

# **Kameraobjektiv och dess inverkan på bildkvaliteten – En översikt**

Patrik Jan-Erik Ekberg

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Medieteknik
Identifikationsnummer:	4174
Författare:	Patrik Ekberg
Arbetets namn:	Kameraobjektiv och dess inverkan på bildkvaliteten – En översikt
Handledare (Arcada):	Johnny Biström
Uppdragsgivare:	
<p>Sammandrag:</p> <p>Det händer lätt att man inte tar objektivets roll i beaktande när man tänker på bildkvalitet. Detta arbete fungerar som en genomgång över de avbildningsfel och problem man kan stöta på i kameraoptik, samt som en guide över metoder man kan använda för att undvika dessa problem antingen medan man fotograferar, eller i efterhand. Arbetet är riktat till hobbyfotografer och entusiaster som vill öka sin kunskap inom optiken i objektiv och lära sig identifiera diverse avbildningsfel. Det visar sig att det finns ett antal fenomen och problem som inverkar på bildkvaliteten. Många av dem har till viss mån korrigerats av tillverkare genom åren med hjälp av specifika linselement. Andra avbildningsfel förekommer ännu, och en del av dem kan man lösa bland annat genom att vara medveten om objektivets egenskaper och omgivningen runt sig. Man bör även undvika användningen av bländarens största och minsta värden, samt brännviddens kortaste och längsta längder. I efterhand går det att korrigera distorsion, vinjettering och kromatisk aberration med hjälp av Adobe Lightroom 3 eller 4, och Adobe Photoshop CS5 eller CS6. Arbetet är en litteraturstudie med källor från nätet. Arbetet behandlar inte algoritmer eller andra formler för uppkomsten av avbildningsfel, eller tekniska utredningar över funktionaliteten i objektiv.</p>	
Nyckelord:	Kameraoptik, avbildningsfel, objektiv, bildkvalitet, aberration, linselement
Sidantal:	47
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Media Technology
Identification number:	4174
Author:	Patrik Ekberg
Title:	Camera lenses and their influence on image quality – An overview
Supervisor (Arcada):	Johnny Biström
Commissioned by:	
<p>Abstract:</p> <p>The influence optics have on image quality is not always taken into consideration when measuring image quality. This work serves as a review of the aberrations and problems one may encounter in camera optics, as well as a guide to methods one can use in order to avoid these problems, either while shooting or afterwards. The work is aimed at hobby photographers and enthusiasts who want to increase their knowledge in camera optics and learn to identify various aberrations. It shows that there are a number of phenomena and problems affecting the image quality. Many of them have been to some extent corrected by the manufacturer over the years with the help of specific lens elements. Other imaging errors still occurs, and some of them can be solved for example by being aware of the specifications of the lens and the scenes used for shooting. One should also avoid the use of maximum and minimum apertures, as well as the minimum and maximum focal lengths. It is possible to afterwards correct distortion, vignetting and chromatic aberration using Adobe Lightroom 3 or 4, and Adobe Photoshop CS5 and CS6. This work is a literature study with sources from the web. This work does not include algorithms or formulas for the occurrence of aberrations, or technical aspects of the functionality of the lens.</p>	
Keywords:	Camera optics, aberration, lens, image quality, lens element
Number of pages:	47
Language:	Swedish
Date of acceptance:	

# INNEHÅLL

<b>1</b>	<b>Inledning .....</b>	<b>8</b>
1.1	Introduktion.....	8
1.2	Syfte och mål.....	8
1.3	Avgränsning.....	9
1.4	Terminologi.....	9
<b>2</b>	<b>Objektivet.....</b>	<b>10</b>
2.1	Hur ett objektiv fungerar .....	10
2.2	Elementen i ett objektiv .....	10
<b>3</b>	<b>Faktorer som påverkar kvaliteten .....</b>	<b>11</b>
3.1	Sfärisk aberration .....	11
3.2	Kromatisk aberration .....	13
3.2.1	<i>Längsgående kromatisk aberration .....</i>	<i>14</i>
3.2.2	<i>Tvärgående kromatisk aberration.....</i>	<i>15</i>
3.3	Fältkrökning & astigmatism .....	17
3.4	Distorsion.....	19
3.5	Diffraktion .....	22
3.6	Koma .....	24
3.7	Vinjettering.....	25
3.7.1	<i>Optisk vinjettering .....</i>	<i>25</i>
3.7.2	<i>Naturlig vinjettering.....</i>	<i>27</i>
3.7.3	<i>Mekanisk vinjettering .....</i>	<i>28</i>
3.8	Övriga faktorer och effekter .....	29
3.8.1	<i>Kontrast .....</i>	<i>29</i>
3.8.2	<i>Linsöverstrålning .....</i>	<i>30</i>
3.8.3	<i>Decentrering.....</i>	<i>31</i>
<b>4</b>	<b>Lösningar .....</b>	<b>32</b>
4.1	Inbyggda lösningar .....	32
4.1.1	<i>Asfärsisk lins.....</i>	<i>32</i>
4.1.2	<i>Akromatisk dubblett och apokromatisk triplett.....</i>	<i>33</i>
4.1.3	<i>Ytbehandling.....</i>	<i>34</i>
4.2	Medan man fotograferar .....	35
4.2.1	<i>Val av objektiv .....</i>	<i>35</i>
4.2.2	<i>Omgivningen .....</i>	<i>35</i>
4.2.3	<i>Bländare .....</i>	<i>35</i>
4.2.4	<i>Tillbehör.....</i>	<i>36</i>

4.2.5	Övrigt.....	36
4.3	Behandling i efterhand.....	37
<b>5</b>	<b>Slutsatser .....</b>	<b>38</b>
5.1	Hur stor inverkan har objektivet?.....	38
5.2	Hur kan man påverka? .....	39
5.3	Sammanfattning .....	39
<b>6</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>40</b>
<b>Källor</b>	<b>.....</b>	<b>41</b>
<b>Bilaga 1</b>	<b>.....</b>	<b>47</b>

## Figurer

Figur 1. Illustration av elementstrukturen i ett objektiv. (Nikon 2012a, s. 15).....	11
Figur 2. Illustration över ljusstrålar som inte har samma brännpunkt på grund av sfärisk aberration. (Northerneye, 2013) .....	12
Figur 3. Exempel på hur sfärisk aberration kan orsaka ojämna kanter i oskärpecirklar. (Rockwell, 2008) .....	13
Figur 4. Exempel på våglängdernas spridning i en glasprisma. (Wikimedia, 2005b)....	14
Figur 5. Längsgående kromatisk aberration skapar variation i färgkanalernas brännvidd. (Bockaert, 2013) .....	14
Figur 6. Längsgående kromatisk aberration. (Molin 2010).....	15
Figur 7. Tvärgående kromatisk aberration skapar variation i förstoringen av färgkanalerna. (Bockaert, 2013) .....	16
Figur 8. Tvärgående kromatisk aberration (121 Clicks, 2012).....	16
Figur 9. Ljusstrålarnas projektion i ett objektiv som lider av fältkrökning. (Mansurov, 2013a).....	18
Figur 10. Exempel på fältkrökning runt kanterna i ett fotografi. (Newton, 2009) .....	18
Figur 11. Perspektivisk distorsion. (Klinger, 2010a).....	19
Figur 12. Illustration över olika sorters distorsion. (Lightcraft, 2012).....	20
Figur 13. Barrel Distortion. Distorsion med formen av tunna. (Klinger, 2010b).....	21
Figur 14. Geometrisk distorsion. (Walree, 2001c) .....	22
Figur 15. Exempel på diffraktion vid olika bländarvärden och närmaste fokuseringsavstånd. (Atkins, 2011) .....	23
Figur 16. Exempel på diffraktion vid olika bländarvärden och längsta fokuseringsavstånd. (Atkins, 2011) .....	24
Figur 17. Ljusstrålarnas brytning i ett element som orsakar koma. (Wikipedia, 2013c) 25	
Figur 18. Extremfall av koma. (Rangefinderforum, 2008).....	25
Figur 19. Carl Zeiss Planar 50/1.4 sätt framifrån och snett från sidan. (Walree, 2002a) 26	
Figur 20. Optiska vinjetteringens inverkan på oskärpecirklar. (Walree, 2002a).....	27
Figur 21. Illustration över ljusstrålarnas vinkel från objektivet till bildplanet. (Walree, 2002a) .....	28
Figur 22. Naturlig vinjettering vid fullt öppnad bländare. (Discover Digital Photography, 2013) .....	28

Figur 23. Exempel på mekanisk vinjettering orsakad av ett motljusskydd. (Discover Digital Photography, 2013) .....	29
Figur 24. Linsöverstrålning där även bländarens sexkantiga form är synlig. (Raminez, 2011).....	31
Figur 25. Decentreringstest utförd med hjälp av rotationsknepet. För högre upplösning, se Bilaga 1. (Hill, 2010).....	32
Figur 26. Illustration över hur ett asfäriskt linselement rättar till sfärisk aberration. (DCFever, 2013).....	33
Figur 27. Hur en akromatisk dubblett påverkar färgkanalernas riktning. (Wikimedia, 2005a).....	34
Figur 28. Distorsion korrigerad med hjälp av Perspective Cropping i Adobe Photoshop. (Broer, 2009) .....	38

## Tabeller

Tabell 1. Tabell över minimibländare för respektive formatstorlekar, för att kunna producera ett skarpt 8x10 tums fotografi. (Atkins 2011) .....	23
--	----

# 1 INLEDNING

## 1.1 Introduktion

Fotografering har ständigt blivit en allt vanligare hobby och allt fler mobila apparater stöder nu för tiden fotografering av olika slag. På grund av det stora utbudet av fotograferingsutrustning på marknaden kan det vara svårt att veta vad man egentligen är ute efter. När man står inför ett kamerainköp händer det också lätt att man glömmer optiken och väljer att endast sätta tyngd på egenskaperna i kamerahuset eller sensorn.

Optik för kameror kommer i många olika prisklasser och modeller. Därför är det skäl att ha en relativt bra bild över vad man kommer att fotografera och för vilket syfte. En nybörjare, en entusiast och t.ex. en professionell porträttfotograf kommer att ha väldigt olika krav på de resultat som objektivet skall kunna producera.

