



KTH Teknikvetenskap

# *Fotografi-lab 5*



Utvärdering av bildkvalitet.  
Jämförelse mellan filmbaserad  
fotografi och digitalfotografi

Kurs: SK2380, Teknisk Fotografi

Kjell Carlsson  
©Tillämpad Fysik, KTH, 2015



För att uppnå en god förståelse och inläring under laborationens gång måste dessa anvisningar studeras noga innan laborationen börjar\*. De avsnitt i kompendiet som hänvisas till skall också inläsas i förväg. Studera även förberedelseuppgifterna så att dessa kan besvaras vid laborationsstart. Laborationen börjar utan akademisk kvart.

### **Läs följande avsnitt i kompendiet:**

- Kap. 29 (matrissensorer)
- Kap. 31 (bildkvalitet: Upplösningsförmåga)
- Kap. 32 (bildkvalitet: MTF)

### **Ta med en miniräknare till laborationen!**

### **Laborationens syfte och innehåll:**

Syftet med denna laboration är att (någorlunda) objektivt undersöka och kvantifiera avbildningskvaliteten hos digitalkameror, och i vissa fall jämföra denna med filmbaserad fotografi. Till exempel kommer upplösningsförmåga och brusegenskaper att studeras. Målet är att utgående från mätresultaten kunna dra slutsatser om prestanda för olika kameror.

### **ImageJ**

I lab. 1 användes Photoshop för att titta på bilder och göra lite enkel bildbehandling. Det ska vi göra i denna laboration också. Men vi behöver dessutom något hjälpmedel för att kvantifiera bildinformation, t.ex. titta på intensitetsprofiler. För detta syfte ska vi använda programmet **ImageJ**. Detta program är freeware som har utvecklats på National Institutes of Health i USA (<http://rsb.info.nih.gov/ij/>). Det används framförallt för forskningsändamål inom mikroskopi (därav ikonen som visar ett mikroskop). Under rubriken laborationsuppgifter nedan kommer att beskrivas hur programmet används i laborationen.

### **Upplösningsförmåga samt CTF-kurvor**

Bildernas detaljrikedom (skärpa) kommer att undersökas med två olika metoder:

1. **Upplösningsförmågan** kommer att bestämmas rent subjektivt, antingen genom att titta direkt på film med lupp, eller genom att på datorskärmen titta på förstörade digitala bilder. Härvid bestäms det tätaste mönster som kan uppfattas med ögat.
2. **Contrast Transfer Function (CTF)** kommer att mätas upp. Kurvor erhålls som visar med vilken kontrast linjemönster med olika täthet återges.

---

\* Laborationsuppgifterna behöver naturligtvis inte detaljstuderas i förväg.

CTF-kurvor är approximativt samma sak som MTF-kurvor, men man använder testmönster som består av svart/vita ränder istället för sinusformad luminansvariation. I denna laboration ska vi inte heller bry oss om att ta hänsyn till de icke-lineariteter som uppstår på grund av filmens respektive digitalkamerans egenskaper.

I bilder som visar streckmönster med olika tätheter registreras modulationsgraden,

$$m = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (1)$$

för de olika tätheterna.  $I_{\max}$  står för pixelvärdet i en vit linje,  $I_{\min}$  är pixelvärdet i en svart linje. Precis som MTF-kurvor så normeras CTF-kurvor till värdet 1 vid låga ortsfrekvenser (egentligen frekvensen noll). Detta gör vi i laborationen genom att normera de uppmätta modulationsvärdena mot det värde som erhålls för det glesaste linjemönstret. CTF-värdena kommer sedan att ritas upp som funktion av ortsfrekvensen hos linjemönstret.

### Signal/brus förhållande

Förutom hög upplösningsförmåga, vill man också att bilderna ska innehålla så lite brus som möjligt. En relevant parameter i detta sammanhang är signal/brus förhållandet (ofta används den engelska förkortningen  $SNR = \text{signal-to-noise-ratio}$ ).

