



Maria Mikkelsen & Lara Schönherr
Na17c Gymnasieskolan Spyken

Åldersstudie av två stjärnhopar med RGB-systemet för fotometrisk analys

Gymnasiearbete 2020



Abstract

Star clusters are widely studied objects when it comes to distances in space and the age of stars. They are formed in the same interstellar cloud thus they have the feature of being approximately the same age and placed about the same distance from the observer. A photometric analysis of a star cluster provides data on the luminosity and colours of individual stars which can be plotted in a Hertzsprung-Russel diagram. Due to the specific appearance of HR-diagrams concerning star clusters, the structure of the plotted data gives direct information about the cluster's age. A photometric analysis is usually made with the standard filter-system UBVR, but alternative systems can be used as well. This study contains the evaluation of the RGB-system as a method for photometric analysis, as well as an age-analysis of the star clusters NGC 457 and M36. Although exact results of the age weren't received the use of the RGB-system as an alternative method to the UBVR-system was verified.

Sammanfattning

Stjärnhopar är ett i hög grad studerat forskningsobjekt när det kommer till stjärnors ålder och avstånd till jorden. Stjärnorna i stjärnhopar bildas ur samma interstellära moln och har därför ungefär samma ålder och avstånd till jorden, vilket underlättar exaktare studier av dessa två aspekterna. Fotometriska analyser av stjärnhopar ger data om stjärnors luminositet och färg, vilket gör det möjligt att skapa ett s.k. Hertzsprung-Russel diagram. Ett HR-diagram av just stjärnhopar har ett särskilt utseende, vilket ger direkt information om deras ålder. Vid fotometriska analyser används vanligtvis ett standardiserat filtersystem, det s.k. UBVR-systemet. Användning av alternativa filtersystem är dock möjlig. Denna studie innehåller en utvärdering av RGB-systemet som en alternativ metod för fotometriska analyser samt en åldersanalys av stjärnhoparna NGC 457 och M36. Ett exakt resultat gällande åldern erhöles ej men användningen av RGB-systemet vid fotometrisk analys verifierades.

Innehållsförteckning

Abstract	1
Sammanfattning	1
Innehållsförteckning	2
Inledning och Teori	3
Stjärnhopar	3
HR-diagram och stjärnors utveckling	3
Fotometrisk analys och teknisk utrustning	5
Syfte	7
Frågeställning	7
Metod	8
Val av stjärnhopar	8
Observation	8
Analys	8
Resultat och diskussion	9
Stjärnhoparnas åldrar	11
Utvärdering av filter	12
Förskjutning mellan NGC 457 och M36	16
Övriga förbättringar och utvecklingar av undersökningen	17
Slutsats	17
Tack	18
Källförteckning	18
Bildreferenser	20
Bilaga 1	22
Bilaga 2	23
Bilaga 3	24
Bilaga 4	25

Inledning och Teori

Stjärnors ålder har sedan länge intresserat astronomer och fysiker eftersom denna information även ger en inblick i galaxers och självaste universums uppkomst. I de flesta galaxer finns ett flertal mindre ansamlingar av stjärnor, s.k. stjärnhopar. Dessa har en gång bildats av materia från samma interstellära moln vid ungefär samma tidpunkt och befinner sig således vid ungefär samma avstånd från betraktaren. Analyser av stjärnhopar ger en bild på en stjärnas livscykel eftersom stjärnorna i hopen inte är av samma sort och därför har nått olika livsstadier under samma tid. En stjärnas livsstadium kan ses av dess ljusstyrka och färg, då denna indikerar dess temperatur. Genom att analysera olika objekts stadium genom fotometrisk analys och sammanfoga informationen i ett s.k. Hertzsprung-Russel diagram kan stjärnhopens ålder bestämmas.

Stjärnhopar

Stjärnhopar förekommer i två olika varianter, klotformiga och öppna. Klotformiga stjärnhopar är ofta mycket gamla stjärnhopar från den s.k. Population II, som bildades under universums tidigare period, med hundratals individuella stjärnor inom en diameter på 60-150 ljusår (Healer & Jacobson, 2007). Tätheten kan göra noggranna mätningar på individuella stjärnor svårare. Av just denna anledning kommer öppna stjärnhopar att undersökas i detta projekt.

Öppna stjärnhopar är betydligt yngre än klotformiga, vanligen runt 10 - 100 miljoner år gamla (Palma, 2018), och både storlek och antal stjärnor kan variera kraftigt. Hoparna är väldigt vanliga in mot Vintergatans mitt, men även ute i spiralarmarna, där nya stjärnor bildas (Sawyer Hogg-Priestly, Chaisson & Fernie, 2018). Ofta utgörs hopen av en stjärnpopulation som bildats ur samma nebulosa, vilket innebär att de har liknande sammansättning och ålder (Nationalencyklopedin).

HR-diagram och stjärnors utveckling

Analyser av stjärnhopar och sammanfogning av information om olika individuella stjärnor görs i ett Hertzsprung-Russel diagram (se figur 1), även kallat HR-diagram, där *absolut magnitud* utgör den ena axeln och *temperatur* eller *spektralklass* den andra.

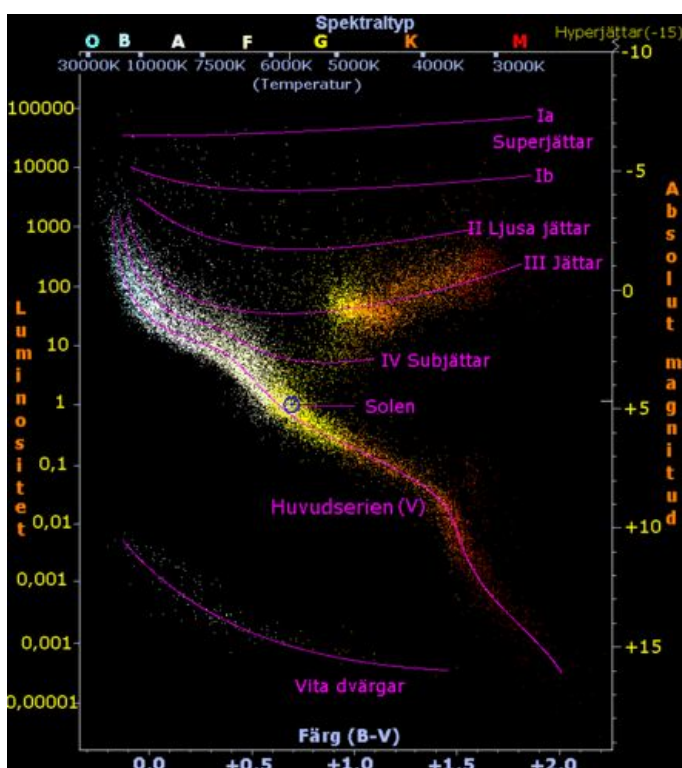
En stjärnas temperatur varierar en del under dess livstid. Under den tid då vätefusion sker i dess kärna förblir temperaturen ungefär densamma. När vätet sedan tar slut ökar trycket och heliumfusion tar över. Denna är mer energirik än vätefusion och medför därför att stjärnan expanderar kraftigt. Detta orsakar i sin tur att stjärnan svalnar av, eftersom energin är fördelad på en större volym. I detta stadium är stjärnan en röd jätte eller en röd superjätte, vars storlek varierar beroende på stjärnans ursprungliga storlek. När bränslet börjar ta slut orsakar stjärnans instabila läge och plötsliga utbrott av fusion antingen en supernova eller

stellära vindar som blåser iväg de yttersta lagren och lämnar en högtempererad och, i förhållande till sin storlek, starkt lysande kärna, en s.k. vit dvärg. En stjärnas temperatur kan även representeras av spektralklassen eftersom denna beskriver stjärnans ljusspektrum, som i sin tur är typiskt för vissa temperaturer. Eftersom ljusspektrumet även är direkt kopplat till vilken färg stjärnan har kan även detta vara ett alternativ till temperatur.

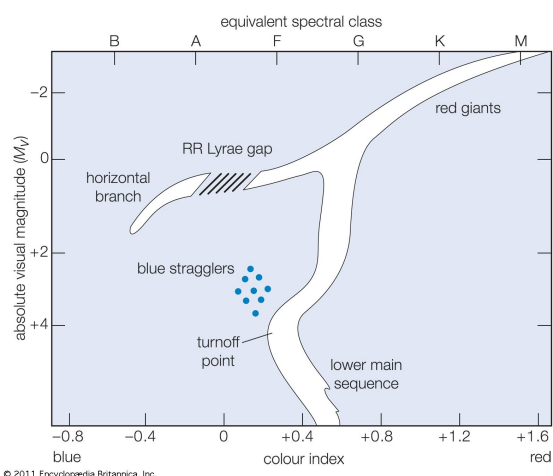
Den absoluta magnituden är ett mått på en stjärnas luminositet, dvs. hur starkt en stjärna lyser. Ju lägre den absoluta magnituden är desto starkare är stjärnans luminositet. Beroende på stjärnans temperatur och storlek lyser de olika mycket. Ju större en stjärna är desto mer ljus sprider den, samtidigt lyser den starkare ju högre dess temperatur är.

