Bachelorgradsoppgave

Fotorealistisk 3D-grafikk

Photorealistic 3D-graphics

Teknikker for å oppnå fotorealisme
Techniques for achieving photorealism

Ronny Hånes Steffensen

MMT377

Bachelorgradsoppgave i Multimedieteknologi

Avdeling Næring, Samfunn og Natur
Høgskolen i Nord-Trøndelag - 2014

FORORD

Jeg heter Ronny Hånes Steffensen. Jeg er en 3. års student ved Høgskolen i Nord-Trøndelag som studerer Multimedieteknologi i Steinkjer. Jeg har i løpet av de siste årene fått en stor interesse for 3D-grafikk, og jeg ser på bachelorgradsoppgaven som en flott mulighet til å videre fordype meg et emne jeg håper på å få jobbe med i framtiden.

Stor takk til veileder Håvard Sørli som har guidet meg gjennom oppgaven.

SAMMENDRAG

Jeg har valgt å skrive en bachelorgradsoppgave om 3D-grafikk og teknikker for å oppnå fotorealisme. Programvaren jeg fokuserte på var
Autodesk Maya, Mental Ray og Adobe After Effects. Dette er min problemstilling:

Hvilke teknikker innen lyssetting, shading, rendering og etterarbeid bør benyttes for å oppnå fotorealistisk 3D-grafikk?

Jeg har brukt kvantitativ forskningsmetode og fordypet meg i relevant teori, og har kommet til følgende konklusjon:

Ved å simulere dagslysscenarier ved bruk av verktøy slik som "Physical Sun & Sky" samt kalkulere indirekte belysning ved hjelp av "Final Gather", kan man oppnå veldig realistisk lyssetting. En fysisk basert shader med energikonservering vil gjør jobben med å oppnå realistiske materialer lettere, men artistenes egen evne til å observere og gjenskape materialer fra virkeligheten er mest avgjørende. Høy oppløsning og sampling tar lang tid å rendre, men er vesentlig for å skape et bilde som ser ekte ut. Linear workflow må benyttes for å få rette fargeverdier. Fenomener som skjer i kameraer når man tar et bilde i virkeligheten, må også være til stede i datagenererte bilder dersom de skal oppfattes som fotorealistiske. Støy og linsefeil slik som "kromatisk aberrasjon" kan løfte realismen noen hakk videre.

SUMMARY IN ENGLISH

I have chose to write a bachelor thesis about 3D-graphics and techniques for achieving photorealism. The software I focused on was
Autodesk Maya, Mental Ray and Adobe After Effects. This is my problem:

Which techniques in lighting, shading, rendering, and postprocessing should be used to achieve photorealistic 3D-graphics?

I have used quantitative research and immersed myself in the relevant theory, and I have arrived at the following conclusion:

By simulating daylight scenarios by using tools such as "Physical Sun & Sky" while calculating indirect lighting using "Final Gather, you are able to achieve very realistic lighting. An energy conserving, physically-based shader will make the job of creating realistic materials easier, however the aristists own ability to observe and recreate materials from reality is decisive. High resolution and sampling takes a long time to render, but they are crucial for creating an image that looks realistic. "Linear Workflow" must be used to secure the right image-values. The phenomenons that occur in cameras when you take a photo in reality, also needs to be present in CGI if they are to be considered photoreal. Noise and lens flaws like "chromatic aberration" can raise the realism further.

INNHOLDSLISTE

FORORD 2

SAMMENDRAG 3

SUMMARY IN ENGLISH 4

INNHOLDSLISTE 5

1. INNLEDNING 8

2. PROBLEMSTILLING 9

3. TEORI 10

3.1. Lyssetting 14

3.1.1. Standard 3D lyssetting 14

3.1.2. Indirekte belysning 17

3.1.3. Local illumination vs global illumination 17

3.1.4. Photon mapping 18

3.1.5. Final Gather 19

3.1.6. Physical sun & sky 19

3.1.7. Image-based lighting 20

3.1.8. Ambient Occlusion 21

3.2. Shading 23

3.2.1. Standard Surface Shaders 24

3.2.2. Mental Ray Architectural material 24

3.2.3. Lens shaders 25

3.3. Rendering 27

3.3.1. Sampling 29

3.3.2. Renderpasses 30

3.4. Etterarbeid 32

3.4.1. Dybdeskarphet 33

3.4.2. Chromatic Aberration 36
3.4.3. Vignetting 37
3.4.4. Diffusion filter 37
3.4.5. Noise/grain 37

3.5. Tillegg 38
3.5.1. Linear workflow 38

4. FORSKNINGSMODELL OG ANTAGELSER/HYPOTESER 39

4.1. Modell 39

4.2. Forklaring av Modell 40

4.3. Hypoteser 41

5. METODE OG DATAINNSAMLING 42

6. PRODUKSJON 43

6.1. Pre-produksjon 43

6.2. 3D produksjon 44

6.3. Etterarbeid 51

7. ANALYSE OG DISKUSJON 54

7.1. Kvantitativ undersøkelse 54

7.2. Analyse av spørreundersøkelse 54
7.2.1. Lyssetting 55
7.2.2. Rendering 57
7.2.3. Etterarbeid 59
7.2.4. Vurdering av prototype 62

8. KONKLUSJON OG IMPLIKASJONER 63

9. REFERANSELISTE 65

10. VEDLEGG 66

1. INNLEDNING

Fotorealisme handler om å skape en illusjon av virkeligheten. Når et datagenerert bilde ser såpass overbevisende ekte og virkelighetsnært ut at man tror man ser på et foto, er illusjonen en suksess.

Etterhvert som datamaskinene blir kraftigere og verktøyene blir lettere å bruke, blir det stadig mer effektivt å produsere 3-dimensjonal datagrafikk av høy kvalitet. Når det er effektivt er det også rimelig, noe som igjen gjør det mer tilgjengelig og attraktivt å benytte. Fotorealisme kommer mest sannsynlig likevel alltid til å være det dyreste av alternativene, ettersom det krever mer tid og arbeidsinnsats, og ikke minst flinke artister.

Fotorealistisk 3D er i dag å se i alt fra produkt-/arkitekturvisualiseringer til visuelle effekter i store “blockbuster” filmer, enten det er Godzilla som raserer New York eller Pepsi som har kommet med nytt flaskedesign. Begge eksemplene ser overbevisende ekte ut, men hvilke valg er det egentlig artistene bak har gjort for å skape disse illusjonene?

Jeg vil se nærmere på områdene innenfor datagrafikk som er mest visuelle og som i de fleste tilfeller har høyest innvirking på datagenererte bilders virkelighetsgrad. Finnes det spesifikke teknikker og disipliner en må forholde seg til når en jobber med 3D? Hvordan kan etterarbeid brukes til å forsterke resultatene? Er det noe som kan gjøres mer effektivt i etterarbeid enn i selve 3D-produksjonen?

2. PROBLEMSTILLING

Hvilke teknikker innen lyssetting, shading, rendering og etterarbeid bør benyttes for å oppnå fotorealistisk 3D-grafikk?

Definisjon på begreper i problemstillingen:

3D-grafikk:
Syntetisk skapte 3-dimensjonale bilder som er framstilt ved hjelp av en datamaskin.

Etterarbeid:
Bearbeiding av 2-dimensjonale bilder etter rendering, f. eks.:
Compositing
Post-Processing

3. TEORI

Datagrafikk, på engelsk kalt computer graphics (CG), er et begrep som brukes om alt av bilder og grafikk som er framstilt syntetisk ved hjelp av en datamaskin (datagrafikk, [1]). CG har et enormt bruksområde, og er å finne overalt nå til dags. CG blir benyttet i alt fra enkel grafikk under en nyhetssending til spesialeffekter i kinofilm. Et annet viktig eksempel der CG blir brukt er innen datamaskinassistert konstruksjon (DAK), på engelsk kalt computer-aided design (CAD), der blant annet ingeniører bruker datagrafikk for å gjengi konstruksjoner i tre dimensjoner. Dataspill er også muliggjort gjennom avansert bruk av datagrafikk (Rossen, [2]).

3D-grafikk, på engelsk ofte kalt *3D computer graphics*, eller *CGI* (*Computer generated images*) er en samlebetegnelse for datagrafikk som har et mer eller mindre virkelighetstro, tredimensjonalt uttrykk (3D-grafikk, [3]).

I motsetning til datagrafikk som strekker seg over 70 år bakover i tid, har ikke 3D-grafikk eksistert like lenge. Science-fiction filmen “Futureworld” fra 1976 var den første filmen som ga et glimt av 3D-grafikk til en større mengde mennesker. Til filmen hadde 3D-artistene som jobbet på filmen skannet og animert hodet til skuespilleren Peter Fonda, i tillegg til å vise en animasjon av en 3D-modellert hånd. Animasjonene varte bare i noen få sekunder, men artistene som stod bak arbeidet forklarte at det var en smertefullt vanskelig prosess som tok flere måneder å gjennomføre (A History Of CGI In The Movies, [4]). Dette var for nærmere 40 år siden. Etter dette ble 3D-grafikk mer og mer populært innen filmbransjen.

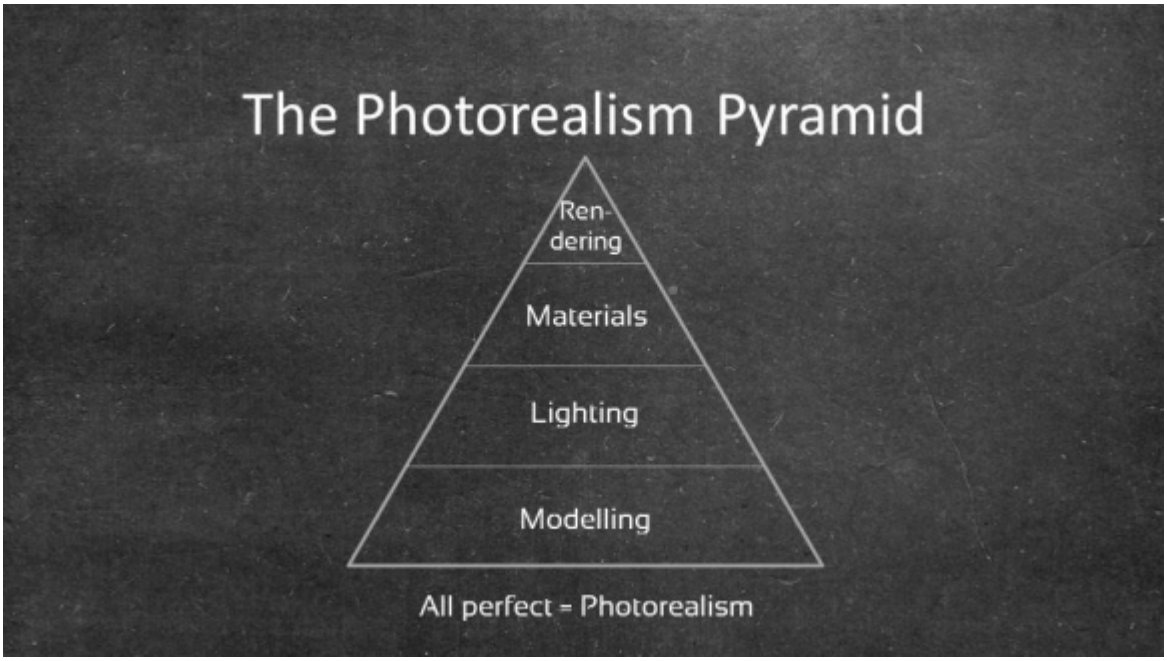
Filmen “Tron” som kom året etter “Futureworld” tok et betydelig steg videre, og var den første filmen med omfattende bruk av 3D. Filmen viser rundt 15-20 minutter med 3D animasjon, som for det meste består av digitalt terreng, men som også har noen sekvenser med mer avansert 3D animasjon, blant annet en scene filmen er mest kjent for (Tron Lightbike Scene, [5], video).

Den første fullstendig dataanimerte filmen “Toy Story” kom først i 1995, og fikk en enorm innvirkning på filmbransjen. Det som kjennetegnet bruken av 3D-grafikk i disse filmene var at de hadde et nokså “cartoony” visuelt uttrykk, i motsetning til fotorealisme, som jeg har valgt å fokusere på.

“Photorealism is a genre of art that encompasses painting, drawing and other graphic mediums, in which an artist studies a photograph and then attempts to reproduce the image as realistically as possible in another medium.” (Photorealism, [6]).

Det første fremskrittet innen fotorealistisk 3D-grafikk i filmbransjen kom først i filmen “Young Sherlock Holmes” fra 1984. Filmen var den første til å vise en fotorealistisk, animert karakter som skulle se så ekte ut som mulig. Karakteren var en ridder som bestod av fargede glass-skår som kommer til live for å forsøke å drepe en prest. Den 30 sekunder lange sekvensen tok 6 måneder å gjennomføre. (Greatest Visual and Special Effects Milestones in Film, [7]). Filmen som hadde størst betydning for fotorealistisk 3D kom først i 2001. Filmen “Final Fantasy: The Spirits Within” var den første filmen som ble laget rent digitalt og som benyttet fotorealistisk datagrafikk, samt teknikker slik som motion-capture, som har blitt mer og mer populær de siste årene (Final Fantasy: The Spirits Within, [8]).

