640 x 360 piksler og eksportert med varierende antall bilder per sekund.

6.4 Framvisning

Den første utfordringen i forbindelse med framvisning av videoklippene var å få stilt inn prosjektørene korrekt. Selv om prosjektørstativet gjorde det mulig å gjøre små justeringer var det vanskelig å få bildene til å overlappe hverandre perfekt. Noe av grunnen til dette er at prosjektørene ikke stod 100 % ortogonalt på lerretet og dermed ble det en liten keystone-feil (se kapittel 3.4.5). Jeg visste imidlertid at det mest kritiske med stereoskopiske bilder er å unngå en vertikal parallax, og fokuserte derfor på å få de to bildene i samme vertikale nivå. En liten forskyving i horisontalplanet har ikke så mye å si, i og med at bildene allerede er litt forskjøvet/forskjellige horisontalt.

Å styre avspillingen av videoklippene var til å begynne med litt klønete fordi det ble gjort fra baksiden av lerretet, der PC-en og prosjektørene var plassert. Det betydde at man så alt speilvendt, fordi man så skjermen fra baksiden. Problemet ble løst ved å gå over til å bruke trådløst tastatur/mus, slik at man kunne sitte på riktig side av veggen og styre det hele. For å unngå å være i samme rom som forsøkspersonen, kunne man eventuelt brukt en annen PC til å fjernstyre avspillings PC-en.

Det store problemet med framvisningen viste seg imidlertid å være selve avspillingen av videoklippene. For det første hadde programmet Stereoscopic Player, som ble brukt til å spille av videoklippene, en tendens til å henge seg svært ofte. Dette skjedde stort sett i forbindelse med at man åpnet eller lukket programmet, eller ved overgangen til eller fra visning i fullskjerm. Heldigvis betydde det at programmet stort sett hang før et forsøk begynte eller etter at et forsøk var ferdig. Det var likevel et irritasjonsmoment, som førte til en del unødvendig ekstraarbeid ved hver gjennomføring.

Rekkefølgen klippene ble avspilt i, ble styrt ved hjelp av enkle spillelister som ble satt opp i en enkel teksteditor. Følgende er et eksempel på en slik spilleliste:

```
videoklipp_venstre_høyre.avi|nolooop|0|10000000  
videoklipp1_venstre.avi*videoklipp1_høyre.avi|nolooop  
videoklipp2_venstre.avi*videoklipp2_høyre.avi|loop|f50|f500
```

Den første linja angir at de første 10 sekundene av videofila videoklipp_venstre_høyre.avi skal spilles av, og at klippet kun skal spilles av én gang. Den andre linja betyr at de to videofilene skal spilles av samtidig, én gang. Den tredje linja angir at de to videoklippene skal spilles av samtidig fra ramme nummer 50 til 500, og loops. På denne måten var det enkelt å sette opp flere spillelister som spilte av klippene i forskjellige rekkefølger.

7 Forsøk: Nær naturlige stereoskopiske bilder og krav til oppløsning

7.1 Metode

Per dags dato finnes det så vidt jeg vet ingen konkrete metoder eller prosedyrer for å gjennomføre forsøk, hvor videomateriale sammenliknes med en virkelig modell.

Recommendation ITU-R BT.500-11 beskriver imidlertid en rekke metoder for å bedømme kvaliteten på TV-bilder. Selv om ingen av disse metodene passer perfekt, kan de brukes som et utgangspunkt. Metodene jeg primært har tatt utgangspunkt i er *double-stimulus impairment scale (DSIS)* og *double-stimulus continuous quality-scale (DSCQS)*. Kort fortalt fungerer disse metodene på følgende måte:

7.1.1 Double-stimulus Impairment Scale (DSIS)

Først viser man forsøkspersonen et referansebilde/videoklipp. Deretter vises det samme bildet/klippet i en forringet utgave. Forringelsen kan bestå i kraftigere komprimering, mer støy, endret oppløsning, færre bilder per sekund osv. Etter å ha sett på begge utgavene blir

5	Imperceptible
4	Perceptible, but not annoying
3	Slightly annoying
2	Annoying
1	Very annoying

Tabell 7.1: The five-grade impairment scale [2]

forsøkspersonen bedt om å bedømme det siste bildet/klippet sammenliknet med referansen.

Skalaen som brukes for å bedømme klippene er vist i tabell 7.1. Rekkefølgen på de forringede utgavene bør for øvrig varieres tilfeldig for hver forsøksperson.

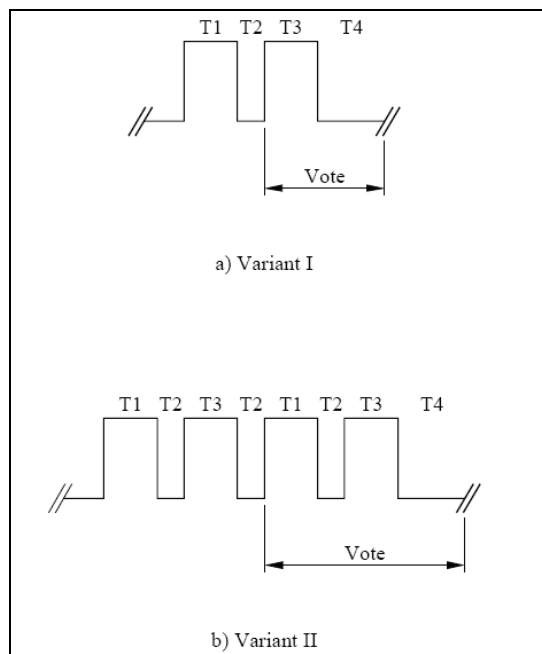
Det finnes to varianter for å presentere bildematerialet. Variant I går ut på at man viser referansebildet i 10 sekunder (T1 i figur 7.1). Deretter er det 3 sekunder pause (T2) hvor det vises en nøytral gråfarge, før den forringede utgaven vises i 10 sekunder (T3). Til slutt er det en periode på 5-11 sekunder (T4) hvor forsøkspersonen krysser av på graderingsskalaen.

Variant II er nesten lik variant I, bortsett fra at referansen og den forringede utgaven vises to ganger. Dette burde gå tydelig fram av figur 5.1. Det er anbefalt [2] at hver testsesjon

begrenses til ca. en halv time. Ved bruk av stereoskopiske bilder er det imidlertid anbefalt å redusere denne tiden noe, fordi slike bilder er mer slitsomme å se på.

7.1.2 Double-stimulus Continuous Quality-scale (DSCQS)

Denne metoden skal visstnok være spesielt nyttig når man ikke har mulighet til å vise bilder som dekker hele kvalitetsspekteret. Ved denne metoden presenteres forsøkspersonene for bildepar, hvor det ene har redusert kvalitet. Forsøkspersonen blir deretter bedt om å rangere begge bildene. Bildene vises i tilfeldig rekkefølge med tilfeldige forringelser, inntil alle kombinasjoner er dekket.



Figur 7.1: Presentasjonsstruktur av testmateriale [2]

To varianter av DSIS for å presentere bildemateriale.

Også denne metoden har to varianter for å vise fram bildene. Variant I gir forsøkspersonen mulighet til å bytte mellom de to bildene flere ganger før de rangerer dem. I variant II vises bildene en eller flere ganger både før og under rangeringen.

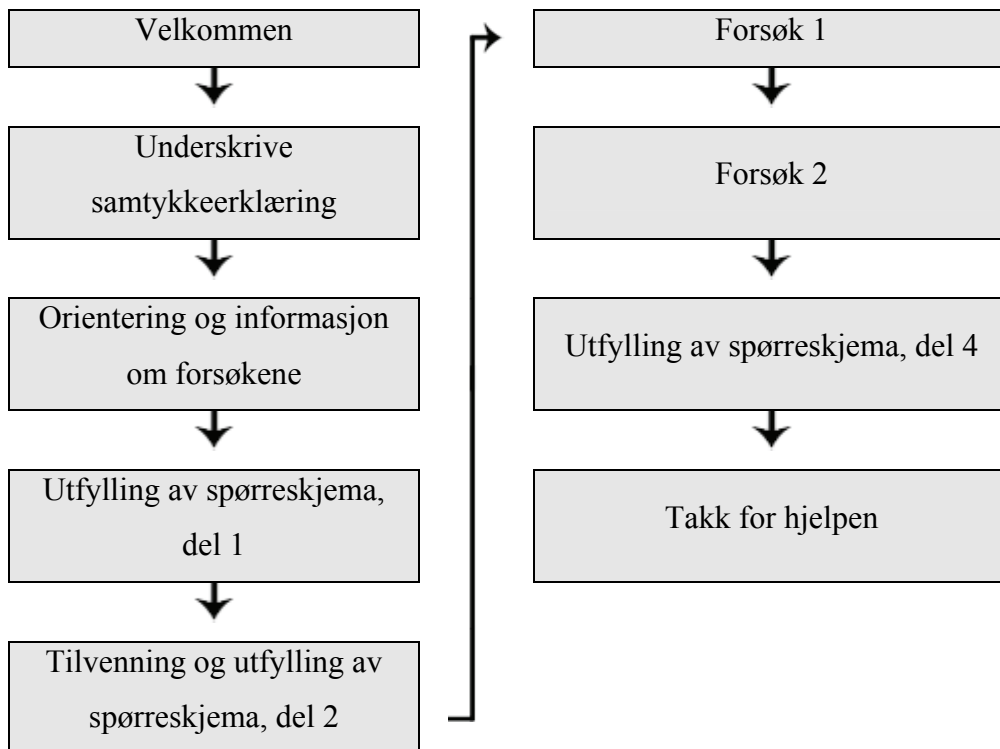
7.1.3 Valgt metode

Metoden jeg har brukt for framvisning og rangering har vært som følger:

- Forsøkspersonene får se både den ekte modellen og videoklippene samtidig. Lengden på videoklippene varierer avhengig av forsøket.
- Forsøkspersonene kan hele tiden flytte blikket mellom de to utgavene, og har dermed mulighet til å sammenlikne detaljer direkte. Dette i stedet for først å se den ene utgaven, deretter den andre, for så å skulle sammenlikne de to basert på korttidshukommelsen.
- Mellom hvert videoklipp får forsøkspersonene 15 sekunder til å rangere klippene på en skala fra 1 til 7, hvor 7 er best. Som nevnt anbefaler BT.500-11 i utgangspunktet en skala fra 1 til 5, men siden det er lite trolig at noen av videoklippene vil være like bra som virkeligheten, vil neppe de høyeste karakterene bli brukt. For å få en litt mer nyansert skala var det derfor ønskelig å gi noen flere karaktermuligheter.