Om man är ute efter att gräva djupare i vad man som fotograf skall tänka på, bör man inte endast kunna peka ut ett objektiv med bra specifikationer, utan också identifiera vilka problem i bildkvaliteten som uppstår i objektivet och vilka som beror på själva kameran eller sensorn. Samtidigt som tillverkarna kämpar med att utrota så många avbildningsfel som möjligt redan planeringsfasen, är det bra att veta hur man själv kan påverka slutresultatet medan man fotograferar och med datorprogramvara i efterhand.

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att ge läsaren en teknisk översikt över de faktorer i ett kameraobjektiv som inverkar på bildkvaliteten när man fotograferar stillbilder, samt gå igenom i vilken utsträckning man kan rätta till optiska fel i efterhand med diverse verktyg. Jag kommer att skriva om strukturen och uppbyggnaden av ett objektiv för att läsaren lättare skall förstå vilka delar av objektivet som behandlas i arbetet. Jag kommer även att ge praktiska exempel på hur man kan undvika ett antal avbildningsfel medan man fotograferar. Arbetet riktar sig mot hobbyfotografer och entusiaster som vill öka sin kunskap inom optiken som används i deras kameror.



## 1.3 Avgränsning

Trots att bildkvaliteten beror på en lång kedja av faktorer så kommer detta arbete att avgränsas till endast objektivet och dess roll i processen. Jag kommer att undersöka de vanligaste faktorerna som påverkar bildkvaliteten, och istället för att gå djupare in i algoritmer, vill jag sätta tyngd på hur man identifierar dessa problem. Jag kommer inte att gå igenom tekniken bakom zoomobjektiv, bildstabilisering eller hur fokuseringsmekanismen i objektiv fungerar.

För bildbehandling kommer jag endast att använda mig av ett av de populäraste verktygen för digital bildbehandling som jag har tillgång till – Adobe Lightroom 4.

## 1.4 Terminologi

**Aberration** – Avbildningsfel.

**Kromatisk aberration** – Färgblödning.

**PF** – Purple Fringe, lila färgblödning.

**Distorsion** – Bildförvrängning.

**Asfärisk lins** – Lins med buktningar i mitten och utåt kanterna.

**Optisk axel** – Linje som går igenom linselementens mittpunkt.

**Refraktion** – Brytning mellan två olika optiska element med olika brytningsindex.

**Astigmatism** – Ljusstrålar som hamnar på olika bildplan på grund av en variation i planernas krökning.

## 2 OBJEKTIVET

I detta kapitel behandlas objektivetns enskilda komponenter och dess uppbyggnad, samt en kort inblick i hur objektivet fungerar.

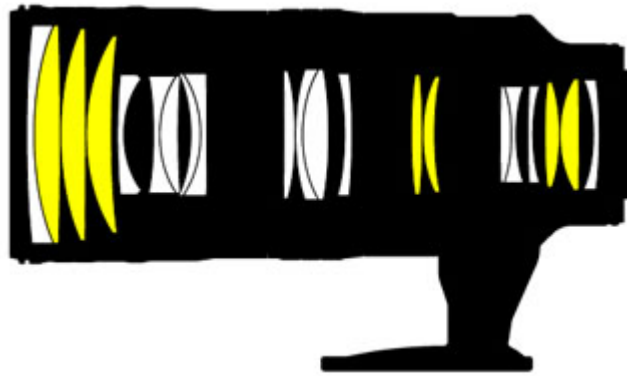
### 2.1 Hur ett objektiv fungerar

Ett kameraobjektivs uppgift är att samla ihop ljusstrålar för att sedan böja och rikta dem så att motivet man fotograferar hamnar i fokus på ett bildplan. Den projekterade bilden hamnar upp och ned på antingen en film- eller digital sensoryta. Positionen av linselementen är viktig för att brytningarna skall ske på rätt ställen och leda till att delar av bilden hamnar i fokus. Konvexa linselement skingrar ljusstrålar i en vinkel och skapar refraktion. Ljusstrålar som kommer från en enda punkt och går igenom ett konvext element korsar varandra om fokus läggs på den punkten. Optiskt följer ett kameraobjektiv samma regler och principer som övriga teleskop och mikroskop.

Egenskaper som bländare, brännvidd och fokuseringsavstånd ger upphov till en variation av många olika objektivtyper, designade för olika syften. Brännvidden definierar hur stor andel av omgivningen som ryms med i bilden. En lång brännvidd skingrar ljusstrålarna med en mindre vinkel och fokuserar bilden längre ifrån objektivetns linselement. (Hub Pages, 2011)

### 2.2 Elementen i ett objektiv

Ett kameraobjektiv är en sammansättning av flera linselement som behövs för att kameror skall kunna producera bilder med den kvalitet som man anser acceptabel i dagens läge. Som undantag finns så kallade nålhålskameror, där objektivet är ersatt med ett litet hål som skapar en rätlinjig utbredning av ljus mot filmen eller sensorn. Elementen i ett objektiv kan vara antingen enskilda eller grupperade. De anses vara grupperade då det inte existerar något luftrum mellan elementen. Ett objektiv består oftast av allt från ett till 20 olika linselement på en gemensam optisk axel, beroende på komplexiteten av objektivet. T.ex. ett mer avancerat zoomobjektiv har oftast fler element än ett med fast brännvidd.



Figur 1. Illustration av elementstrukturen i ett objektiv. (Nikon 2012a, s. 15)

Elementens form räknas ut med hjälp av matematiska formler och produceras oftast av glas eller transparent plast, så som akrylglas, som blivit ett allt vanligare material i linser på grund av dess produktionskostnader och vikt. Slutprodukten blir en kombination av konvexa, konkava och ibland asfäriska linselement som läggs i en omgivande cylinder. Nu för tiden behandlas elementen med en ytbehandling som skall minska reflektioner. Det främsta elementets ytbehandling står för en stor del av objektivets karaktär när det kommer till kontrast, färgåtergivning och känsligheten för linsöverstrålning. Nära mitten av objektivet befinner sig bländaren och dess maximistorlek har en koppling till antalet element som finns i objektivet. (Wikipedia, 2013a) (Wikipedia, 2013b) (Camerapedia, 2013a)

### 3 FAKTORER SOM PÅVERKAR KVALITETEN

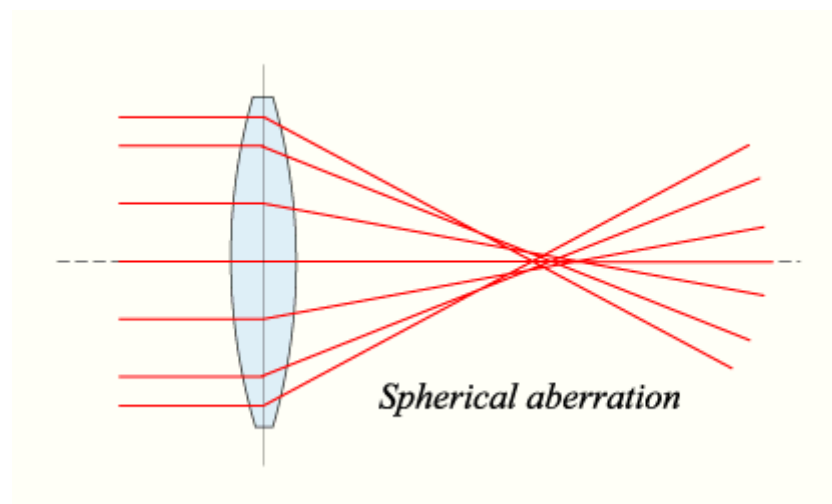
I detta kapitel behandlas uppkomsten av diverse avbildningsfel och effekter som kan uppstå i kameraoptiken.

#### 3.1 Sfärisk aberration

Sfärisk aberration uppstår när ljusstrålarna inte har en gemensam brännpunkt på bildplanet. Ljusstrålar som passerar ett linselement längst ifrån periferin bryts mer än

ljusstrålar som passerar nära linsens optiska axel. Det orsakar en variation i brännpunkternas placering. Sfärisk aberration påverkar därmed upplösningen och skärpan i bilder. Problemet beror inte endast på konstruktionen av objektivet, utan även på kvaliteten av materialet som linserna är byggda av. Mängden ljus som bryts kan till stor del bero på att objektivet i fråga är konstruerat av linser med låg kvalitet. I teorin skulle ett perfekt objektiv få alla ljustrålar att mötas i endast en gemensam punkt.

Sfärisk aberration är synligast när man använder den största bländaröppningen på objektivet. Genom att använda en mindre bländare blockerar man de yttersta ljusstrålarna som orsakar mest sfärisk aberration. Problemet kan identifieras i bakgrundssuddet om man har ett fotografi med kort skärpedjup. Kanterna på ringarna, eller så kallade oskärpecirklar, som syns i suddet tenderar att vara ojämnt belysta, vilket kan ses som att mer ljus samlats i mitten eller mot kanterna av dessa cirklar. (Rockwell, 2008) (Mansurov, 2011b)



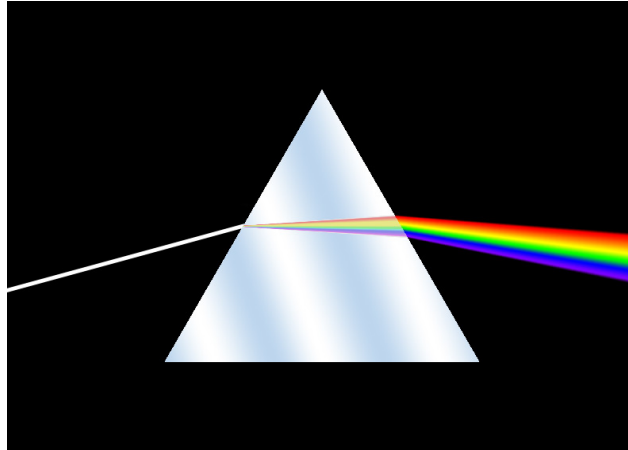
Figur 2. Illustration över ljusstrålar som inte har samma brännpunkt på grund av sfärisk aberration. (Northerneye, 2013)



*Figur 3. Exempel på hur sfärisk aberration kan orsaka ojämna kanter i oskärpecirklar. (Rockwell, 2008)*