Fotorealisme omtales ofte som “den hellige gral” innen datagrafikk. For å oppnå dette må en ta i betraktning mange ulike teknikker og disipliner innen datagrafikk-området.



Figur 1. "The Photorealism Pyramid" (hentet fra [9])

“All of these elements are required for cg images, but photorealism only occurs when all 4 are perfect.”

- Andrew Price [9]

Dette er de viktigste fasene i en datagrafikk pipeline (Slick, [10]):

1 - Preproduksjon

2 - Modellering

3 - Teksturering og shading

4 - Lyssetting

5 - Rigging & animasjon

6 - Rendering & etterarbeid

I min bacheloroppgave har jeg valgt ut følgende faser som jeg skal ha fokus på: shading, lyssetting, rendering og etterarbeid.

Jeg har valgt ut disse 4 fordi jeg personlig syns dette er de mest interessante arbeidsområdene innen 3D-grafikk. Målet mitt i denne bacheloroppgaven er å finne ut hvilke teknikker og disipliner innen disse 4 områdene, som vil hjelpe meg å oppnå fotorealistiske resultater. 3D-grafikk er et ekstremt bredt tema. Opp gjennom flere tiår har det blitt forsket og utviklet utallige mange metoder og teknikker en kan benytte for å oppnå fotorealistiske resultater. Ulike situasjoner og arbeidsoppgaver krever ulik tilnærming, og ulik bruk av teknikker og programvare. Det er f.eks. stor forskjell mellom teknikkene og verktøyene en benytter dersom man vil oppnå realistiske mennesker og de man benytter når man skal lage realistisk vann. Det jeg ønsker å finne ut er hvilke teknikker som en generelt kan bruke i omtrent alle situasjoner.

Det finnes en lang rekke programvare og verktøy som kan hjelpe meg med dette. Innenfor industrien er det enkelte programvarer som er mer standardiserte og kjente for nokså enkelt oppnå fotorealistiske resultater. Eksempler på dette er programvare slik som Solid Angle Arnold, RenderMan, V-Ray, Nuke, osv... Jeg har valgt å fokusere på følgende programvare i min bacheloroppgave:

- Autodesk Maya
- Mental Ray
- Adobe After Effects

Disse har jeg valgt ettersom de er mest tilgjengelig for meg, med tanke på både pris samt kompetanse jeg har fått gjennom min utdanning så langt. En kombinasjon av f.eks. Arnold og Nuke ville vært å foretrekke ettersom disse er

mest benyttet innen 3D-grafikk av høykvalitet nå til dags (Seymour, [11]). Dessverre er dette en langt dyrere kombinasjon enn den jeg har valgt å fokusere på. Jeg er derimot sikker på at prinsippene og funnene jeg kommer over i min bacheloroppgave vil være høyst brukbare ikke bare i programvaren jeg fokusere på, men også i omtrent all annen programvare, ettersom de stort sett er ganske lik i måten programvaren brukes.

3.1. Lyssetting

Lyssetting er steget i en pipeline en som oftest kommer til når alt er ferdig modellert. Lyssetting går ut på å benytte de verktøyene en har tilgjengelig til å lyse opp scenen for å oppnå ulik effekt. I min bacheloroppgave fokuserer jeg på å oppnå lyssettings som skal oppfattes som naturlig og realistisk.

3.1.1. Standard 3D lyssetting

Det finnes en rekke vel-etablerte belysningsverktøy som har vært brukt i mange år innen 3D, som etterhvert har blitt standard i det meste som finnes av 3D-programvare, og som har lagt grunnlaget for mange av de mer avanserte belysningsteknikkene som har dukket opp de siste årene. De har alle ulike funksjoner og ulike situasjoner de er ment for. Dette er de mest vanlige lys-typene:

Omni/point light – Denne typen kaster lys utover i alle retninger, fra et uendelig lite punkt som eksisterer i 3D-rom. Dette lyset kan flyttes rundt for å lyse opp

ulike deler av en scene. Vanlige situasjoner å bruke denne typen er når en vil gjengi lyset fra for eksempel en lyspære eller flammen til et stearinlys.

Directional light – Denne typen kaster lysstråler i en bestemt retning fra en kilde som befinner seg uendelig langt unna, og lysstrålene er alltid parallelle med hverandre uansett hvor strålene befinner seg i 3D-rom. Denne skal etterlikne lyskilder som er ekstremt langt unna, slik som sola eller månen.

Spot light – Denne typen kaster et kjegleformet lys utover fra et uendelig lite punkt, og skal etterlikne hvordan spotlys fungerer. Her kan man stille hvor bredt en vil at lyset skal lyse, og hvor definert lysets omriss er. Siden en har kontroll over disse egenskapene kan man effektivt etterlikne lyset fra blant annet lommelykter, spotlys, bil-lys, og diverse lamper. Spot lights blir ofte brukt når en skal gjenskape studiolyssetting ettersom en kan etterlikne funksjonene til lysene som blir brukt i et ekte studio, for eksempel lys med låvedører.

Ambient light – Denne typen lyser opp hele scenen helt jevnt og har ingen retning eller skygger. Det blir ofte brukt når en vil tilføre ekstra lys til hele scenen uten at det fungerer som et tradisjonelt lys, nesten som å skru opp eksponeringen når en skal ta et foto. Dette lyset unngår en som regel å bruke når en vil oppnå fotorealisme, ettersom det ikke finnes noe tilsvarende lysfenomen i virkeligheten.

Volume light – Denne typen lys har en bestemt geometrisk form (kube, sylinder etc) og vil lyse opp alt som dekkes av volumet til denne formen. Det fungerer likt som et “point light” som kaster lys i alle retninger fra et uendelig lite punkt, men lyset kastes ikke lengre en innsiden av volumet. En fordel med å bruke denne typen lys er at en kan lett kontrollere hvor langt en vil at lyset skal nå.

Area light – Denne typen bruker en 2-dimensjonal rektangulær flate som lyskilde. Lyset kastes ut fra hele denne flaten i en bestemt retning. Denne flaten kan skaleres og endres i dimensjoner etter behov, og blir ofte brukt når en vil gjengi lyset fra blant annet lysrør og softbox-lamper. Area lights er ofte et populært valg når en vil produsere realistisk lyssetting i Maya. Hovedsaklig fordi det er godt integrert med Mental Ray og gir brukerne bedre kontroll når en arbeider med indirekte belysning (Slick, [12]).

Dempefaktor

Alle disse lysene har en del innstillinger felles, slik som farge og intensitet, men den viktigste innstillingen en bør være oppmerksom på er "decay rate" (eller dempefaktor som det heter på norsk). Dette styrer hvordan lyset senker i intensitet etterhvert som det drar lengre og lengre vekk fra lyskilden. I Maya har alle lysene en oppretter ingen dempefaktor som standard. Dette betyr at et objekt som befinner seg langt unna lyskilden blir opplyst med samme lysintensitet som et objekt som befinner seg like ved kilden. Dette er ikke slik lys oppfører seg i virkeligheten. I virkeligheten kommer fotonene i lysstrålene til å spre seg og bli svakere over lengder. En naturlov sier at lysintensiteten dempes proporsjonalt med kvadratet av avstanden (Inverse-Square Law, [13]).

Den realistiske dempefaktoren er altså "kvadratisk" og denne dempefaktoren finner man i Maya med det engelske navnet "quadratic". Denne dempefaktoren er fysisk nøyaktig og bør brukes på alle lysene en skaper, dersom man vil ha lys som oppfører seg realistisk.

3.1.2. Indirekte belysning

I den virkelige verden vil lys som treffer en overflate bli absorbert avhenging av hvilket materiale det er laget av, og det lyset som ikke blir absorbert vil bli reflektert videre. Så når sola skinner inn gjennom vinduet og treffer gulvet, vil noe av dette lyset reflekteres og spre seg utover i rommet. Dette fenomenet er ikke til å unngå i den virkelige verden, men i CG-verden kommer ikke dette av seg selv.

Global illumination (GI) er en samlebetegnelse for en gruppe algoritmer som brukes innen 3D-grafikk som har i oppgave å tilføre mer realistisk belysning til datagenererte bilder (Global Illumination, [14]). For å lettere forstå hvordan GI fungerer kan vi sammenlikne det med motparten: "local illumination".

3.1.3. Local illumination vs global illumination

"Local illumination" eller "direct illumination" er resultatet man normalt oppnår når man lyssetter og rendrer en scene ved hjelp av standard lysteknikker, uten å bruke noen slags form for GI-prosesser. Nå vil lyset som treffer en overflate ikke reflekteres og spre seg videre, og alt som havner i skyggen av lyset vil ikke være synlig (Indirect (global) vs. direct illumination, [15]). Som regel er det vanskelig å oppnå realistiske resultater på denne måten ettersom det ikke er slik lys oppfører seg i den virkelige verden.

"Global Illumination" eller "indirect illumination" vil forsøke å simulere hvordan lyset oppfører seg i virkeligheten. Denne prosessen tar i betraktning mange ulike faktorer og effekter som trengs for å imitere realistisk lys. Det finnes ulike

algoritmer som blir brukt for å kalkulere denne indirekte belysningen, men i prinsippet skal de oppnå samme effekt. Når en bruker GI, vil lysstrålene som sendes ut inneholde en viss mengde energi og farge. Når en av disse strålene treffer en overflate, vil en porsjon av strålens energi absorberes, og resten av energien vil reflekteres videre og lyse opp neste overflate den treffer. I tillegg vil strålen plukke opp en del av fargen fra overflaten den ble reflektert av, og blø over på den neste overflaten den treffer. Slik kan det forsette å reflektere og spre lyset etter behov.

Global Illumination kan skape imponerende lyssetting som ser fotorealistiske ut, men det kan være både tidkrevende og dyrt å få til. GI er en tung prosess med tanke på at den krever langt mer prosesseringskraft for å kalkuleres enn "vanlig" direkte belysning. Det finnes ulike algoritmer som muliggjør global illumination i sanntid (realtime) som for eksempel "Radiosity" (Radiosity (computer graphics), [16]), men denne er ikke nøyaktig nok når en skal produsere fotorealisme, og er ikke tilgjengelig i Mental Ray.

3.1.4. Photon mapping

Mental Ray bruker en algoritme som kalles "photon mapping". Den går ut på at en sender ut lys-pakker som kalles "photons" ("fotoner") ut i scenen fra lyskildene. Antallet fotoner som skal sendes ut fra de ulike lyskildene må man stille på de individuelle lyskildene. Antallet fotoner har innvirking på resultatet av GI-effekten, i tillegg til tiden det tar å kalkulere den. Så jo bedre og mer realistiske resultater en vil ha – jo lengre tid tar det å kalkulere det. Når man jobber med denne algoritmen for GI, kreves det at man jobber samtidig med lyssettingen og render-innstillingene. I render-innstillingene finner man mange ulike funksjoner

og variabler en kan tilpasse, slik som antallet ganger disse fotonene kan reflekteres av en overflate, og selve størrelsen på fotonene. Samspillet mellom alle disse ulike faktorene og innstillingene kan gjøre det vanskelig og tidkrevende å sette opp indirekte belysning.

3.1.5. Final Gather

Final Gather (FG) er en teknikk for å estimere indirekte belysning (slik som global illumination) som er lettere å sette opp og som rendrer mye kjappere enn f. eks. photo mapping. FG fungere slik at det sendes ut punkter fra kameraets perspektiv som treffer ulike overflater i scenen. Fra disse individuelle "FG-punktene" blir det deretter sendt ut stråler i ulike retninger som måler lystilstandene der strålene treffer. Deretter finner hvert eneste punkt gjennomsnittet av strålene de selv sendte ut, og endrer det lokale lysforholdet i en gitt radius av der punktet traff. For eksempel: hvis et FG-punkt sender ut to stråler, der den ene treffer en overflate som er helt hvit og den andre treffer en overflate som er helt svart, blir resultatet grå. FG fanger opp både lysintensitet og farge fra punktene som måles. Deretter blir den indirekte belysningen fra Final Gather addert med den direkte belysningen.

3.1.6. Physical sun & sky

"Physical Sun & Sky" er en teknikk som brukes for å simulere dagslys-scenarier når man rendrer med Mental Ray. Den er enkel å sette opp, og rendrer veldig kjapt med realistiske resultater. Den fungerer slik at en shader med navn "mia_physicalsun" kontrollerer et "directional light" for å skape realistisk sollys, og

en annen shader med navn “mia_physicalsky” skaper en realistisk himmelbakgrunn. Denne teknikken brukes i samarbeid med Final Gather for å oppnå realistisk indirekte belysning. En av fordelene ved å bruke denne teknikken er at en har god kontroll over lyssettingen av scenen, spesielt med tanke på at man kan gjenskape lyset fra ulike tider på dagen. I tillegg rendred den langt kjappere enn de andre teknikkene.