7.2 Prosedyre

Dette kapittelet beskriver prosedyren som hver testperson gikk gjennom. En oversikt over de ulike elementene i prosedyren er vist i figur 7.2.



Figur 7.2: Prosedyren for gjennomføringen av forsøkene

7.2.1 Samtykkeerklæring og informasjon

Før forsøkene ble gjennomført måtte deltakerne skrive under en samtykkeerklæring som ga meg rett til å bruke deres resultater fra forsøkene. Samtykkeerklæringen og informasjonsteksten er vedlagt i vedlegg A. De fikk deretter lese gjennom et informasjonsskriv som i korte trekk beskrev hvem jeg er, hva oppgaven dreide seg om og hvordan forsøkene skulle gjennomføres.

7.2.2 Utfylling av spørreskjema, del 1

Før forsøkspersonene begynte å fylle ut denne delen av skjemaet, ble de gjort oppmerksomme på at det bare var å spørre hvis noe var uklart. På denne måten ble uklarheter i spørsmålsformuleringene plukket opp med en gang, og kunne utbedres før neste forsøksperson. Spørreskjemaet var derfor hele tiden under revisjon for å sikre mest mulig presise spørsmål, til en evt. senere gjennomføring av testene i større skala.

7.2.3 Tilvenning/avvenning

I utgangspunktet var det ønskelig at forsøkspersonene skulle vurdere de to utgavene i forhold til hverandre, uten å i noen grad la seg påvirke av omstendighetene rundt. Teoretisk sett virker dette enkelt. Se på den ekte utgaven, se på den ”virtuelle” og ranger sistnevnte i forhold til den første. Spørsmålet er om man klarer å gjøre dette uten å bli påvirket av noe annet?

Teknisk interesserte vil kanskje lure på hva slags prosjektører som brukes, hvilken oppløsning de kjører, hvordan man lager stereoskopisk video osv. Folk som ikke er vant til å bruke briller vil kanskje irritere seg over at de hele tiden ser brillekanten ytterst i synsfeltet. At videoklippene er stereoskopiske er også noe en bør ta hensyn til, fordi de fleste ikke har sett denne typen bilder før. Man kan dermed risikere at videoklippene oppfattes som så annerledes/imponerende/fascinerende at det kan påvirke resultatene. En annen sak er at det å se på stereoskopiske bilder i forskjellig grad kan være slitsomt for øynene, avhengig av hvor godt opptakene er gjort. Det er uansett litt uvant å se på stereoskopiske bilder i begynnelsen, og det er derfor et poeng at forsøkspersonene er kvitt den første ”uvant”-følelsen før selve forsøkene begynner. Det er også viktig å gjøre forsøkspersonene klar over sånne ting som at de ikke må legge hodet over på siden, hvis man bruker polarisasjonsmetoden for framvisning, ref. 3.5.4.

For å redusere sjansen for at tingene nevnt ovenfor skulle påvirke resultatene, ble det satt av ca. 10 minutter før selve forsøket til tilvenning. I løpet av denne perioden fikk forsøkspersonene se 4 korte videoklipp i HD kvalitet, hvorav det siste også var stereoskopisk. Etter å ha sett disse klippene ble de bedt om å rangere dem på en skala fra 1 til 7, hvor karakteren 7 tilsvarte at klippet så like bra ut som det ville gjort i virkeligheten. Selv om ikke dette var en del av selve forsøkene, var det interessant å se hvordan forsøkspersonene oppfattet bildekvalitetene på videoklipp når de ikke hadde noe å sammenlikne med.



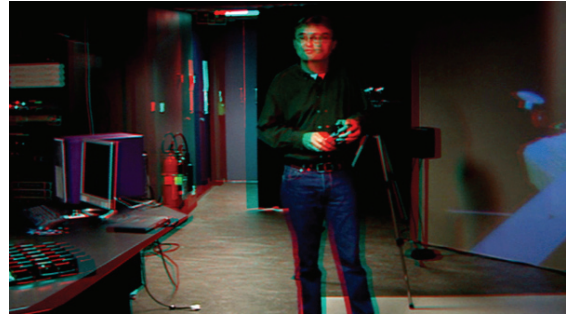
a)



b)



c)



d)

Figur 7.3: Oversikt over videoklippene som ble brukt til tilvenning

a) Fallskjermhopping, b) Formel 1, c) Flyving, d) Stereoskopisk film

7.2.4 Forsøk 1 – Romlig oppløsning

Forsøkspersonen fikk lese gjennom instruksjonene til forsøk 1, og ble bedt om å si fra hvis noe var uklart. På samme måte som ved utfylling av spørreskjemaet del 1 ble uklarheter notert ned og endret før neste forsøksperson. I henhold til forsøksoppsettet beskrevet tidligere, ble forsøkspersonen plassert på en stol foran videoveggene med beskjed om å følge med på lerretet for instruksjoner. Videoklipp i forskjellig romlig oppløsning ble deretter vist på lerretet. Hvert klipp ble vist i ett minutt. Mellom hvert klipp ble det vist en nedtelling fra 15 sekunder, som var tid til rådighet for å krysse av på rangeringsskalaen. Etter at de 6 videoklippene var vist, fylte forsøkspersonene ut resten av spørsmålene til forsøk 1.

7.2.5 Forsøk 2 – Tidsmessig oppløsning

Som i forsøk 1 ble eventuelle spørsmål i forbindelse med forsøksinstruksjonene besvart og notert ned. I motsetning til forsøk 1 ble videoklippenes romlige oppløsning holdt konstant, mens antallet bilder per sekund samt modellens rotasjonshastighet ble variert. Tre rotasjonshastigheter ble brukt, og for hver av dem ble det vist 5 videoklipp med forskjellig

tidsmessig oppløsning (se tabell 7.2). Hvert klipp ble vist i 10 til 20 sekunder med 15 sekunders pauser til avkrysning på rangeringsskalaen.

Rot. hastighet	Bilder per sekund				
5 sek.	20	30	40	50	60
10 sek.	20	30	40	50	60
20 sek.	20	30	40	50	60

Tabell 7.2: Antall bilder per sekund ved forskjellige rotasjonshastigheter

7.2.6 Utfylling av spørreskjema, del 4

Den siste delen av spørreskjemaet ble fylt ut etter forsøkene for å få fram evt. problemer underveis, og for å få en generell vurdering av videoklippenes stereoskopiske effekt.

8 Feilkilder

Dette kapittelet tar for seg mulige feilkilder, som kan ha påvirket forsøkene. For å si noe om hvor alvorlig jeg anser hver feilkilde å være, har jeg klassifisert dem som enten liten, moderat eller grov. En liten feilkilde har neppe påvirket resultatene. En feilkilde som er moderat kan ha påvirket resultatene, og en grov feilkilde har med stor sannsynlighet påvirket resultatene. Forslag til endringer blir også gjennomgått.

8.1 Testmiljøet

8.1.1 Lysforhold i rommet m.m.

Av de to vinduene i rommet var det bare vinduet rett bak modellen som ble dekket til. Det hadde nok vært lurt å dekke til det andre vinduet også, slik at lysforholdene utendørs ikke hadde **noen** påvirkning. Det ble også påpekt at området mellom og over de to videoveggene kanskje burde vært svarte, for å virke mindre forstyrrende. Jeg regner dette som en liten feilkilde.

8.1.2 Overvåkning

Siden jeg stort sett befant meg i rommet mens forsøkene foregikk, kan forsøkspersonene ha følt at de til en viss grad ble overvåket. Grunnen til at jeg befant meg i samme rom var for å justere spenningsregulatoren som styrte rotasjonshastigheten til modellen. Jeg anser også dette for å være en liten feilkilde.

8.1.3 Plassering av videoveggene

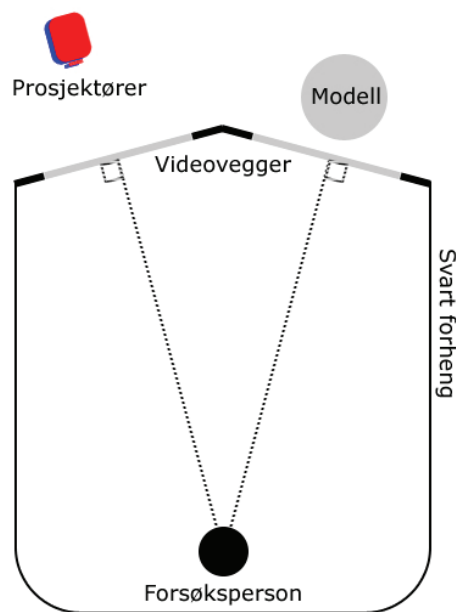
Videoveggene var, som beskrevet tidligere, plassert vinkelrett på hverandre. I utgangspunktet anså jeg det som lite problematisk å vri hodet 90 grader for å bytte mellom de to versjonene. I ettertid ser jeg imidlertid at dette muligens kan ha vært et forstyrrende moment, særlig i forbindelse med forsøk 2, hvor noen av klippene bare ble vist i 10 sekunder. Jeg anser dette som en moderat feilkilde.

8.1.4 Forslag til endringer/forbedringer

For å sikre at forsøkspersonene ikke føler seg overvåket kan modellens bevegelser styres fra et annet rom. Dette gjøres enkelt ved å flytte spenningsregulatoren inn på rommet ved siden av, og forlenge kablene til elektromotoren.

Lysforholdene i rommet kan holdes konstante ved å dekke til alle vinduene med lystette gardiner. For å unngå at området mellom videoveggene virker forstyrrende, kan man dekke det til med et svart forheng. Eventuelt kan man også lage et ”tak” over forsøkspersonene, slik at alle forstyrrende elementer i synsfeltet forsvinner.