### **3.2 Kromatisk aberration**

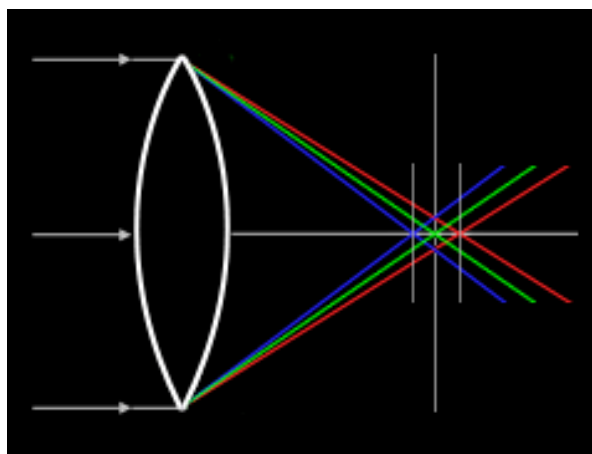
Kromatisk aberration omfattar ett antal olika optiska fenomen som producerar färgblödning runt element i en bild. Brytningsindexet är våglängdsberoende när olika färgkanaler bryts olika snabbt i ett optiskt element. Fenomenet kallas för spridning. Spridning innebär i praktiken att linselement i objektiv inte bryter alla färgers infallande ljusstrålar med lika stora vinklar, som i sin tur leder till att alla färger inte hamnar på samma gemensamma punkt, antingen på den optiska axeln eller på bildfältet. Spridningen är kraftigare för ljusstrålar med kortare våglängd, som t.ex. blå, och mindre intensiv för ljusstrålar med längre våglängd, så som röd. Effekten är tydligast i fotografier som har övergångar med hög kontrast. (DxO Labs, 2013) (Walree, 2001b) (Image Engineering, 2013)



Figur 4. Exempel på våglängdernas spridning i en glasprisma. (Wikimedia, 2005b)

### 3.2.1 Längsgående kromatisk aberration

Längsgående, eller axiell kromatisk aberration uppstår när linselement bryter ljus så att olika färger hamnar på olika punkter på den optiska axeln. Med andra ord är vissa färger ur fokus. Det leder till att färgkanalernas skärpa varierar, och de som förblir oskarpa uppstår som färgblödning runt objekt. Effekten kan uppstå om man använder en stor bländare. Purple Fringe (PF), det vill säga lila färgblödning är ett känt fenomen som beror främst på att den blåa och / eller röda färgkanalen blir oskarp i förhållande till den gröna kanalen. Lila färgblödning är mer synlig nära bakgrundsbelysta delar av bilden där kontrasten är högst. (DxO Labs, 2013)



Figur 5. Längsgående kromatisk aberration skapar variation i färgkanalernas brännvidd. (Bockaert, 2013)

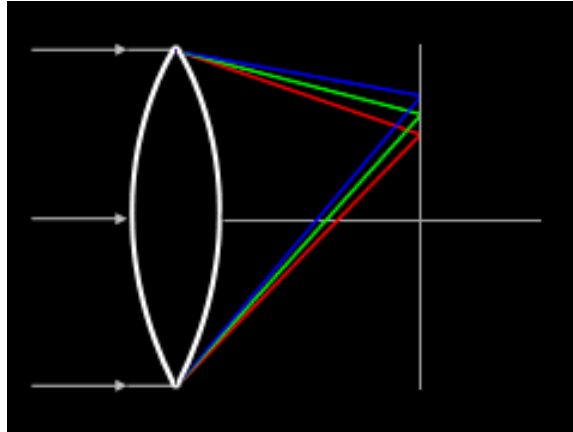


*Figur 6. Längsgående kromatisk aberration. (Molin 2010)*

### **3.2.2 Tvärgående kromatisk aberration**

Tvärgående, eller lateral kromatisk aberration produceras när spridningen orsakar att färgkanalerna träffar bildfältet vid olika punkter, till skillnad från axiell kromatisk aberration där färgkanalerna hamnar på olika punkter på den optiska axeln. Tvärgående kromatisk aberration förekommer oftast på ena, eller bägge sidorna av ett objekt. Effekten identifieras i bilder som om färgkanalerna vore förskjutna ifrån varandra trots att de är i fokus. Problemet är inte synligt i mitten av bilden, utan endast närmare hörnen vid ett område med hög kontrast. Blå och lila färgblödning som beror på tvärgående kromatisk aberration är vanliga hos objektiv av lägre kvalitet, samt fisheye- och vidvinkelobjektiv. Effekten är inte beroende av objektivets bländartal och går relativt lätt att rätta till i efterhand med rätt programvara. (DxO Labs, 2013) (Mansurov, 2011c)





*Figur 7. Tvärgående kromatisk aberration skapar variation i förstoringen av färgkanalerna. (Bockaert, 2013)*



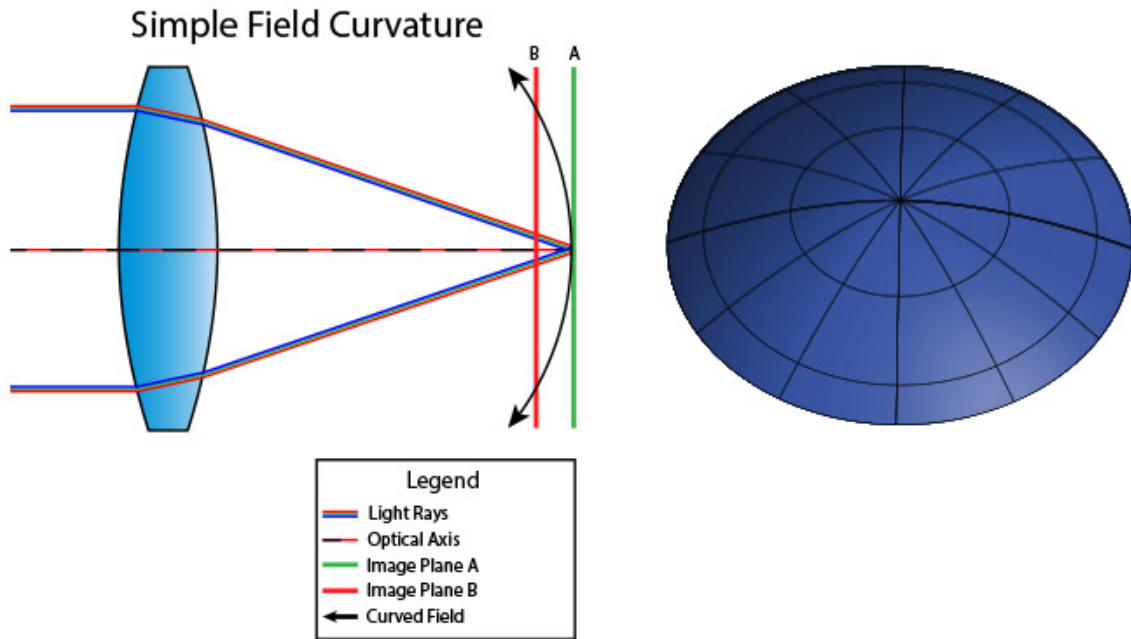
*Figur 8. Tvärgående kromatisk aberration (121 Clicks, 2012)*



### 3.3 Fältkrökning & astigmatism

Fältkrökning gör att platta objekt och motiv blir skarpa i endast en del av bilden medan resten uppstår som suddigt. Det orsakas av linselementens böjda form i ett objektiv som i sin tur projekterar ljusstrålarna i en böjd form vidare mot sensorns eller filmens flata yta. Skillnaden mellan dessa former gör att hörnen av ett fotografi blir ofokuserade, medan mitten oftast förblir skarp om man har fokuserat i mitten av bilden. Motsatt effekt uppstår om man fokuserar nära ett hörn, vilket leder till att mitten blir oskarp.

Fältkrökning förekommer även i teleskop, mikroskop och övriga optiska instrument. På grund av ökad resolution i dagens digitala sensorer blir problemet med fältkrökning allt mer synligt och relevant. Varje enskilt objektiv lider av fältkrökning, men synligheten varierar, främst mellan nyare och äldre objektiva. Nu för tiden har många av dagens objektiva specifika linselement vars uppgift är att reducera fältkrökning och astigmatism. Man måste dock ta i beaktande att linselement som korrigerar astigmatism är designade för att korrigera felet inom det område där objektivet ursprungligen menat att användas. Det vill säga ett objektiv vars syfte är fotografera objekt på ett längre avstånd, så som ett standard- eller teleobjektiv, kommer att vara korrigerat för det avståndet och kan lida av astigmatism om man använder objektivet för makrofotografering. (Mansurov, 2013a) (Walree, 2004d)



Figur 9. Ljusstrålarnas projektion i ett objektiv som lider av fältkrökning. (Mansurov, 2013a)



Figur 10. Exempel på fältkrökning runt kanterna i ett fotografi. (Newton, 2009)

### 3.4 Distorsion

Distorsion beror antingen på en egenskap i objektivet eller på kamerans position i förhållande till motivet. Riktat man en kamera med extrem vinkel mot sitt motiv uppstår en så kallad perspektivisk distorsion. Effekten gör att motivet på bilderna verkar luta åt något håll, ofta bort från fotografen. Det är vanligt att man stöter på denna effekt när man vinklar kameran uppåt om man fotograferar arkitektur på grund av höjdskillnaden mellan byggnader och fotografen. Problemet är inte direkt kopplat med objektivets brännvidd, utan snarare perspektivet och vinkeln man fotograferar ifrån. Effekten kan även användas på ett konstnärligt sätt för att betona vissa områden i ett fotografi genom att låta distorsionen förstora dessa områden.

