



VRIJ TECHNISCH INSTITUUT St. ALOYSIUS
PAPEBRUGSTRAAT8A
8820 TORHOUT



Industriële Wetenschappen

Bouwen van een telescoop voor astrofotografie

Naam leerlingen:

Mentor:

Beuselinck Freek, Beuselinck Henri,
Decoster Arne, Dejager Xavier,
Denutte Pieter-Jan, Develtere Pieter,
Kuyllé Niels, Landuyt Bram, Titeca Pjittrik,
Trio Arthur, Vancaysele Martijn,
Van Renterghem Anthony, Vanwalleghem Ulrike,
Verhaeghe Dieter, Werkbrouck Jeroen

Verhaeghe Dirk

DOSSIER GEINTEGREERDE PROEF 2010-2011

VRIJ TECHNISCHE INSTITUUT | Papebrugstraat 8A | 8820 TORHOUT

Tel 050 23 15 15

e-mail: vti@sint-rembert.be | website: <http://www.sint-rembert.be/vti>

Inhoudsopgave

| | |
|---|-----------|
| Inleiding..... | 10 |
| 1 Enkele begrippen uit de fysica | 13 |
| 1.1 De golfbeweging | 13 |
| 1.1.1 Transversaal lopende golven | 13 |
| 1.1.2 Longitudinaal lopende golven | 13 |
| 1.1.3 Het beginsel van Huygens | 14 |
| 1.2 Het elektromagnetisch spectrum..... | 16 |
| 1.2.1 Inleiding..... | 16 |
| 1.2.2 Bouw van de materie | 16 |
| 1.2.3 Een elektromagnetische golf | 17 |
| 1.2.4 Ontstaan van een elektromagnetische golf..... | 18 |
| 1.2.5 Energie van een elektromagnetische golf..... | 19 |
| 1.2.6 Het elektromagnetisch spectrum | 19 |
| 1.2.7 Radiogolven..... | 19 |
| 1.2.8 Microgolven | 21 |
| 1.2.9 Infrarode straling | 21 |
| 1.2.10 Zichtbaar licht..... | 21 |
| 1.2.11 Ultraviolet licht..... | 22 |
| 1.2.12 Röntgenstraling..... | 22 |
| 1.2.13 Gammastralen..... | 23 |
| 1.2.14 Elektromagnetische straling en astronomie..... | 23 |
| 1.2.15 Samenstelling van een ster | 23 |
| 1.2.16 De snelheid van een ster | 24 |
| 1.2.17 Draairichting van een ster bepalen | 25 |
| 1.2.18 Het zeeman effect..... | 26 |
| 1.3 Radiotelescopen | 27 |
| 1.3.1 Inleiding..... | 27 |
| 1.3.2 Geschiedenis..... | 27 |
| 1.3.3 Werking van een radiotelescoop..... | 27 |
| 1.4 Weerkaatsing of reflectie | 28 |
| 1.4.1 Diffuse of verstrooide weerkaatsing..... | 28 |
| 1.4.2 Beeldvorming door een vlakke spiegel | 28 |
| 1.5 Breking of refractie | 30 |
| 1.5.1 De brekingswetten van Snellius-Descartes..... | 30 |
| 1.5.2 De brekingsindex..... | 30 |
| 1.5.3 Toepassingen | 31 |
| 1.6 Kleurschifting of dispersie | 32 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 1.7 | Geometrische schaduwvorming | 33 |
| 1.7.1 | Schaduwvorming voor een puntvormige lichtbron | 33 |
| 1.7.2 | Schaduw afgeworpen door een niet-puntvormige lichtbron | 33 |
| 1.7.3 | Toepassingen | 33 |
| 1.8 | BUIGING OF DIFFRACTIE | 34 |
| 1.9 | Absorptie | 35 |
| 1.10 | Interferentie | 35 |
| 1.11 | Polariteit | 37 |
| 1.11.1 | Polarisatie door terugkaatsing | 37 |
| 1.11.2 | Polarisatie door breking | 39 |
| 1.11.3 | Draaiing van het polarisatievlak | 40 |
| 1.12 | Spectrum en spectroscop..... | 41 |
| 1.12.1 | Continu spectrum..... | 42 |
| 1.12.2 | Lijnspectra | 42 |
| 1.12.2.1 | Emissiespectrum..... | 42 |
| 1.12.2.2 | Absorptiespectrum..... | 43 |
| 1.12.2.3 | Bandenspectrum | 43 |
| 1.12.3 | Interpretatie voor de vorming van de spectraallijnen | 43 |
| 2 | Astronomie..... | 47 |
| 2.1 | De dierenriem..... | 47 |
| 2.2 | Bepalen van de positie van de sterren en dwaalsterren | 47 |
| 2.2.1 | Declinatie..... | 48 |
| 2.2.2 | Rechte klimming | 48 |
| 2.3 | Het planisfeer | 49 |
| 2.4 | Sterrenkaart | 51 |
| 2.4.1 | Noordelijke sterrenhemel | 51 |
| 2.4.2 | Zuidelijke sterrenhemel | 52 |
| 2.5 | Rotatie – Precessie - Nutatie | 53 |