Genom att kombinera dessa två faktorer i ett diagram går det att ta reda på en del om en stjärnas ålder och i vilket livsstadium den befinner sig i, eftersom de olika stjärnorna befinner sig på olika ställen i diagrammet beroende på vilket livsstadie de nått.

I ett Hertzsprung-Russell diagram förekommer stjärnorna i vissa stråk. De flesta stjärnor, inklusive vår sol, befinner sig i huvudserien, som sträcker sig diagonalt över diagrammet, under majoriteten av sina liv. I detta stadiet omvandlas väte till helium i stjärnans kärna. Efter en tid tar dock vätet slut inne i kärnan och fusionen flyttas utåt mot de yttre delarna av stjärnan, vilket medför att stjärnan expanderar. Samtidigt svalnar dess yta av och temperaturen sjunker, vilket även gör att färgen blir mörkare. Då befinner sig stjärnan över huvudserien, i jätteserien. Superjättar, som befinner sig över jättarna, är i ungefär samma stadie av sitt liv, men från början betydligt större stjärnor än solen. Under huvudserien befinner sig dvärgstjärnor, som är i sitt livs slutskede (Gustavsson). Utifrån en stjärnas placering i ett HR-diagram kan man därför avgöra i vilket livsskede stjärnan befinner sig.



Figur 1: Allmänt Hertzsprung-Russell diagram (Wikipedia.org, 2007)



Figur 2: Ett HR-diagram över en stjärnhop (Sawyer Hogg-Priestly, Chaisson & Fernie, 2018).

För stjärnhopar är HR-diagram särskilt intressanta. I ett HR-diagram där axlarna beskriver färgindex och absolut magnitud skapas ett mönster med en huvudsekvens och några förgreningar. Viktigast är dock den s.k. brytningspunkten, eller "turn-off-point", se figur 2 (Sawyer Hogg-Priestly, Chaisson and Fernie, 2018). Det är vid denna punkt som stjärnhopens ålder kan bestämmas. Då en stjärnhop åldras blir de mest massiva stjärnorna så småningom till jättar - eller röda superjättar - och brinner ut. Efterhand brinner allt fler stjärnor ut - de med störst massa först - och brytningspunkten mellan röda jättar och huvudserien förflyttas därmed nedåt. Detta innebär alltså att brytningspunktens placering kan avgöra åldern (Kaler, 2006).

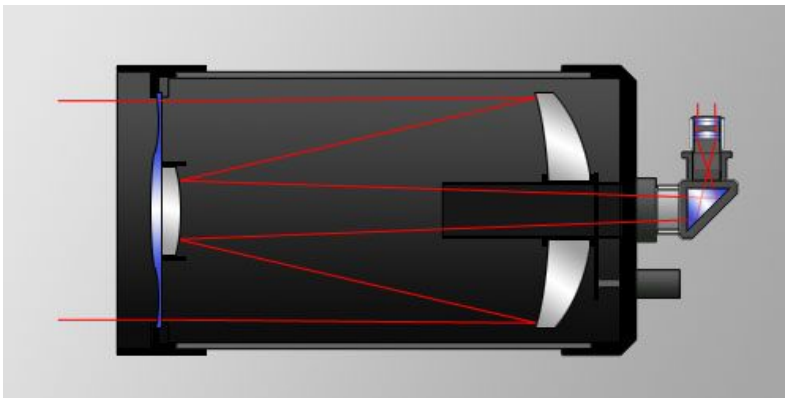
Fotometrisk analys och teknisk utrustning

För att bestämma värden som sedan kan föras in i ett HR-diagram görs en fotometrisk undersökning av stjärnhopen. Detta innebär att ljuset en stjärna strålar ut analyseras med hjälp av en kamera och olika färgfilter, som detekterar ljus för specifika våglängder (Illingsworth, 1994). Det finns en rad olika system av färgfilter, med olika filter som släpper in olika våglängder, och olika mycket ljus. Vanliga filter att använda för fotometri är B (blue) och V (visual), som ingår i Johnsons UBVRI-system. Den frekventa användningen beror dels på att filtrena är bredbandade, vilket innebär att de släpper igenom mycket ljus och kan användas även i små teleskop, som redan på grund av sin mindre lins släpper in mindre ljus (Cooper & Walker, 1989). Framförallt har dock mycket vetenskaplig astronomisk data som samlats in tidigare tagits fram med UBVRI-systemet. Däremot är det desto vanligare för amatörundersökningar som genomförs med CCD-kamera att använda sig av RGB-systemet (Park et al. 2016).

CCD står för *Charge-Coupled Device* och är en vanlig kamerateknik för fotografering av stjärnor. Kameran kan fånga upp en bred mängd olika våglängder, till och med ett antal som sträcker sig utanför synligt ljus (Illingsworth, 1994). Den utgörs typiskt av flera tusen pixlar på en skiva bestående av en halvledare,

vanligtvis silikon. När pixlarna träffas av fotoner, producerar pixlarna elektroner, så att elektrisk laddning samlas i varje pixel i en grad som motsvarar mängden ljus den träffats av. Värdena för denna laddning mäts och digitaliseras, varefter de används för att skapa en bild i en dator eller dylikt (Illingsworth, 1994).

Teleskopet som kommer användas i denna undersökning är ett Schmidt-Cassegrain teleskop. Denna typ av teleskop använder både speglar och linser för att få fram en bild. Inkommande ljus passerar genom en s.k. korrektionslins, varefter det reflekteras av en konkav primärspegel och fokuseras längst fram i teleskopet. Där reflekteras det igen av en konvex sekundärspegel, för att slutligen träffa okularet (Starizona).

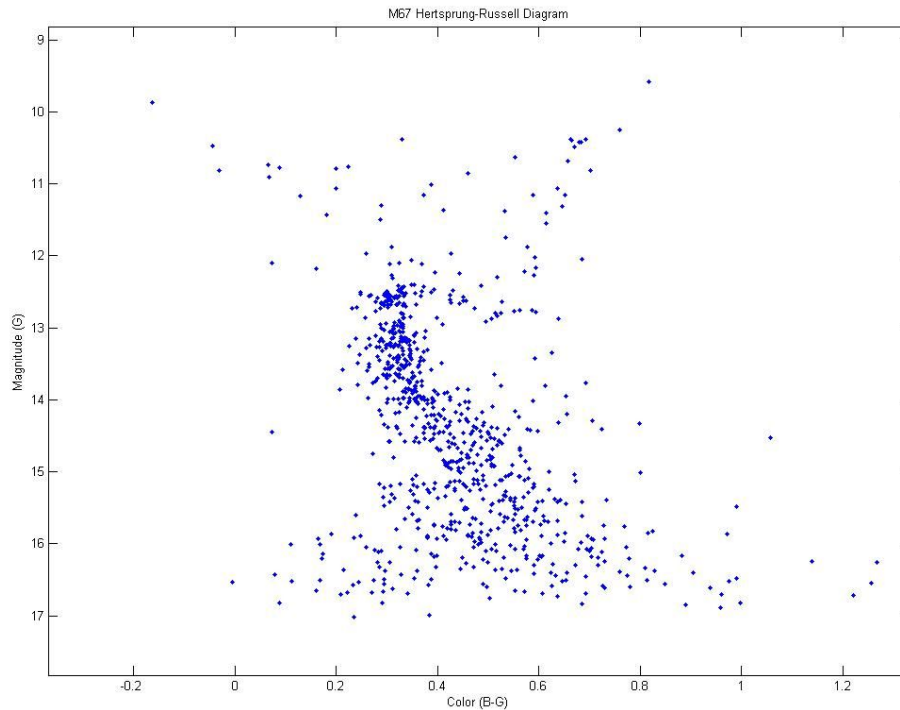


Figur 3: Schmidt-Cassegrain teleskop (Starizona)

På teleskopet sitter en CCD-kamera och det är med denna som bilderna kommer att tas.

För fotometriska undersökningar brukar filter placeras framför teleskopet med ett filterhjul. Vid Tycho-Brahe observatoriet finns en rad filter tillgängliga, men inte UBVR-filer, som vanligtvis används vid fotometriska undersökningar (Illingsworth, 1994). Att köpa in nya filter är både dyrt och kanske inte ens strängt nödvändigt för att genomföra fotometriska analyser.