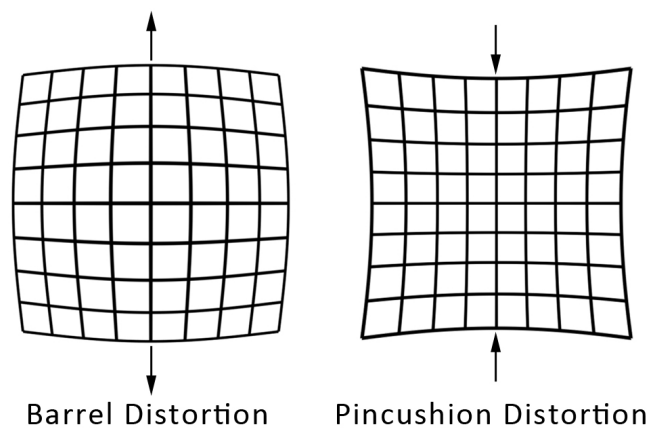


*Figur 11. Perspektivisk distorsion. (Klinger, 2010a)*

En annan typ av distorsion kallas för "Barrel Distortion", vilket gör att raka linjer i verkligheten uppstår som utåt krökta kurvor på bilden. Namnet kommer ifrån att linjernas form påminner om formen av en tunna. Den här sortens distorsion orsakas av linselementets runda form som förvränger ljustrålarna nära kanten av elementet. Ju mindre linsdiameter är, desto mer dramatisk blir effekten. Problemet är synligast när

man använder ett objektiv med kort brännvidd och extremt synligt i fisheyeobjektiv. Det går till viss mån att undvika den här sortens distorsion genom att försöka fotografera sitt motiv från ett längre avstånd. Då går ljusstrålarna närmare den optiska axeln av objektivet och undviker avbildningsfel. För det kan det behövas ett objektiv med längre brännvidd, eller alternativt ett zoomobjektiv för att fortfarande återskapa motsvarande komposition. Dock så kommer andra faktorer ofta emot som hindrar en att komma på ett avstånd som skulle utesluta problemet, så som trånga gator i stadsmiljöer eller övriga objekt som tränger in i bilden.

Motsatt effekt kallas för ”Pincushion Distortion”, som gör att raka linjer istället böjs inåt mot mitten. Namnet kommer ifrån att linjernas form påminner om formen av en dyna. Effekten uppstår oftast i teleobjektiv med zoomfunktion vid längsta brännvidd.



Figur 12. Illustration över olika sorters distorsion. (Lightcraft, 2012)



*Figur 13. Barrel Distortion. Distorsion med formen av tunna. (Klinger, 2010b)*

Det finns även så kallad geometrisk distorsion, som förekommer när ett tredimensionellt föremål projiceras på ett plan, t.ex. en digital sensor. Fotograferar man en sfär i mitten av en bild så uppstår den även som rund på fotografiet, men om man placerar sfären längre åt sidan i kompositionen och fotograferar med ett objektiv med kort brännvidd kommer sfären att uppstå som en utsträckt ellips. (Nikon 2011c) (Walree, 2001c) (Plumridge, 2013)





*Figur 14. Geometrisk distorsion. (Walree, 2001c)*

### **3.5 Diffraction**

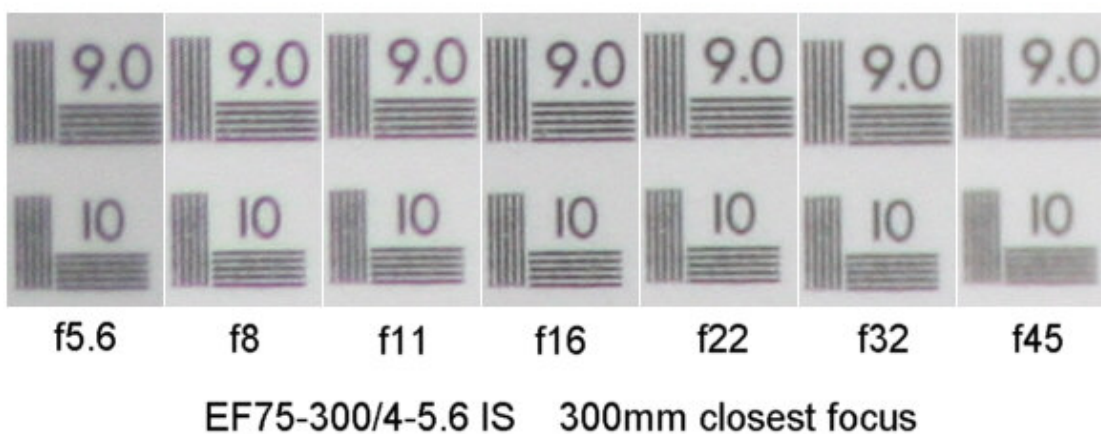
Diffraction innebär att kanterna på bländaren skingrar ljusstrålar före de träffar film- eller sensorytan. Genom att sänka på bländartalet ökar man på skärpedjupet, vilket är önskat om man vill ha en så stor del som möjligt i fokus, men samtidigt ökar risken för diffraction. Effekten uppfattas som om hela bilden vore jämnt oskarp. Diffraction uppstår alltid då ljus passerar bländaren, men syns i en mindre utsträckning vid högre bländartal på grund av att det skingrade ljuset då endast utgör en liten andel av den totala mängden ljus som går igenom objektivet. Minskar man tillräckligt på bländaröppningen så utgör det skingrade ljuset en så stor andel av ljuset att det kan göra bilderna oanvändbart oskarpa. (The Luminous Landscape, 2013)

Som natur- och landskapsfotograf är det skäl att ta diffraction extra noga i beaktande, då man ofta strävar efter ett stort skärpedjup, men kan mötas av ljusa ljusförhållanden som uppmuntrar till lägre bländartal. Därför skall man också tänka på att man inte alltid vill låta kameran automatiskt välja bländartal i sådana förhållanden, som t.ex. S-prioritet och Autofunktion.

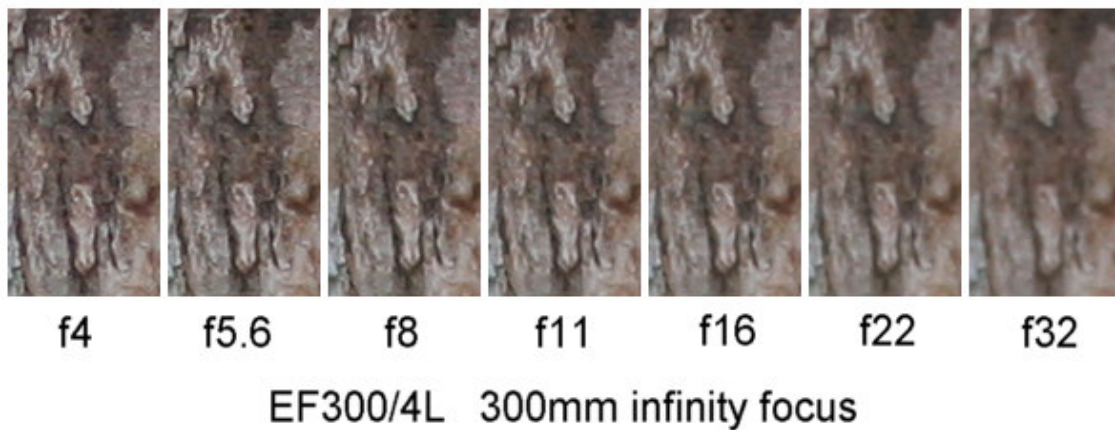
Tabell 1. Tabell över minimibländare för respektive formatstorlekar, för att kunna producera ett skarpt 8x10 tums fotografi. (Atkins 2011)

Formatstorlek	Typisk bildpunktsstorlek (µm)	Minimibländare för ett skarpt 8 x10 tums fotografi
8 x10 (203mm x 254mm)	250	f180
6 x 9 (60mm x 90mm)	75	f64
35mm (36mm x 24mm)	30	f22
APS-C (22.5mm x 15mm)	20	f16
1/1.8" (7.1mm x 5.3mm)	6.3	f5
1/2.5" (5.7 x 4.3mm)	5	f4

Atkins har framställt en tabell över de minsta bländaröppningarna man bör använda vid olika formatstorlekar för att skapa ett fotografi med acceptabel skärpa i 8x10 tums storlek.



Figur 15. Exempel på diffraktion vid olika bländarvärden och närmaste fokuseringsavstånd. (Atkins, 2011)



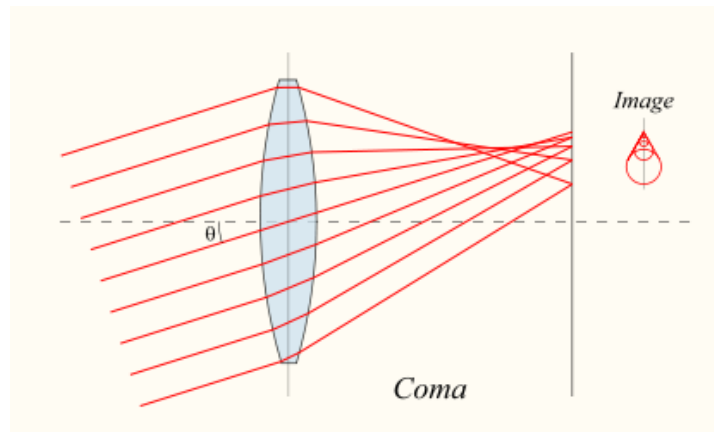
*Figur 16. Exempel på diffraktion vid olika bländarvärden och längsta fokuseringsavstånd. (Atkins, 2011)*

### 3.6 Koma

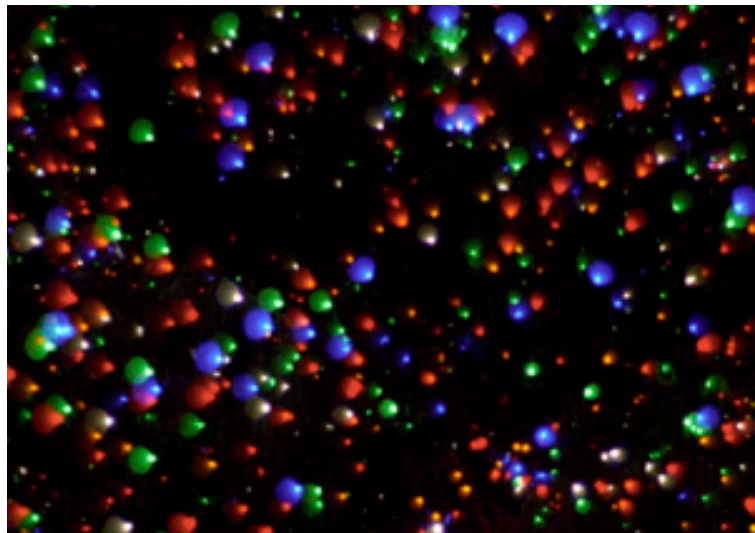
Koma är en komplex aberration som orsakas av variationer i bildförstoringen när ljusstrålar passerar ett linselement. Koma uppstår när man fotograferar ett objekt som inte faller på den optiska axeln, så att ljusstrålarna träffar linselementet med en vinkel. Ljusstrålar som går igenom elementet vid dess yttre kanter får olika fokuspunkter, antingen längre bort från den optiska axeln (positiv koma), eller närmare axeln (negativ koma).