| 2.6 | Beweging van de Aarde..... | 53 |
| 2.7 | De planeten..... | 54 |
| 2.7.1. | Oppositie..... | 54 |
| 2.7.2. | Conjunctie..... | 54 |
| 2.7.3. | Elongatie..... | 55 |
| 2.7.4. | Mercurius..... | 55 |
| 2.7.5. | Venus..... | 55 |
| 2.7.6. | Mars..... | 56 |
| 2.7.7. | Jupiter | 56 |
| 2.7.8. | Saturnus | 56 |
| 2.7.9. | Uranus, Neptunus | 57 |
| 2.7.10. | Kometen | 57 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.7.11. | Poollicht..... | 57 |
| 3 | Glassoorten | 58 |
| 3.1 | Inleiding..... | 58 |
| 3.2 | Wat is glas..... | 58 |
| 4 | Optica | 60 |
| 4.1 | De holle spiegel..... | 60 |
| 4.1.1 | Reflectie van een punt op de hoofdas..... | 60 |
| 4.1.2 | Reflectie van een punt buiten de hoofdas..... | 61 |
| 4.1.3 | Het brandpunt | 61 |
| 4.1.4 | De betrekking van Newton | 62 |
| 4.1.5 | Het beeld van een vlak voorwerp | 62 |
| 4.1.6 | De vergrotingsmaatstaf..... | 63 |
| 4.1.7 | De constructie van afbeeldingen..... | 63 |
| 4.1.8 | De bolle spiegel | 64 |
| 4.2 | De parabolische spiegel | 65 |
| 4.2.1 | Het brandpunt | 65 |
| 4.2.2 | Sferische aberratie | 67 |
| 5 | Slijpen – Polijsten - Paraboliseren..... | 67 |
| 5.1 | Slijpen van een newtonspiegel | 67 |
| 5.1.1 | Vorbereiding..... | 67 |
| 5.1.2 | Uitruwen van de spiegel | 68 |
| 5.1.3 | De sferometer | 69 |
| 5.2 | Polijsten – Polijstmiddelen..... | 70 |
| 5.2.1 | Wat is polijsten? | 70 |
| 5.2.2 | Werkwijze..... | 71 |
| 5.3 | De foucaulttest..... | 71 |
| 5.4 | Paraboliseren | 73 |
| 5.5 | Maskers..... | 73 |
| 5.5.1 | Ronchi-test..... | 74 |
| 6 | Optische Coating | 74 |
| 6.1 | Inleiding..... | 74 |
| 6.2 | Lichtweerkaatsing | 75 |
| 6.2.1 | Antireflectielagen | 76 |
| 6.3 | Filters | 78 |
| 6.3.1 | Reflectiefilters | 78 |
| 6.3.2 | Transmissiefilters..... | 79 |
| 6.3.3 | Breedbandfilters..... | 79 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 6.4 | Het aanbrengen van dunne lagen..... | 79 |
| 6.4.1 | Inleiding..... | 79 |
| 6.4.2 | Opdampen..... | 80 |
| 6.4.3 | Sputteren..... | 80 |
| 7 | Beeldopname met CCD's..... | 81 |
| 7.1 | Wetenschappelijke achtergrond CCD's | 81 |
| 7.1.1 | Halfgeleiders..... | 81 |
| 7.1.2 | Foto-elektrisch effect..... | 82 |
| 7.2 | Werking CCD's..... | 83 |
| 7.2.1 | Vertragslijnen | 85 |
| 7.2.2 | Beeldopnemers | 86 |
| 7.2.3 | Tweedimensionale beeldopnemers..... | 87 |
| 7.3 | Lichtsterkte en helderheid | 87 |
| 7.3.1 | Lichtsterkte (met betrekking tot fotografie) | 87 |
| 7.3.2 | Helderheid | 88 |
| 7.3.3 | Het Hertzsprung-Russel diagram | 89 |
| 7.4 | Astrofotografie | 91 |
| 7.4.1 | Inleiding..... | 91 |
| 7.4.2 | De radiotelescoop | 91 |
| 7.4.2.1 | Onderdelen | 91 |
| 7.4.2.2 | Werking | 92 |
| 7.4.3 | Spectroheliocoop..... | 92 |
| 7.4.3.1 | Ontstaan | 92 |
| 7.4.3.2 | Werking | 93 |
| 7.4.4 | De spectroscop..... | 93 |
| 7.4.4.1 | Ontstaan | 93 |
| 7.4.4.2 | Werking | 93 |
| 7.4.4.3 | Spectroscopie..... | 94 |
| 7.4.5 | Fotometrie..... | 95 |
| 7.4.5.1 | Definitie | 95 |
| 7.4.5.2 | Toepassing..... | 95 |
| 7.5 | Kwaliteitsbepalende factoren bij de..... | 95 |
| 7.5.1 | Seeing | 95 |
| 7.5.2 | Locatie van de telescoop..... | 95 |
| 7.5.3 | Temperatuur | 95 |
| 7.5.4 | Locatie van het object aan de hemel..... | 96 |
| 7.5.5 | Klaar maken van de telescoop voor het maken van een opname | 96 |
| 7.5.6 | De webcam | 96 |
| 7.6 | Kwaliteitsbepalende factoren bij het maken van een afbeelding | 97 |
| 7.6.1 | LRGB techniek toepassen | 97 |