För att mäta upp  $SNR$  väljer man ut ett område i bilden som visar en homogen motivdel, t.ex. en yta med konstant gråvärde. Inom detta område mäter man i bilden upp pixelmedelvärde och standardavvikelse. Denna mätning kan göras både med Photoshop och ImageJ. Därefter beräknar man

$$SNR = \frac{\text{Medelvärde}}{\text{Standardavvikelse}} \quad (2)$$

Detta kan tyckas rakt på sak. Men ett  $SNR$ -värde uträknat på detta sätt kommer att bero på hur den digitala bilden behandlats i kamera och dator (t.ex. om kontrastförstärkning gjorts). För att minimera sådana effekter har bilderna i laborationen behandlats så att gråtonerna återges på samma sätt.

## Laborationsuppgifter

### I. Upplösningstillbestämning för svartvit film

Upplösningen ska bestämmas för en svartvit film som tillhandahålls av labhandledaren. Ett antal streckmönster med olika täthet har fotograferats på filmen. Upplösningstillgränsen bestäms genom att betrakta negativerna med hjälp av ett mikroskop, för att se vilket som är det tätaste linjemönstret som nätt och jämnt kan urskiljas\* (se fotnot!). Mikroskopet måste fokuseras noga när detta utförs. Vid fotograferingen har olika bländartal använts. Välj först ut det negativ som uppvisar den bästa skärpan.

*Vilket bländartal användes vid fotograferingen av det skarpaste negativet? ..... (fyll i).*

*Hur hög är upplösningstillförmågan i det skarpaste negativet? ..... (fyll i upplösningen mätt som linjepar/mm i motivet).*

I datablad för fotografiska objektiv och film så anges upplösningstillförmågan mätt i filmplanet. Räkna därför om ovanstående upplösningstillvärde till filmplanet. (Avbildningsskalan kan erhållas ur mätningar med tumstock i motivet och mätlupp i negativerna.

*Hur många linjepar/mm kan urskiljas i filmplanet? ..... (fyll i)*

### II. Upplösningstillbestämning för digitalkameror och film

I detta moment ska ni bestämma upplösningstillförmågan för tre kameror. Kamera nummer ett är en digitalkamera med APS-sensor (storlek 15.8 mm x 23.6 mm och 10 megapixel). Kamera nummer två är en digitalkamera med fullformatsensor (24 mm x 36 mm och 24 megapixel). Kamera nummer tre är samma kamera och film som användes till moment I (filmrutans storlek är 24 mm x 36 mm). Filmen har scannats in med en filmscanner med 4000 pixels per inch (en inch är 25.4 mm). Bilderna finns på Skrivbordet/SK1140/Lab2/Originalbilder.SK1140.Lab2. Börja med att kopiera mappen med bilder in i er egen mapp, och jobba sedan hela tiden med kopian (för att inte riskera att förstöra originalbilderna). Använd Photoshop till att studera inzoomade bilder av upplösningstilltestmönstren (det räcker att titta på de vertikala strecken). Bestäm upplösningstillgränserna, och notera resultaten i tabellen på nästa sida.

---

\* Det går inte att komma ifrån att bedömningen blir subjektiv, men försök att tillämpa samma kriterium vid samtliga upplösningstilltest.

Ett mönster brukar betraktas som upplöst om man kan uppfatta att där finns ett periodiskt linjemönster. Linjerna kan vara gryniga (brusiga), och delvis avbrutna, men man ska kunna bedöma orienteringen (om linjerna är horisontella, vertikala eller har annan riktning).

När man tittar på digitalbilder får man dessutom en taggighet på grund av pixelleringen, samt ofta en ojämnhet i linjebredderna (vissa linjer bredare än andra). Detta är inget hinder för att betrakta mönstret som upplöst. Ibland finns också svaga överlagringar av (ibland färgade) moirérande. Om mönstrets verkliga linjetäthet dominerar kontrastmässigt betraktas mönstret som upplöst. Om däremot moirémönstret är det enda som syns, och mönstrets verkliga linjetäthet inte framgår, betraktas mönstret inte som upplöst.

Upplösning (linjepar/mm i motivet)		
Digitalkamera, APS (Filnamn: APS)	Digitalkamera, Fullformat (Filnamn: Fullformat)	Kamera med film (Filnamn: Film)

Räkna nu om upplösningvärdena till sensorplanet. Alltså hur många linjepar/mm kan urskiljas i sensorplanet? Avbildningsskalan kan erhållas genom att mäta hur många pixlar i bilden som en i motivet känd sträcka upptar. Både Photoshop och ImageJ kan användas. Använd nedanstående data:

APS-kameran har  $6.1 \mu\text{m}$  centrum-till-centrum avstånd mellan pixlarna.