Namnet koma kommer från att effekten skapar skuggor runt objekt vars form påminner om en komets form. Precis som sfärisk aberration, går det att minimera koma genom att modifiera krökningen på linselementen. Problemet var vanligare förr, i äldre objektiv och lär inte förekomma nu för tiden om man köper ett nytt objektiv. (Smith 2006, s. 54) (Wikipedia, 2013c)





Figur 17. Ljusstrålarnas brytning i ett element som orsakar koma. (Wikipedia, 2013c)



Figur 18. Extremfall av koma. (Rangefinderforum, 2008)

## 3.7 Vinjettering

Vinjettering innebär mörka gradienter som förekommer vid hörnen av ett fotografi. Det finns tre olika sorters vinjettering som man kan stöta på: optisk, naturlig och mekanisk vinjettering. Effekten kan ibland även användas för att öka dramatiken i bilder.

### 3.7.1 Optisk vinjettering

Optisk vinjettering förekommer när objektivets totala längd orsakar att ljus inte träffar film- eller sensorytan i lika stor utsträckning från alla vinklar. Skulle allt ljus komma

rakt in mot kameran längs med den optiska axeln skulle problemet inte synas. Bländaren har en direkt koppling till problemets förekomst. Har man bländaren fullt öppen kommer det mindre ljus in från sidorna vilket skapar effekten, men genom att minska på öppningen ökar vinklarna som släpper in samma mängd ljus mot bildplanet, se Figur 19. Fotograferar man med film, kommer filmens känslighet för kontrast att ha en inverkan på hur betonad vinjetteringen är.



Figur 19. Carl Zeiss Planar 50/1.4 sätt framifrån och snett från sidan. (Walree, 2002a)

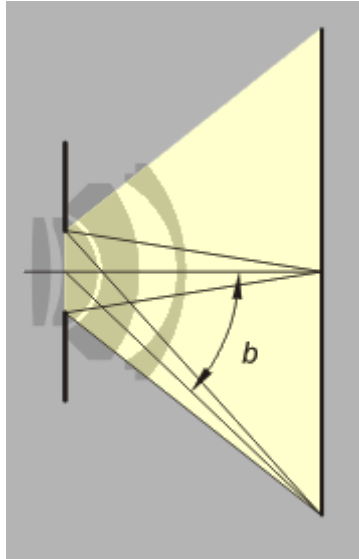
I grund och botten orsakar optisk vinjettering endast en skillnad i ljusstyrkan vid kanterna, men kan även påverka formen av objekt som är ur fokus. T.ex. ljuspunkter som blir ur fokus formar sig enligt bländaren, men när de kommer in i objektivet med en vinkel formar de sig efter objektivets öppning sett från bildplanet. Fenomenet kallas ibland för kattögseffekten.



Figur 20. Optiska vinjetteringens inverkan på oskärpecirklar. (Walree, 2002a)

### 3.7.2 Naturlig vinjettering

Naturlig vinjettering skapar likadana mörka hörn som optisk vinjettering, men beror på ljusstrålarnas vinkel när de går från objektivets sista linselement mot film- eller sensorytan. Ljusstyrkan minskar i hörnen för att ljuset måste färdas en längre sträcka för att nå hörnen av bilden. Naturlig vinjettering påverkas också av den vinkel som ljuset träffar bildplanet på grund av att ljuset då måste spridas över en större area. Man kan jämföra effekten med solens intensitet på dagen gentemot dess intensitet på kvällen när den skiner från en vinkel. Problemet är vanligare i vidvinkelsobjektiv eftersom vinklarna är mer extrema då. Man bör också ta i beaktande att olika sorters kameror har varierande längder från bildplanet till objektivets sista linselement, beroende på film- och sensorstorlek, samt objektivets design, vilket i sin tur har en direkt koppling till ljusstrålarnas vinklar. (Walree, 2002a)



Figur 21. Illustration över ljusstrålarnas vinkel från objektivet till bildplanet. (Walree, 2002a)



Figur 22. Naturlig vinjettering vid fullt öppnad bländare. (Discover Digital Photography, 2013)

### 3.7.3 Mekanisk vinjettering

Mekanisk vinjettering skiljer sig från optisk och naturlig vinjettering på grund av att den inte är beroende av optiken inne i objektivet, utan orsakas av förlängningar på objektivet som hamnar innanför synfältet. Mekanisk vinjettering brukar synas som kraftigt svarta hörn eller kanter i bilden. Problemet kan uppstå om man använder sig av ett

motljusskydd som inte är menat för det objektiv man använder. Vidvinkelsobjektiv tenderar att ha ett väldigt litet område runt de främre kanterna av objektivet där motljusskydd och filter inte orsakar mekanisk vinjettering. Därför är det skäl att kontrollera att filtret man använder inte är för tjockt för objektivet, speciellt om man tar långa exponeringar där man kan behöva ett antal ND-filer.

Använder man ett objektiv som är menat för en mindre formats kamera kan det uppstå områden på sensorn eller filmen som inte matchar den yta som objektivet ser. Det beror på att brännvidden blir kortare och kan göra objektivets främre kanter synliga. Mekanisk vinjettering går inte lika lätt att editera bort från bilden på grund av att det inte finns några detaljer kvar i de mörka områdena. Däremot kan man beskära bilden på nytt och lämna bort vinjetteringen. (Walree, 2002a) (Discover Digital Photography, 2013)



Figur 23. Exempel på mekanisk vinjettering orsakad av ett motljusskydd. (Discover Digital Photography, 2013)

## 3.8 Övriga faktorer och effekter

### 3.8.1 Kontrast

När det kommer till kontrast i objektiv brukar man försöka se på objektivets förmåga att kunna urskilja små färgtonsvariationer från varandra istället för att mäta tonomfånget

från svart till vitt. Det kallas för mikrokontrast och har stor inverkan på hur ”levande” bilden verkar. Ett fotografi med låg mikrokontrast kommer att se relativt platt ut.

Kvaliteten på linselementen och åldern på ett objektiv kan inverka på mängden kontrast den återger. Element som är gjorda av plast kommer att mista en del av sin transparens med åren. Ytbehandling på linselement ger upphov till bättre kontraståtergivning och förhindrar till viss mån uppkomsten av svamp i objektivet. (Johnston, 2013) (My Digital Photography Club, 2013)

### **3.8.2 Linsöverstrålning**

Linsöverstrålning kan uppstå när kameran är riktad mot en ljuskälla vars intensitet är mycket starkare än resten av kompositionen. Även om ljuskällan inte hamnar innanför objektivets synfält kan linselements yta reflektera ljusstrålar in i objektivet. Effekten bidrar till synliga ljusstrålar som sträcker sig in i bilden från ljuskällan, förutsatt att reflektionen sker vid objektivets främre linselement. Om linsöverstrålningen även reflekteras i de bakre elementen, kommer bländarens form att avspeglas i bilden.

Linsöverstrålning kan ses som en ljus dimma i bilderna som reducerar kontrasten, och har även en tendens att minska det dynamiska omfånget i bilder på grund av fotoner som kan förekomma i mörka områden. Även om effekten ofta inte är önskvärd, kan den ibland användas för att öka dramatiken i bilder, som t.ex. genom att få en bils lyktor att verka mer hotfulla med hjälp av linsöverstrålning. (Xiao, 2002) (Keshmirian 2008, s. 2-4)



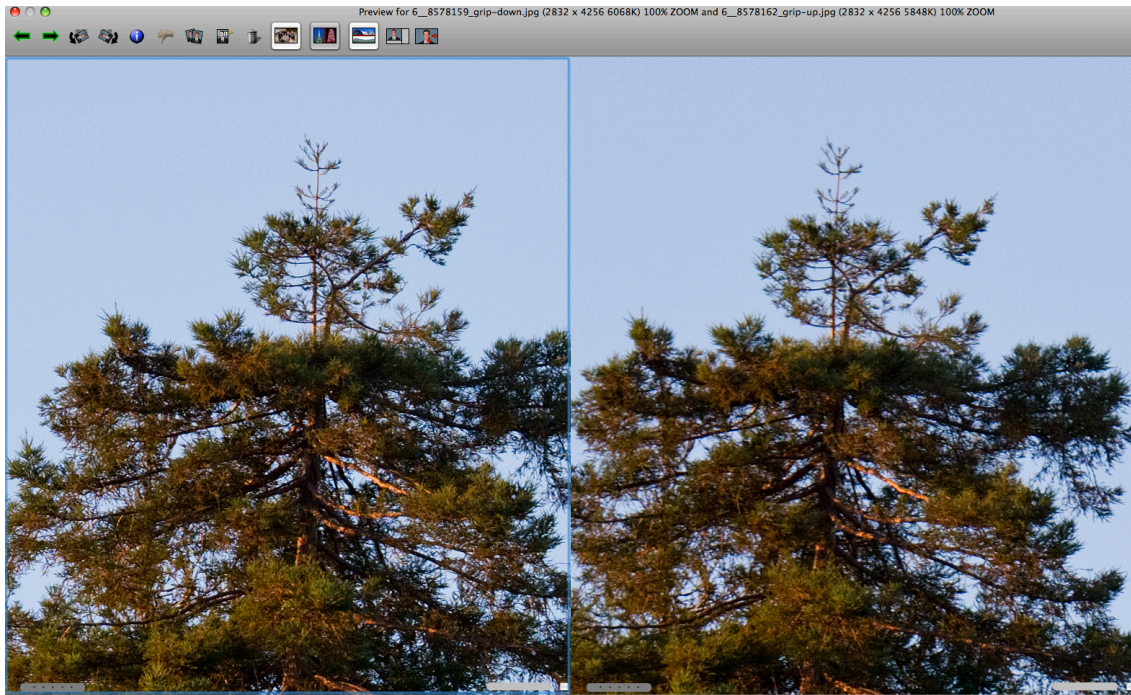
Figur 24. Linsöverstrålning där även bländarens sexkantiga form är synlig. (Raminez, 2011)

### 3.8.3 Decentrering

Decentrering är ett tillverkningsfel som orsakar att själva bildplanet som objektivet ritat förblir vinklat gentemot film- eller sensorytan. Problemet uppstår när ett eller flera element inte placerats med tillräckligt noggrann precision i tillverkningsfasen. Effekten identifieras som om ena sidan av fotografiet vore ur fokus.