3.1.7. Image-based lighting

Image-based lighting (IBL) er en teknikk eller prosess som går ut på å lyssette en scene ved hjelp av et 360 graders bilde tatt fra virkeligheten. Når teknikken blir brukt rett kan den produsere hyperrealistiske lysscenarier som kan være vanskelig å oppnå med andre teknikker. Det er en ganske avansert prosess fra start til slutt og et gigantisk diskusjonstema, men her er de grunnleggende stegene:

Først må man fange lyset fra virkeligheten. Dette gjøres vanligvis ved hjelp av en ball av krom og et fotoapparat. Kromballen speil-reflekterer faktisk hele omgivelsen rundt den, ikke bare den ene halvkula som retter mot kameraet. Dette tillater en å fotografere hele omgivelsene i ett enkelt foto. Deretter tar man flere foto i ulike eksponeringer for å kunne fange hele spektret av lys.

Deretter tar man fotoene i ulike eksponeringer og kombinerer dem til et “high dynamic range” bilde (HDRi), ved hjelp av programvare slik som for eksempel Photoshop. Bildet blir deretter lagret som et 32-bits bilde. Dette steget blir gjort slik at man får mest mulig nøyaktig representasjon av belysningen som var å finne der man tok fotoet.

Ved hjelp av “mapping” kan man importere HDRi-bildet og legge det på innsiden av en kule. Deretter bruker man dette bildet til å lyssette alt som er på innsiden av denne kulen.

Denne teknikken/prosessen brukes som regel sammen med GI eller FG for å oppnå enda mer realistiske resultater. Stegene 1 til 2 kan i mange tilfeller hoppes over hvis en ikke trenger å anskaffe HDRi-bildet selv, for eksempel ved å kjøpe dem ferdiglaget. En av ulempene ved å bruke denne teknikken er at man ikke har særlig mye kontroll over lyssettingen etter fotoet har blitt tatt, i motsetning til physical sun & sky der en har full kontroll over dagslyset.

Den store fordelen derimot er at man enkelt kan skape lysforhold som er vanskelig å produsere på andre måter. Et godt eksempel på dette er når en vil gjengi lyset som forekommer når himmelen er overskyet. Da vil lyset fra solen brytes, reflekteres og spres i skyene, og vil skape en effekt som får lyset til å komme fra alle mulige vinkler. Dette lysforholdet er vanskelig å gjenskape ved hjelp av for eksempel physical sun & sky uten at rendertidene blir ufattelig høye.

3.1.8. Ambient Occlusion

Ambient occlusion (AO) er en shading- og rendering-teknikk som brukes for å etterligne den måten overflater får skygger under svært diffus belysning, slik som f.eks en overskyet himmel (Ambient Occlusion, [17]).

Figur 2. "Ambient Occlusion Example" (hentet fra [18])

AO kan gi en effekt som er vanskelig å simulere ved bruk av ulike lyssettings-teknikker, og brukes ofte til å oppnå en spesiell belysning eller kombineres med andre lyssettings-teknikker for å tilføre ekstra skyggelegging. AO brukt alene blir sjeldent sett på som en spesielt realistisk teknikk.

3.2. Shading

Den neste fasen i en datagrafikk-pipeline, etter lyssettingen er fullført, er å begynne med shadingen.

> *"In the field of computer graphics, a shader is a computer program that is used to do shading: the production of appropriate levels of color within an image, or, in the modern era, also to produce special effects or do video post-processing."*
>
> (Shader, [19])

Shading går ut på å gi de ulike objektene i en 3D scene et materiale som imiterer materialet/stoffet det skal gi inntrykket av å bestå av. Mye av arbeidet med å lage shadere som etterlikner virkelige materialer, ligger i å studere og observere materialer en finner i den virkelige verden. For å kunne gjøre dette effektivt og bevisst, er det viktig til å ha kjennskap til ulike egenskaper ved materialene, slik som farge, reflektivitet, gjennomsiktighet & brytningsverdi.

3.2.1. Standard Surface Shaders

En "surface shader" benyttes når man skal gi et solid objekt, med en definert overflate, et materiale. I Maya finner man følgende standard surface shaders:

- Anisotropic
- Blinn
- Lambert
- Phong
- Phong E
- Ramp Shader
- Surface Shader

Alle disse shaderene bruker ulike algoritmer og har ulike bruksområder de er ment for. F.eks. vil anistropic være best dersom man vil lage børstet stål, og phong være best dersom en vil lage plast. Ulempen med å benytte disse shaderene er at det kan være vanskelig å oppnå realistiske resultater, uten at arbeidet blir unødvendig komplisert. Disse shaderene mangler en del variabler og parametre en har behov for å ha kontroll over for å kunne nøyaktig gjengi realistiske materialer.

3.2.2. Mental Ray Architectural material

“Mental Ray Architectural material” eller “mia_material” er en shader som er designet for å være fysisk nøyaktig og støtte de fleste materialene en har bruk for (Architectural Material, [20]). Denne shaderen kommer sammen med Mental Ray, og er optimisert for å rendre raskt og nøyaktig i Mental Ray. Denne shaderen har mange funksjoner som gjør det lett å oppnå realistiske resultater.

En av de viktigste egenskapene til denne shaderen er at den er energikonserverende og gjør det umulig å skape shadere som bryter med fysikklovene. Med denne shaderen har man kontroll over de fleste variablene man trenger for å kunne gjenskape de fleste materialene man finner i den virkelige verden. Her er noen av de viktigste funksjonene/parametrene:

- Diffuse color – Mulighet for å angi en farge eller tekstur.
- Roughness – Overflatens ruhet på et mikroskopisk nivå.
- Reflectivity – Angir hvor reflektiv materialet er.
- BRDF – Hvor reflektiv er materialet er, avhengig av innsynsvinkel.
- Reflection glossiness – Er refleksjonen et speilbilde eller er det mer ufokusert.
- IOR – Brytningsindeksen til materialet (en fysisk enhet).
- Transparency – Gjennomsiktighet (slik som glass, vann, plast etc)
- Translucency – Gjennomskinnelighet (slik som papir, blader)
- Anistrophy – Materialets mikroskopiske mønster (brukes ofte på børstet metall).

3.2.3. Lens shaders

En "lens shader" er en shader som en knytter til det virtuelle kameraet, og som tillater en å oppnå ulike optiske effekter slik som dybdeskarphet og etterlikne fiskeøye-objektiver i Mental Ray (Applying Lens Shaders to Cameras, [21]).

De to "lens shader-ene" som gir mest fotorealistiske resultater er "mia_exposure_photographic" og "mia_lens_bokeh".

Førstenevnte gjør det lettere å oppnå realistisk eksponering i bildet ved å tilføre kjente kamera-verdier slik som:

- ISO
- f-stop (Blenderåpning)
- Shutterspeed (Lukkerhastighet)
- Whitepoint (Hvitbalanse)

Ved å bruke denne shaderen kan man bruke verdier fra den virkelige verden til å justere bildets eksponering, noe som er spesielt verdifullt dersom man har erfaring med kameraer og fotografering fra før.

"mia_lens_bokeh" gjør det mulig å simulere fotorealistisk dybdeskarphet inne i Mental Ray, slik at dybdeskarphet-effekten allerede er påført bildet når det kommer rett fra rendering. Alternativet til dette er å legge til dybdeskarphet-effekten senere i etterarbeid. Dersom en velger å gjøre dette i Mental Ray, vil tiden som trengs for å rendre bildet øke ekstremt mye. Dette er fordi en trenger et veldig høyt antall "samples" (se kapittel om sampling) for å rendre dybdeskarphet-effekten med minimalt støy. Derfor er det å foretrekke å legge til denne effekten i After Effects, da en kan gjøre det med langt bedre resultater på en brøkdel av tiden. (Se kapittel om dybdeskarphet)

3.3. Rendering

Rendering er navnet på prosessen som gjøres når det skapes et 2-dimensjonalt bilde av den 3-dimensjonale scenen (Rendering (computer graphics), [22]). 3D-grafikk er avhengig av å rendres for at det skal kunne vises på noe slags vis på et 2-dimensjonalt medium slik som f.eks. en TV-skjerm eller en avis.

Når man arbeider med 3-dimensjonale former i et program slik som Maya, eksisterer disse 3D-formene i et virtuelt rom inne i programvaren som defineres av aksene X, Y og Z. Skjermen som viser disse 3D-formene i det virtuelle rommet derimot er kun i stand til å vise 2 av disse aksene. Vi har et visst antall piksler både i høyden og i bredden. Bildet disse pikslene skaper er fullstendig flatt. Det er ikke mulig se innover i skjermen i det som kalles Z-aksen. Det finnes effekter slik som Stereoskopisk 3D som skaper illusjonen av å kunne se inn i bildet, men den eneste måten man virkelig kan se et 3-dimensjonalt objekt som er framstilt ved hjelp av en datamaskin på, er å få det omgjort fra digital form til analog form. Et godt eksempel på dette er ved å benytte en 3D-printer. Dersom en gjør dette kan man gå rundt objektet og se på fra alle vinkler. Som regel blir 3D-grafikk vist på skjermer nå til dags, og derfor må man benytte rendering for å være i stand til å gjøre dette.

Det skilles ofte mellom to hovedtyper av rendering. Real-Time Rendering og Pre-Rendering. Det som skiller disse to typene fra hverandre kalkulasjonstiden eller rendertiden som trengs for å bygge ett bilde. Real-Time Rendering har som formål å være interaktiv og må derfor rendre bildene fortløpende i et utrolig høyt tempo, ofte mellom 20 - 60 bilder per sekund. Eksempel på bruk av real-time rendering er i data-spill og interaktiv grafikk.

Pre-rendering blir brukt når en ikke har behov for å rendre bildene fortløpende. En får mye større frihet med tanke på rendertid, og kan derfor øke kompleksiteten og kvaliteten på det som må rendres. En kan mye lettere oppnå fotorealistiske resultater gjennom pre-rendering ettersom en kan tilføre langt mer kalkuleringstid til å gjenskape de kompliserte fenomenene som skjer i virkeligheten.

Rendering er ofte en av de mest tidkrevende prosessene man må gjennom når en jobber med datagrafikk, og er som regel ett av de siste stegene i en CG-pipeline. Programvare som gjør slike render-oppgaver kalles en "renderer" eller "render engine". Det finnes mange ulike “render-engines” slik som “V-Ray”, “Arnold Renderer”, “RenderMan” og "Maxwell Render" som benytter ulike algoritmer og teknikker for rendering.

Mental Ray bruker en teknikk som kalles “ray tracing” til å rendre et bilde. Denne teknikken går kort fortalt ut på at det digitale kameraet sender stråler ut i scenen som treffer ulike overflater og som bestemmer verdien på pikslene som bygger opp bildet (Rademacher, [23]). Denne teknikken er i stand til å produsere en veldig høy grad av realisme, men krever mye prosesseringskraft (Ray tracing (graphics), [24]). Antallet stråler som blir brukt kommer an på oppløsningen på bildet og hvilke innstillinger en har for sampling og ulike effekter en benytter. Desto flere stråler som sendes ut, desto bedre blir kvaliteten på bildet, men desto lengre tid tar det å rendre bildet. Av denne grunn velger ofte CG-artister å jobbe i lavere oppløsning og sampling når de jobber med selve produksjonen, slik at de kan arbeide effektivt, for så å skru opp kvaliteten når de foretar den endelige renderen av scenen.

"Render a few tests in low resolution format before advancing into the final render and make sure that all the settings are optimized to get a very good result without illumination errors or undesired glitches or spots on the image"

Sérgio Merêces (Watson, [25])

3.3.1. Sampling

Sampling er selve prosessen med å sende stråler ut fra kameraet. Når disse strålene treffer geometri eller overflater hentes det ut informasjon om shadingen fra dette punktet strålen traff. Informasjonen om shadingen som hentes ut fra dette punktet, vil bestemme hvilken verdi en piksel i bildet får. Dette er en av de mest delikate funksjonene i Mental Ray og de fleste andre render-programvarene, med tanke på både render-tid og kvalitet (Mental Ray Sampling, [26]).

Teoretisk sett, trenger man ikke mer enn én sample/stråle per piksel for å rendre et bilde nøyaktig. Uheldigvis fungerer ikke raytracing perfekt i virkeligheten, og fenomener slik som sampling-feil og artefakter kan forekomme. Et godt eksempel på dette er urealistiske skarpe kanter som forekommer i et bilde, en effekt som ofte kalles "aliasing" (Aliasing, [27]). For å bekjempe dette må en sende ut mer enn en sample/stråle per piksel i bildet. Dette kalles "oversampling" eller "supersampling" og vil i dette tilfellet produsere en effekt som kalles "anti-aliasing" (Oversampling, [28]). Dette vil fikse diverse problemer slik som artefakter, men vil også øke rendertiden.