| | | |
|------------|----------------------------------|------------|
| 7.6.2 | Bewerken van een opname | 98 |
| 7.6.2.1 | Stacken (samenvoegen) | 98 |
| 7.6.2.2 | Kleur bewerken | 100 |
| 7.6.2.3 | Opslaan | 102 |
| 8 | Elektronica..... | 102 |
| 8.1 | Aandrijving | 102 |
| 8.1.1 | Soorten motoren | 102 |
| 8.1.2 | Keuze motor | 103 |
| 8.2 | Sturing | 103 |
| 8.2.1 | Controllers | 103 |
| 8.2.2 | Programmeren | 103 |
| 8.3 | Vermogens sturen | 104 |
| 8.3.1 | Vermogens schakelen | 104 |
| 8.3.2 | Waarom | 104 |
| 8.3.3 | Opbouw | 104 |
| 8.4 | Uitvoering | 104 |
| 8.4.1 | Ontwerp tools | 104 |
| 8.4.2 | Schema | 105 |
| 8.4.3 | Printplaat..... | 105 |
| 8.4.4 | Componenten..... | 106 |
| 9 | Verrekijker | 106 |
| 9.1 | Het oog..... | 106 |
| 9.1.1 | Inleiding..... | 106 |
| 9.1.2 | Beschrijving van het oog | 106 |
| 9.1.3 | Het accommodatievermogen | 107 |
| 9.1.4 | De gebreken aan het oog | 108 |
| 9.1.4.1 | Soorten..... | 108 |
| 9.1.4.2 | Hulpmiddelen | 108 |
| 9.2 | De microscoop | 109 |
| 9.2.1 | Inleiding..... | 109 |
| 9.2.2 | Bouw van de microscoop | 109 |
| 9.2.3 | Soorten microscopen | 110 |
| 9.2.4 | Toepassingen | 110 |
| 9.3 | De Hollandse kijker | 111 |
| 9.3.1 | De uitvinder | 111 |
| 9.3.2 | Voor- en nadelen | 112 |
| 9.4 | Lenzentelescoop | 112 |
| 9.4.1 | Geschiedenis..... | 112 |
| 9.4.2 | Hoe werkt het | 112 |