Det finns ett sätt att själv undersöka om ett objektiv lider av decentrering. Har man ett stabilt stativ med bra rotationsegenskaper kan man ta en bild med maximalt skärpedjup och sedan rotera kameran 180 grader upp och ned för att sedan ta samma bild på nytt. Läger man bilderna på varandra i ett bildredigeringsprogram borde man kunna se om skärpan varierar. Det är värt att nämna att elementplaceringen alltid kommer att ha avvikelser. Anser man att ett objektiv på grund av decentrering inte producerar en acceptabel bildkvalitet, bör man kontakta objektivtillverkaren för att se om det faller inom deras felmarginal.





Figur 25. Decentreringstest utförd med hjälp av rotationsknepet. För högre upplösning, se Bilaga 1. (Hill, 2010)

## 4 LÖSNINGAR

I detta kapitel behandlas olika sätt att lösa problem som kan uppstå med optiken i ett objektiv. Här nämns lösningar som objektivtillverkarna använder sig av vid planeringen av ett objektiv, samt metoder som man kan själv använda sig av medan man fotograferar och olika sätt att i efterhand digitalt påverka slutresultatet.

### 4.1 Inbyggda lösningar

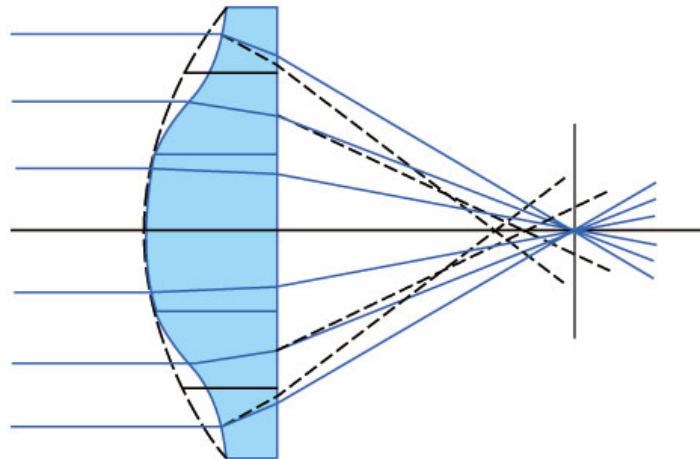
Varje linselement i ett objektiv finns för att korrigera avbildningsfel som annars skulle uppstå. Utöver dessa finns det ett par speciella element som tar itu med specifika problemområden.

#### 4.1.1 Asfärsisk lins

Nu för tiden är det vanligt att en del linselement i ett objektiv är så kallade asfärsiska linselement vars uppgift är att reducera fel i optiken som inte sfärsiska element skulle



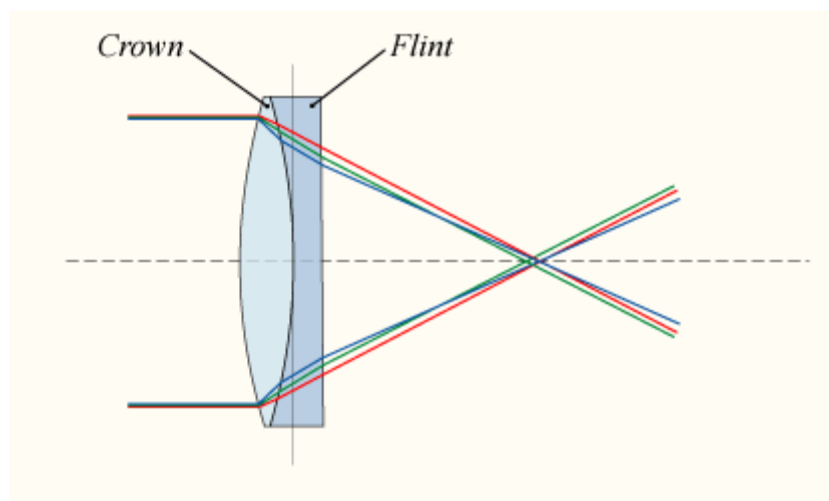
klara av. Ett asfärsikt linselement innebär i praktiken ett element med komplext krökta ytor, vilket gör att krökningsradien varierar beroende på avståndet till den horisontella axeln i ett objektiv. Elementet används av tillverkare för att reducera sfärisk aberration. Den ojämnt krökta ytan på linsen bidrar till att ljusstrålarna samlas i en mer gemensam punkt. Ett asfärsikt linselement har ofta beteckningen ASPH i objektivts produktnamn. (Nikon, 2007b) (Mansurov, 2011b)



Figur 26. Illustration över hur ett asfärsikt linselement rättar till sfärisk aberration. (DCFever, 2013)

#### 4.1.2 Akromatisk dubblett och apokromatisk triplett

Tillverkare kan även lägga till element i ett objektiv för att korrigera kromatisk aberration. Olika typer av glas bryter ljus i varierande mängder, och med hjälp av en kombination av flera element kan man minska avvikelser i brytningen. En akromatisk dubblett innebär ett extra element som riktar färgkanalernas enskilda ljustrålar tillbaka till en gemensam punkt efter att ett närliggande element producerat spridning. En apokromatisk triplett är ytterligare ett element som placeras bakom dubbletten för att finkorrigera färgernas riktning och riktar tre olika färgkanaler mot samma punkt. Apokromatiska element förekommer ofta i dyrare objektiv av högre kvalitet och brukar ha beteckningen ”APO” i produktnamnet. (Image Engineering, 2013) (Smith 2006, s. 54)



Figur 27. Hur en akromatisk dubblett påverkar färgkanalernas riktning. (Wikimedia, 2005a)

### 4.1.3 Ytbehandling

Varje yta på ett linselement som berör luft reflekterar en liten andel ljus. Har man ett objektiv med många linselement kan mängden reflektioner drastiskt påverka mängden ljus som går igenom objektivet. Ett polerat, men obehandlat linselement reflekterar ca. 4% ljus. Motsvarande element med en fjärdedels våglängds lager av magnesium fluorid som ytbehandling reflekterar ca. 1% ljus. Ett element med flerlayersbehandling reflekterar ännu mindre. (Smith 2006, s. 41) Reflektionerna minskar på grund av att ljusvågorna mellan ytbehandlingen och linselementet tar ut varandra. Ytbehandling påverkar objektivets kontraståtergivning och kan minska mottagligheten för linsöverstrålning.

Man brukar kunna se om ett objektiv har en ytbehandling genom att titta på det främsta elementet från en vinkel. Ett element med endast ett layers ytbehandling brukar skifta i en blå färg, medan element med flerlayers ytbehandling brukar skifta mellan grönt och lila. (Vistaview360, 2011) (Canon, 2013)

## **4.2 Medan man fotograferar**

### **4.2.1 Val av objektiv**

Ibland kan man inte undvika faktorer i kameraoptiken som påverkar bildkvaliteten, t.ex. om man råkar äga en uppsättning av äldre objektiv som inte är korrigerade för flera typiska avbildningsfel. Däremot bör man sträva efter att använda optiken för det syfte som den är ursprungligen gjord för, som t.ex. när det kommer till fokuseringsavstånd. Vidvinkelobjektiv är kända för att vara mer känsliga för avbildningsfel, så som distorsion orsakad av ljusstrålarnas extrema vinklar. Man borde då överväga om det verkligen krävs ett vidvinkelobjektiv för den kompositionen man är ute efter, eller om man klarar sig med ett standardobjektiv på ett längre avstånd.

Det finns objektiv som är specifikt gjorda för att fotografera t.ex. arkitektur, som motverkar distorsion och påverkar den perspektiviska avbildningen av omgivningen. Shift-funktionen i ett Tilt/Shift-objektiv tillåter fotografen flytta delar av objektivet åt något håll för att korrigera konvergerande vertikala linjer. Gör man vertikala linjer parallella blir perspektivet förvrängt och bilden kan se onaturlig ut. (McCann) (Cambridge in Colour, 2013)

### **4.2.2 Omgivningen**

Man bör vara mån om omgivningen och försöka undvika objekt och positioner som kan orsaka problem. Ofta finns det föremål eller ljuskällor som kan bidra till linsöverstrålning eller övriga reflektioner om kameran är riktad mot dem. Kromatisk aberration kan vara svår att undvika t.ex. om man fotograferar ett träd med mörka grenar mot en ljus himmel, men så länge man är medveten om dessa problem kan man undvika missnöje i efterhand.

### **4.2.3 Bländare**

Bländartalet har en stor inverkan på utsträckningen av problem som man kan stöta på när man fotograferar. Att släppa in så mycket ljus som möjligt är önskvärt om man vill få snabbare slutartider i mörker, eller om man vill minska på skärpedjupet och separera

motivet från bakgrunden. Tyvärr blir många optiska avbildningsfel mer synliga när bländaren är fullt öppen, så som t.ex. sfärisk aberration eller optisk vinjettering. Samtidigt finns det risk för diffraktion om man använder en för liten bländare.

Bildstabilisering låter till viss mån fotografen använda längre slutartider utan det behöver uppstå rörelseoskärpa, vilket kan utnyttjas för att kompensera en mindre bländare. Med andra ord kan man med hjälp av bildstabilisering indirekt minska avbildningsfel som beror på bländarens storlek.

#### **4.2.4 Tillbehör**

Det finns ett antal filter som man kan lägga på objektivet för att påverka slutresultatet då man fotograferar. T.ex. ett ND-filter (Neutral Density) är ett grått filter, vars uppgift är att förminska mängden ljus som går in i objektivet. ND-filter kan användas då man är ute efter långa exponeringar, men mängden ljus förhindrar användningen av längre slutartider. Filtret är även användbart om man vill öppna öka på bländaren och undvika diffraktion på grund av för ljusa ljusförhållanden. Man bör dock minnas att ett extra linselement alltid kan bidra till försämrade skärpa, beroende på kvaliteten av filtret.