Fullformatskameran har  $6.0 \mu\text{m}$  centrum-till-centrum avstånd mellan pixlarna.

Inscannade filmbilden har  $6.4 \mu\text{m}$  centrum-till-centrum avstånd mellan pixlarna.

Upplösning (linjepar/mm i <u>sensor</u> -planet)		
Digitalkamera, APS	Digitalkamera, Fullformat	Kamera med film (jfr. mom. I för att se om upplösning förlorats pga scanningen)

Man får emellertid se upp om man jämför upplösningen för kameror med olika sensorstorlek, vilket är fallet ovan. Om kameran har liten sensor måste ju bilden förstöras mera. Detta kräver att ursprungsbilden i en kamera med liten sensor måste vara skarpare än om sensorn är större. För att ta hänsyn till detta anges numera allt oftare upplösningen i sorten linjepar per sensorhöjd, dvs hur många linjepar som får plats på en sträcka som är lika stor som sensorhöjden. Räkna om upplösningvärdena i tabellen ovan till denna nya enhet.

Upplösning (linjepar per sensorhöjd)		
Digitalkamera, APS	Digitalkamera, Fullformat	Kamera med film

Fördelen med att ange upplösningen i sorten linjepar/sensorhöjd\* är att man direkt kan jämföra värdena mellan olika kameror oberoende av sensorstorlek och andra faktorer (t.ex. megapixelantal). Ju högre upplösningstal desto bättre kamera helt enkelt. Vilken av ovanstående tre kameror hade bästa upplösningen?

### III. Signal/brus förhållande.

I detta moment ska signal/brus förhållandet,  $SNR$ , i mätas i ljusa, mellangrå och mörka bildpartier. För detta syfte ska ni använda bilder på en gråskala som fotograferats både med digitalkamera och på film som sedan scannats in. Bilderna finns på Skrivbordet/SK1140/Lab2/Originalbilder.SK1140.Lab2 (filnamnen börjar på "Grayscale").

\* Ofta anges linjer per sensorhöjd i stället för linjepar per sensorhöjd. I första fallet blir värdet dubbelt så stort som i det senare fallet.

För att få en rättvis jämförelse mellan digitalkamera och film har bildernas tonreproduktionskurvor gjorts approximativt lika, vilket innebär att de avbildade gråfälten har ungefär samma pixelvärden i de bägge bilderna.

1. Öppna i Photoshop de två bilder på gråskalan som härrör från digitalkamera och film.
2. I bilderna ska nu väljas ut tre homogent gråa områden som är ljusa, mellangrå och mörka. Lämpliga pixelvärden för de tre områdena kan vara: ca. 200 (ej nära 255!), 120 och 25.
3. Välj rutverktyget i Photoshop. Medelvärde och standardavvikelse mäts i en markerad ruta (storleksordningen  $10^3$  pixlar\*) för de tre områdena i varje bild. Mätvärdena fås genom att välja Bild → Histogram.
4. SNR för områdena beräknas sedan med hjälp av ekvation 2 på sidan 2. För in värdena i tabellen.

#### SNR-värden

	Digitalkamera	Inscannad film
Ljusa partier		
Mellangrå partier		
Mörka partier		

## IV. CTF-kurvor

CTF-kurvan ska bestämmas för samma fullformat digitalkamera som vi bestämde upplösningen för i moment II. Samma digitala bild som i moment II kommer att användas för att ta fram CTF-kurvan. Som jämförelse kommer ni att få motsvarande CTF-värden för APS-kameran och filmkameran från moment II.