Exempel på att färg-magnituddiagram kan fungera med RGB filter förekommer på nätet, t.ex. en analys av stjärnhopen M67 gjord av Jeff Mcquarre (AstroImage.org, se figur 4).



Figur 4: Hertzsprung-Russel diagram av stjärnhopen M67 (Jeff McQuarrie)

Det är därför med största sannolikhet möjligt att genomföra. Däremot kan vissa svårigheter uppkomma vid analysen - i och med att de flesta fotometriska jämförelser sker med UBVRi-systemet, kan jämförelsedigram och dylikt vara svårare att hitta.

Syfte

Syftet med vårt arbete är att utvärdera ifall ett RGB system kan användas lika väl som ett UBVRi-filter för fotometriska undersökningar. Förutom detta är syftet med arbetet även att få djupare kunskaper om metoder, teknik och bildanalys inom astronomi, samt bättre förståelse för olika fenomen i rymden.

Frågeställning

1. Vad är åldern på de utvalda stjärnhoparna?
2. Är RGB-filter en användbar metod vid fotometriska analyser av stjärnhopar?

Metod

Val av stjärnhopar

Valet av stjärnhop var beroende av olika faktorer. Den öppna stjärnhopens storlek skulle vara anpassad till teleskopets bildskala, vilket är 0,45 bågsekunder per pixel (Astronomiska Sällskapet Tycho Brahe, 2015). Dessutom har teleskopet en ljuskänslighet ner till 20:e magnituden, vilket innebär att stjärnorna behövde hålla sig inom ramen 5 - 15 i magnitud för att varken vara för ljusstarka eller ljussvaga och därmed enkla att analysera. Stjärnhopen behövde även vara synlig och befinna sig relativt högt på himlen, minst 20° i altitud, under projekttiden. De individuella stjärnorna i hopen skulle kunna urskiljas enkelt, dvs. de fick inte ligga för tätt. Två stjärnhopar som passade dessa kriterier var NGC 457 och M36 (se bilaga 1). NGC 457 befinner sig i stjärnbilden Cassiopeia och har en estimerad ålder på 21 miljoner år (Healy & Jacobson, 2007). Stjärnorna har magnituder på 12 - 15. Stjärnhopen har flera trivialnamn som "ugglehopen", "trollsländehopen" och "ET-hopen". M36 befinner sig i stjärnbilden Auriga (Kusken) och har en estimerad ålder på 25 miljoner år. Stjärnorna har magnituder på 9 - 14.

Observation

Teleskopet fokuserades och ställdes in så att trackningsfunktionen stämde exakt. I grova drag gjordes detta i *Stellarium* och mer exakta justeringar gjordes i programmet *Nebulosity*. Båda programmen var direkt kopplade till teleskopet och CCD-kameran. Koordinaterna för stjärnhopen angavs i Stellarium och teleskopet ställdes automatiskt in på det angivna objektet. Tio bilder för varje filter (blue, green, red och luminosity, se avsnitt *Inledning och teori*) togs för varje stjärnhop. Exponeringstiden justerades efter mängden ljus de olika filtrena släppte igenom. Denna process gjordes för både NGC 457 och M36. Dessutom togs tio mörkströmsbilder för varje exponeringstid och 30 bias-bilder.

Analys

Bildanalysen skedde i programmet AstroImageJ.

Först genomfördes några standardkorrigeringar på bilderna.

- Bias: En biasbild tas med så liten exponeringstid som möjligt, och visar hur mycket brus det finns i kamerans pixlar från början, dvs. hur många elektroner som finns lagrade i pixlarna från början (Jones).
- Mörkström: Mörkström, bestående av fotoelektroner bildas spontant av kameran på grund av att den värms upp (Kaye, 2016). Därför tas mörkströmsbilder med de fulla exponeringstiderna som används till mätningarna. Mörkströmmen subtraheras från originalbilderna, men innan dess subtraheras biasbilderna från mörkströmsbilderna.

- Flatfield. Flatfieldsbilder tas då det är ljusst ute och visar eventuell smuts och repor på kameran. Dessa bilder subtraheras sedan från bilderna på stjärnhoparna för att eliminera partiklar som kan ge fel data. (Durnham University Department of Physics, 2016).

De tio bilder som var från samma filter kombinerades till en och samma bild (s.k. stacking) för att tydligt kunna se även mer ljussvaga stjärnor.

I AstroImageJ användes sedan funktionen *Multi-Aperture Photometry* för att hämta data ur bilderna. AstroImageJ ger ut mängder av olika data, men den relevanta parameteren kallas *Source-Sky*, och är ett mått på antalet fotoner som CCD-kameran registrerar, minus det som registreras från den kringliggande bakgrunden.

Ett hundratal stjärnor valdes ut, 219 för NGC 457 och 209 för M36, med hjälp av AstroImageJ. Dessa valdes kring den tätaste ansamlingen stjärnor i bilden (se bilaga 2).

Detta gjordes på bilderna tagna med B filtret och G filtret. Anledningen till att R-filtret inte användes är att endast värden mellan två olika filter jämförs i fotometrisk analys. Eftersom tidigare exempel på analyser av denna typ endast använde B och G gjordes detta även i denna studien.

Source-Sky datan från AstroImageJ behövde omvandlas till magnituder, m , för att kunna användas i diagrammet. Till detta användes följande formel (Linde, 2020):

$$m = -2.5 \cdot \log(\text{intensitet}) + k$$

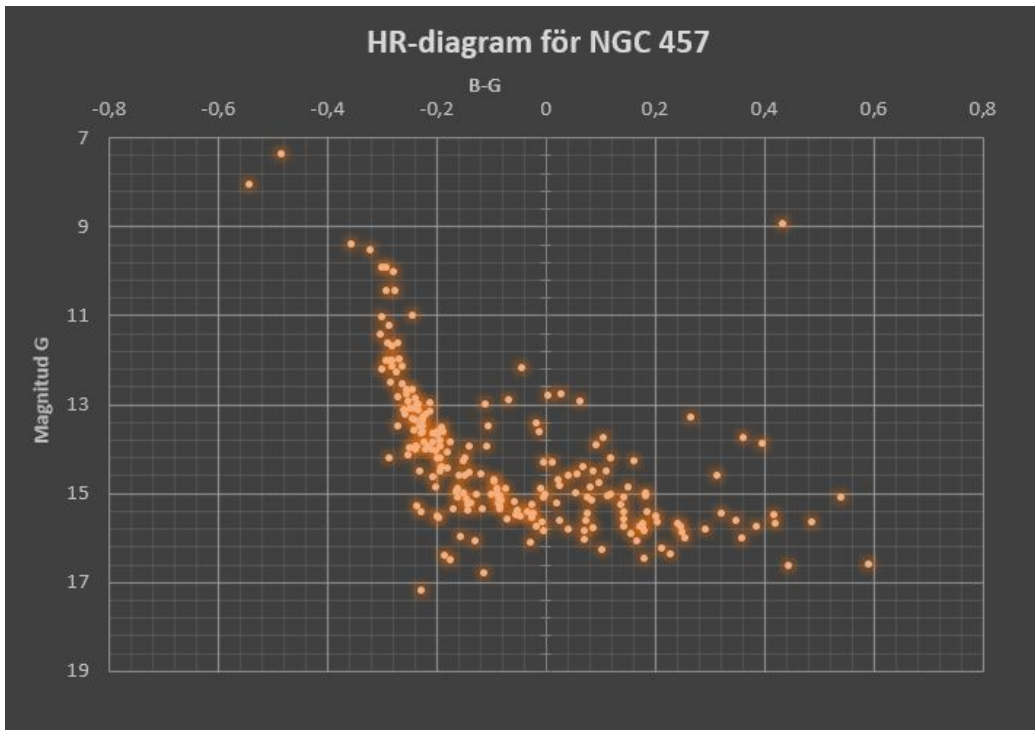
Där intensitet är $(\text{Source-Sky})/\text{exponeringstid}$. Konstanten k är den s.k. filterkonstanten och är avvikelsen på den magnitud som fås ur intensiteten, som mäts med filtrena, och stjärnans faktiska magnitud. Därför varierar k från filter till filter. Se bilaga 3 för redovisning av beräkningarna.

När magnitudvärden för B respektive G hade tagits fram beräknades värdet för B subtraherat med G för respektive stjärnhop och diagrammen kunde framställas.