Motljusskydd är i regel bra att ha för alla objektiv man använder då det finns risk för att en ljuskälla skulle skapa linsöverstrålning. Ett stativ är även rekommenderat för att få en sorts flexibilitet när det kommer till kamerainställningar.

#### **4.2.5 Övrigt**

Att förvara sin utrustning väl förebygger problem som kan utvecklas i kameraoptiken med åren. Svamp kan börja växa i objektiv om man förvarar dem i fuktiga förhållanden. Därför bör man hitta ett torrt förvaringsställe, gärna kombinerat med vätskesugande silikonförpackningar. För att undvika kondensation om man fotograferat i kallt väder kan man lägga in objektiven i lufttäta plastpåsar före man tar in dem i värmen. (Hatter, 2012)

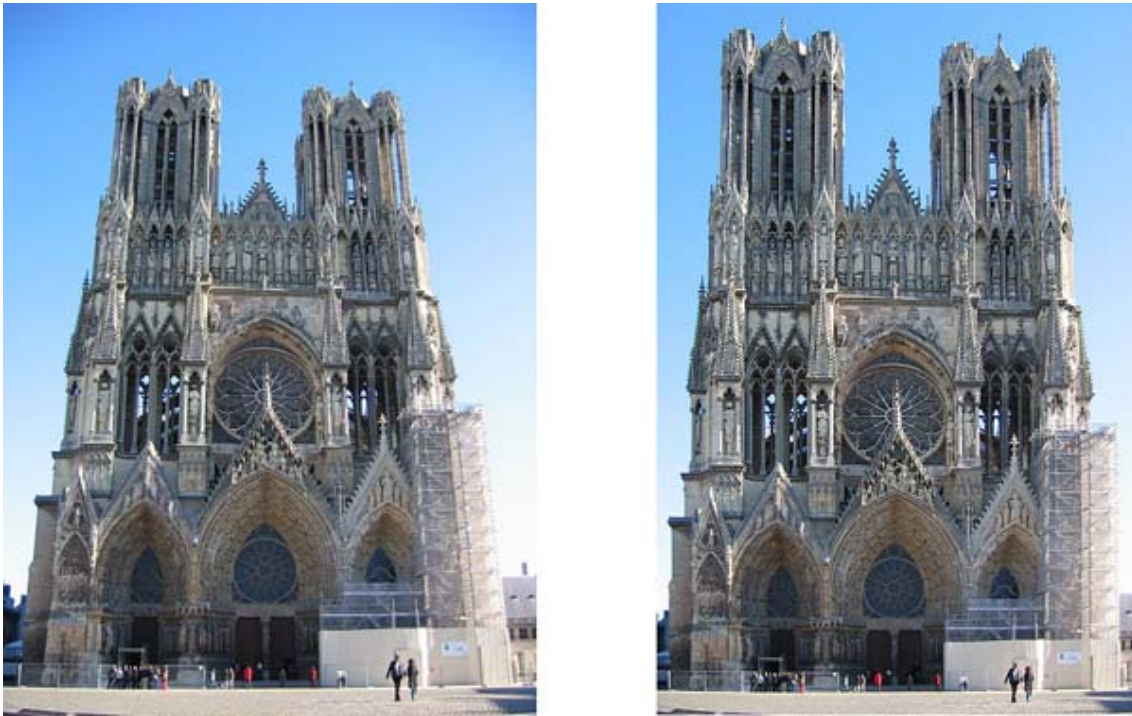
### 4.3 Behandling i efterhand

Adobe Lightroom är en populär bildredigeringsprogramvara vars funktioner bland annat påminner om de man hade i ett traditionellt mörkrum. Lightroom erbjuder även ett antal verktyg för att korrigera fel orsakade av både optiken och kamerahuset. Programvaran har en inbyggd databas över linskorrigeringsprofiler för många av dagens objektiv. Profilerna är gjorda att korrigera främst distorsion och vinjettering. Det går att applicera korrigeringen genast då man importerar sina bilder till Lightroom. Vill man själv manuellt försöka korrigera problemen kan man gå in i *Develop*-modulen och justera på diverse värden. Många av Adobe Lightrooms funktioner för korrigering av avbildningsfel finns även i de nyare versionerna av Adobe Photoshop, med lite andra namn.

I Adobe Lightroom 4 finns det en funktion där man kan välja ut ett område med kromatisk aberration med hjälp av en färgplockare och låta programmet själv räkna ut hur mycket av varje färg som måste justeras runt kanterna. Det finns även penslar för att korrigera aberrationer endast i specifika områden av bilden.

Vinjettering reduceras eller adderas med hjälp av två parametrar. En för ljusstyrkan och en för positionen av vinjetteringsens mittpunkt. Funktionen får sina korrekta värden om man väljer att låta linskorrigeringsprofilen sköta vinjetteringen, men kan vara bra att manuellt pröva sig fram för att se vad som ser bäst ut.

Distorsion kan man påverka under samma sektion som kromatisk aberration – *Lens Corrections*. Det finns parametrar för att antingen trycka ihop eller töja ut på bilden, samt parametrar för att korrigera vertikal eller horisontell distorsion. (Adobe, 2012a) (Adobe, 2013b) (Alves, 2010)



Figur 28. Distorsion korrigerad med hjälp av Perspective Cropping i Adobe Photoshop. (Broer, 2009)

## 5 SLUTSATSER

### 5.1 Hur stor inverkan har objektivet?

Enligt de undersökningar jag gjort, visar det sig att dagens kameraoptik inte lider av så stora problem som den gjorde tidigare. För en hobbyfotograf eller entusiast borde optiken inte ställa till med alltför stora hinder vad gäller acceptabel bildkvalitet. Däremot skall man inte underskatta de effekter objektivet kan orsaka om man använder det fel, eller i fel förhållanden. Man kommer sällan stöta på ett objektiv som skulle göra alla ovannämnda avbildningsfel synliga i bilderna. Distorsion, som förvränger hela bilden, har störst inflytande på fotografiet som helhet. Fenomenet är dock så pass vanligt, och påverkar i sig inte skärpan, att man i många fall inte klassar det som ett fel i optiken, utan mer som en egenskap.

## 5.2 Hur kan man påverka?

Genom att vara medveten om sin egen utrustning och dess defekter, kan man till viss mån förebygga en del problem både medan man fotograferar och i efterhand. Har man en uppfattning om hur och varför problemen uppstår, kan man förbereda sig medan man planerar sin komposition, för att enklare kunna undvika diverse scenarion.

Har man fotografier med kromatisk aberration, vinjettering, eller något slag av distorsion, kan man med hjälp av några lättanvända parametrar korrigera dessa problem i antingen Adobe Lightroom (3 / 4) eller en nyare version av Adobe Photoshop (CS5 / CS6).

## 5.3 Sammanfattning

Optik är ett begrepp som aldrig i praktiken kommer att ge en perfekt avbildning av det man ser. Det gäller att försöka undvika extremerna när det kommer till både bländare och brännvidd. Det förekommer mest problem med minsta och största bländare, samt med vidvinkel- och teleobjektiv. Det finns inget sätt att i förväg veta ett objektivs problem utgående endast från specifikationer. Det finns dock gott om exempel och diskussioner om kameraoptik på nätet där man lär få någonsorts begrepp om prestandan för olika objektivmodeller. Före man köper ett nytt kamerahus på grund av dålig bildkvalitet, bör man veta om bildkvaliteten försämrats i kamerahuset eller i objektivet. En kameran sensor med högre upplösning kommer endast att betona avbildningsfel i optiken.

Optik för kameror verkar vara en marknad som långsamt utvecklas på grund av både fysikaliska hinder och begränsningar inom efterfrågan i förhållande till prisklassen. Stora linselement har och kommer antagligen ännu i framtiden att ha en motsvarande stor prislapp. Om man som tillverkare lägger till element för att korrigera ett avbildningsfel, kan det hända att elementet ger upphov till något annat fel, eller sänker på objektivets totala ljusstyrka. Av den orsaken finns det inte optiskt perfekta objektiv med en kombination av alla de egenskaper det skulle önskas ha.

## 6 DISKUSSION

I detta arbete har jag gått igenom de vanligaste avbildningsfelen i kameraoptiken som man kan stöta på både i nyare och äldre objektiv. Jag har kort förklarat vad som orsakar diverse problem, men försökt lägga tyngd på att ge läsaren en inblick i hur man kan identifiera dessa problem i sina bilder. Jag ville också ta upp olika metoder som tagits i bruk bland tillverkare för att reducera mängden avbildningsfel i ny optik, samt förklara hur man ute på fältet eller i efterhand själv kan påverka slutresultatet.

Det som var svårt med arbetet var att själv begripa en del beskrivningar, algoritmer och formler som togs upp i källorna, för att sedan själv översätta och skriva om texten i ett lättläst format där innehållet fortfarande är korrekt. Speciellt termer som inte direkt har någon svensk översättning orsakade svårigheter. Det förekom även många åsikter och tankar på olika bloggar och diskussionsforum om optik, som inte verkade vara alltför objektiva. Att hitta pålitliga källor med den sortens information som matchade mitt syfte var inte lätt.

Jag hade velat göra ett eget test där jag skulle pröva två olika sorters objektiv, med i stort samma specifikationer, men i olika prisklasser. Tanken var undersöka om man kunde se skillnader i bildkvaliteten som beror på material- och strukturvariationer. Det visade sig att det inte är alltför lätt att hitta två passliga objektiv som faller inom min budget. Att göra testet med ett nyare objektiv och ett äldre manuellt objektiv hade enligt mig givit resultat med låg relevans till resten arbetet, på grund av att manuella objektiv används i så pass liten utsträckning nu för tiden.

Med tanke på att en stor del av bildningsfel har korrigerats eller gjorts mindre betydande i tillverkningsfasen av nya objektiv, tror jag att framtidens kamerahus kommer att ha inbyggda redigeringsfunktioner som tar hand om de problem man idag kan i efterhand korrigera digitalt på datorn.