- Starta ImageJ genom att dubbelklicka på ikonen med ett mikroskop. Öppna bilden som heter "Fullformat" från föregående moment genom att klicka på "File → Open" och välja fil. Genom att välja förstoringsglasat på verktygsfältet, och peka i bilden och klicka, kan man zooma in (genom Ctrl + klick zoomar man ut). Genom att välja handsymbolen kan man flytta sig i den zoomade bilden.
- Man kan i verktygsfältet i ImageJ även välja linje eller olika ytor för mätändamål. Vi ska här välja linje, peka i bilden, klicka med musen och rita in en linje. Tryck sedan på "Analyze → Plot Profile" så ritas intensitetsfördelningen längs linjen upp. Ur denna intensitetsfördelning kan modulationsgraden bestämmas enligt ekv. 1. För att minska inverkan av brus, är det dock lämpligt att mäta medelvärdet av ett antal intensitetsprofiler. Detta görs genom att istället för en linje rita upp en rektangel och välja kommandot plot profile, se Fig. 1. Ur denna linjeprofil kan max- och min-värden mätas upp, och därigenom modulationsgraden bestämmas. I tabellen på sid. 7 kan dessa värden fyllas i. Men

---

\* Området får inte innehålla för få pixlar, eftersom noggrannheten i SNR-bestämningen då blir sämre. Man bör heller inte mäta över för stort område, eftersom man då kan få inverkan av att motivets luminans inte är helt konstant inom en gråruta (ljuslådan ger inte en helt homogen belysning).

innan du gör det, läs klart hela texten före tabellerna så att du vet hur värdena ska avläsas.

Modulationsgraderna som erhålls kommer inte att direkt motsvara CTF-värden. Detta beror bl.a. på att motivet inte har 100 % modulation, och att man i allmänhet har en svartnivå i bilderna som inte ligger på värdet noll. Därför ska alla uppmätta modulationsgrader divideras med den modulationsgrad som erhålls för den lägsta ortsfrekvensen (egentligen ska normeringen ske vid ortsfrekvens noll, men vi får ta den lägsta som finns med dvs.  $0.05 \text{ mm}^{-1}$ ). De så erhållna värdena är vår uppskattning av CTF och fylls i kolumnerna längst till höger i tabellen.

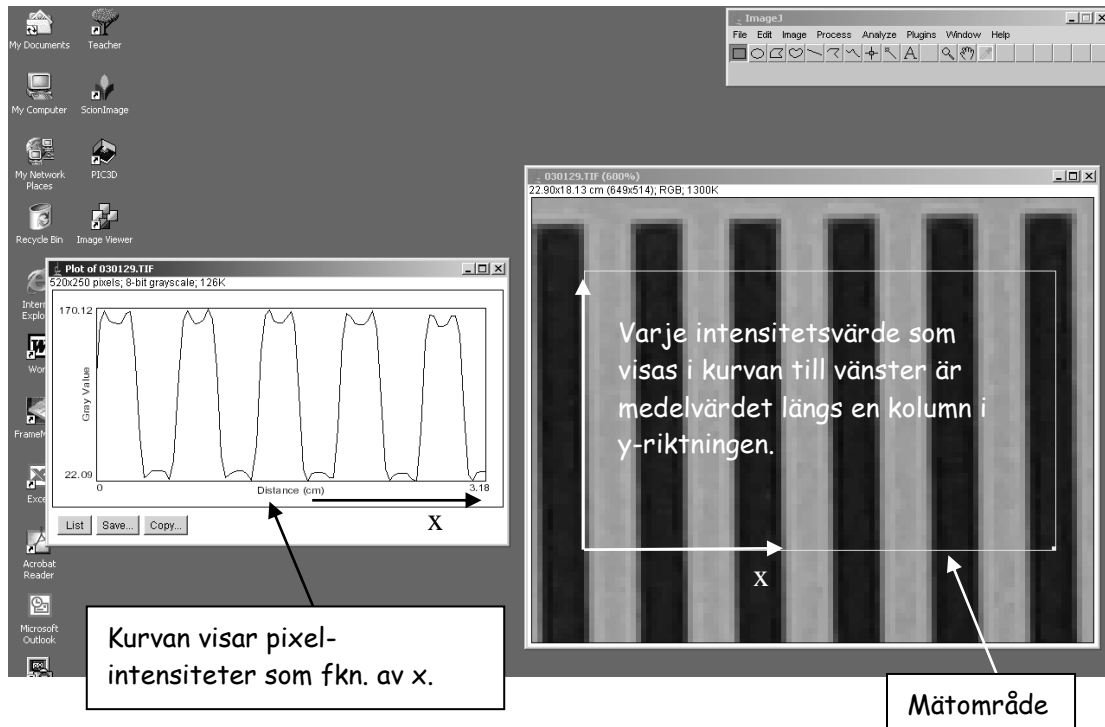


Fig. 1. Modulationsbestämning för linjemönster görs med programmet ImageJ. Se texten för förklaring.