For å gjøre det enklere å sammenlikne de to versjonene, kan videoveggene plasseres ved siden av hverandre i stedet for ortogonalt. De må imidlertid ha en liten vinkel i forhold til hverandre, slik at man sitter sentrert i forhold til begge veggene samtidig. Hvor stor denne vinkelen må være avhenger nødvendigvis av avstanden til veggene. Forslag til hvordan dette kan se ut er skissert i figur 8.1.



Figur 8.1: Forslag til ny plassering av videoveggene

8.2 Teknisk utstyr

8.2.1 Avspilling av videoklippene

Som nevnt tidligere måtte antallet bilder per sekund i det første forsøket begrenses til 17 for at maskinen skulle klare avspillingen. Dette førte til at bevegelsene ikke ble oppfattet som jevne, til tross for den lave rotasjonshastigheten. Dette kan fort bli en grov feilkilde i en mer kvantitativ gjennomføring av forsøkene, hvor man kommuniserer mindre med forsøkspersonene og dermed ikke får avdekket at antallet bilder per sekund drar ned inntrykket. I disse forsøkene anser jeg det som en moderat feilkilde, siden jeg på forhånd kunne gjøre forsøkspersonene oppmerksomme på det.

I forsøket med temporal oppløsning var det også problemer med avspillingen. Problemet var at avspillingen så ut til å gjøre bittesmå hopp innimellom som virket forstyrrende. Dette ble mer utpreget ved høyere antall bilder per sekund, og kan derfor regnes som en grov feilkilde fordi det kan snu resultatene helt på hodet.

8.2.2 Forslag til endringer/forbedringer

Sannsynligvis er løsningen å ta i bruk kraftigere maskinvare som klarer å spille av de aktuelle videoklippene. Man bør imidlertid finne ut om de små hoppene i videoklippene til forsøk 2 skyldes maskinvare, programvare eller måten opptakene ble gjort på.

8.3 Modellen og gjennomføring av forsøkene

8.3.1 Antallet objekter

Modellen bestod av 6 forskjellige objekter med delvis forskjellige egenskaper. Kanskje er dette for mange objekter til at man rekker å vurdere kvaliteten på alle, i løpet av tiden man har til rådighet. Resultatene kan fort bli påvirket hvis man vurderer forskjellige objekter ved de forskjellige romlige oppløsningene. Jeg ser på dette som en moderat feilkilde.

8.3.2 Objektene bevegelse

Siden objektene beveget seg i en sirkel, ville objektene som til enhver tid var lengst til høyre/venstre i synsfeltet bevege seg mot/vekk fra forsøkspersonen, mens objektene som var nærmest/lengst bort beveget seg mer på tvers. Bevegelser på tvers gir atskillig større endring fra ramme til ramme enn bevegelser innover og utover i bildet. Fokus på forskjellig del av bildet fra klipp til klipp vil derfor kunne påvirke hvor jevne bevegelsene virker. Også dette mener jeg er en moderat feilkilde.

8.3.3 Synkronisering mellom video og modell

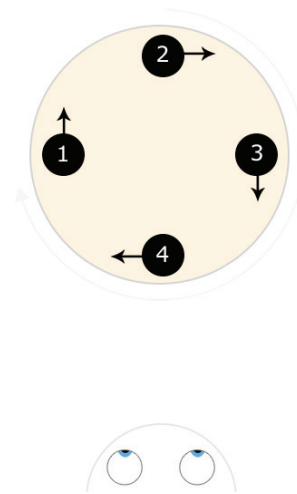
Selv om rotasjonshastigheten til både modellen og videoklippene hele tiden var den samme, var ikke de to synkronisert med tanke på posisjon. Det var med andre ord tilfeldig om objektene befant seg i samme posisjon på videoklippet som på modellen. Jeg anser dette som en liten feilkilde.

8.3.4 Lyssetting av modellen

Selv om jeg forsøkte å lyssette modellen ved å reflektere lys fra tak og vegger, klarte jeg ikke helt å unngå at små deler av bildet ble overeksponert. Dette skjedde typisk på objekter med blank overflate når de befant seg i en posisjon hvor lyset fra lyskasterne traff dem direkte. Det var kun en forsøksperson som kommenterte på dette og jeg anser det derfor som en liten feilkilde.

8.3.5 Forslag til endringer og/eller forbedringer

For forsøket som går på romlig oppløsning vil jeg foreslå at man i stedet for å bruke video benytter seg av stillbilder. På denne måten forsvinner alle problemene med ujevne bevegelser, og man øker fokuset på det som er interessant med forsøket; bildekvaliteten. Det gir også mulighet for å bruke et godt digitalt stillbildekamera, hvor man har full kontroll på blenderåpning, fokus, brennvidde osv. Stillbildekamera gir også mulighet for å ta bildene med større fargedybde, noe som fører til mindre tap av kvalitet i forbindelse med postprosessering (for eksempel fargekorrigering). Det er også lettere/mindre tidkrevende å jobbe med stillbilder, enn med svært store, ukomprimerte videoklipp.



Figur 8.2: Objektene s bevegelse (sett ovenfra)

Objekt 1 og 3 beveger seg i hovedsak bort fra/mot forsøkspersonen mens 2 og 4 beveger seg på tvers. Sistnevntes bevegelser er derfor avhengig av flere bilder per sekund for å oppfattes som jevne.

Siden forsøkspersonene skal sammenlikne bildene med virkeligheten så nøyaktig som mulig, kan det også være en mulighet å la dem styre selv hvor lenge de vil se på hvert bilde. Problemet med mange objekter og for lite tid til å studere hvert enkelt forsvinner også hvis man bruker denne metoden. Man trenger heller ikke bekymre seg for synkronisering som beskrevet i 8.3.3.

I forsøket med tidsmessig oppløsning foreslår jeg at man kun har ett enkelt objekt som er i bevegelse. Man sikrer da at fokuset alltid er på objektet og unngår dermed det mulige problemet med forskjellige fokuspunkter, som beskrevet tidligere.

9 Spørreskjemaet

I dette kapittelet går jeg gjennom spørreskjemaets oppbygning og grunnlaget for spørsmålene som ble stilt. Jeg ser nærmere på noen av spørsmålene og dataene som ble registrert, og vurderer validiteten og reliabiliteten til disse. Endringer som ble gjort i spørreskjemaet underveis vil også bli gjennomgått og begrunnet. Det endelige spørreskjemaet er lagt ved som vedlegg B.

9.1 Oppbygning

Spørreskjemaet bestod av 4 deler. Del én bestod av en rekke spørsmål for å registrere forsøkspersonenes vaner i forbindelse med TV- og PC-bruk. Del to var en enkel vurdering av kvaliteten på klippene som ble brukt i tilvenningsfasen. Del tre ble brukt under selve forsøkene, og registrerte rangeringen av de forskjellige videoklippene. Den fjerde delen ble fylt ut etter forsøket, primært for å få registrert om forsøket ga noen form for ubehag.

Jeg var hele tiden tilgjengelig for spørsmål under forsøkene, med unntak av mens videoklippene ble vist. I de tilfellene hvor forsøkspersonene var interessert, ble det også litt diskusjon rundt måten ting ble gjort på og grunnen til at ikke alt fungerte helt som det skulle. Noen kom også med forslag til forbedringer/endringer. På denne måten ble forsøkspersonene delvis medforskere, slik aksjonsforskningsmetodikken åpner for.

Spørsmålene i spørreskjemaet vil nå bli gjennomgått, og resultatene diskutert.

9.2 Del 1

- **Alder, kjønn, yrke og synskorreksjon**

Alderen til forsøkspersonene varierte fra 23 til 59 år. To av de seks brukte briller eller linser, og ingen oppga at de var fargeblinde. Halvparten av forsøkspersonene var studenter, mens resten jobbet. Av de som jobbet var det én professor, en ingeniør og en programmerer. To av deltakerne var kvinner.

- **Hvor mange timer bruker du foran en datamaskin hver uke?**
- **Hva slags PC-skjerm bruker du?**
 - **Type?**
 - **Skjermstørrelse?**
 - **Format?**

Grunnlaget for disse spørsmålene var å se om skjermtypen, størrelsen og formatet deltakerne var vant til å jobbe på til vanlig hadde noen sammenheng med rangeringen av videoklippene under forsøkene. Også tiden brukt foran PC på ukesbasis ble registrert for å se om de som brukte mye tid foran skjerm, kanskje var mer kresne når det gjaldt bildekvalitet.

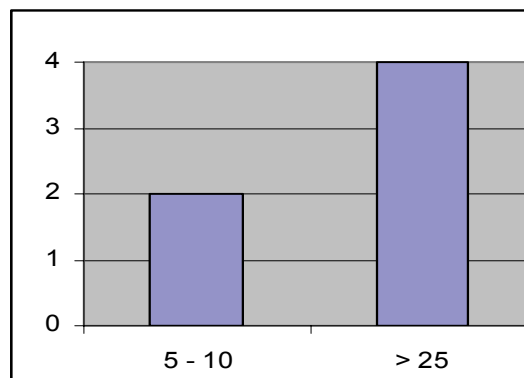
Resultatene er vist i figur 9.1 til 9.3. Som vi ser brukte de fleste mye tid foran PC-en hver uke. Dette er ganske naturlig i og med at forsøkspersonene enten var studenter eller jobbet med tekniske yrker. Det hadde vært gunstig å ha med en gruppe som brukte lite tid foran skjermen, for å se om det gjorde noe med resultatene i forsøkene.

Skjermstørrelsen deltakerne vanligvis benyttet seg av varierte fra 17 til 24 tommer, og halvparten hadde widescreen som sin primære skjerm.

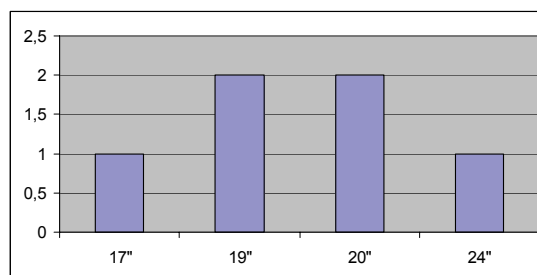
Alle som deltok brukte forøvrig LCD-skjerm i forbindelse med PC-bruk. Ingen stor overraskelse, med tanke på at man knapt nok får kjøpt CRT-skjermer lenger. I og med at prosjektørene vi brukte i prinsippet er store LCD-skjermer, ble ingen utsatt for en uvant skjermt teknologi under forsøkene.