Den største utfordringen her vil være å finne en balanse mellom kvalitet og rendertid. Som regel vil en få de beste og mest realistiske resultatene ved å skru opp antallet samples og øke rendertiden betydelig.

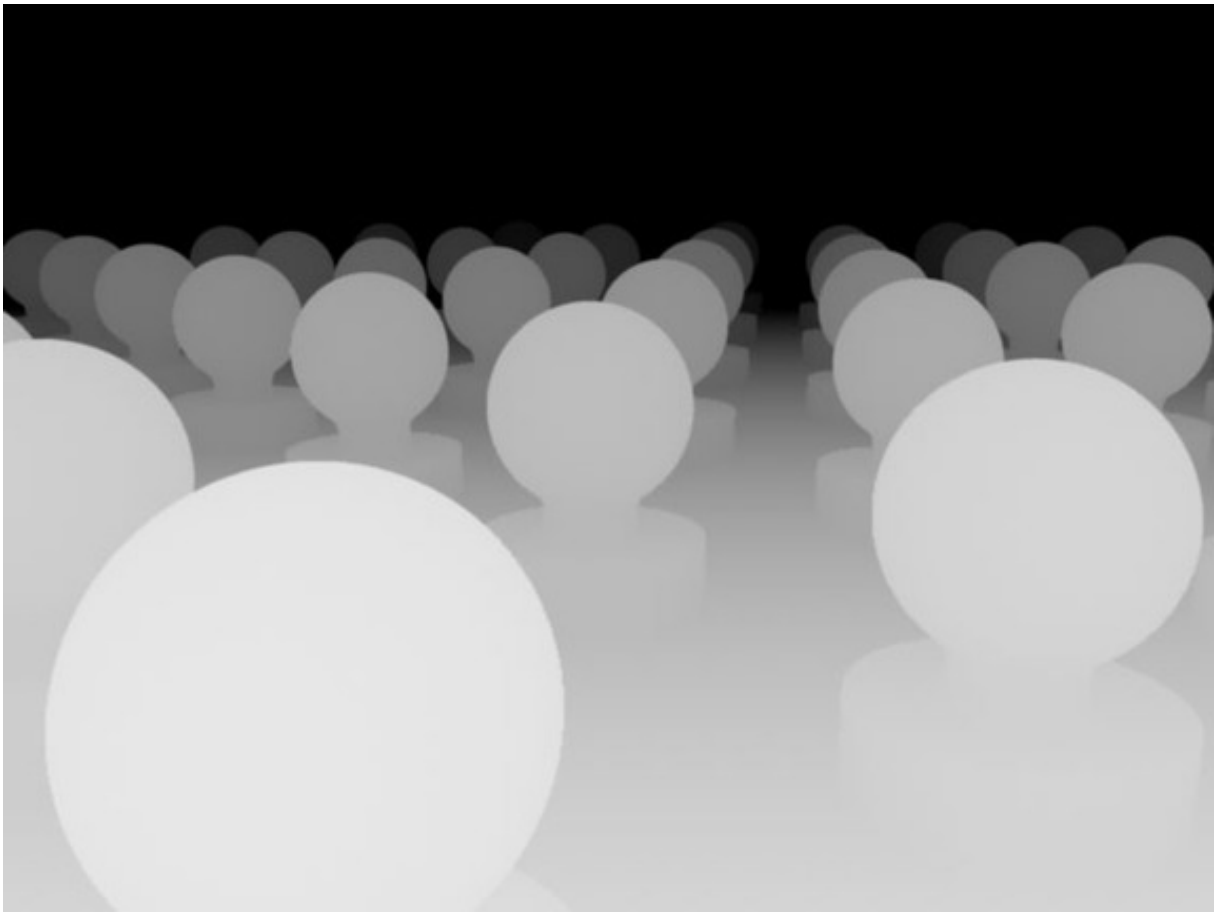
3.3.2. Renderpasses

Mental Ray rendrer som standard ut det som kalles et "master beauty-pass". Et "master beauty-pass" er som regel hovedbildet ditt som viser hele det ferdige bildet, der en kan se alle lysinteraksjonene, skyggene, refleksjonene og alt annet som skulle forekomme i bildet. En har også muligheten til å rendre ut ulike "passes" som en senere kan sette sammen til det ferdige bildet, som kommer til å være identisk til det opprinnelige "master beauty-pass'et" med mindre man gjør noe endringer på ett eller flere av disse "pass-ene" (Birn, [29]).
"Render-passes" kan benyttes dersom en vil ha større kontroll over bildet etter det er rendret, og gir en store muligheter til å fikse på bildet i etterarbeids-fasen. Renderpasses har nødvendigvis ingen betydelig innvirkning på selve nivået av fotorealisme i 3D-grafikk, men kan gjøre ulike arbeid lettere og mer effektive. Her er noen renderpasses som er vanlig å hente ut fra Mental Ray:

- Ambient Occlusion
- Beauty
- Camera depth
- Diffuse
- Reflection
- Refraction
- Shadow
- Specular

De to mest relevante "render pass-ene" for denne oppgaven er Ambient Occlusion og Camera depth (Z-depth). Ambient Occlusion kan brukes til å etterlikne enkelte lysforhold eller tilføre ekstra skygger (se Renderpasses). Et camera depth pass, eller "z-depth pass" som det oftest kalles, er et gråtone-bilde

som skal brukes til å visualisere dybden i et 2-dimensjonalt bilde. I dette bildet vil objekter som befinner seg nært bildet framstå som hvite, og jo lengre unna objektene befinner seg jo mørkere blir de. Ved hjelp av dette bildet kan man fortelle ulike prosesseringseffekter hvor objektene i et bilde befinner seg i Z-aksen. Denne informasjonen kan deretter brukes til å tilføre dybdeskarphet til et bilde i etterarbeid. (Se Dybdeskarphet)



Figur 3. "Simple Z-depth pass"

3.4. Etterarbeid

Når man har rendret ut et bilde av 3D scenen kan man ta arbeidet videre til det som ofte er det siste steget i en CG-pipeline – etterarbeid. I etterarbeid har man kontroll over mange ulike prosesser og effekter som man vanligvis ikke har tilgang til i selve 3D produksjonen, eller som kan gjøres mer effektivt i 2D. De mest populære programvarene for etterarbeid er Nuke, After Effects og Photoshop. Disse programmene har mange ulike bearbeidingsverktøy som kan forbedre kvaliteten på bildene i tillegg til å øke fotorealismen.

Noe av det viktigste en kan gjøre for å øke fotorealismen til et bilde i etterarbeid er å legge til effekter som vanligvis forekommer når en tar et foto med et kamera i virkeligheten.

"What you get out of your render engine generally only takes you about 90% to final. The last 10% is accomplished in post and can make the difference between something looking CG or professional. Spend time learning the limitations of 3D render engines in regards to making images look like they were shot by a real camera. These elements (glows, blooms, glints, grain, contrast) are easily added in post, not to mention harmonizing color and defining the 'style'."

Alex Alvarez (Watson, [25])

"Integrating different lens effects into your work will help sell the realism and make people think it's not even CG. Paying attention to the small details will really take your work to the next level."

Austin Mayden (Mayden, [30])

3.4.1. Dybdeskarphet

Ordet "dybdeskarphet" ("depth of field"), er et begrep som brukes innen fotografi for å angi hvor skarpt et bilde tar seg ut foran og bak fokuserings-planet i et motiv (Dybdeskarphet, [31]). Fokuserings-planet vil si avstanden fra kameraet som er i fokus. Området som er i fokus vil framstå som skarpt, mens områdene utenfor fokus vil framstå som uklare eller "ute av fokus".

Figur 4. Sammenlikning av dybdeskarphet (hentet fra [31])

Dette er et viktig optisk fenomen som forekommer både i våre egne øyne og i alle kameraer. Av denne grunn bør dybdeskarphet også tilføres til datagenererte bilder dersom en vil oppnå fotorealisme.

Dybdeskarpheten avhenger av tre faktorer:

- Blenderen
- Brennvidden
- Avstanden til motivet

Stor blenderåpning gir liten dybdeskarphet. Liten blenderåpning gir stor dybdeskarphet. Vidvinkelobjektiv gir størst dybdeskarphet. Teleobjektiv gir minst dybdeskarphet. Kort avstand til motivet gir minst dybdeskarphet. Lang avstand til motivet gir størst dybdeskarphet (Nordby, [32]).

Figur 5. Blenderåpning og dybdeskarphet

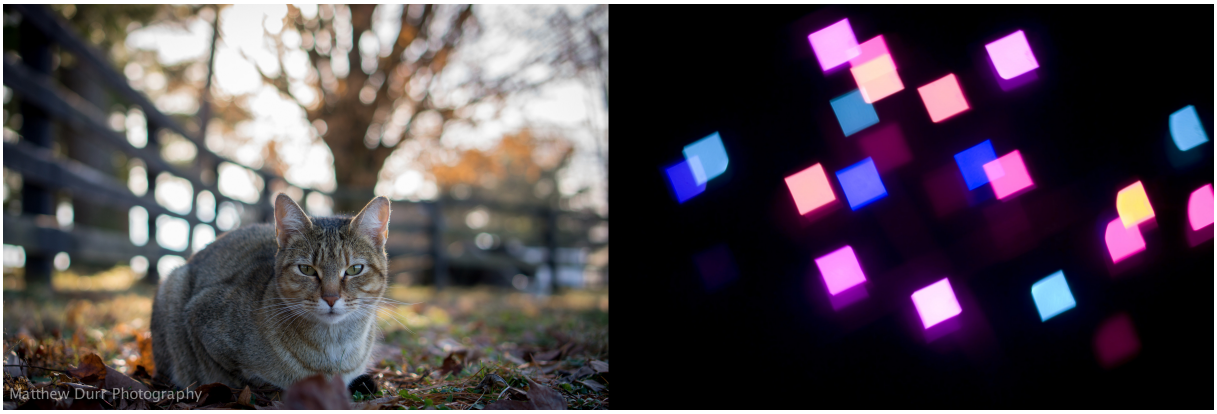
Et annet viktig fenomen som forekommer sammen med dybdeskarphet er "bokeh-effekten".

> *"Bokeh (av japansk boke ぼけ, "uskarp") er en fotografisk betegnelse som refererer til områder som er ute av fokus i et fotografi."*

(Bokeh, [33])

Bokeh defineres som måten objektivet gjengir lyspunkter som er ute av fokus. Det estetiske utseendet på lyspunktene som er ute av fokus bestemmes av kvalitetene på objektivet som er brukt (Bokeh, [34]). Disse lyspunktene får samme form som formen på hullet i irisåpningen i kameraobjektivet. Så hvis man bruker et objektiv med en helt sirkulær irisåpning, vil lyspunktene som er ute av fokus framstå som sirkulære. Dersom man bruker et objektiv med en

irisåpning som er firkantet, vil lyspunktene som er ute av fokus framstå som firkantete.



Figur 6. Sirkulær bokeh (venstre) og firkantet bokeh (høyre)

I tillegg vil formen på lyspunktene endre seg fra midten av bildet og utover mot kantene. Denne effekten er kjent som "cat's eye effect" eller "swirly bokeh", og vil variere mellom ulike typer kameraobjektiver (van Walree, [35]).

Figur 7. "Cat's Eye Bokeh" (hentet fra dofpro.com)

I mange tilfeller kan også lyspunkter ute av fokus framstå som "løkringer" som forårsakes av fenomenet "diffraksjon" (Diffraksjon, [36])

Figur 8. "Onion Rings Bokeh" (hentet fra [35])

Alle disse dybdeskarphet effektene kan enkelt gjenskapes i After Effects for å skape hyper-realistiske "Depth of field" effekter.

3.4.2. Chromatic Aberration

"Kromatisk aberrasjon" (Chromatic Aberration, CA), også kalt fargeblødning, oppstår ved at lys med forskjellige bølgelendge brytes ulikt, og dermed får forskjellige brennpunkt. "CA" fremkommer som feilaktige utgående linjer langs kanter med stor kontrast (Aberrasjon (optikk), [37]).

> *"Chromatic Aberration is something people have gotten used to seeing in photos and videos, so when it isn't present most people typically notice something is wrong."*
>
> Austin Mayden (Mayden, [30])

Denne effekten kan etterliknes ved å splitte opp de ulike fargekanalene (RGB) i et bilde, og forskyve/endre en eller flere av disse fargekanalene på noe vis.

3.4.3. Vignetting

Wikipedia sier forklarer vignettering slik: "Vignettering betegner en gradvis formørkning ut fra sentrum av et fotografi. Naturlig vignettering skyldes optiske og mekaniske svakheter i optikken" (Vignettering, [38]). Ved å legge til denne effekten kan en øke inntrykket av at det datagenererte bildet ble tatt med et ekte kamera.