Resultat och diskussion

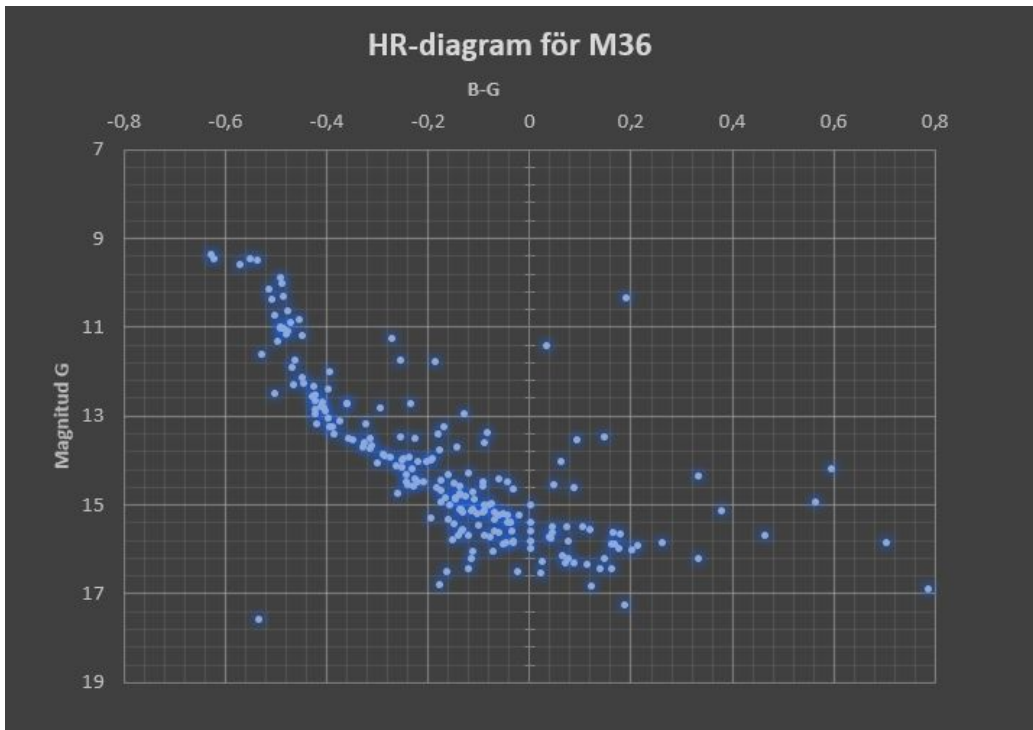
Mätningarna gav ett HR-diagram för varje stjärnhop, där det i båda fallen syns tydliga huvudserier (se figur 5 och figur 6). Detta påvisar att en åldersstudie med hjälp av RGB-filer är möjlig.

I diagrammet för NGC 457 syns en tydlig röd jätte uppe i högra delen (se figur 5). Att detta är en röd jätte syns på kombinationen av stor ljusstyrka och den betydligt mindre blå färgen i förhållande till stjärnorna i huvudserien. Detta är sannolikt den rödaktiga superjätten av 9:e magnituden som ingår i hopen (Healy & Jacobson 2007).



Figur 5: HR-diagram för stjärnhopen NGC 457 med den absoluta magnituden på y-axeln och B-G på x-axeln.

I HR-diagrammet för M36 syns även en stjärna som befinner sig långt nere i diagrammets vänstra hörn: den är med andra ord mycket blå och ljussvag, i jämförelse med andra stjärnor i diagrammet (se figur 6). Detta kan tänkas vara en vit dvärgstjärna, men det finns dock inga exempel i litteraturen där en sådan finns noterad för M36. Mera sannolikt är det att detta är en stjärna som råkade befinna sig i vägen för undersökningen.



Figur 6: HR-diagram för stjärnhopen M36 med den absoluta magnituden på y-axeln och B-G på x-axeln

Många av stjärnorna som avviker från stjärnhopens kurva kan vara stjärnor som inte tillhör hopen. I undersökningar med stjärnhopar är det svårt att veta exakt vilka som ingår i hopen, och vilka som endast råkar ligga inom samma område på himlen. Att ta med stjärnor som inte tillhör stjärnhopen ökar spridningen i diagrammet vilket gör det slutgiltiga resultatet svårare att tyda.

Vidare syns det även i diagrammet en ganska stor spridning i botten av diagrammet. Detta beror sannolikt på att dessa är mörkare stjärnor, vilket gör dem svårare för CCD:n att mäta, vilket gör fotometrin mindre säker.

Stjärnhoparnas åldrar

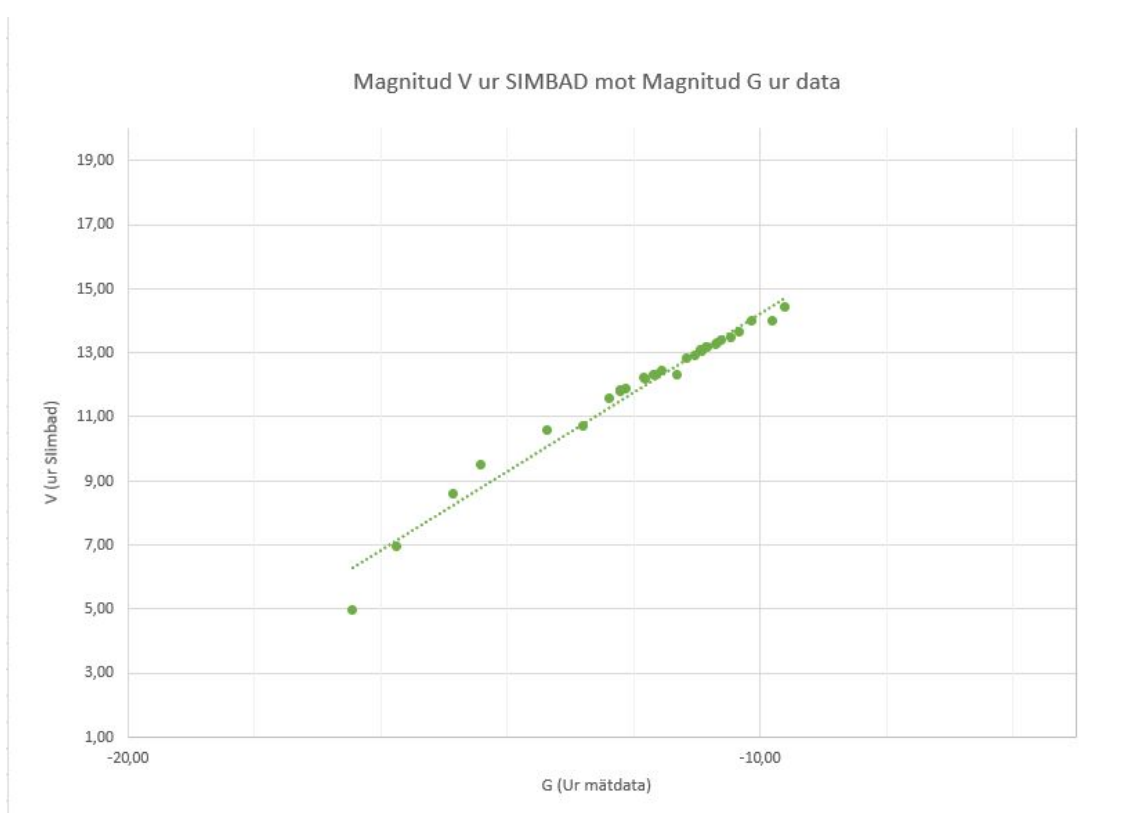
Den första slutsatsen som kan dras ur de båda HR-diagrammen är att båda stjärnhoparna är unga, pga att en tydlig turn-off-point saknas. I NGC 457 kan man ändå se att det finns en röd jättestjärna, vilket antyder att den är äldre än 10 miljoner år, eftersom att det är efter just 10 miljoner år som de allra största stjärnorna börjar övergå till jättestadiet (Palmer, 2018). Men eftersom att det endast är en stjärna som övergått till jättestadiet är den alltså fortfarande mycket ung.

Det går även att konkludera att de två stjärnhoparna har liknande åldrar, då de båda har liknande kurvor. Däremot är det svårt att dra mer exakta slutsatser utifrån dessa diagram.

Utvärdering av filter

De HR-diagrammen som kom fram ur undersökningen liknar i hög grad övriga HR-diagram: En tydlig huvudlinje, som sträcker sig från nedre högra hörnet upp till övre vänstra delen av diagrammet syns. Detta antyder att en användning av RGB-systemet istället för UBVR-systemet för att få fram HR diagram över stjärnhopar teoretiskt sett är möjlig.

För att försäkra att det fanns en korrelation mellan värdena från RGB-systemet och värdena ur UBVR-systemet, gjordes ett diagram över korrelationen mellan G (ur RGB-systemet) och V (ur UBVR-systemet).