Några kommentarer kan vara på plats angående bestämningen av  $I_{\max}$  och  $I_{\min}$  värden som används för beräkning av  $m$ :

De intensitetsprofiler som erhålls har sällan ett snyggt sinusformat utseende. I vissa fall uppvisar profilerna lutningar, avrundade hörn eller överslängar i plåtarna såsom visas i Fig. 1. Hur ska man då bestämma max- och min-värden i närvaro av avrundade hörn, överslängar eller lutande plåt? Här finns ingen absolut sanning, men grundtipset är att mäta i centrum av profilen, alltså att ignorera det högre/lägre värdet i kanten.

Vid högre ortsfrekvenser blir profilerna ofta oregelbundna. Detta kan bero på samplingeffekter, brus samt den färginterpolation som görs p.g.a. Bayer-masken i digitalkamerorna (Fig. 14.10 i kompendiet). Vidare kan samplingeffekter ge sväningsfenomen i mönstren, vilket innebär att amplituden varierar periodiskt. I sådana fall ska modulationsbestämningen göras där modulationen är maximal. Enstaka höga eller låga värden härrörande från brus ska dock ignoreras. **Vid modulationsbestämningen ska  $I_{\max}$  och  $I_{\min}$  hämtas från samma period i mönstret** ("närmaste grannar"). Tveksamheter brukar oftast förekomma då modulationsgraden är låg, och då spelar det inte så stor roll om bestämningen inte är så noggrann.

Max- och min-värden avläses genom att flytta cursorn till önskat ställe på kurvan och läsa av Y-värdet. (Det Y-värde som visas är kurvans Y-värde, inte cursorns. Man behöver alltså inte peka på kurvan vid mätningarna, men det kan ändå vara enklast att göra på det sättet.)

Det finns ingen anledning att försöka mäta upp modulationen för linjemönster som är tätare än upplösningsgränsen, eftersom det enda man mäter upp i detta fall är brus.

### **Läst klart? Då är det dags att mäta!**

- Fyll i de uppmätta max- och min-värdena i tabellen nedan, samt beräkna modulationsgraderna och CTF ur dessa värden. Understa tabellen innehåller motsvarande värden för de andra kamerorna.

<b>Digitalkamera, Fullformat</b> (Filnamn: Fullformat)				
<b>Ortsfrekvens</b> (mm <sup>-1</sup> )	<b>Max.</b>	<b>Min.</b>	<b>Mod. grad</b>	<b>CTF</b>
0.05				
0.10				
0.25				
0.33				
0.40				
0.45				
0.50				
0.60				
0.67				
0.85				
1.00				

<b>Ortsfrekvens</b> (mm <sup>-1</sup> )	<b>CTF, APS-kamera</b>	<b>CTF, filmkamera</b>
0.05	1.0	1.0
0.10	0.95	1.01
0.25	0.73	0.82
0.33	0.57	0.73
0.40	0.53	0.60
0.45	0.44	0.52
0.50	0.40	0.46
0.60	0.22	0.37
0.67	0.17	0.21
0.85	-	0.13
1.00	-	-

*Rita upp CTF-värdena för de tre kamerorna som funktion av ortsfrekvensen hos linjemönstret (mätt i motivet). Du kan fritt välja om du vill rita för hand på papper, eller använda plotprogrammet Datascape som finns installerat på datorn, se Appendix I. Rita kurvorna i samma diagram för jämförelsens skull. Jämför kurvorna och dra slutsatser om avbildningsegenskaperna för de tre kamerorna.*



## V. En liten titt på digitalfotografins snabba utveckling

Som avslutning kan ni bara titta på ett par bilder som illustrerar hur fort utvecklingen har gått vad gäller digitalkameror:

- Filen "Demo.SONY717" visar samma motiv som ni har jobbat med tidigare i labben, dvs streckmönster monterade på en vägg. Bilden är tagen med en kamera som var "state of the art" 2003 (SONY DSC-F717, med sensorstorlek 6.5 mm x 8.7 mm innehållande 5 megapixlar, och objektiv Zeiss Vario-Sonnar 9.7-48.5 mm). Pris 2003 ca. 15000:-
- Filen "Demo.SONY.A7R" visar återigen samma motiv, men fotograferat med en modern högpresterande kamera (SONY A7R, med sensorstorlek 24 mm x 36 mm innehållande 36 megapixlar, och objektiv Zeiss Sonnar 55 mm). Pris 2015 ca. 23000:-.