3.4.4. Diffusion filter

"An image process that softens an image by averaging each pixel with a specified number of surrounding pixels to crete a new resulting pixel."

(Diffusion filter, [39])

Denne effekten kan gi inntrykket av at det ble brukt en uklar linse da bildet ble tatt, som i noen tilfeller kan øke realisme.

3.4.5. Noise/grain

"Noise", "grain" eller "støy" er en god måte å heve realismen i bildet på. Spesielt dersom bildet skal etterlikne et foto tatt under dårlige lysforhold.

"Adding grain to areas of the image that have no grain, is vital to get the image as to appear as a realistic photographed image."

(Adding grain, [40])

3.5. Tillegg

3.5.1. Linear workflow

Begrepet “Linear Workflow” beskriver en arbeidsflyt som sørger for at farger og bilder blir kalkurert rett, noe som vil øke realismen på datagrafikk.

Alle bilder, enten det er fotografier, video eller teksurer, som vises på en skjerm har blitt gammakorrigert, slik at de kan vises rett på en skjerm. Mental Ray rendrer som standard ut et bilde som trenger å gammakorrigeres for å også kunne vises rett på en skjerm. Dette kan gjøres på mange ulike måter, bl.a. ved å bruke “mia_exposure_photographic” inne i Mental Ray, eller ved å fargekorrigere renderen i After Effects eller Photoshop. Ved å legge til denne gammakorrigeringen vil bildet se bra ut på de fleste skjermene nå til dags. Problemet med å foreta denne gammakorrigeringen på en render, er at dersom en benytter bilder eller teksturer som allerede er gammakorrigert fra før, vil disse bildene/teksturene gammakorrigeres dobbelt opp, og vil ikke få rette fargeverdier. Løsningen på dette problemet vil være å fjerne gammakorrigeringen fra teksturer og bilder som skal benyttes, før de rendres ut av programmet. Så når en gammakorrigerer hele bildet til slutt, vil alle fargeverdiene i bildet være matematisk rett, og ingen elementer i bildet vil være gammakorrigert dobbelt opp.

4. FORSKNINGSMODELL OG ANTAGELSER/HYPOTESER

4.1. Modell

Følgende forskingsmodell er benyttet i min bacheloroppgave:

Figur 9: Forskningsmodell

4.2. Forklaring av Modell

Jeg mener at de ulike teknikkene og valgene innen lyssetting, rendering og etterarbeid vil ha stor innvirkning på graden av fotorealisme i en CG-produksjon.

Innen lyssetting vil jeg først stille "local illumination" opp mot "global illumination". Deretter vil jeg stille teknikkene innen global illumination opp mot hverandre, altså "Photon Mapping" mot "Final Gather".
Samtidig vil jeg finne ut hvilket alternativ som er best av "Image-based lighting" og "Physical Sun & Sky". Dette vil gi meg et svar på hva som er best kombinasjon av disse teknikkene.

Innen rendering vil jeg få svar på hvordan ulike renderinnstillinger (settings) påvirker publikums oppfattning av realisme. Her vil jeg sammenlikne høye settings mot lave settings innen "sampling" og "resolution".
I etterarbeid vil jeg finne ut om etterarbeidet øker nivået av realisme, og finne ut hvilke teknikker som er mest effektive.

I min problemstilling vil jeg også finne ut hvilke teknikker innen shading som hjelper for fotorealismen. I min forskningsmodell har jeg valgt å droppe å måle dette, ettersom jeg ikke klarer å finne noen klart definerte og målebare teknikker i mitt teorikapittel. Dersom jeg skulle gjennomført en undersøkelse på grunnlag av teorien jeg har funnet om shading, tror jeg ikke jeg ville fått noe brukbar data om dette.

Ved hjelp av denne modellen vil jeg finne ut hvilke teknikker innen de ulike stegene som har størst innvirkning på publikums oppfatning av produktets fotorealisme.

4.3. Hypoteser

Jeg antar at min forskning vil gi meg svar som vil hjelpe meg å finne ut hvilke teknikker som er viktigst å benytte når en vil oppnå fotorealistiske resultater.

Lyssetting:
Innen lyssetting forventer jeg at publikum kommer til å foretrekke global illumination fremfor local illumination, men at bruken av enten photon mapping eller final gather vil være vanskeligere å skille mellom. Jeg tror også at HDRI-lyssetting (IBL) vil ansees mer realistisk enn Physical sun & sky.
Rendering:
Jeg antar at høye innstillinger på de ulike rendering-funksjonene vil gi best respons.
Etterarbeid:
Jeg tror det vil være vanskelig å bedømme de individuelle effektenes innvirkning på publikums oppfattelse av fotorealisme, men forventer at etterarbeidet i det store og hele vil være av stor betydning.

5. METODE OG DATAINNSAMLING

Jeg har valgt å bruke kvantitativ metode, fordi jeg mener den vil hjelpe meg å få svar på hypotesene mine. Ved å bruke spørreskjema som mitt empiriske instrument, vil jeg få testet hypotesene mine på et mer eller mindre tilfeldig utvalg deltakere og få samlet inn datamateriale slik at jeg kan finne et svar på problemstillingen min.

Jeg vil finne ut hvilke teknikker deltakerne finner mest realistisk ved å sette de ulike teknikkene opp mot hverandre.

Disse teknikkene vil bli presentert i et spørreskjema i form av bilder, der deltakerene velger hvilke bilder/teknikker de stiller seg mest positive til. Dette spørreskjemaet vil gi et datagrunnlag som igjen vil gi svar på ulike hypoteser og teorier.

Det er viktig at det innsamlede datamaterialet er både pålitelig og relevant for forskningen. Her kommer uttrykkene validitet og reliabilitet inn. Reliabilitet brukes om nøyaktighetsgraden av datainnsamling som har blitt gjennomført, som avhenger av hvordan gjennomføringen ble målt. Reliabiliteten kan sikres ved å mest mulig likhet for alle deltakerne, ha klare og tydelige instrukser og ved å benytte flere spørsmål. Definisjonsmessig validitet kan oppnås ved å optimalisere utformingen av spørsmål og svaralternativ, og ved å stille de rette spørsmålene slik at man får målt det man vil måle. Operasjonaliseringen av spørreskjemaet kalles "Survey Design".

6. PRODUKSJON

Som del av bachelorgradsoppgaven var ett av kravene at det skulle gjennomføres en praktisk produksjonsdel i ca 4-5 uker. I denne produksjonsfasen var målet mitt å produsere en prototype som benytter all teori som er gjennomgått så langt.

6.1. Pre-produksjon

Før selve produksjonsfasen måtte det lages en plan for hva som skulle produseres. Ettersom jeg stod helt fritt til å selv velge hva som skulle gjøres, kom jeg fram til at jeg skulle simulere et prosjekt for meg selv. Jeg bestemte meg for å gjøre en arkitekturvisualisering ettersom dette er godt eksempel på hvor fotorealistisk 3D-grafikk ofte blir brukt. Jeg satte følgende krav til prosjektet:

- Resultatet skal se fotorealistisk ut.
- Skal være tiltalende som en arkitekturvisualisering.

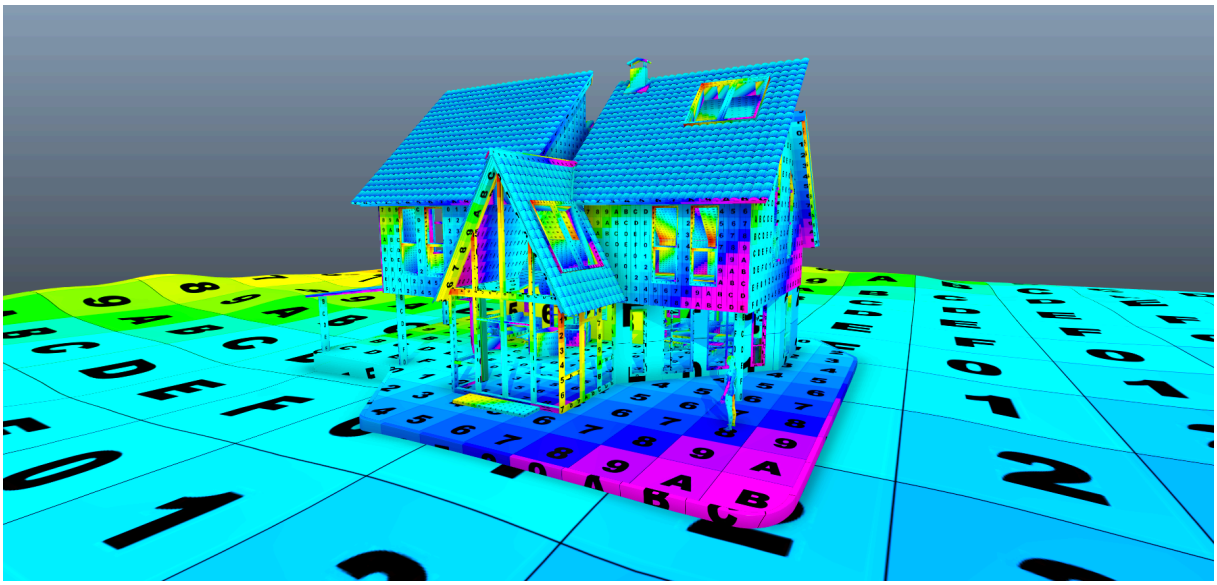
Jeg satte også noen krav til selve arkitektur-modellen/bygget:

- Skal være et bygg, i form av et hus/enebolig.
- Se moderne ut, men samtidig ikke for moderne til at det ikke ser realistisk ut.

Ettersom jeg ikke er en utdannet arkitekt, og ikke er i stand til å designe bygg fra bunnen av, var jeg avhengig av å finne en ferdig 3D-modell av et hus. Letingen etter arkitektur-modell ble gjort på ulike nettsteder som tilbyr 3D-modeller gratis så lenge de ikke brukes til kommersiell bruk. Modellen jeg fant som traff de ulike kravene jeg hadde satt, var ikke særlig brukbar med tanke på topologi. Den kunne derimot brukes som en referanse for egen modell.

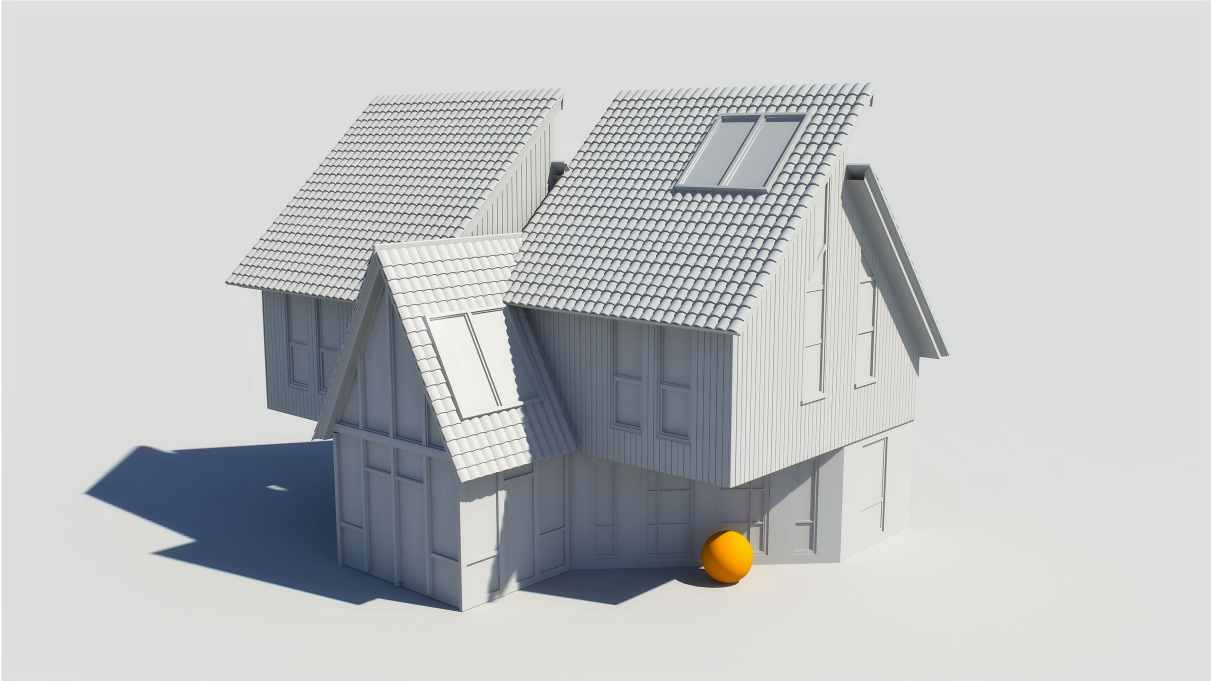
6.2. 3D produksjon

Først ut var modelleringen av huset, som ble gjort i Maya 2014. God topologi var viktig, ettersom alt videre arbeid i 3D ville basere seg på denne modellen. Deretter ble hele modellen UV-mappet, slik at 2-dimensjonale teksturer kunne legges på modellen uten forvrengning.