Figur 7: Diagram över korrelationen mellan de uppmätta G-värdena och V-värden från databasen SIMBAD. Observera att datan är från NGC 457.

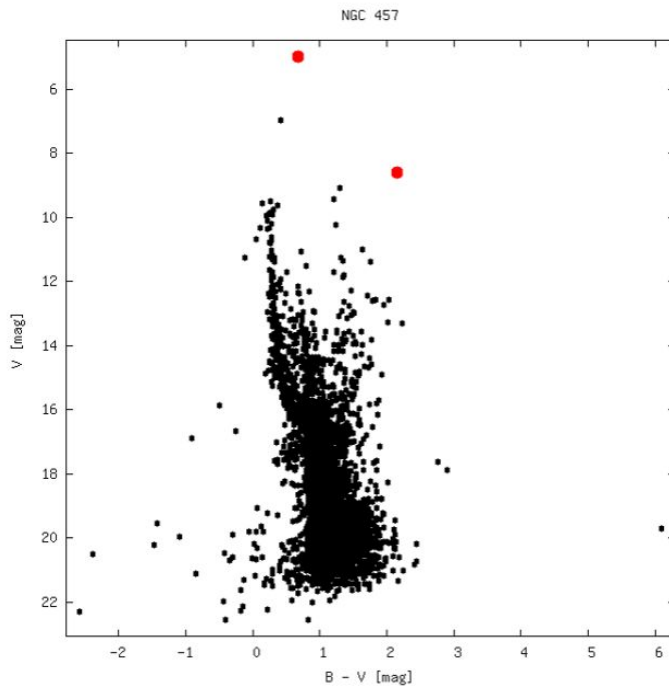
I diagrammet förekommer en synlig linjär korrelation, vilket påvisar en proportionalitet mellan värdena och implicerar att en direkt översättning mellan de två systemen är möjlig.

Däremot förekommer andra problem i vår undersökning som försvårar åldersbestämningen något, och som tyder på att ytterligare förbättringar skulle behöva göras. För det första så finns en tydlig skillnad när man jämför mätvärdena från denna undersökning med tidigare mätvärden: En förskjutning i x-led, det vill säga "värdet" på själva färgen.

I våra mätningar befinner sig NGC 457 huvudsakligen mellan -0,4 och 0,6 (se figur 5) men om man jämför med data ur databasen WEBDA, befinner sig värdena till

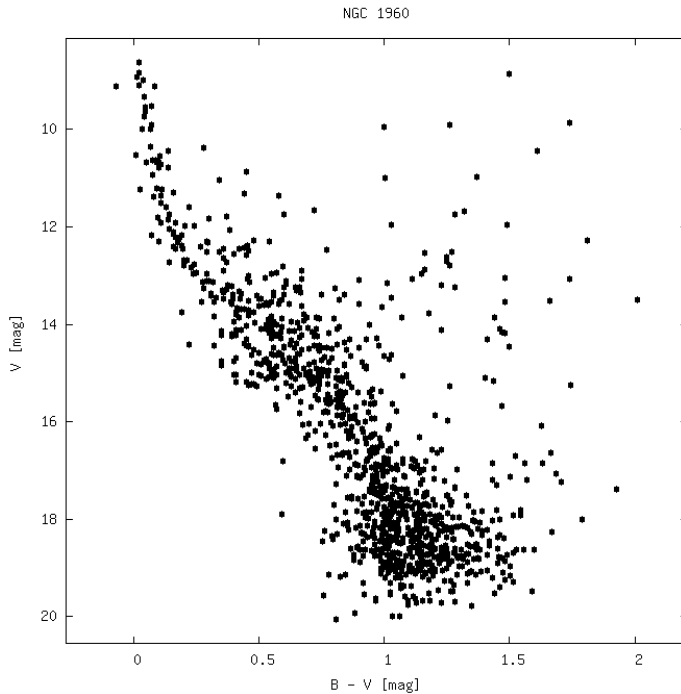
största del mellan 0 och 2 (se figur 8). Att diagrammet ur WEBDA ser mycket annorlunda ut än vårt, beror däremot på att det har ett större intervall än vårt diagram, varmed grafen blir mer komprimerad.

Det syns även att diagrammet ur WEBDA har data ner till 22:a magnituden, vilket inte finns i vårt diagram. Detta beror helt enkelt på att teleskopet inte kan registrera så mörka stjärnor - som mörkast har den registrerat stjärnor ner till 20:de magnituden (Astronomiska Sällskapet Tycho Brahe, 2015).



Figur 8: HR-diagram över NGC 457 från WEBDA-databasen. Röda markeringar visar röda jättestjärnor.

En liknande förskjutning i X-led ses också för M36, som i vårt diagram befinner sig mellan -0,6 och 0,2, men i ett motsvarande diagram från WEBDA befinner sig mellan 0 och 2, samma som NGC 457, se figur 9.

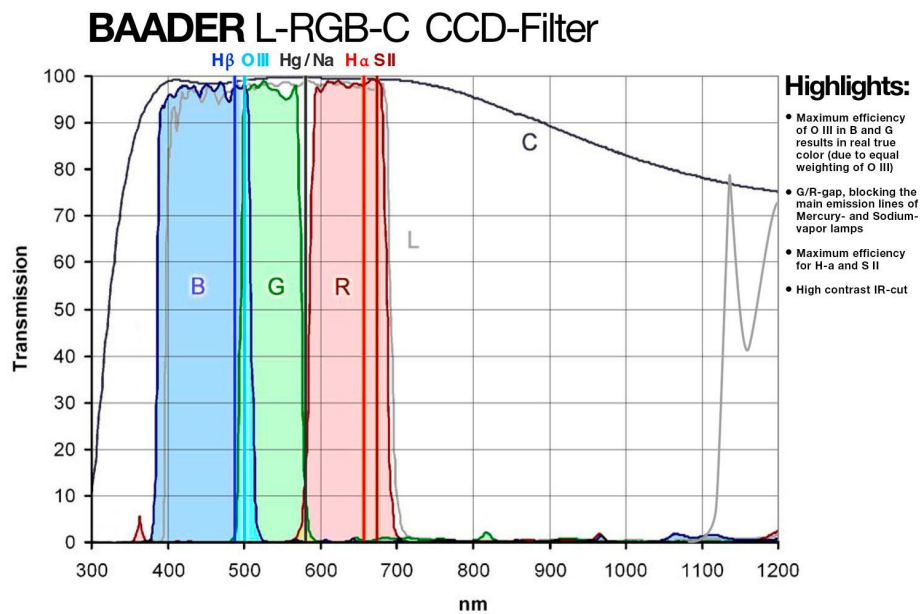


Figur 9: Färg-Magnitud diagram över M36, hämtad ur databasen WEBDA. M36 kallas även för NGC 1960, så i detta diagram har den ett annat namn.

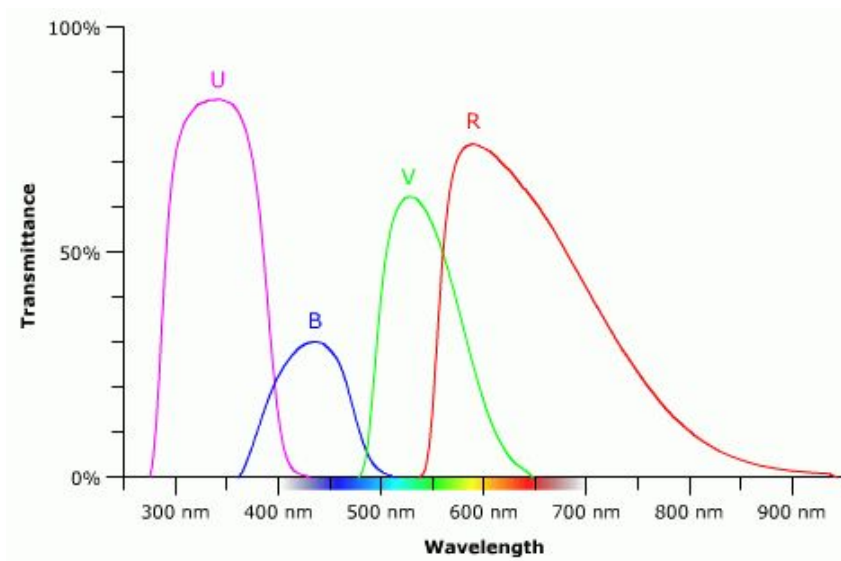
När filterkonstanten togs fram användes data från SIMBAD. Denna data är dock tagen ur UBVR-systemet, och inte RGB-systemet, vilket kan få konsekvenser för grafens utseende. Det finns nämligen skillnad på vilket ljus, samt hur mycket, som de olika filterna släpper igenom.