- **Oppløsning? (fjernet)**

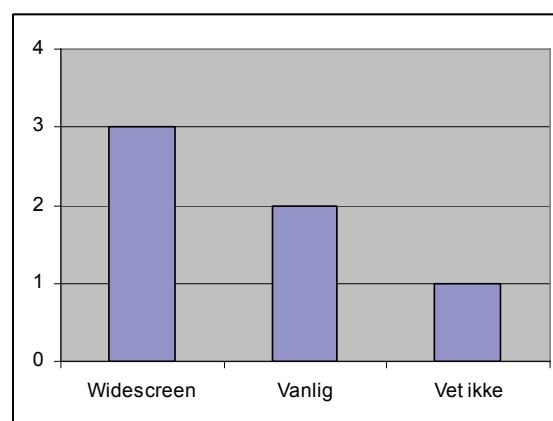
Dette spørsmålet ble fjernet underveis. Det var få som visste nøyaktig hvilken oppløsning de brukte, og det ble derfor flere kryss på alternativet vet ikke. Dette gir oss ingen nyttig informasjon, og siden oppløsningen stort sett er diktert av skjermstørrelsen ble dette spørsmålet ansett som overflødig og lite nyttig.



Figur 9.1: Tid foran PC per uke



Figur 9.2: Skjermstørrelse PC



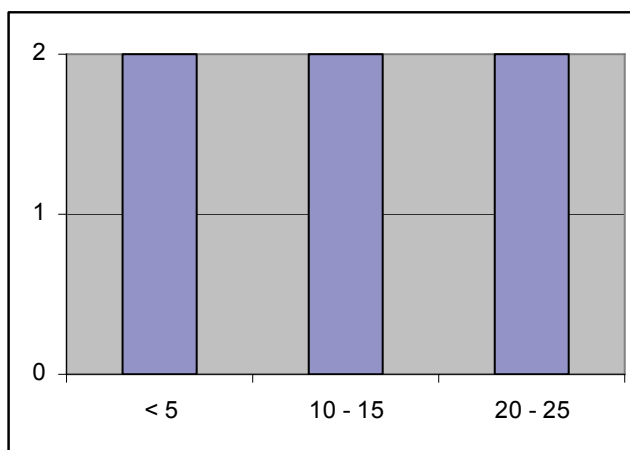
Figur 9.3: Format

- **Hvor mange timer ser du på TV hver uke?**
- **Hva slags TV ser du mest på?**
 - **Type?**
 - **Skjermstørrelse?**
 - **Format?**

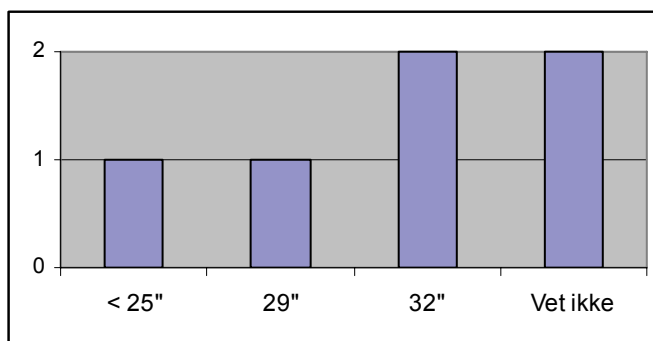
Deltakernes TV-vaner ble undersøkt med de samme spørsmålene som ble stilt i forbindelse med PC-bruk.

Resultatene er vist i figurene 9.4 og 9.5. Deltakerne bruker generelt litt mindre tid foran TV-en enn foran PC-en. Det man ser på TV kan imidlertid kanskje regnes som mer relevant, sammenliknet med videomaterialet brukt i forsøkene.

På PC sitter man ofte og jobber med tekst og tall, mens TV-en stort sett viser levende bilder. Det virker derfor rimelig å tro at en som ser mye på en stor, god TV er mer kritisk til bildekvalitet enn en som bruker tilsvarende mer tid med for eksempel tekstbehandling på en PC. Vi har imidlertid for lite innsamlet data til å kunne trekke noen konklusjoner rundt dette.



Figur 9.4: Tid foran TV per uke

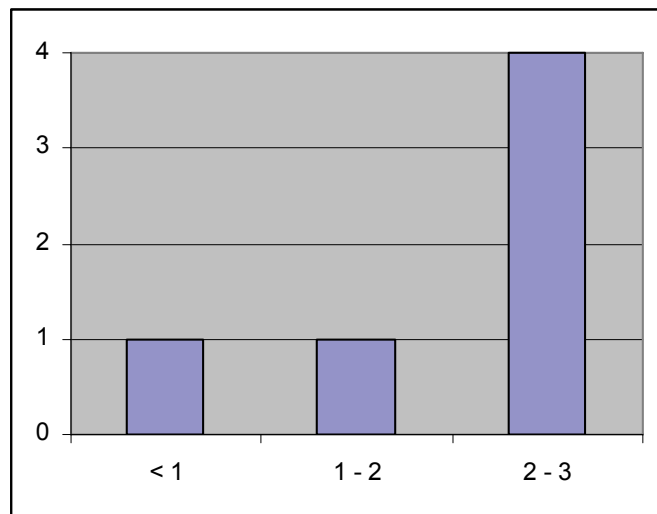


Figur 9.5: Skjermstørrelse TV

Når det gjelder typen TV, viser resultatene det motsatte i forhold til typen PC-skjerm. Med unntak av én, hadde alle deltakerne CRT-TV. Vi kan derfor gå ut fra at deltakerne var godt vant til både CRT og LCD. Fordelingen mellom widescreen og 4:3 format var 1:2, men med så få deltakere er ikke dette tallet noe å stole på.

- **Hvor langt unna TV-en sitter du stort sett?**

Vi ser at de fleste deltakerne er vant til å sitte 2-3 meter unna TV-skjermen. De fleste har nok derfor opplevd å sitte noe nærmere skjermen under forsøkene enn det de er vant til. Jeg fikk imidlertid ingen tilbakemeldinger på at dette var ubehagelig, så det er lite sannsynlig at det påvirket resultatene.



Figur 9.6: Avstand til TV-en

- **Har du noen gang vært med på en videokonferanse? (fjernet)**

Dette spørsmålet ble ansett å ha lav validitet i og med at videoklippene ikke hadde noen direkte sammenheng med videokommunikasjon over nett. Spørsmålet kan imidlertid være relevant ved bruk av videoklipp med opptak av mennesker, i stedet for livløse objekter.

- **Har du noen gang sett "High Definition" videomateriale eller sendinger i HDTV format?**

Spørsmålet ble stilt for å sjekke om de som hadde sett HD-materiale tidligere kanskje hadde en høyere forventning til bildekvaliteten i forsøkene. Alle som deltok i forsøket hadde sett denne typen videomateriale før, så det er vanskelig å si om det påvirket resultatene på noen måte.

- **Har du noen gang sett stereoskopiske (tredimensjonale) bilder/video/spill ved hjelp av spesielle briller?**
- **Har du noen gang sett stereoskopiske (tredimensjonale) bilder/video uten å bruke spesielle briller?**

Grunnlaget for disse to spørsmålene var å få kartlagt om deltakerne hadde vært borti stereoskopisk bildemateriale tidligere. Stereoskopiske bilder kan være slitsomme å se på, særlig hvis man ikke er vant til det. 5 av de 6 deltakerne hadde sett stereoskopiske bilder tidligere.

9.3 Del 2

I denne delen skulle forsøkspersonene rangere videoklippene de fikk se under tilvenningsperioden, på en skala fra 1 til 7. Alle klippene var i HD, og det ene var i tillegg stereoskopisk. Forsøkspersonene fikk beskjed om at karakteren 7 tilsvarte at klippet så like bra ut som det ville gjort hvis de så det samme i virkeligheten. Med andre ord ble de bedt om å sammenlikne et videoklipp med virkeligheten, **uten** å ha en virkelig modell som referanse. Grunnen til at dette ble tatt med, var for å få en pekepinn på hvordan vi oppfatter bilder når vi ikke har noe sammenlikningsgrunnlag, annet enn en idé om hvordan noe skal se ut.

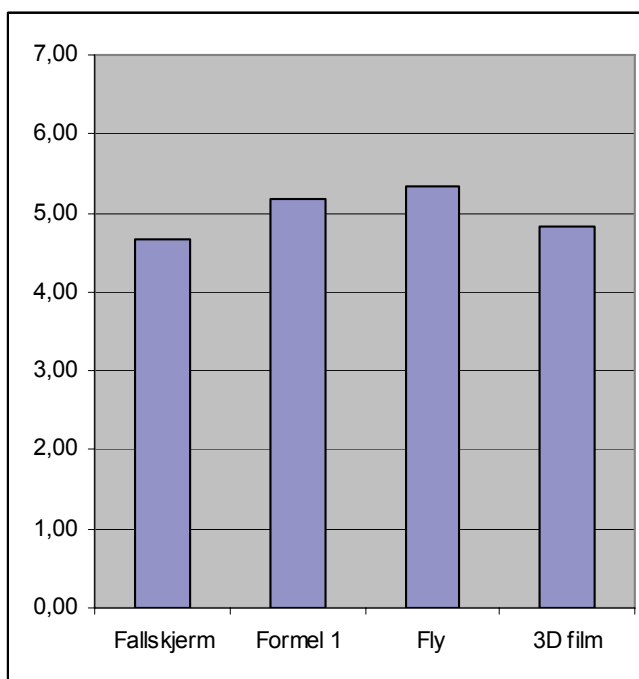
Snittkarakteren til de forskjellige klippene er vist i figur 9.7.

Sammenliknet med resultatene fra forsøkene, som jeg skal gjennomgå senere, er disse tallene høye. Dette kan skyldes flere ting. I

tilvenningsklippene ble det vist helt andre scenarier enn i forsøksklippene. De ble også vist med lyd og filmet med andre kameraer. Disse tallene må derfor kunne sies å ha lav validitet for forsøket. En bedre måte å

sammenlikne hvordan vi oppfatter bildekvalitet både når vi har, og når vi

ikke har noe å sammenlikne med, ville vært å dele forsøkspersonene i to grupper hvor den ene fikk sammenlikne med modellen mens den andre ikke fikk det.