Öppna bilderna med Photoshop och titta efter hur bra de två kamerorna kan upplösa olika tätheter av streckmönster. Kommentera?

### Förberedelseuppgifter:

1. Förklara vad som menas med upplösningsförmåga (mätt som linjepar/mm), samt hur den kan bestämmas i ett praktiskt fall.
2. Vid fotograferingsexperiment fann man att det tätaste linjemönster i motivet som kunde upplösas hade perioden 0.90 mm (dvs en svart och en vit linje tillsammans upptog en bredd av 0.90 mm). Avbildningsskalan vid fotograferingen var 0.015. Hur täta linjemönster, mätt i kamerans bildplan, kunde upplösas? (Ange ortsfrekvensen i sorten  $\text{mm}^{-1}$ .)
3. Förklara vad det är som visas i en MTF-kurva. (Vad är det som avsätts längs x- och y-axlarna, och vad betyder MTF-värdet?)
4. Vilken typ av information kan man erhålla ur en MTF-kurva, och som inte framgår ur upplösningsförmågan?
5. På vilket sätt är ett lågt signal/brus förhållande (*SNR*) störande i en bild? Nämn någon faktor som i verkligheten begränsar *SNR* (varför kan man inte få bort allt brus?)
6. Olika digitalkameror har olika storlek på pixlarna i sensorn (från ca.  $1 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$  till drygt  $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$ ). Kan man förvänta sig att pixelstorleken påverkar *SNR*? Varför eller varför inte?

## **Appendix I: Plotprogrammet "Datscape"**

(Freeware som kan nedladdas från nätet. Googla "datscape plot")

Programmet startas genom att dubbelklicka på ikonen "Datscape-plot" på skrivbordet. Indata till programmet skrivs in i en textfil (använd programmet "Notepad" som finns som ikon på skrivbordet). På varje rad i textfilen skrivs en plotpunkts x- och y-koordinater in på formen:

$$x \rightarrow | y$$

där  $\rightarrow |$  står för tab.

**OBS!: Efter att sista plotpunkten matats in måste man trycka Return så att cursorn matar fram till nästa rad innan man sparar filen (annars plottas inte sista värdet).**

### **Datscape använder decimal-punkt, inte komma!**

Data för flera kurvor kan sparas i samma fil genom att addera flera y-koordinater på samma rad (åtskilda av "tabbar"). Spara textfilen under lämpligt namn.

För att plotta värdena som sparats i en fil klickar man på Open-knappen i fönstrets överkant och väljer önskad datafil. Öppnar man flera datafiler efter varandra så plottas samtliga kurvor i samma diagram med olika färger. Är man inte nöjd med programmets autoskalning av axlarna (OBS: Autoscale placerar lägsta mätpunkten i origo) kan man manuellt sätta skalningen genom att klicka på "View  $\rightarrow$  Scale" och mata in önskade värden.

Man kan även ändra kurvornas färg, strecktjocklek mm genom att peka på en kurva, högerklicka med musen och välja "Properties". Även axlarnas utseende, font bakgrundsfärg etc. kan väljas genom kommandon som finns under View-knappen i fönstrets överkant.

Man kan sätta valfri titel på sin plot genom att klicka på "Window  $\rightarrow$  Title", och skriva in önskad titel.

Man kan zooma in en del av diagrammet genom att markera ett område med mus plus nedtryckt vänsterknapp. När man släpper knappen förstoras området inom rutan upp.

Kurvorna kan skrivas ut genom att klicka på Print. Pappersytan utnyttjas oftast bättre om man skriver ut i liggande format ("File  $\rightarrow$  Page Setup  $\rightarrow$  Landscape").

Även matematiska funktioner kan plottas genom att trycka på gröna Start-knappen i fönstrets överkant och därefter skriva in ett matematiskt uttryck. Under Settings (två steg till höger om Start-knappen) kan man välja inom vilket intervall matematiska uttrycket ska plottas, samt steglängd. Mer information kan hittas under Help/Readme.