RGB-filter är s.k. smalbandade filter, vilket innebär att de släpper in ljus från ett mindre spektra än t.ex. UBVR-filter. Däremot har RGB-filter en mycket hög transmission, det vill säga en mycket hög mängd ljus som de släpper in. Jämför till exempel *B* filtret i RGB-systemet, som har en transmission på nästan 100% (se figur 10), med *B* filtret i UBVR-systemet har en transmission på endast 30%, se figur 11.

I vår undersökning valde vi att använda data från *V*-filtret när filterkonstanten för *G* togs fram. Eftersom att det inte finns något *G*-filter i UBVR-systemet bedömdes *V* filtret att bäst stämma överens. Ifall man ser på de två olika filterkurvorna i figur 10 och figur 9 ser man att de två olika filterna släpper in ljus från nära på samma intervall.



Figur 10: Filterkurvor för B, G och R filter av den typen som användes i undersökningen. Bildkälla: Team Baader Planetarium 2016.



Figur 11: Filterkurvor för U, B, V och R ur UBVR-systemet. Bildkälla: University of Nebraska-Lincoln.

I vår undersökning försökte vi komma runt denna skillnaden genom att kompensera för skillnaderna i filtersystemen genom att använda oss av en filterkonstant. Det är dock möjligt att något mer avancerade formler krävs för att kunna göra en fullständig korrekt översättning, bland annat föreslagna i en studie från 2016 (Park et al, 2016). Dessa ligger dock något över den nivå som är möjligt i detta projekt, men kan ligga till grund för vidare undersökningar.

Denna förskjutning gör dock att en mer exakt åldersbedömning är svår att göra. Mer exakt åldersbestämning hade t.ex. kunnat göras genom s.k. isokroner: teoretiskt beräknade kurvor för hur en stjärnhop har sett ut, och kommer se ut, i

olika stadier av sitt liv och i olika åldrar. (Kaler, 2006). Sådana kurvor finns tillgängliga för M36 och NGC 457, men blir svåra att anpassa till diagrammen p.g.a. förskjutningen. Detta är även en något mer avancerad fotometri som sannolikt hade krävt mer tid.

Förskjutning mellan NGC 457 och M36

När de två stjärnhoparna jämförs syns en förskjutning mellan dem. NGC 457 sträcker sig från ungefär -0,4 till 0,4 (se figur 5) medan M36 befinner sig ungefär mellan -0,6 till 0,2 (se figur 6). Detta innebär alltså en förskjutning runt 0,2 enheter. Det finns en rad andra orsaker som kan ha haft påverkan på detta. Stjärnors färg beror inte enbart på temperaturen, utan också på deras kemiska sammansättning. (Inglis, 2002.) Det är därför möjligt att NGC 457 och M36 har betydligt olika innehåll, vilket kan påverka deras färg något. Något som dock talar emot detta är att en sådan förskjutning saknas i de två diagrammen ur WEBDA-databasen (se figur 8 och 9).

De exakta omständigheterna kring observationerna kan ha varit annorlunda för de två olika stjärnhoparna. Vid observationen kan rörelser i atmosfären, bl.a vind, bidragit till rörelser i luften vilket i sin tur påverkar resultatet genom att förvränga bilden och på så sätt göra datan mindre pålitlig. Även om undersökningen försiggick under endast ett par timmar, kan väderförhållandena undergå snabba förändringar.

Det är värt att notera att k -värdena mellan de olika bilderna skiljer sig något, där k -värdet för B och G filterna i M36 är 23,9269408 respektive 24,4429527, medan de är 23,1441041 respektive 23,8264932 i NGC 457. Differensen mellan våra uppmätta magnituder och stjärnornas faktiska magnituder, så som noterade i SIMBAD, är alltså större i M36. Detta kanske dels kan bero på att eventuella fel i bilderna kan vara större för M36, men kan också vara en möjlig förklaring till förskjutningen mellan de två filterna. För att undvika att detta hade man kunnat ta ett genomsnitt mellan de olika k -värdena för båda bilderna, så att det således fanns ett k -värde per filter totalt, istället för olika för de två hoparna (se bilaga 3). Men detta hade också kunnat innebära att ett eventuellt fel i bilderna för den ena hopen hade förts över till den andra.

Övriga felkällor

Även så kallad rödfärgning kan förekomma. Detta innebär att stoft befinner sig mellan observatören och stjärnorna. De inkommande fotonerna ljusspridande partiklar, antingen i atmosfären eller utanför - atmosfärisk respektive interstellär extinktion (Nationalencyklopedin, b). Atmosfärisk extinktion blir delvist kraftigare ju närmare horisonten man kommer (Nationalencyklopedin, a) så denna felkälla kringgicks delvis genom att använda stjärnhopar som befann sig högt uppe på himlen (se figur 16, bilaga 3). Ett viss mån av atmosfärisk och interstellär extinktion kan dock fortfarande finnas kvar.

Även om vi, som nämnt i metoden, försökte eliminera så många felkällor som möjligt vid fotografering, kan ändå värmestrålning, mikroobjekt på linsen, etc. påverka resultatet. Eftersom värdena som hämtas från bilderna är mycket exakta gör även små störningar skillnad.

Eftersom att mycket av databehandlingen försiggick i AstroImageJ - ett program som ingen av oss hade tidigare erfarenhet med att arbeta i, finns det alltid en risk att något gått fel under fotometrin. Detta kan vara anledningen till att våra diagram (figur 5 och 6) skiljer sig från existerande värden. Förskjutningen kan också bero på att eventuella fel som funnits i fotometrin är större i M36 än i NGC 457, eftersom M36 är mer förskjutet i förhållande till existerande diagram.

Metoden innebar hantering av stora mängder data, vilket ökar risken för mätfel eller beräkningsfel. Samtidigt gör mycket data att resultatet blir kvantitativt, dvs. större chans att det slutgiltiga resultatet har större riktighet. Användningen av Excel gjorde även att beräkningsfel minskade. Dock var antalet beräkningar som behövde genomföras för att kunna applicera datan till ett diagram många, vilket ökar risken för att utelämnas en eller flera delar i processen.

Övriga förbättringar och utvecklingar av undersökningen

För att till fullo kunna utvärdera metoden med att använda R, G och B filter, skulle jämförelser med andra fotometriska system behövas. Det finns en lång rad andra system, både bredbandade och smalbandade - till exempel Strömgren-uvby systemet, eller ugriz-systemet som används av Sloan Digital Sky Survey, en amerikansk kartläggning av stjärnhimlen. (Bessel, 2007).

Vidare hade man kunnat undersöka stjärnhopar med större variation i sin ålder. Att endast använda unga stjärnhopar gjorde att det sällan fanns en tydlig avvikelse från huvudserien, vilket gör det svårare att bestämma den exakta åldern, och gör undersökningen något ensidig.

Slutsats

De två stycken HR-diagram som togs fram ur undersökningen påvisar att detta är två unga hopar. Framställandet av HR-diagrammen visar även att RGB-filtersystemet är en alternativ analysmetod till UBVRi-systemet. Däremot behövs ytterligare kalibreringar i bearbetningen av datan för att de ska kunna användas till en mer exakt åldersbestämning. Detta skulle sannolikt också kräva något mer avancerad teknologi behövas såsom simuleringar av diagrammens vidareutveckling. Utifrån den tillgängliga utrustningen blev resultatet dock ansevärt och användbart.

Tack

Stort tack till Peter Linde, för vägledning, engagemang och hjälp genom hela projektet,

till Astronomiska Sällskapet Tycho-Brahe, för värdefull utrustning och entusiasm, och till Peter Larsson och Thomas Diaz för instruktioner och hjälp under observationen.

Även stort tack till våra handledare från Spyken, Fredrik Axén och Emilie Öström, samt till Astronomisk Ungdom för finansiering av projektet.

Källförteckning

Astronomiska Sällskapet Tycho Brahe. 2015 *Användarmanual till Tycho Braheobservatoriets fjärrstyrda teleskop, Version 0.21*
https://www.tbobs.se/images/docs/TBO_Manual-2015-0.21.pdf Hämtad 18 maj 2020

Bessel, Micheal S. 2005. *Standard Photometric Systems*. Research School of Astronomy and Astrophysics, The Australian National University
<http://astronomy.nmsu.edu/tharriso/ast536/BessellPhotometry.pdf> Hämtad 19 April 2020

Cooper, W. A. & Walker, E. N. 1989. *Getting the Measure of the Stars*. Bristol: IOP Publishing Ltd.

Durham University Department of Physics. 2016. *Flat Fielding*.
https://community.dur.ac.uk/physics.astrolab/flat_fielding.html

Gustavsson, B. *HR-diagram*, Nationalencyklopedin.
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/hr-diagram> (Hämtad: 21 November 2019).