Figur 9.7: Gjennomsnittsrangering av tilvenningsklippene

9.4 Del 3

Resultatene fra del 3 av spørreskjemaet vil bli gjennomgått og diskutert i kapittel 10.

9.5 Del 4

- **Var forsøket slitsomt/anstrengende/ubehagelig på noen måte?**

Det jeg var ute etter med dette spørsmålet var primært å finne ut om den stereoskopiske effekten gjorde det slitsomt å se på klippene. Av de som deltok var det bare en person som syntes det var mer anstrengende enn å se på TV ellers. Dette tyder på at opptakene ble gjort på

en god måte. Det er også viktig å huske på at forsøkspersonene ikke ble utsatt for stereoskopisk video mer enn 10-15 minutter. De fikk også pauser mellom klippene og stod hele tiden fritt til å kikke på modellen.

- **I hvor stor grad virket dybden i bildet/følelsen av 3D i videoene ekte?**

Dette spørsmålet ble stilt for å få en tilbakemelding kun på den stereoskopiske effekten, som også skulle rangeres på en skala fra 1 til 7. Snittet på denne rangeringen ble 5,33 og er dermed høyere enn snittet på noen av videoklippene i det første forsøket. På oppfølgingsspørsmålet:

- **Hva var det eventuelt som gjorde at følelsen av 3D ikke virket ekte?**

var det ingen som kunne sette fingeren på nøyaktig hva det skyldtes. Jeg er selv usikker etter å ha sett mye på stereoskopiske klipp, men det kan godt ha en sammenheng med oppløsningen og kvaliteten på bildet. For å se om dybden i bildet blir mer naturlig ved høyere oppløsninger, burde kanskje hvert enkelt videoklipp i tillegg vært rangert på en skala for å måle dette.

10 Resultater og diskusjon

I dette kapittelet går jeg gjennom resultatene fra forsøkene, det vil si dataene registrert i del 3 av spørreskjemaet.

10.1 Forsøkspersonene

Forsøkspersonene bestod som sagt av to kvinner og fire menn i alderen 23 til 59 år. To av personene brukte linser/briller, mens resten hadde normalt syn. Det er viktig å merke seg at det lave antallet deltakere gir dårlig grunnlag for å trekke noen sikre konklusjoner.

10.2 Forsøk 1

Tabell 10.1 viser resultatene fra forsøk 1.

Forsøksperson	Videoklipp – rangert etter oppløsning					
	1400x787	1280x720	1024x576	800x450	640x360	320x180
1	4 (1)	3 (2)	3 (3)	2 (4)	2 (5)	1 (6)
2	5 (1)	4 (2)	4 (3)	4 (4)	4 (5)	2 (6)
3	4 (3)	4 (1)	4 (6)	3 (2)	3 (4)	2 (5)
4	2 (4)	2 (2)	3 (6)	2 (3)	3 (1)	1 (5)
5	3 (3)	4 (1)	3 (6)	2 (2)	1 (4)	1 (5)
6	4 (3)	5 (1)	3 (6)	4 (2)	2 (4)	1 (5)
Gjennomsnitt	3,67	3,67	3,33	2,83	2,50	1,33

Tabell 10.1: Resultatene fra forsøk 1

Det grå tallet i parantes viser rekkefølgen klippene ble vist i.

Forsøkspersonene fikk altså se seks videoklipp med forskjellige romlige oppløsninger. Rekkefølgen på klippene varierte fra person til person. Forsøksperson 1 og 2 fikk se klippene fra best til dårligst i synkende rekkefølge. Disse to har også rangert klippene riktig, det vil si i synkende rekkefølge. Resten av deltakerne fikk se klippene i tilfeldig rekkefølge, og her ser vi at bare én av dem har rangert dem korrekt. Dette kan tyde på at det er vanskeligere å skille klippene fra hverandre når de kommer i tilfeldig rekkefølge, enn når det er en jevn degradering av kvaliteten. Vi ser også at gjennomsnittsverdien for de to beste klippene er lik, mens det tredjebeste ligger litt bak. Dette tyder på at forskjellen mellom disse klippene oppfattes som liten, til tross for at det beste klippet i utgangspunktet har 20 % mer piksler enn det nest beste (se tabell 10.2).

Går vi videre til de to nest laveste oppløsningene, ser vi at de er rangert ganske likt, mens det laveste skiller seg klart ut. Det siste var ingen stor overraskelse, da oppløsningen i dette klippet kun er ¼ av det neste klippet i rekken. Et mulig problem med dette klippet, er at kvaliteten er så dårlig at det neste klippet uansett blir seende svært bra ut i forhold. Dermed risikerer man at det neste klippet får urimelig høy karakter. I ettertid er jeg derfor usikker på om dette klippet burde vært med i forsøket.

Bredde (piksler)	Høyde (piksler)	Totalt antall piksler	% del av max oppløsning
1440	810	1166400	100
1280	720	921600	79
1024	576	589824	51
800	450	360000	31
640	360	230400	20
320	180	57600	5

Tabell 10.2: Oppløsninger som ble brukt til forsøk 1

Etter at videoklippene i forsøk 1 var vist, ble deltakerne bedt om å beskrive årsaken til at det beste klippet ikke så like bra ut som virkeligheten. For å hjelpe dem litt, fikk de en rekke forslag til feilparametere. Disse er gjengitt i tabell 10.3.

Forsøksperson	Kontrast	Fargene	Ujevne bevegelser	Intensitet / lysstyrke	Oppløsning / detaljgrad
1	x		x		x
2	x	x		x	x
3		x	x		x
4			x		x
5		x	x		x
6	x				x

Tabell 10.3: Parametere for å beskrive feil i videoklippene

”Slitsomt å se på” og ”Unaturlig dybdefølelse” var også oppgitt som parametere, men siden disse ikke fikk noen kryss har jeg utelatt dem fra tabellen.

Vi ser at de fleste har krysset av på *ujevne bevegelser*. Forhåpentligvis har ikke dette påvirket rangeringen i for stor grad, i og med at forsøkspersonene på forhånd fikk beskjed om at det var bildekvaliteten som skulle måles. At flere har krysset av på *fargene* er som forventet, i og med at det var en tydelig forskjell mellom videoklipp og modell. Dette er derfor et område som bør forbedres før videre forsøk, slik at ikke dårlig samsvar mellom fargene ødelegger for det vi primært er ute etter å teste, nemlig oppløsningen. Det er imidlertid liten tvil om at oppløsningen ikke er bra nok. Alle forsøkspersonene har krysset av på oppløsning/detaljgrad,

så her må det være rom for forbedring. Sannsynligvis er det **stort** forbedringspotensiale, i og med at ikke engang det beste klippet ble oppfattet som i nærheten av virkeligheten.

I kapittel 5.7 nevnte jeg at de enkelte pikslene ikke skulle være synlige med skjermstørrelsen, oppløsningen og avstanden til skjermen som ble brukt. Spørsmålet da er jo hva som er vitsen med å øke oppløsningen ytterligere hvis vi ikke er i stand til å se mindre detaljer. Og hvorfor kommenterte alle forsøkspersonene på at oppløsningen var for dårlig? Så vidt jeg kan skjønne må svaret være at vi **kan** se mindre detaljer, og måten jeg gikk fram for å finne den nødvendige avstanden i forhold til pikselstørrelsen var feil. Jeg forsøkte nemlig å se de enkelte pikslene på en ensfarget bakgrunn. Dette er ganske vanskelig fordi det eneste som skiller dem fra hverandre er de små mellomrommene mellom hver piksel. Det er dette mellomrommet jeg blir i stand til å se på en halv meters avstand, og det er jo mindre enn selve pikslene. For å teste teorien laget jeg et rutenett med annenhver svart og hvit piksel for maksimal kontrast. Jeg brukte en 24" widescreen-skjerm som er ca. en halv meter bred, med en oppløsning på 1920x1200 piksler. Dette tilsvarer i underkant av 40 piksler per cm. På en meters avstand var jeg fremdeles i stand til å se at det ikke bare var en ensfarget flate, og i kanten av rutenettet kunne jeg fremdeles skille de enkelte pikslene fra hverandre relativt tydelig. Først på 1,5 meters avstand opplevde jeg rutenettet som en ensfarget grå firkant. Svart på hvitt er naturligvis det vanskeligste tilfellet fordi kontrasten er maksimal, men det viser at oppløsningen vi faktisk er i stand til å se er mye høyere enn det vi har tilbudt forsøkspersonene i disse forsøkene. Dermed er det ikke så rart at alle mente detaljgraden var for lav.

Noe annet som overrasket var at oppløsningen på 1024 x 576 piksler kom nesten like godt ut som maksimaloppløsningen, til tross for omtrent halvparten så mange piksler. En mulig grunn er problemet med at forsøkspersonene ikke nødvendigvis har kikket på de samme objektene/detaljene i hvert videoklipp (se 8.3.1). Siden objektene har forskjellige egenskaper, kan kanskje noen oppfattes som bra ved en lav oppløsning. Bildekvaliteten på andre objekter kan derimot oppfattes som ganske dårlig, selv ved høy oppløsning. Liten skrift er for eksempel svært avhengig av høy oppløsning, mens en ensfarget flate ikke er det. Muligheten for denne typen feil støtter opp under forslaget om å bruke færre objekter, slik at man i større grad har kontroll på hva forsøkspersonene ser på.

Et annet problem er at alle klippene måtte skaleres opp til prosjektørens naturlige oppløsning (med unntak av klippet i maksoppløsning). Dette betyr at interpolasjonsmetoden spiller en rolle for bildekvaliteten. Det ideelle ville vært å justere størrelsen på hver enkel piksel, noe som for så vidt hadde vært mulig med ”*nærmeste-nabo*”-metoden. Dette ville imidlertid begrenset antallet forskjellige oppløsninger til to eller tre, fordi metoden gir en firedobling av antall piksler for hvert trinn. Oppskalering ved hjelp av andre interpolasjonsmetoder gir primært et mindre skarpt bilde, men antallet piksler holdes hele tiden konstant. Jeg vil derfor tro at det ville vært lettere å se forskjell på oppløsningene hvis det i stedet var pikslene som endret størrelse.