## KÄLLOR

121 Clicks, 2012, Photography Basics – Questions And Answers For Beginners – Part 6 [www]. Hämtad 3.4.2013

<http://121clicks.com/tutorials/photography-basics-questions-and-answers-for-beginners-part-6>

Adobe, 2012a, Using ADOBE® PHOTOSHOP® LIGHTROOM® 4 [www]. Hämtad 4.4.2013

[http://help.adobe.com/en\\_US/lightroom/using/lightroom\\_4\\_help.pdf](http://help.adobe.com/en_US/lightroom/using/lightroom_4_help.pdf)

Adobe, 2013b, Lens profile support | Lightroom 4, 3 | Photoshop CS6, CS5 | Camera Raw 7, 6 [www]. Hämtad 4.4.2013

<http://helpx.adobe.com/x-productkb/multi/lens-profile-support-lightroom-4.html>

Alves, João. 2010, Correcting and Preventing Chromatic Aberration [www]. Hämtad 17.3.2013

<http://www.tutorial9.net/tutorials/photography-tutorials/correcting-and-preventing-chromatic-aberration/>

Atkins, Bob. 2011, Optimum aperture – Format size and diffraction [www]. Hämtad 6.3.2013

<http://www.bobatkins.com/photography/technical/diffraction.html>

Bockaert, Vincent. 2013, Chromatic Aberration [www]. Hämtad 19.3.2013

<http://www.dpreview.com/glossary/optical/chromatic-aberration>

Broer, Lise. 2009, A matter of perspective [www]. Hämtad 24.3.2013

<http://durova.blogspot.fi/2009/10/matter-of-perspective.html>

Cambridge In Colour, 2013, Tilt Shift Lenses: Perspective Control [www]. Hämtad 31.3.2013

<http://www.cambridgeincolour.com/tutorials/tilt-shift-lenses1.htm>

Camerapedia, 2013, Lens [www]. Hämtad 6.3.2013

<http://camerapedia.wikia.com/wiki/Lens>

Canon, 2013, Lens Coatings [www]. Hämtad 29.3.2013

[http://www.canon.com/technology/s\\_lab/light/003/03.html](http://www.canon.com/technology/s_lab/light/003/03.html)

DCFever, 2013 [www]. Hämtad 17.3.2013

[http://www.dcfever.com/articles/glossary/spherical\\_aberration/images/aspherical\\_lens.jpg](http://www.dcfever.com/articles/glossary/spherical_aberration/images/aspherical_lens.jpg)

Discover Digital Photography, 2013, What is Vignetting? How to remove or add vignetting to a photo [www]. Hämtad 25.3.2013

<http://www.discoverdigitalphotography.com/2013/what-is-vignetting-how-to-remove-or-add-vignetting-to-a-photo/>

DxO Labs, 2013, Chromatic aberration [www]. Hämtad 17.3.2013

[http://www.dxo.com/en/photo/dxo\\_optics\\_pro/features/optics\\_geometry\\_corrections/aberration](http://www.dxo.com/en/photo/dxo_optics_pro/features/optics_geometry_corrections/aberration)

Hatter, Kathryn. 2012, How to Store a Camera Lens [www]. Hämtad 31.3.2013

[http://www.ehow.com/how\\_5855135\\_store-camera-lens.html](http://www.ehow.com/how_5855135_store-camera-lens.html)

Hill, David, 2010 [www]. Hämtad 4.4.2013

<http://www.davidhillphoto.com/previews/70-200VR2-decentered-focus.png>

Hub Pages, 2011, How Does a Camera Lens Work? [www]. Hämtad 2.4.2013

<http://thechronicler.hubpages.com/hub/How-Does-a-Camera-Lens-Work>

Image Engineering, 2013, Longitudinal And Lateral Chromatic Aberration [www]. Hämtad 19.3.2013

[http://www.image-engineering.de/index.php?option=com\\_content&view=article&id=510](http://www.image-engineering.de/index.php?option=com_content&view=article&id=510)

Johnston, Mike. 2013, Understand Lens Contrast And the Basics of MTF [www]. Hämtad 25.3.2013

<http://www.luminous-landscape.com/tutorials/understanding-series/lens-contrast.shtml>

Keshmirian, Arash. 2008, A Physically-Based Approach for Lens Flare Simulation [www]. Hämtad 28.3.2013

[http://www.google.fi/books?id=8aQU0pUNkZ0C&printsec=frontcover&hl=fi&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](http://www.google.fi/books?id=8aQU0pUNkZ0C&printsec=frontcover&hl=fi&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

Klinger, Philipp, 2010a [www]. Hämtad 4.4.2013

<http://www.flickr.com/photos/dcdead/4319421854/>

Klinger, Philipp, 2010b [www]. Hämtad 4.4.2013

<http://www.flickr.com/photos/dcdead/5390140917/>

Lightcraft, 2012 [www]. Hämtad 4.4.2013

[http://lightcrafttech.com/wp-content/uploads/2012/02/LensGrapher\\_DistortionRendering.jpg](http://lightcrafttech.com/wp-content/uploads/2012/02/LensGrapher_DistortionRendering.jpg)

McCann, Richard. Perspective Control (Shift Lenses) in Architectural Photography [www]. Hämtad 31.3.2013

<http://www.photostuff.co.uk/shftlns.htm>

Mansurov, Nasim. 2013a, What is Field Curvature? [www]. Hämtad 12.3.2013

<http://photographylife.com/what-is-field-curvature>

Mansurov, Nasim. 2011b, What is Spherical Aberration? [www]. Hämtad 17.3.2013

<http://photographylife.com/what-is-spherical-aberration>

Mansurov, Nasim. 2011c, What is Chromatic Aberration? [www]. Hämtad 17.3.2013

<http://photographylife.com/what-is-chromatic-aberration>

Molin, Sean, 2010 [www]. Hämtad 4.4.2013

<http://www.flickr.com/photos/seanmolin/5090429531/>

My Digital Photography Club. 2013, Loss of Contrast [www]. Hämtad 25.3.2013

<http://www.mydigitalphotographyclub.com/loss-of-contrast.html>

Newton, Matthew, 2009 [www]. Hämtad 3.4.2013

<http://static.photo.net/attachments/bboard/00V/00V3Jr-192447784.jpg>

Nikon, 2012a, Nikkor Lenses [www]. Hämtad 5.3.2013

[http://imaging.nikon.com/lineup/lens/pdf/nikkor\\_lenses.pdf](http://imaging.nikon.com/lineup/lens/pdf/nikkor_lenses.pdf)

Nikon, 2007b, Aspherical Lenses [www]. Hämtad 17.3.2013

[http://www.nikon.com/about/technology/rd/core/optics/aspherical\\_lenses\\_e/index.htm](http://www.nikon.com/about/technology/rd/core/optics/aspherical_lenses_e/index.htm)

Nikon, 2011c, What is distortion in an image and why does it happen? [www]. Hämtad 23.3.2013

[http://support.nikonusa.com/app/answers/detail/a\\_id/13636](http://support.nikonusa.com/app/answers/detail/a_id/13636)

Northerneye, 2013, Spherical Aberration [www]. Hämtad 17.3.2013

[http://www.northerneye.co.uk/new\\_page\\_4.htm](http://www.northerneye.co.uk/new_page_4.htm)

Plumridge, Jo. 2013, What is Pincushion Distortion? [www]. Hämtad 4.4.2013

<http://cameras.about.com/od/technologies/a/What-Is-Pincushion-Distortion.htm>

Raminez, Morgan, 2011 [www]. Hämtad 28.3.2013

<http://365missmorgan.files.wordpress.com/2011/10/untitled-1.jpg>

Rangefinderforum, 2008 [www]. Hämtad 24.3.2013

<http://www.rangefinderforum.com/forums/printthread.php?t=50489&pp=40&page=8>

Rockwell, Ken. 2008, Bokeh [www]. Hämtad 17.3.2013

<http://www.kenrockwell.com/tech/bokeh.htm>

Smith, Gregory Hallock. 2006, Camera Lenses – From Box Camera to Digital [www]. Hämtad 24.3.2013  
<http://books.google.fi/books?id=6mb0C0cFCEYC>

The Luminous Landscape, 2013, Understanding Lens Diffraction [www]. Hämtad 6.3.2013  
<http://www.luminous-landscape.com/tutorials/understanding-series/u-diffraction.shtml>

Vistaview360, 2011, Reasons for Camera Lens Optical Coatings [www]. Hämtad 31.3.2013  
[http://www.vistaview360.com/photography/optical\\_coating.htm](http://www.vistaview360.com/photography/optical_coating.htm)

**Walree, Paul van, Photographic Optics [www]. Hämtat 25.3.2013**

Walree, Paul van. 2002a. | <http://toothwalker.org/optics/vignetting.html>

Walree, Paul van. 2001b. | <http://toothwalker.org/optics/chromatic.html>

Walree, Paul van. 2001c. | <http://toothwalker.org/optics/distortion.html>

Walree, Paul van. 2004d. | <http://toothwalker.org/optics/astigmatism.html>

Wikimedia, 2005a. [www] Hämtad 12.3.2013  
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Achromatic\\_doublet.png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Achromatic_doublet.png)

Wikimedia, 2005b. [www] Hämtad 12.3.2013  
[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dispersion\\_prism.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dispersion_prism.jpg)

**Wikipedia [www]. Hämtat 6.3.2013**

Wikipedia, 2013a. | [http://en.wikipedia.org/wiki/Camera\\_lens](http://en.wikipedia.org/wiki/Camera_lens)

Wikipedia, 2013b. | [http://en.wikipedia.org/wiki/Photographic\\_lens\\_design](http://en.wikipedia.org/wiki/Photographic_lens_design)

Wikipedia, 2013c. | [http://en.wikipedia.org/wiki/Lens\\_\(optics\)#Coma](http://en.wikipedia.org/wiki/Lens_(optics)#Coma)

Xiao, Feng. 2002, High Dynamic Range Imaging of Natural Scenes [www]. Hämtad 28.3.2013

[http://www.researchgate.net/publication/221501900\\_High\\_Dynamic\\_Range\\_Imaging\\_of\\_Natural\\_Scenes/file/79e415080139543535.pdf](http://www.researchgate.net/publication/221501900_High_Dynamic_Range_Imaging_of_Natural_Scenes/file/79e415080139543535.pdf)

## BILAGA 1

*Decentrering i ett Nikon 70-200mm VR2-objektiv.*