Healy, Janet & Jacobson, Carol (red). 2007. *Astronomica*. Millennium House Pty Ltd.

Illingsworth, V. (red.). 1994. *The Facts on File Dictionary of Astronomy: Third Edition*. Market House Books Ltd.

Inglis, Mike. 2003. *Observer's Guide to Stellar Evolution*. London: Springer-Verlag.

James, Andrew. 2017. *Color-Magnitude diagrams*, Southern Astronomical Delights
<http://www.southastrodel.com/Page03006.htm> (Senast ändrad 19 April 2017, hämtad 13 April 2020)

Jones, Trevor. *How to take Bias Frames for Astrophotography*.

<https://astrobackyard.com/bias-frames-astrophotography/>

Kaler, J. B. 2006. *The Cambridge Encyclopedia of Stars*. New York: Cambridge University Press.

University of Nebraska-Lincoln *Filters*. Astronomy Education at University of Nebraska-Lincoln. <https://astro.unl.edu/naap/blackbody/filters.html> (hämtad 2020-03-31).

Kaye, Grant. 2016. *Dark Frame Subtraction*.
<https://www.grantkaye.com/blog/2016/2/1/dark-frame-subtraction>

Linde, Peter: E-mail den 26/1-2020. <peter@astro.lu.se>

McQuarrie, Jeff: *M67*, AstroImages.org <http://www.astroimages.org/ccd/m67.html> (hämtad 2019-10-15)

Nationalencyklopedin a., *atmosfärisk extinktion*. Nationalencyklopedin.
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/atmosfärisk-extinktion> (hämtad 2020-04-18)

Nationalencyklopedin b., *rödförskjutning*. Nationalencyklopedin.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/rödförskjutning> (hämtad 2020-03-30)

Nationalencyklopedin c., *öppen stjärnhop*. Nationalencyklopedin.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/öppen-stjärnhop> (hämtad 2019-10-23)

Palma, Christopher. 2018. *Measuring the Age of a Star Cluster*, Pennstate College of Earth and Mineral Sciences & John. A Dutton e-Education Institute,
https://www.e-education.psu.edu/astro801/content/17_p6.html (hämtad 2020-04-13)

Park, Woojin; Pak, Soojong; Shim, Hyunjin; Le, Huynh Anh N.; Im, Myungshin; Chang, Seunghyuk & Yu Joonkyu. 2016. Photometric Transformation from RGB Bayer Filter System to Johnson-Cousins BV R Filter System. *Advances in Space Research*. 57(1).509-518. <https://arxiv.org/pdf/1501.04778.pdf>

Paunzen, Ernst; Szász, Gabriel, & Janík, Jan: *WEBDA database: NGC 457* Department of Theoretical Physics and Astrophysics of the Masaryk University
https://webda.physics.muni.cz/cgi-bin/ocl_page.cgi?dirname=ngc0457 (hämtad 2020-02-18)

Sawyer Hogg-Priestly, H.; Chaisson, E. J. & Fernie, J. D. 2018. *Star Clusters*, Britannica School.
<https://school.eb.co.uk/levels/advanced/article/star-cluster/110473> (hämtad 2019-11-15)

Starizona, *Starizona Schmidt-Cassegrains*, Starizona.

<https://starizona.com/tutorial/schmidt-cassegrains/> (hämtad 2019-11-21)

Team Baader Planetarium. 2016. *The Baader L-RGB-C CCD filters*
<https://www.baader-planetarium.com/en/blog/the-baader-l-rgb-c-ccd-filters/> Baader Planetarium, (senast ändrad 2019-07-26, hämtad 2020-04-04)

Wikipedia.org. 2007. *Hertzsprung-Russel-diagram* (Bild), Wikipedia.
<https://sv.wikipedia.org/wiki/Hertzsprung%E2%80%93Russell-diagram> (hämtad 2019-11-11)

Bildreferenser

Figur 1

Wikipedia. *Hertzsprung-Russel-diagram*, Wikipedia.
<https://sv.wikipedia.org/wiki/Hertzsprung%E2%80%93Russell-diagram> (hämtad 2019-11-11)

Figur 2

Encyclopædia Britannica, Inc. 2007. *Star Clusters*, Britannica School.
<https://school.eb.co.uk/levels/advanced/article/star-cluster/110473> (hämtad 2019-11-11)

Figur 3

Starizona, *Starizona Schmidt-Cassegrains*, Starizona.
<https://starizona.com/tutorial/schmidt-cassegrains/> (hämtad 2019-11-21)

Figur 4

McQuarrie, Jeff: *M67*, AstroImages.org <http://www.astroimages.org/ccd/m67.html>
(hämtad 2019-10-15)

Figur 8

Paunzen, Ernst; Szász, Gabriel, & Janík, Jan: *WEBDA database: NGC 457*
Department of Theoretical Physics and Astrophysics of the Masaryk University
https://webda.physics.muni.cz/cgi-bin/ocl_page.cgi?dirname=ngc0457 (hämtad 2020-02-18)

Figur 9

Paunzen, Ernst; Szász, Gabriel, & Janík, Jan: *WEBDA database: NGC 1960*
Department of Theoretical Physics and Astrophysics of the Masaryk University
https://webda.physics.muni.cz/cgi-bin/ocl_page.cgi?cluster=m36 (hämtad 2020-02-18)

Figur 10

Team Baader Planetarium. 2016. *The Baader L-RGB-C CCD filters*
<https://www.baader-planetarium.com/en/blog/the-baader-l-rgb-c-ccd-filters/> Baader Planetarium, (senast ändrad 2019-07-26, hämtad 2020-04-04)

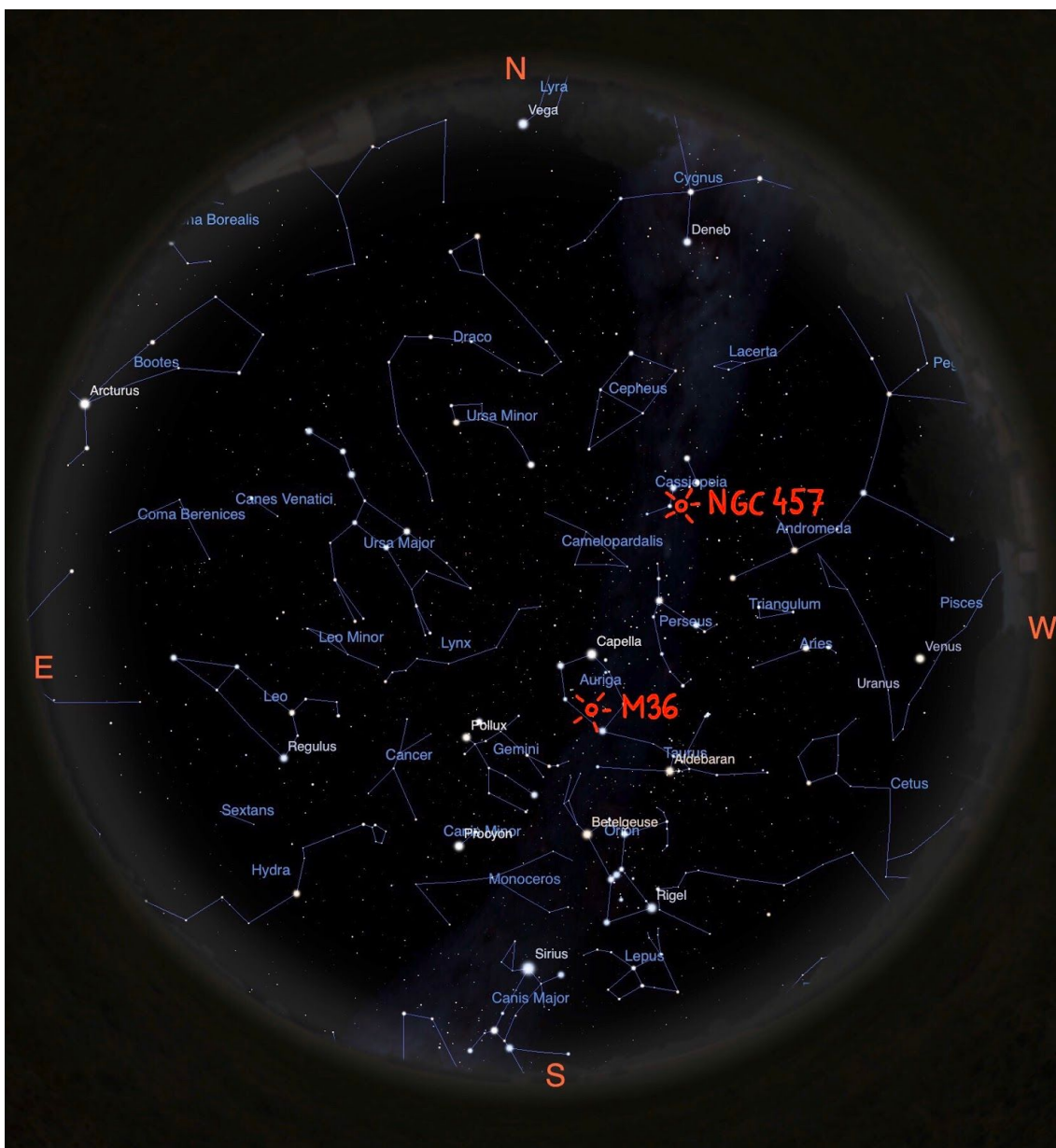
Figur 11

University of Nebraska-Lincoln *Filters*. Astronomy Education at University of Nebraska-Lincoln. <https://astro.unl.edu/naap/blackbody/filters.html> (hämtad 2020-03-31).