10.3 Forsøk 2

Resultatene fra forsøk 2 er gjengitt i tabell 10.4 til 10.6. Det er svært vanskelig å lese noe fornuftig ut av disse resultatene, både pga. det lave antallet forsøkspersoner, men også pga. problemene med avspillingen. Vi ser imidlertid at 20 bilder per sekund ikke overraskende rangeres lavest ved alle de tre hastighetene. Overgangen fra 20 til 30 bilder er ekstrem i tabell 10.4 og 10.6, så det kan se ut som vi i dette området har en grense for hva som oppfattes som akseptabelt. Dette stemmer godt overens med antallet fps i film og TV, som ligger mellom 24 og ca. 30.

Sammenlikner vi 30 bilder per sekund med 40, 50 og 60, tyder resultatene på at forskjellen ikke er så stor. Det er imidlertid viktig å huske at avspillingsproblemer gjorde seg mest gjeldende for nettopp klippene med 40, 50 og 60 fps. Vi vet derfor at disse hadde dårligere kvalitet enn de burde hatt. Ut fra samtaler med flere av forsøkspersonene ble det bekreftet at hakkingen dro ned på resultatet. De innrømmet at de ville rangert klippene høyere hvis denne hadde vært unngått. Det er med andre ord klart at de fleste av forsøkspersonene så forskjell på 30 og for eksempel 60 fps. Det er derfor rimelig å tro at en økning i fps utover 30 vil gi bilder som oppfattes som mer naturlige. Grensen hvor økt fps ikke lenger gir noen synlig forskjell er imidlertid ikke mulig å anslå ut fra resultatene. I hvilken grad denne grensen er avhengig av hastigheten på bevegelsene er heller ikke klart.

Videoklipp – antall bilder per sekund ved rotasjonshastighet på 10 sek.					
Forsøksperson	20	30	40	50	60
1	1	5	4	4	3
2	5	6	6	7	6
3	2	5	4	3	3
4	1	3	2	5	5
5	1	4	3	5	5
6	1	6	4	6	5
Gjennomsnitt	1,83	4,83	3,83	5,00	4,50

Tabell 10.4: Resultat fra forsøk 2 med 10 sekunders rotasjonshastighet

Videoklipp – antall bilder per sekund ved rotasjonshastighet på 15 sek.					
Forsøksperson	20	30	40	50	60
1	2	6	4	4	5
2	5	5	6	7	6
3	4	5	3	5	6
4	4	4	6	3	5
5	2	4	4	3	6
6	4	3	3	5	6
Gjennomsnitt	3,50	4,50	4,33	4,50	5,67

Tabell 10.5: Resultat fra forsøk 2 med 15 sekunders rotasjonshastighet

Videoklipp – antall bilder per sekund ved rotasjonshastighet på 20 sek.					
Forsøksperson	20	30	40	50	60
1	1	6	4	3	6
2	6	7	7	7	7
3	2	5	4	3	4
4	1	6	5	4	6
5	2	6	5	5	5
6	2	7	6	5	6
Gjennomsnitt	2,33	6,17	5,17	4,50	5,67

Tabell 10.6: Resultat fra forsøk 2 med 20 sekunders rotasjonshastighet

11 Konklusjon

Antallet forsøkspersoner begrenser i stor grad hvilke konklusjoner man kan trekke, ut fra de innsamlede dataene. Særlig gjelder dette forsøk 2, hvor de tekniske feilene må kunne regnes som en grov feilkilde. Det er imidlertid to ting som er ganske klart:

- Dagens HD-oppløsning, sett i forhold til størrelsen på de skjermene vi bruker, er ikke i nærheten av det som er nødvendig for nær naturlige bilder. Forbedringen i forhold til SD bildemateriale er riktignok stor, men man må forvente å mangedoble selv 1080p for å nå synets metningspunkt.
- Tidsmessige oppløsninger over 30 bilder per sekund har en gevinst. Hvor mye gevinst 50 gir over 40, eller 60 gir i forhold til 50, er derimot uklart. Ut fra resultatene ser det også ut til at vi har kommet nærmere naturlige bilder på den tidsmessige oppløsningsfronten, enn på den romlige.

Med en snittkarakter på 5,33 ser det ut til at den stereoskopiske effekten i bildene er god. Hvorfor den ikke oppfattes som perfekt fikk jeg ingen konkrete tilbakemeldinger på. Det er derfor rimelig å tro at bedre bildekvalitet generelt også vil gjøre dybdefølelsen mer naturlig. En måte å teste dette på vil være å gjøre to rangeringer av hvert klipp, en som går på totalopplevelsen og en som kun dreier seg om 3D-effekten.

Spørreskjemaet som ble brukt viste seg å ha noen spørsmål med lav validitet i forhold til forsøkene. Disse ble fjernet fortløpende og andre uklarheter i spørsmålene ble også rettet underveis. Det endelige skjemaet bør derfor være et godt utgangspunkt for en større undersøkelse.

11.1 Videre arbeid

Det første skrittet på veien videre må være å gjennomføre forsøkene i større skala. Antallet forsøkspersoner må økes kraftig, slik at man får nok data til å trekke konklusjoner med høy reliabilitet. Siden det gikk klart fram av forsøkene at den romlige oppløsningen ikke var i nærheten av god nok, vil jeg også foreslå at man øker denne. Ettersom det er begrenset hvor mye høyere oppløsning dagens prosjektører kan tilby (uten å bruke kinoutstyr), kan man øke pikseltettheten ved å gjøre bildet mindre. Endring i pikseltettheten kan også simuleres ved å endre avstanden mellom skjermen og forsøkspersonen. Det ville også vært interessant å øke

den tidsmessige oppløsningen til mer enn 60 bilder per sekund, for å se om man når en grense for hva vi klarer å oppfatte.

For å unngå problemene jeg har hatt, anbefaler jeg også at endringene foreslått i kapittel 8 tas til etterretning.

Ettersom noe av målet med nær naturlige bilder på sikt er å få til realistisk kommunikasjon over nettet, er det flere ting som må tas tak i. Bitraten må naturligvis reduseres til et nivå som gjør det mulig å sende data i sanntid over internett. Siden stereoskopisk materiale i utgangspunktet dobler den nødvendige båndbredden, er det spesielt interessant å se på mulighetene for komprimering på tvers av videoklippene. Med det mener jeg at komprimering av begge videostrømmene samlet gir bedre resultat enn å komprimere dem hver for seg.

I stedet for å bruke statiske objekter som sammenlikningsgrunnlag, bør man få inn ekte mennesker i videoklippene. Det medfører en del problemer, for eksempel i form av repeterbarhet fra forsøk til forsøk. Å lage et system slik at stereoskopiske opptak kan vises i sanntid på stereoskopisk framvisningssystem ville fjerne disse problemene. Man kunne da gjennomføre forsøkene som en samtale, hvor forsøkspersonen kunne se den ekte og den filmede versjonen samtidig.

Referanser

- [1] ”Halve Norge har installert bredbånd”, (mars 2006). Url: <http://www.bt.no/forbruker/teknologi/article250413.ece>
- [2] Recommendation ITU-R BT.500-11, “*Methodology for the subjective assessment of the quality of television pictures.*”
- [3] Rønningen, L. A., (2004). “*Distributed Multimedia Plays. Virtual dinner*”. Memo. ITEM, NTNU. Url: <http://www.item.ntnu.no/~leifarne/VirtualDinner4.pdf>
- [4] DOFMaster - Depth of Field Calculators, Url: <http://www.dofmaster.com/doftable.html>
- [5] Silicon Imaging, Url: <http://www.siliconimaging.com/index1.htm>
- [6] Epix Inc., Url: <http://www.epixinc.com/>
- [7] Xcap Software, Url: <http://www.epixinc.com/products/xcap.htm>
- [8] Computar, Url: <http://www.computar.jp/>
- [9] SiSoftware Sandra - The Diagnostic Tool, Url: <http://www.sisoftware.net/>
- [10] Stereoscopic Player, Url: http://www.berezin.com/3d/stereoscopic_player.htm
- [11] Gunnarsson, Ronny, (2006). “*Kunnskapsansats - kvalitativt eller kvantitativt perspektiv?*”, Url: <http://www.infovoice.se/fou/bok/10000002.htm>
- [12] Stereoscopia.com – The World of 3D-Imaging. Url: <http://www.stereoscopia.com>
- [13] Norges Karttekniske Forbund (NKTF), Statens kartverk (SK) og Rådet for teknisk terminologi (Rtt). “*Ordbok for kart og oppmåling*”.Url: <http://www.statkart.no/IPS/filestore/cd2003/std/oko/oko.pdf>
- [14] M. A. Masry and S.S. Hemami, “*An Analysis of Subjective Quality in Low Bit Rate Video*” IEEE Intl. Conf. On Image Processing 2001, Thessaloniki, Greece, October 2001.
- [15] M. Carli, D. Guida, A. Neri, “*No-reference Jerkiness Evaluation Method for Multimedia Communications*”.
- [16] Bjålie, J. G., Haug, E., Sand, O., Sjaastad, Ø. V., Toverud, K. C., (2003). “*MENNESKEKROPPEN - Fysiologi og anatomi.*” 1.utgave, 6. opplag Gyldendal Norsk Forlag AS. ISBN 82-00-41831-6
- [17] Bernatchez, Marc, “*Stereoscopy, Principles and Applications*”, Url: http://vresources.jump-gate.com/articles/vre_articles/stereo/stereang.html