Figur 10. UV-mappet modell

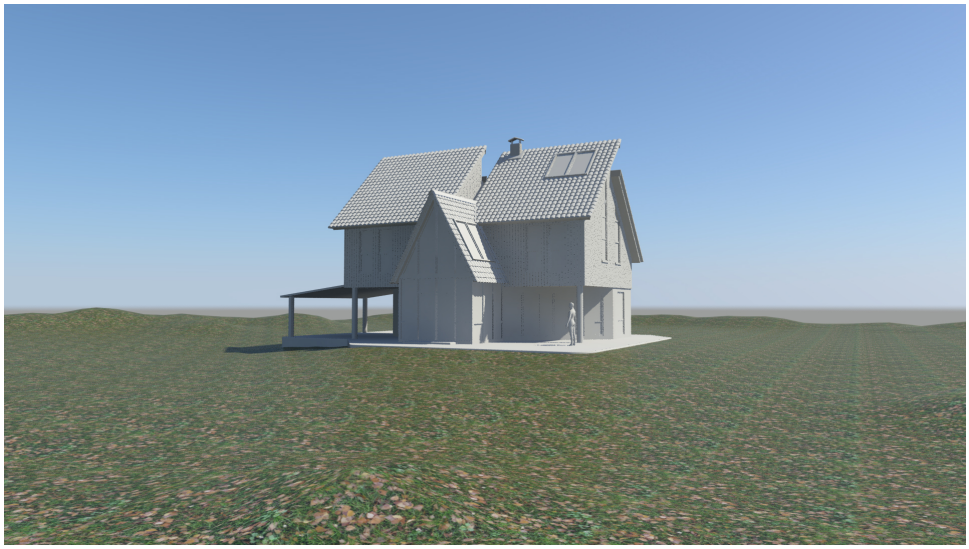
Deretter satte jeg opp en kjapp og midlertidig lyssetting, slik at jeg kunne se 3D-modellen under ulike lysforhold, og samtidig bedømme detaljnivået i modellen ved å rendre ut ulike bilder i høy-oppløsning (4K-/8K-oppløsning). Her benyttet jeg Mental Ray Physical Sun & Sky i kombinasjon med Final Gather, slik at jeg kunne test-rendre bilder uten å vente unødvendig lenge så tidlig i arbeidsprosessen. Renderinnstillingene ble av denne grunn også satt lavt for å spare tid.



Figur 11. Modell rendret med Physical Sun & Sky og Final Gather

Deretter satte jeg opp et kamera som skulle benyttes til rendering. Dette kameraet ble plassert i øyehøyden til et 175 cm høyt menneske, slik at kameravinkelen på det endelige bildet skulle oppfattes som realistisk. Bilder tatt fra en umulig eller svært vanskelig vinkel, er vanskeligere å bli oppfattet som ekte. På dette kameraet brukte jeg "linseshaderen" "mia_exposure_photographic" slik at jeg kunne forholde meg til mer logiske tall og verdier for å stille eksponeringen i bildet. Denne shaderen gir også muligheten for å stille gamma på bildet. Derfor ble en gamma-verdi på 2.2 benyttet, slik at fargene på rendrene ble rett. Dette betydde også at jeg måtte begynne å benytte en "linear workflow" inne i Maya fra dette tidspunktet.

Etter dette gikk jeg løs på arbeidet med omgivelsene rundt selve hus-modellen. Første steget jeg gjorde var å modellere terrenget/bakken rundt huset, som jeg også shadet og teksturerte. Teksturen på bakken, og alle andre teksturer i prosjektet, ble justert med en "gamma-correction" node slik at fargen på teksturene ble rett.



Figur 12. Ferdig terreng

Deretter gikk jeg videre til å lage ulike vegetasjon-assets som skulle plasseres rundt huset. Gresset var en viktig del av scenen. Tre ulike grassklumper ble generert/modellert ved å bruke Paint Effects som ble konvertert om til polygons. Deretter ble gresset teksturert og shadet. Realistisk shading på gresset ble oppnådd ved hjelp av teori om organisk-shading.

Figur 13. Testrender av gresset

De fleste trærne ble generert ved hjelp av et program som heter "OnyxTree". Dette programmet ble brukt for å oppnå høyt realistiske tre-modeller. De første trærne jeg lagde var 3 ulike bjørketrær i ulik størrelse og som skal være i ulik alder.

Figur 14. De 3 ulike bjørktrærne

Mesteparten av teksturering-jobben i hele prosjektet var å lage teksturene til bladene på trærne. Bilder av bladene var gratis teksturer fra diverse nettsider slik som "cgtextures.com". Fra disse teksturene lagde jeg teksturer for "specularity", "transparency" og "normal map". Shadingen av disse bladene ble en langt mer komplisert prosess enn all annen shading i prosjektet.

Jeg genererte også ett grantre og ett furutre for å få litt mer variasjon i vegetasjonen. Jobben med å shade disse var lettere ettersom jeg bare trengte å forholde meg til geometrien til bar-nålene, istede for teksturene som var nødvendige for bjørktrærne. Disse trærne hadde et ekstremt høyt antall polygons, men rendret uten problem ettersom de ikke behøvde så mye RAM.

Figur 15. Testrender av grantreet

Ved hjelp av Paint Effects genererte jeg også noen busker, som ble shadet og teksturert.

Med all vegetasjonen ferdig måtte de bare plasseres i hoved-scenen. Planen med disse assets-ene var at de skulle brukes flere ganger for å fylle scenen. Ettersom de er ganske detaljerte (high-poly) trenger de også mye RAM for å kunne rendre. Hvis en tar gresset som eksempel, som må kopieres flere tusen ganger for å dekke hele terrenget, vil man støte på et problem som innebærer for lite RAM til å kunne rendre bildet. La oss for eksempel si at gressmodellene som skal kopieres trenger 20MB RAM for å rendre. Dersom de må kopieres 1000 ganger for å dekke terrenget får man følgende regnestykke:

20MB * 1000 = 20 000MB = 20GB

I mitt tilfelle hadde jeg totalt 16GB RAM tilgjengelig på maskinen min. Noe som betyr at jeg ville hatt for lite RAM til å kunne rendre dette gresset. Løsningen på dette problemet var å bruke "instancing". Instancing tillot meg å rendre alle modellene i scenen uten problem. Dette er fordi at istede for å lage en kopi av selve modellene, lages det en "instance" av modellene, som deler samme "shape-node" som originalen og derfor ikke bruker mer RAM enn selve originalen. Dette vil si at selv om en lager 1000 kopier (ved å bruke instancing) vil ikke alt gresset totalt bruke mer en selve originalen, som i dette eksemplet var 20MB. Instancing ble brukt på alt som måtte kopieres flere ganger:

- Gresset
- Trærne
- Buskene
- Taksteinene

Figur 16. Testrender av plassert vegetasjon

Med omgivelsene rundt huset på plass, gjenstod shadingen og tekstureringen av huset, i tillegg til å legge til diverse detaljer i bildet. Etter dette begynte jeg å nærme meg slutten av 3D-arbeidet. Nå begynte jeg å eksperimentere med ulike lyssettinger og stemninger i bildet. Den endelige lyssettingen jeg kom fram til, som man ser i den ferdige prototypen, var den som jeg syns så mest interessant ut, og som fikk bildet til å føles mer som en arkitekturvisualisering. Med mer oppmerksomhet mot innsiden av huset, kom også behovet for detaljer i interiøret. Til å møblere innsiden av huset lånte jeg assets fra et prosjekt jeg jobbet på tidligere.

Figur 17. Render av interiøret

Med hele scenen ferdig, startet jeg med rendering-delen. Til den endelige renderen skrudde jeg opp alle innstillingene i Mental Ray slik at jeg fikk et bilde av høyeste mulige kvalitet. En oppløsning på 3840 x 1606 som tilsvarer Ultra High-Definition (UHD) i 2.39:1 format (CinemaScope) ble satt. Samplingen ble satt til en verdi av 1, som tilsvarer 4 samples per pixel i bildet. Dette skapte et skarpt bilde uten aliasing. Høy trace depth var også nødvendig, ettersom lyset må trenge gjennom mye vegetasjon. Det endelig bildet tok ca 10 timer å rendre. For å få best kvalitet på filen ble bildet rendret ut i en 32-bits TIF-fil, slik bildet ville kunne kraftig behandles i etterarbeidsfasen uten å miste kvalitet

Jeg rendret også ut 2 ulike passes. Det første var Ambient Occlusion, som jeg skulle bruke til å tilføre ekstra skygger i enkelte områder i bildet, og Z-depth som skulle brukes for å kalkulere dybdeskarphet i bildet.

6.3. Etterarbeid

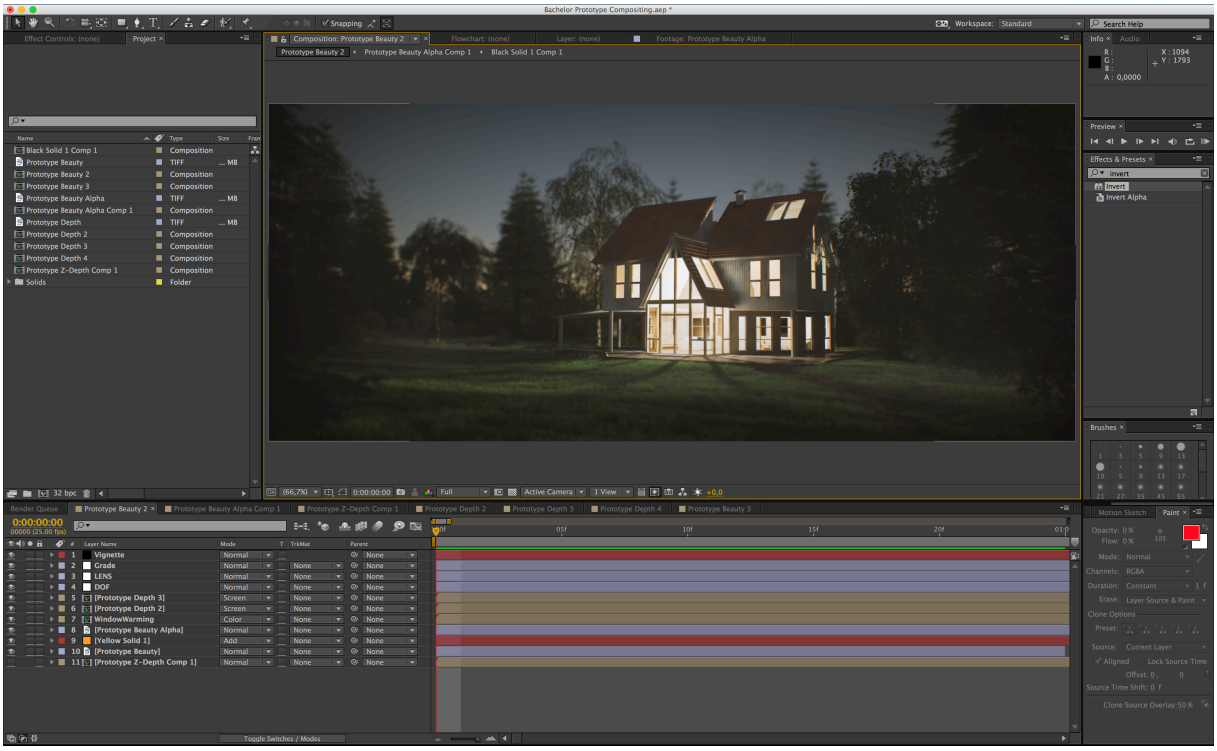
Det første jeg gjorde i etterarbeidsfasen, var å importere renderene inn i Adobe After Effects. Deretter opprettet jeg en linear workflow inne i After Effects i tillegg, slik at all behandling av bildene ville være rett fra begynnelsen. I tillegg satte jeg fargedybden til å være 32-bit slik at jeg kunne utnytte all fargeinformasjonen i bildene. Jeg opprettet en "composition" i After Effects i samme oppløsning som den originale renderen, og kunne deretter starte arbeidet med å legge på de ulike effektene.

Det første jeg gjorde var å legge til dybdeskarphet. Dette gjorde jeg ved å bruke en plugin som heter Frischluft Lenscare til å simulere bokeh-effekten, i kombinasjon med Z-depth-passet som gir dybdeinformasjon til plugin'en.

Ettersom bildet var tatt fra lang avstand, ville dybdeskarpheten være høy, noe som betydde at omtrent alt i bildet skulle være i fokus. Men siden bildet skal være tatt rundt kvelden/natten og det er mørkt ute, vil det være naturlig å skru opp blenderåpningen for å slippe til mer lys. En effekt av dette er at en får en mindre dybdeskarphet. Derfor måtte jeg finne en balanse der jeg tok i betraktning begge disse faktorene i betraktning.