Figur 12

Stellarium. Natthimlen i november på norra halvklotet [Screenshot]. <https://stellarium-web.org/> (hämtad 2020-02-26) Bearbetning: Lara Schönherr

Bilaga 1



Figur 12: karta över vinterhimlen på norra halvklotet med stjärnhoparna NGC 457 och M36 markerade.

Bilaga 2



Figur 13: NGC 457 med området där stjärnorna som användes till undersökningen finns utmarkerad.



Figur 14: M36 med området där stjärnorna som användes till undersökningen finns utmarkerad.

Bilaga 3

Beräkningen av magnitud skedde i flera steg, där detta är den grundläggande formeln:

$$m = -2.5 \cdot \log(\text{intensitet}) + k$$

Först togs intensiteten fram. den relevanta parametern i AstroImageJ är Source-Sky.

$$\text{intensitet} = \text{Source-Sky} / \text{exponeringstid}$$

Därefter beräknades filterkonstanten k , som är skillnaden mellan den magnituden man får ur mätningarna, och stjärnornas "egentliga" magnitud. I vår undersökning fungerar k även som skillnaden mellan RGB-systemet och UBVR-systemet, eftersom tidigare jämförelsedata är gjord i UBVR-systemet.

För att beräkna k togs värden för magnitud ur databasen SIMBAD ($m_{B \text{ SIMBAD}}$ och $m_{V \text{ SIMBAD}}$) och jämfördes med motsvarande värden för magnitud ur våra beräkningar ($m_{B \text{ DATA}}$ och $m_{G \text{ DATA}}$).

För att göra detta, numrerades först ett antal stjärnor (25 stjärnor i M36 och 30 stjärnor i NGC457), och deras magnituder noterades. Därefter hittades motsvarande stjärnor i våra bilder, och numrerades på samma vis under fotometrin, så att rätt magnitud kunde paras ihop med samma stjärna.

$$m_{B \text{ DATA}} = -2.5 \cdot \log(\text{intensitet})$$

$$m_{G \text{ DATA}} = -2.5 \cdot \log(\text{intensitet})$$

$$k_B = m_{B \text{ SIMBAD}} - m_{B \text{ DATA}}$$

$$k_G = m_{V \text{ SIMBAD}} - m_{G \text{ DATA}}$$

Detta beräknades för 25 stjärnor i M36, och 30 stjärnor för NGC 457. Därefter togs genomsnittet för dessa värden, och k kunde beräknas. Ett k beräknades per filter i varje bild.

NGC 457:

$$k_B = 23,1441041$$

$$k_G = 23,8264931$$

M36:

$$k_B = 23,9269408$$

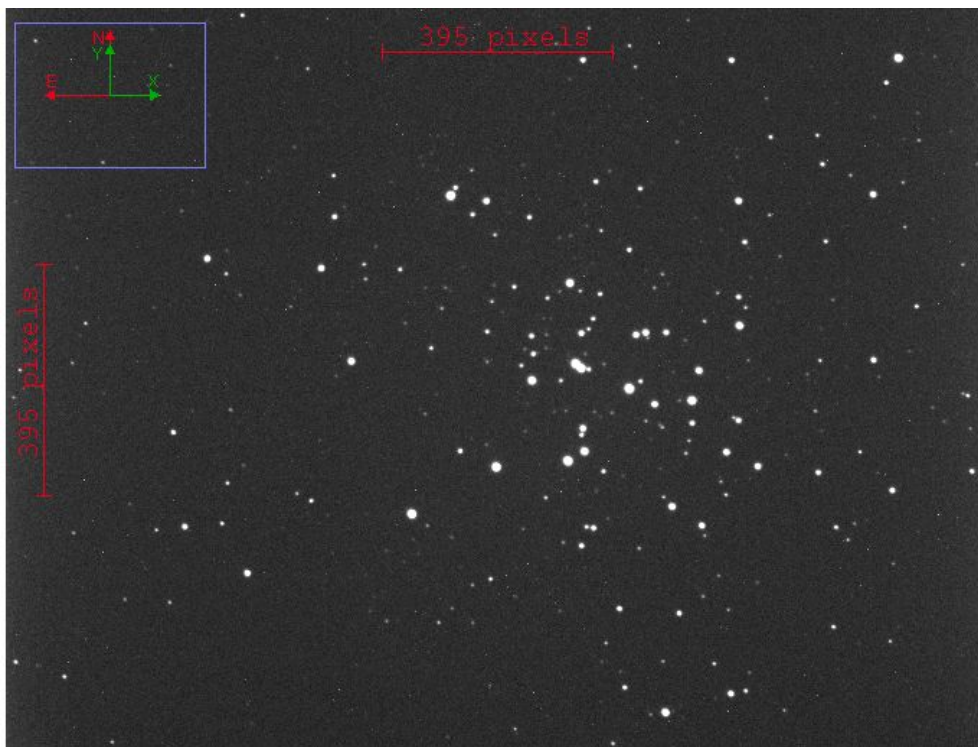
$$k_G = 24,4429527$$

Efter att k hade tagits fram kunde magnituden beräknas enligt

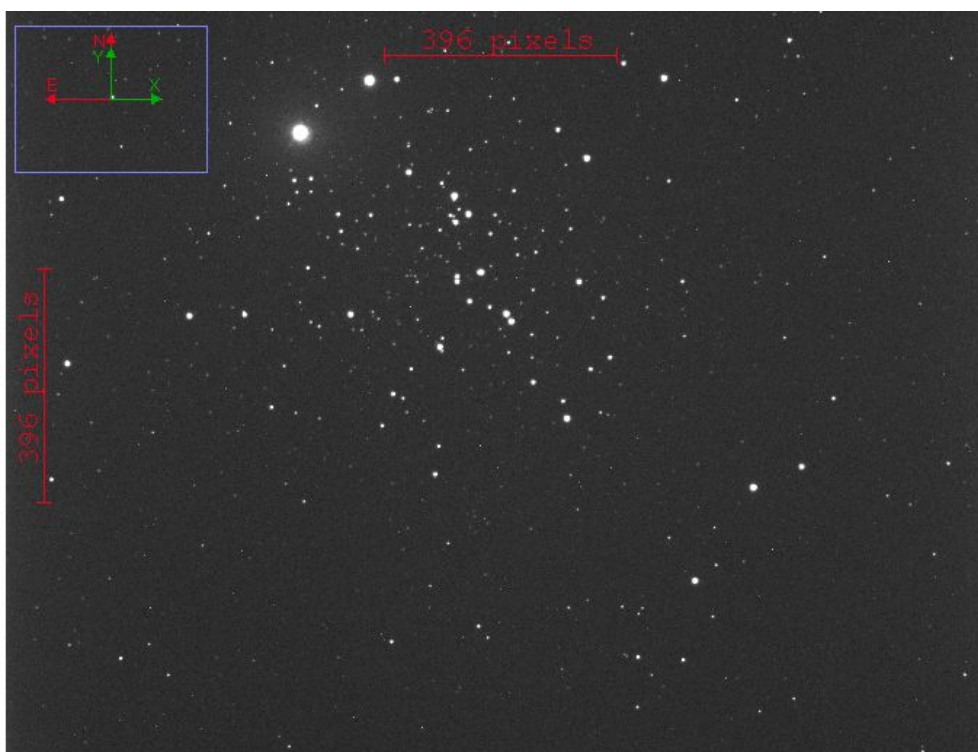
$$m = -2.5 \cdot \log(\text{intensitet}) + k$$

När magnitudvärden för B respektive G hade tagits ut, beräknades värdet för B-G.

Bilaga 4



Figur 15: En bild av stjärnhopen M36.



Figur 16: En bild av stjärnhopen NGC 457