- [18] Wadel, C., (1991). ”Feltarbeid i egnet kultur: en innføring i kvalitativt orientert Samfunnsforskning”, SEEK A/S, Flekkefjord.
- [19] Bowers, Eddie, (2004). ”The Stereo Window”, Url: <http://www.vmresource.com/camera/stereowindowx.htm>
- [20] Levy, Shab, (2006). Url: <http://www.gravitram.com/images/Stereo%20Drawing.pdf>
- [21] Wood, David, EBU Project Group B/TQE, ”High Definition for Europe - a progressive approach”
- [22] Bourke, Brian, ”Calculating Stereo Pairs”, (July 2006).Url: <http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/stereographics/stereorender/>
- [23] ”REVIEW: RocketRAID 2320 SATA II PCI Express Host Adapter For Dual-Core and Quad-Core G5s”. Url: <http://www.barefeats.com/hard64.html>
- [24] ”Highpoint RocketRAID 2320 - Servers go SATA PCI-E”. Url: <http://www.neoseeker.com/resourcelink.html?rld=126478>
- [25] ”HighPoint RocketRAID 2320 Controller Review”.
Url: <http://www.xbitlabs.com/articles/storage/display/highpoint-rocketraid-2320.html>
- [26] Adobe Premiere Pro. Url: <http://www.adobe.com/products/premiere/>
- [27] Adobe After Effects. Url: <http://www.adobe.com/products/aftereffects/>
- [28] Waack, Fritz G., ”Stereo Photography – An Introduction to Stereo Photo Technology and practical Suggestions for Stereo Photography”. Url: <http://www.stereoscopy.com/library/waack-contents.html>
- [29] Aas, Marianne R., ”3D Video Production”. Master Thesis Spring 2004.
- [30] Gunnarsson, Ronny, (2002). ”Validitet och reliabilitet”. Url: <http://www.infovoice.se/fou/bok/10000035.htm>
- [31] Gunnarsson, Ronny, (2002). ”Översikt över olika tekniker för att samla in information”. Url: <http://www.infovoice.se/fou/bok/10000033.htm>
- [32] Woods, Andrew, Docherty, Tom, Koch, Rolf. ”Image Distortions in Stereoscopic Video Systems”. Url: <http://www.3d.curtin.edu.au/spie93pa.html>
- [33] ”Free Viewing or How to view a stereograph without the aid of a stereoscope or stereo viewer”.
Url: http://www.jrsdesign.net/cross_parallel_viewing.html
- [34] Dick, B. and Swepson, P. (1997) ”Action research FAQ”
Url: http://www.uq.net.au/action_research/arp/arfaq

- [35] *"The Perception of Depth"*, Url: <http://webvision.med.utah.edu/KallDepth.html>
- [36] *"Stereoscopy"*, Url: <http://en.wikipedia.org/wiki/Stereoscopy>
- [37] Millerson, Gerald. *"Video Production Handbook"*. 3rd edition, ISBN 0 240 51597 8
- [38] *"Tutorials: Digital Camera Sensors"*,
Url: <http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/sensors.htm>
- [39] *"Bayer filter"*, Url: http://en.wikipedia.org/wiki/Bayer_filter
- [40] *"Film speed"*, Url: http://en.wikipedia.org/wiki/Film_speed
- [41] *"Tutorials: White Balance"*,
Url: <http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/white-balance.htm>
- [42] *"Moiré pattern"*, Url: <http://en.wikipedia.org/wiki/Moire>
- [43] *"Depth of Field"*, Url: http://en.wikipedia.org/wiki/Depth_of_field
- [44] *"Bilinear interpolation"*,
Url: http://en.wikipedia.org/wiki/Bilinear_interpolation
- [45] *"Bicubic interpolation"*,
Url: http://en.wikipedia.org/wiki/Bicubic_interpolation

Vedlegg A: Informasjon og samtykkeerklæring



Norges teknisk-
Naturvitenskapelige universitet
NTNU - Trondheim

Nær naturlige stereoskopiske bilder og krav til oppløsning

Jeg skriver en masteroppgave om hvordan vi oppfatter kvaliteten på videoklipp i forhold til virkeligheten når oppløsningen varieres. For å komme så nært virkeligheten som mulig er alle videoklippene stereoskopiske, det vil si at de ser ut til å være tredimensjonale i motsetning til vanlig video/TV/film.

Oppgaven gjennomføres på institutt for telematikk ved NTNU, i samarbeid med professor Leif Arne Rønningen.

Prosjektet er basert på frivillig deltagelse, og du kan når som helst trekke deg underveis og be om å få slettet data om deg uten begrunnelse. Du er ikke forpliktet til å gjennomføre forsøket, og en eventuell avbrytning vil ikke få noen konsekvenser. Dataene som samles inn vil bli behandlet konfidensielt og kun undertegnede vil ha tilgang til dem. Eventuelle resultater fra undersøkelsen vil bli behandlet anonymt.

Undersøkelsen gjennomføres på Carusolaben ved institutt for telematikk på Gløshaugen og vil ta ca. en halv time. Før selve forsøkene begynner skal du, i tillegg til å svare på noen enkle spørsmål, få se noen korte videoklipp for å gjøre deg litt vant til testmiljøet. Under forsøkene vil du få se en rekke videoklipp i varierende kvalitet, som du skal vurdere i forhold til en ekte modell. Du får en mer utfyllende forklaring før forsøket begynner.

Etter forsøkene skal du igjen svare på noen spørsmål. Jeg vil være tilgjengelig for spørsmål og kommentarer både før og etter gjennomføringen av forsøkene.

Erlend Heiberg



**Norges teknisk-
Naturvitenskapelige universitet
NTNU - Trondheim**

SAMTYKKEERKLÆRING

Prosjekttittel: Nær naturlige stereoskopiske bilder og krav til oppløsning

Jeg har lest informasjonsskrivet og er villig til å delta i prosjektet.

.....

Sted

.....

Dato

.....

Underskrift

Vedlegg B: Spørreskjema



Norges teknisk-
Naturvitenskapelige universitet
NTNU - Trondheim

Spørreskjema

Dette spørreskjemaet er delt opp i fire deler. Den første delen skal fylles ut før forsøkene gjennomføres. Del 2 fylles ut etter tilvenningsklippene. Del 3 brukes under selve forsøkene og fylles ut underveis. Den fjerde delen fylles ut etter at forsøkene er gjennomført. Under utfyllingen av del 1, 2 og 4 vil jeg være tilgjengelig for spørsmål dersom noe er uklart.

Bruk blokkbokstaver med mindre du har lett leselig håndskrift 😊

Del 1 (fylles ut før forsøkene)

Alder: _____

Kjønn

Mann Kvinne

Yrke: _____

Bruker du?

Brillor / Linser Ingen av delene

Er du fargeblind?

Ja Nei

PC-vaner

Hvor mange timer bruker du foran en datamaskin hver uke?

< 5 5 - 10 10 - 15 15 - 20 20 - 25 25 <

Hva slags skjerm bruker du?

Type:

(CRT er den "gammeldagse" skjermtypen som er stor og tung. LCD er det som ofte blir kalt flatskjerm.)

CRT LCD/Laptop Annet

Skjermstørrelse (oppgitt i tommer)?

(hvis du bruker flere størrelser omtrent like mye, kryss av for den største)

< 15 15 17 19 20 21 22 24 30 30 < Vet ikke

Format:

(hvis du bruker begge typer omtrent like mye, kryss av på begge to)

Vanlig Widescreen/bredformat Vet ikke

Tv-vaner

Hvor mange timer ser du på Tv eller film hver uke?

- Mindre enn 5 5 - 10 10 - 15 15 - 20 20 - 25 Mer enn 25

Hva slags Tv ser du mest på?

Type:

(CRT er den "gammeldagse" Tv-typen som er stor og tung. Plasma og LCD er tynne. Er du usikker på om du har plasma eller LCD, krysser du av på begge.)

- CRT LCD/Plasma Projektor

Skjermstørrelse (oppgitt i tommer):

(hvis du ikke finner den nøyaktige verdien her, kryss av for den som er nærmest):

- < 25 25 28 29 32 37 42 52 52 < Vet ikke

Format:

(hvis du bruker begge typer omtrent like mye, kryss av på begge to)

- Vanlig Widescreen/bredformat Vet ikke

Hvor langt unna Tv-en sitter du stort sett (oppgitt i meter)?

- < 1 1 - 2 2 - 3 3 - 4 4 - 5 5 - 6 > 6

Har du noen gang sett "High Definition" videomateriale eller sendinger i HDTV format?

(er du usikker krysser du av på nei)

- Ja Nei

Har du noen gang sett stereoskopiske (tredimensjonale) bilder/video/spill ved hjelp av spesielle briller?

(er du usikker krysser du av på nei)

- Ja Nei

Har du noen gang sett stereoskopiske (tredimensjonale) bilder/video uten å bruke spesielle briller?

(er du usikker krysser du av på nei)

- Ja Nei

Del 2

Ranger de 4 videoklippene du nettopp har sett på en skala fra 1 til 7 hvor 7 er best og tilsvarer at klippet så like bra ut som det ville gjort hvis du så det på ordentlig.

	1	2	3	4	5	6	7
1. klipp – Fallsjermhopping	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. klipp – Formel 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. klipp – Fly	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. klipp – 3D film	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Del 3 (fylles ut under forsøkene)

Forsøk 1 – Romlig oppløsning

I dette forsøket skal du sammenlikne videoklippene du ser på lerretet med den virkelige modellen du kan se til høyre. Hvert videoklipp blir vist i ca. 1 minutt, så du har god tid til å sammenlikne. Mellom hvert videoklipp får du 15 sekunder til å rangere klippet på skalaen under. Skalaen går fra 1 til 7, hvor 7 er best og tilsvarer at det er umulig å skille modellen fra videoklippet. Spørsmål?

Sett kun ett kryss per linje.

	1	2	3	4	5	6	7
1. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Hva var den største årsaken til at det beste klippet ikke så like ekte ut som modellen?

- | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Kontrasten | Fargene | Ujevne bevegelser | Unaturlig dybdefølelse |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Intensitet/lystyrke | Oppløsning/detaljgrad | Slitsomt å se på | Lys |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | |
| Annet | Vet ikke | | |

Utdypende forklaring (hvis ønskelig):

Forsøk 2 – Tidsmessig oppløsning

I dette forsøket skal du sammenlikne hvor **jevne bevegelsene** du ser på lerretet er, i forhold til bevegelsene til det virkelige oppsettet. Hvert videoklipp blir vist i 10-20 sekunder. Mellom hvert videoklipp får du 15 sekunder til å rangere klippet på skalaen under. Skalaen går fra 1 til 7, hvor 7 er best og tilsvarer at bevegelsene i videoklippet oppfattes som like jevne som bevegelsene til den virkelige modellen. Spørsmål?

Sett kun ett kryss per linje.

	1	2	3	4	5	6	7
1. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	1	2	3	4	5	6	7
6. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	1	2	3	4	5	6	7
11. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. klipp	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Del 4 (fylles ut etter forsøkene)

Var forsøket slitsomt/anstrengende/ubehagelig på noen måte?