Deretter la jeg til de forskjellige "linsefeilene" som nevnes i teorikapittelet. Ved å bruke plugin'en "Looks" kunne jeg enkelt tilføre følgende effekter:

- Chromatic Aberration
- Lens distortion
- Lens Flares / Ghosting
- Diffusion



Figur 18. Skjermbilde av arbeid i After Effects

Ettersom bildet skulle være tatt under dårlige lysforhold, slik som kveld og natt, var "noise/grain" en viktig effekt å få med i dette bildet. Når det er dårlige lysforhold i den virkelige verden, må en som regel bruke en høy ISO-verdi. En kjent "bivirkning" med å bruke en høy ISO-verdi, er at en før en god mengde støy i bildet, og resultatet blir et nokså "kornete" bilde. Derfor måtte støyeffekten være ganske synlig i bildet. Samtidig ville jeg at bildet skulle se ut som det ble tatt av en profesjonell fotograf, som mest sannsynlig ville brukt et bra kamera samt tilført mer lys ved å bruke lang lukkertid, så derfor valgte jeg å skru ned denne effekten litt, slik at bildet får et bedre preg av kvalitet over seg.

Deretter la jeg på en enkel vignette-effekt for å øke inntrykket av en ekte linse, som jeg overdrev litt ekstra for å trekke blikket mer mot selve huset.
Siste steget var å legge på et fargefilter for å gjøre bildet mer interessant fargemessig og med tanke på stemning.

Figur 19. Ferdig prototype (se Google Drive vedlegg for større versjon)

7. ANALYSE OG DISKUSJON

7.1. Kvantitativ undersøkelse

Jeg har i min bacheloroppgave gjennomført en kvantitativ undersøkelse, der jeg benyttet et spørreskjema for å samle inn data. Skjemaet ble gjennomført ved hjelp av Google Forms og ble utført etter forskningsetiske prinsipper. Alle deltakere var fullstendig anonyme og over 18 år gamle.

7.2. Analyse av spørreundersøkelse

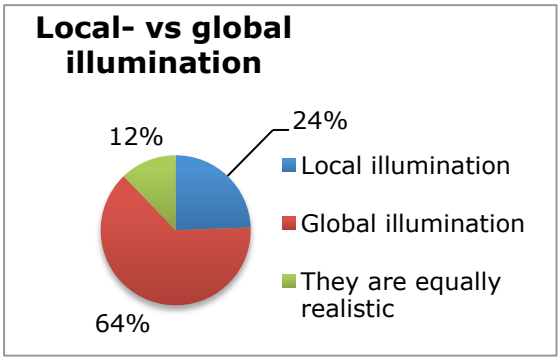
Svar fra deltakerne i undersøkelsen ga meg et datagrunnlag som vil gi meg svar på de ulike hypotesene mine.
Svar-alternativer der jeg fikk inn null svar på er droppet fra diagrammene, slik at de blir mer oversiktlige.
Deltakerne måtte også krysse av for kjønn og alder, dersom jeg skulle få bruk for å gjennomføre en bivariat eller trivariat analyse. Kjønn og alder var derimot urelevante data, ettersom jeg kun var interessert i å finne den generelle holdningen, uavhengig av ulike forskjeller på deltakerne.

7.2.1. Lyssetting

Innen lyssetting hadde jeg følgende hypoteser:

1. Hypotese: "Global illumination" er mer realistisk enn "local illumination"
2. Hypotese: "Photon Mapping" og "Final Gather" vil oppfattes like realistisk
3. Hypotese: "Image-based lighting" vil være mer realistisk enn "Physical Sun & Sky"

I figur 20 ser vi at mesteparten av deltakerne foretrakk "Global Illumination" fremfor "Local Illumination", slik som jeg hadde forventet.

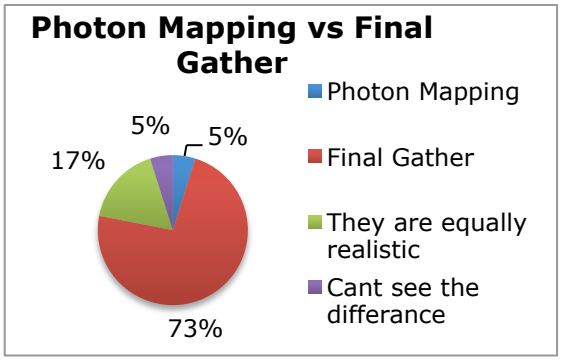


Figur 20. Diagram av local vs global illumination

Jeg syns derimot at andelen som syns "Local Illumination" var mest realistisk, ble litt for høyt. Jeg hadde egentlig forventet at nærmere ingen ville velge dette alternativet, ettersom det ikke brukes noen av de realistiske lyssettingsteknikkene som blir beskrevet i teorien. Det er mulig at noen av deltakerne oppfattet dette som mest realistisk fordi det har veldig liten "dynamic range" og det kan se ut som bildet er både overeksponert i direkte sollys, og undereksponert i skyggene. Hypotesen om at "Global Illumination" er mer realistisk vil jeg uansett anse som bekreftet.

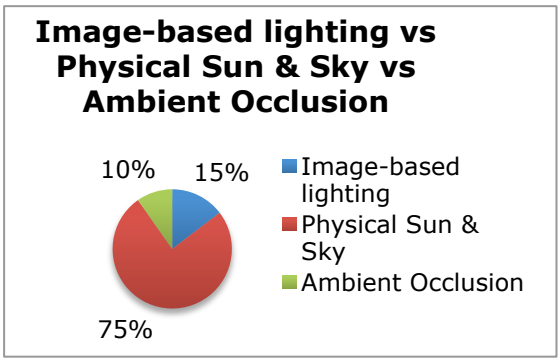
I figur 21 ser vi at "Final Gather" ble oppfattet som mest realistisk av langt flere deltakere enn "Photon Mapping".

Hypotesen min om at disse to ville oppfattes like realistisk blir derfor forkastet.



Figur 21. Photon Mapping vs Final Gather

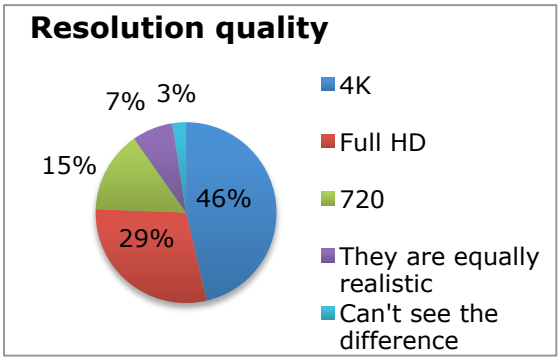
I figur 22 ser vi at "Physical Sun & Sky" ble oppfattet mest realistisk. Derfor forkastes teorien min om at "IBL" vil oppfattes mest realistisk.



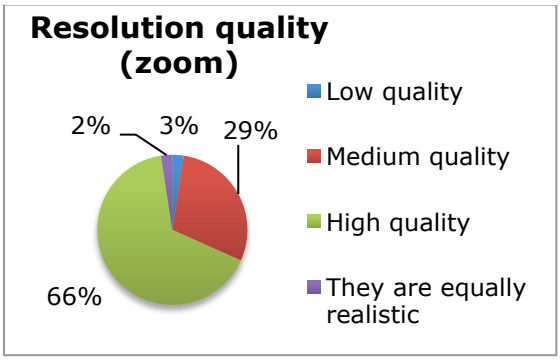
Figur 22. IBL vs Physical Sun & Sky vs AO

7.2.2. Rendering

I figur 23 og 24 målte jeg bildeoppløsning to ganger, ettersom jeg følte dette var nødvendig med tanke på at innstillinger for "sampling" også endrer seg når man endrer oppløsning. I begge tilfellene ble høyere oppløsning ansett som mest realistisk.



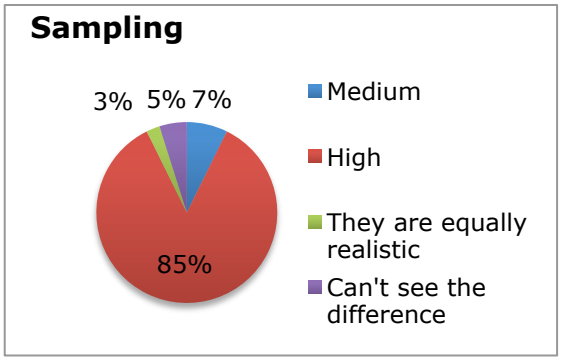
Figur 23. Oppløsning 1



Figur 24. Oppløsning 2

I figur 25 ser vi at omtrent alle deltakerne syns at de høyeste "sampling"-innstillingene var mest realistiske. Her var det også et alternativ for "low", men dette var det ingen som syns var realistisk,

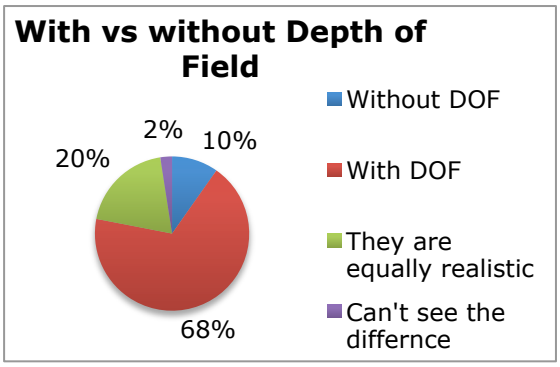
derfor ble det utelatt fra diagrammet.



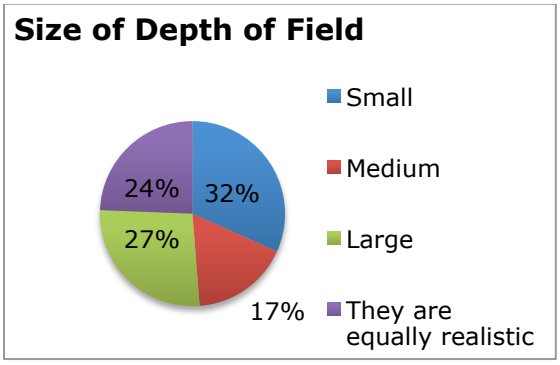
Figur 25

7.2.3. Etterarbeid

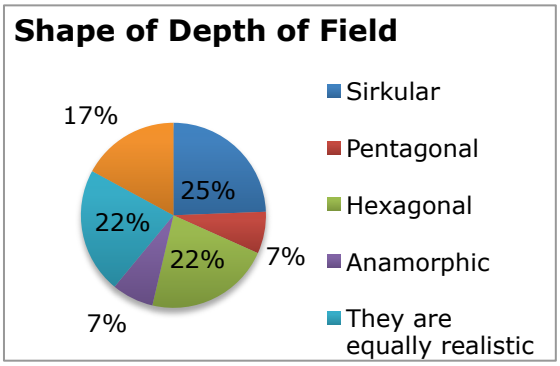
I figur 26 ser vi at de fleste deltakerne foretrakk bildet med dybdeskarphet-effekten på fremfor bildet uten. Her var jeg også interessert i å se om ulike nivå av dybdeskarphet-effekten ville oppfattes mer realistisk (fig. 27), i tillegg til om forkjellige former på bokeh-effekten ville ansees som mer realistisk (fig. 28). Disse to fikk jeg ikke noe betydelig definert svar på.



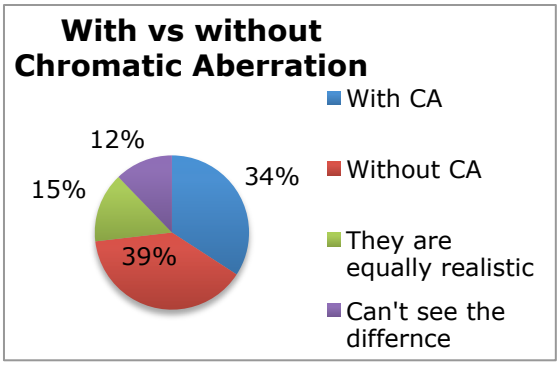
Figur 26



Figur 27

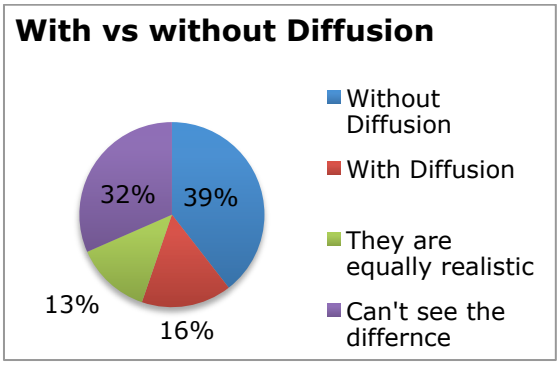


Figur 28



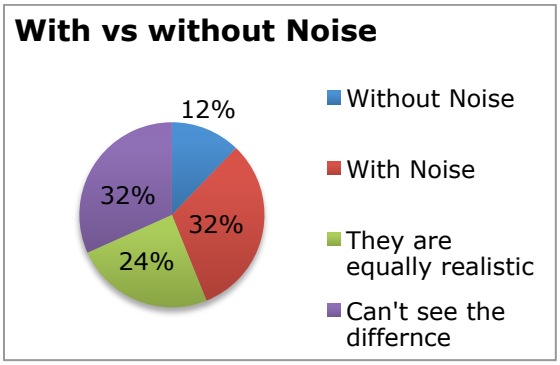
Figur 29

I figur 29 ser vi at bildet uten "Chromatic Aberration" effekten ble så vidt oppfattet mer realistisk enn med effekten. Her er det for liten forskjell til å si noe helt sikkert utfra svarene fra undersøkelsen.