Ja

Nei

Hvis ja, utdyp:

I hvor stor grad virket dybden i bildet/følelsen av 3D i videoene ekte?

(1 er dårligst, 7 er best)

1

2

3

4

5

6

7

Hva var det eventuelt som gjorde at følelsen av 3D ikke virket ekte?

Takk for at du tok deg tid til å være med på dette forsøket ☺

Vedlegg C: Datablad for SI-3300RGB Megacamera

SI-3300RGB MegaCamera™ 3.2 Megapixel, 10-Bit, 40/80MHz Progressive Scan Digital Camera

Silicon Imaging Inc.
**CAMERA
Link**

Silicon Imaging is proud to continue its innovation in high-resolution color vision camera. Driven by the growing demand for consumer Digital Still Cameras, CMOS sensors are continuing to break technical barriers and surpass the performance characteristics of CCD's in many photonic, imaging and consumer applications. By utilizing a single highly integrated CMOS device, which incorporates Megapixel sensing areas, timing generation, signal processing and high bandwidth outputs, Silicon Imaging has developed a very compact, low-power, ultra high speed Megapixel digital camera system.

2048 x 1536 Megapixel (3.2MP) - Ultra Resolution

The SI-3300 is an all-digital 1/2" format CMOS camera that delivers 3.2 Million pixels of resolution and is capable of running at over 12 frames/second at its full 2048 x 1536 resolution. The entire package is only 45 x 52 x 50mm (33 x 40mm x 22mm in PCB) and is small enough to be placed on a robot for semiconductor machine vision inspection or placed in an outdoor housing for remote surveillance. It is ideal for live visualization and handheld instrumentation.

10-Bits Sampling – Sub-Pixel Accuracy

The SI-3300 MegaCamera uses 10-Bit digitizers to sample the pixel data. Converting the pixel data directly to digital at the sensor head eliminates pixel-sampling jitter and enables accurate sub-pixel metrology, image analysis and improved live video reconstruction. A programmable clock which ranges from 20-40MHz or up to 80MHz with -H version, allows for trade-offs in speed versus exposure time and lower noise.

Subsampling with Binning – Video Preview

Ideal for high speed preview and focusing, the SI-3300 is capable of generating imagery at over 30 frames per second by reducing the size of the readout image in color subsampling mode. This entire imager is readout by binning 4x4 groups of pixels into 2x2 bayer super pixels with increased sensitivity, less aliasing and faster readout rates. The camera also supports up to 3x binning and 8x subsampling.

1000FPS Windowing and 720/1080P HD Modes

A small region of the imager can be readout at frame rates in excess of 1000fps, with speed increasing with reduced vertical and horizontal settings. At 1920 x 1080 and a 75MHz clock the output rate would be 30fps or 1280x720 at 73MHz will be 60fps. The window size and position can be adaptively changed on frame-by-frame basis.

Automatic Black Level Correction

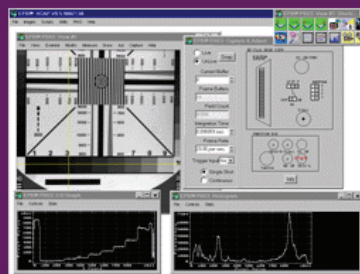
The SI-3300 has automatic black level calibration, which measures the average value pixels from two dark rows of the imager for each of the four colors. The pixels are averaged as if they were light sensitive and passed through the appropriate color gain. This average is then digitally filtered over many frames and compared to minimum and maximum acceptable thresholds for automatic correction.

CameraLink Digital Interface - 57.6K Serial Mode

An industry standard forum has adopted Camera Link, for low cost connectivity and cabling of cameras and frame grabbers at very high speeds. The SI-3300-CL utilizes the high speed CameraLink interface to output 2048 x 1536 10 bit data at 60MHz continuously to a frame grabber and directly into PC memory for further processing. The single cable includes image data, vertical and horizontal synch, LVDS Triggering and 9600 baud Serial communication. For High-Speed communication, the SI-3300 also has a 57.6kb mode for faster register updates. This camera complies with the standard, it is compatible with many popular frame grabber and image processing hardware devices and fiber-optic extender for extended distance transmission.

GigE-Cameralink – Gigabit Ethernet Connectivity

Now you can capture high-speed MegaCamera images to your PC from distance of a 100-meters using CAT-5 wire using the Silicon Imaging **GigE-CameraLink** Interface. The GigE-Cameralink captures MegaCamera digital images and transmits them via 10/100/1000 Gigabit Ethernet directly to your PC at speeds over 100MB/sec.



FEATURES

- 2048 x 1536 Resolution (3.2 Million Pixels)
- 1/2" Imaging Format , 5.2um Square Pixel
- Rolling Shutter, Progressive scan
- 640 x 480 VGA Windowing and Binning at 120fps
- 1280/30P Video Capture (1280x720 @ 30FPS)
- 10 Bits per Pixel, 48MHz Sampling (Nominal)
- 20 ~ 80MHz Programmable Clock (-H Version)
- Programmable Gain, Exposure & Clocks
- Global Reset, External Triggering Option (-T)
- Auto Black Level Calibration
- Color Bayer (RGB) Model
- Custom PCB Version
- C-Mount Precision Machined Housing
- Cameralink (CL) & GigE Remote (GR) Interface

SI-3300 MegaCamera CameraLink Specifications

SI-3300 Sensor:

Active Pixels	2,048H x 1,536V
Optical Format	1/2" (6.83mm x 5.45mm)
Pixel Size (pitch)	3.2 μm x 3.2 μm
Pixel Type	CMOS
Aspect Ratio	1 : 1
Spectral Response	350 ~ 1000 nm
Peak QE	56% Monochrome @ 570nm
Minimum Illumination:	0.3 lux nominal (SNR =1, f# = 2.8, exposure = 100ms, daylight)
Responsivity	2.1 V/lux-sec
Dark Current @ 25°C	20 e-/sec
Temporal Noise	10 e-
Saturation Charge	40,000 e ⁻
SNR	>43dB (MAX)
Dynamic range	61 dB
Windowing (ROI)	Horizontal & Vertical speed increase
Sub-sampling	Full, 1/2, 1/4, 1/8
Gain MAX	15X, min step size 0.125
Readout Method	Progressive Scan
Black Level	Auto Black Level Calibration
Shutter	Rolling Shutter and Single Frame
Shutter Speed	Variable, 1 to 16383 row times
Horizontal Blanking	244 Clocks/line
Minimum Row Time	548 Clocks (304+ 244 Blanking)
Vertical Blanking	25 Rows (16 min)

A/D Conversion & Sampling Clock Synthesizer

A/D Conversion	Nominal 48MHz (12fps @ 3.1MP)
Vertical Resolution	10 Bit (Format = 12bit-CL 1-Tap)
Pixel Clock Frequency	20 ~ 60 Mhz Programmable 20 ~ 80 Mhz (-H High-Speed)
Adjustment Method	Serial command Protocol
Mean Black Level	32 Counts

Digital Video Output

Readout Rate	20 ~ 85MHz x 12bit format	
Readout Format	CL-12 (Duplicated on Ports A, B)	
Frame Rate	48MHz	60MHz
1280 x 1024	30	38
1280 x 720	43	54
640 x 480	110	137
320 x 240	334	417
200 x 200	407	509
160 x 120	654	817
Frame Time (default)	1524 x 1050 rows @48MHz = 30fps	

CameraLink Frame Grabber Control:

Serial Communication	RS-232 Protocol 9600bps (57.6k)
Signaling	TX & RX (LVDS)
Asynchronous Triggers	LVDS - CC1 (-CL) TTL Trigger-In / Strobe-Out (option)
Region-of-Interest	Programmable Horiz & Vertical
Programmable Modes	Exposure, Gain, Windowing, Clock rates, Auto black, image mirroring.
Gains (R,G,B,G & Global)	Individual RGB Gains Range: 15X, MIN step size 0.125
Setting Timing	Next top of Frame
Ext Clock Sync	Clock in or Clock Out (-X Option)

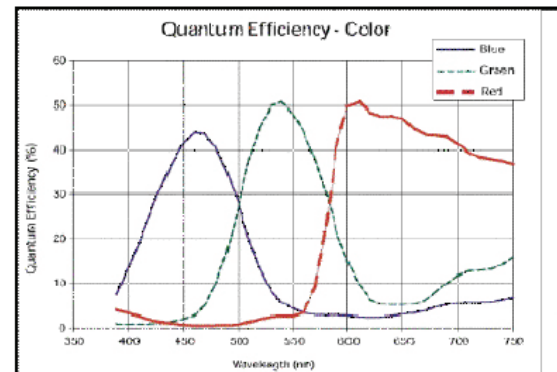
Power

Input Voltage	+5 VDC +/- 10%
Power	2.5 Watts
Power/Trigger Connection	Tajimi RO3-PB3M 3Pin (-CL) Tajimi RO3-PB5M 5Pin (-X)

Mechanical

Lens Mount	C-Mount, 7mm Back focus Adj.
Enclosure Size	45mm W x 52mm H x 50mm L
Weight	12 oz.
Camera Mount	1/4" x 20 standard tripod mount
Cable Connector	CameraLink MDR-26

Spectral Response Curve (RGB Model Only)



Command	Clock Rate MHz	SI-3300 Frame Rate						
		2048 x 1536	1600 x 1200	1920x1080	1280x720	640 x480	320 x240	128 x128
lc30b886	20	5	8	8	17	40	122	148
lc30b689	25	7	10	10	21	50	152	185
lc37cb8f	30	8	13	12	25	60	182	222
lc35d40b	35	9	15	14	29	70	213	259
lc30b882	40	11	17	16	33	80	243	296
lc35e709	45	12	19	18	37	90	274	333
lc36a20f	48	13	20	19	40	96	292	355
lc34b689	50	13	21	20	41	100	304	370
lc34b688	55	15	23	22	45	110	334	407
lc36cb8f	60	16	25	24	50	120	365	444
lc367307	65	17	27	26	54	130	395	481
lc36ee0f	70	19	29	28	58	140	426	518
lc36f88f	73	19	30	29	60	147	446	542
lc34ae05	75	20	31	30	62	150	456	555