Figur 30

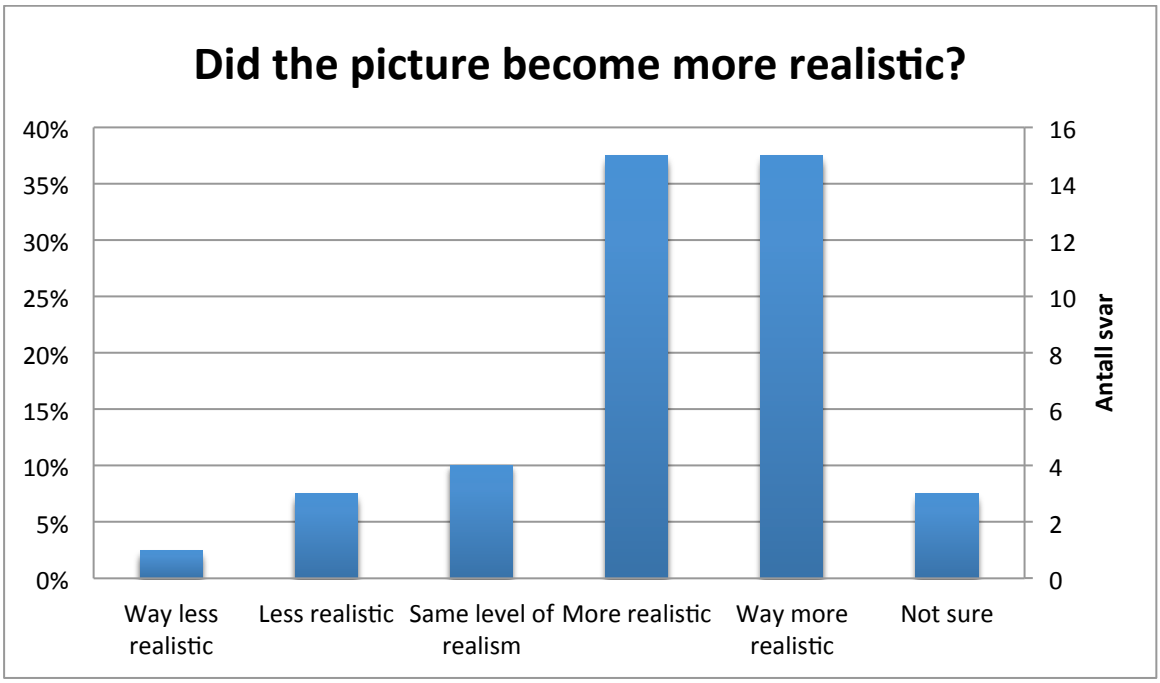
Figur 30 viser ingen betydelig stor forskjell mellom med og uten "diffusjon" effekten, derfor kan ingenting sies helt sikkert om denne effekten.



Figur 31

Spørsmålet om med/uten "støy" i bildet gav heller ingen sterke svar, slik man kan se i figur 31.

Deltakerne ble også bedt om å vurdere hvor mye mer realistisk bildet ble etter alt etterarbeid. Figur 32 viser responsen jeg fikk.



Figur 32

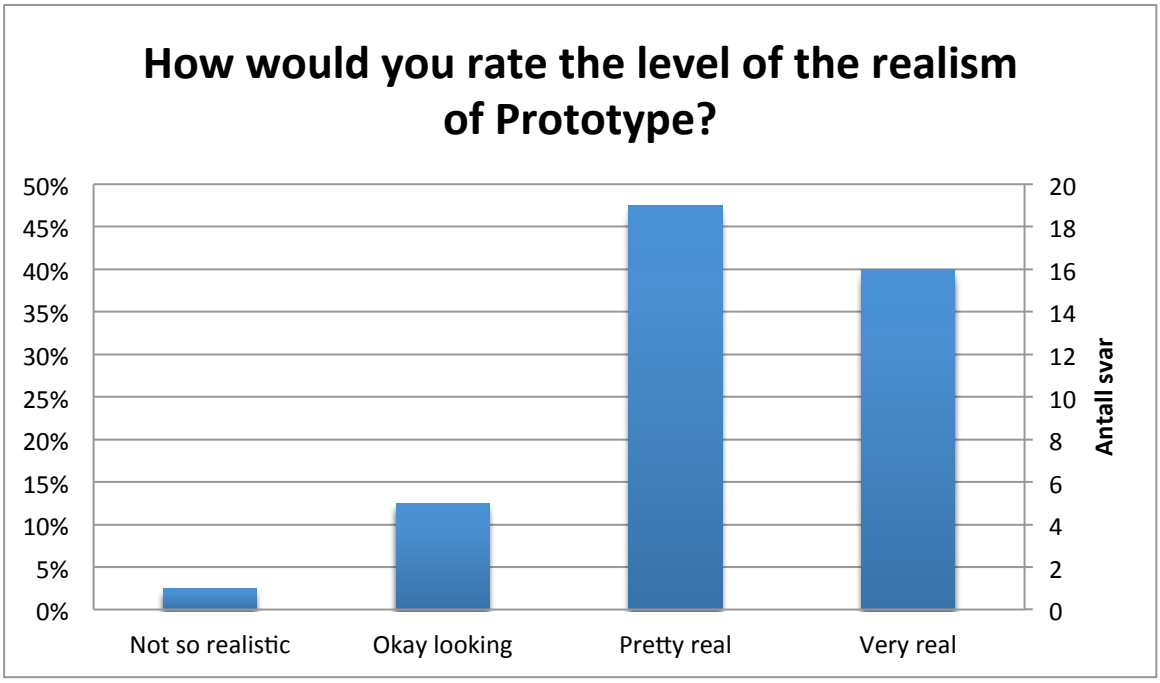
Modus: more realistic and way more realistic (begge 15 svar)
Median: more realistic

Her ser man tydelig en positiv holdning til bruken av etterarbeid for å øke realismen i bildet.

7.2.4. Vurdering av prototype

I spørreundersøkelsen fikk deltakerne spørsmål om hvor realistisk de syns den ferdige prototypen var, på en skala fra 1 til 5, der 1 var "ikke realistisk i det hele tatt" ("not realistic at all") og 5 var "veldig realistisk" ("very real).

Gjennomsnittlig ble deltakernes vurdering av prototypens realisme **4,2**. Prototypen ble altså ansett som "ganske realistisk" eller "very real".



Figur 33

Modus = pretty real
Median = pretty real

Svarene fra spørreundersøkelsen gav veldig positive tilbakemeldinger på nivået av fotorealisme i prototypen min. Derfor kan en mer eller mindre konkludere at teknikkene som diskuteres i teorikapittelet faktisk gjør det mulig å oppnå realistiske resultater.

8. KONKLUSJON OG IMPLIKASJONER

Ved bruk av kvantitativ forskning i form av spørreskjema har jeg forsøkt å finne svar på problemstillingen:

Hvilke teknikker innen lyssetting, shading, rendering og etterarbeid bør benyttes for å oppnå fotorealistisk 3D-grafikk?

For å kunne belyse problemstillingen har jeg tatt utgangspunkt i alt jeg har lært av teori så langt, og svarene og resultatene jeg har fått fra den gjennomførte forskningen, og kommet til følgende konklusjon:

Ved å simulere dagslysscenarier ved bruk av verktøy slik som "Physical Sun & Sky" samt kalkulere indirekte belysning ved hjelp av "Final Gather", kan man oppnå veldig realistisk lyssetting. En fysisk basert shader med energikonservering vil gjør jobben med å oppnå realistiske materialer lettere, men artistenes egen evne til å observere og gjenskape materialer fra virkeligheten er mest avgjørende. Høy oppløsning og sampling tar lang tid å rendre, men er vesentlig for å skape et bilde som ser ekte ut. Linear workflow må benyttes for å få rette fargeverdier. Fenomener som skjer i kameraer når man tar et bilde i virkeligheten, må også være til stede i datagenererte bilder dersom de skal oppfattes som fotorealistiske. Støy og linsefeil slik som "kromatisk aberrasjon" kan løfte realismen noen hakk videre.

Det er viktig å nevne at dette svaret ikke nødvendigvis passer i alle forskjellige arbeider en gjør innen 3D-grafikk, men deler av dette vil i mange tilfeller hjelpe med å oppnå fotorealisme.

Teknikkene som beskrives i denne oppgaven er kan kun ansees som hjelpemidler for artistene som skal oppnå fotorealisme. Her vil selvfølgelig ferdigheter og kunnskaper spille en stor rolle, og måten de ulike teknikkene anvendes på vil gi ulike resultater og nivåer av realisme.

Arbeidet med denne bacheloroppgaven har garantert økt mine kunnskaper og ferdigheter innen 3D-grafikk faget betraktelig.

9. REFERANSELISTE

[1] Datagrafikk, 2014, http://www.no.wikipedia.org

[2] Erik Rossen, 2014, datagrafikk, http://www.snl.no

[3] 3D-grafikk, 2013, http://www.no.wikipedia.org

[4] A History Of CGI In The Movies, 2010, http://www.empireonline.com

[5] Tron Lightbike Scene, 2007, https://www.youtube.com/watch?v=-3ODe9mqoDE

[6] Photorealism, 2014, http://www.en.wikipedia.org

[7] Greatest Visual and Special Effects Milestones in Film, 2014, http://www.filmsite.org

[8] Final Fantasy: The Spirits Within, 2014, http://www.en.wikipedia.org

[9] Andrew Price, 2012, Achieving Photorealism in Blender, http://www.blenderguru.com

[10] Justin Slick, 2014, Introducing the Computer Graphics Pipeline, http://3d.about.com/

[11] Mike Seymour, 2013, The State of Rendering, http://www.fxguide.com

[12] Justin Slick, 2014, 3D Lighting Techniques, http://3d.about.com/

[13] Inverse-Square Law, 2014, http://www.en.wikipedia.org

[14] Global Illumination, 2014, http://www.en.wikipedia.org

[15] Indirect (global) vs. direct illumination, 2014, http://knowledge.autodesk.com

[16] Radiosity (computer graphics), 2014, http://www.en.wikipedia.org

[17] Ambient Occlusion, 2014, http://renderman.pixar.com/

[18] Ambient Occlusion, 2014, https://support.solidangle.com

[19] Shader, 2014, http://www.en.wikipedia.org

[20] Architectural Material, 2014, http://download.autodesk.com/

[21] Applying Lens Shaders to Cameras, 2014, http://softimage.wiki.softimage.com

[22] Rendering (computer graphics), 2014, http://www.en.wikipedia.org

[23] Paul Rademacher, 2014, Ray Tracing: Graphics for the Masses, http://www.cs.unc.edu

[24] Ray tracing (graphics), 2014, http://www.en.wikipedia.org

[25] Poz Watson, 2014, 10 Top rendering tips, http://www.3dtotal.com

[26] Mental Ray Sampling, 2014, http://www.impresszio.hu

[27] Aliasing, 2014, http://www.en.wikipedia.org

[28] Oversampling, 2014, http://www.en.wikipedia.org

[29] Jeremy Birn, 2006, Render Passes, Layers, and 3D Compositing, http://3drender.com

[30] Austin Mayden, Understanding Chromatic Aberration And Why Lens Effects Are Important, 2014, http://blog.digitaltutors.com/

[31] Dybdeskarphet, 2013, http://www.no.wikipedia.org

[32] Erik Nordby, 2014, 3 faktorer som styrer dybdeskarpheten i et foto, http://www.scoolo.com

[33] Bokeh, 2013, http://www.no.wikipedia.org

[34] Bokeh, 2014, http://www.en.wikipedia.org

[35] Paul van Walree, 2004 - 2014, Bokeh, http://toothwalker.org

[36] Diffraksjon, 2014, http://www.no.wikipedia.org

[37] Aberrasjon (optikk), 2013, http://www.no.wikipedia.org

[38] Vignettering, 2014, http://www.no.wikipedia.org

[39] Diffusion filter, 2013, http://www.en.wikipedia.org

[40] Adding Grain, 2014, http://www.vfxwiki.org

10. VEDLEGG

Google Drive mappe med bilder i bedrekvalitet:

https://drive.google.com/folderview?id=0B5ffbzp3B6naaXlmZ0JsejJWNkk&usp=sharing

Link til spørreundersøkelsen:

http://goo.gl/forms/uuewsco2a8