| | | |
|-------------|--|------------|
| 9.4.3 | Wat is chromatische aberratie | 113 |
| 9.4.4 | Wat is sferische aberratie..... | 114 |
| 9.5 | Prismakijker..... | 114 |
| 9.5.1 | Geschiedenis..... | 114 |
| 9.5.2 | Beeldveld..... | 114 |
| 9.5.3 | Chromatische aberratie..... | 114 |
| 9.5.4 | Sferische aberratie | 114 |
| 9.5.5 | Soorten prisma's..... | 115 |
| 9.6 | De spiegelkijker..... | 115 |
| 9.6.1 | Definitie / werking..... | 115 |
| 9.6.2 | Ontstaan..... | 115 |
| 9.6.3 | Voor en nadelen..... | 115 |
| 9.6.4 | Soorten spiegelkijkers / spiegeltelescopen | 116 |
| 9.6.4.1 | Newton kijker | 116 |
| 9.6.4.2 | Herschel kijker..... | 116 |
| 9.6.4.3 | Gregoriaanse telescoop / kijker | 117 |
| 9.6.4.4 | Klassieke Cassegrain telescoop..... | 117 |
| 9.6.4.5 | Kuttertelescoop..... | 118 |
| 9.6.4.6 | Ritchey-Chrétientelescoop | 118 |
| 9.6.4.7 | Dobson telescoop..... | 118 |
| 9.6.4.8 | Vloeibare spiegeltelescoop | 119 |
| 9.6.4.9 | Catadioptrische telescoop..... | 119 |
| 10 | De telescoop..... | 120 |
| 10.1 | Definitie..... | 120 |
| 10.2 | Ontstaan | 120 |
| 10.3 | Soorten montering | 121 |
| 10.3.1 | Azimutale montering | 121 |
| 10.3.1.1 | Varianten op azimutale montering | 122 |
| 10.3.2 | Parallactische montering | 122 |
| 10.3.2.1 | Varianten op de parallactische montering | 123 |
| 10.3.3 | Hexapodmontering | 124 |
| 10.4 | Ruimte telescopen..... | 125 |
| 10.4.1 | Hubble | 125 |
| 10.4.2 | Lyman Spitzer | 126 |
| 10.4.3 | Herschel..... | 127 |
| 10.4.4 | James Webb..... | 127 |
| 11 | Ontwerp onze telescoop | 128 |
| 11.1 | Berekeningen voor de vangspiegel | 128 |
| 11.2 | Stukkenlijsten..... | 131 |

| | | |
|-------------|---|------------|
| 11.2.1 | Stukkenlijst kijker..... | 131 |
| 11.2.2 | Stukkenlijst onderstel | 132 |
| 11.3 | Beschrijving onderdelen onze telescoop | 132 |
| 11.3.1 | De kijker | 132 |
| 11.3.1.1 | Kijkerbuis | 133 |
| 11.3.1.2 | De spider..... | 133 |
| 11.3.1.3 | De spiegeldrager | 134 |
| 11.3.2 | Het onderstel..... | 135 |
| 11.3.2.1 | Draaimechanisme | 136 |
| 11.4 | Samenstellen telescoop | 136 |
| 11.4.1 | Samenstellen vleugel en as Ø4 voor vleugel spider | 136 |
| 11.4.2 | Samenstellen spider | 137 |
| 11.4.3 | Samenstellen basisplaat | 138 |
| 11.4.4 | Samenstellen kijker..... | 140 |
| 12 | Bijlagen..... | 142 |
| 12.1 | Tekeningen van ons ontwerp | 142 |
| 12.1.1 | Kijker..... | 142 |
| 12.1.1.1 | Kijkerbuis | 142 |
| 12.1.1.2 | Spider onderdelen..... | 143 |
| 12.1.1.3 | Spider samenstelling..... | 146 |
| 12.1.1.4 | Spiegeldrager onderdelen | 147 |
| 12.1.1.5 | Spiegeldrager samenstelling..... | 150 |
| 12.1.1.6 | Bevestiging aan onderstel..... | 151 |
| 12.1.1.7 | Kijker samenstelling..... | 152 |
| 12.1.2 | Onderstel..... | 153 |
| 12.1.2.1 | Onderdelen draaimechanisme | 153 |
| 12.1.2.2 | Samenstelling draaimechanisme..... | 160 |
| 12.1.2.3 | Onderdelen onderstel..... | 161 |
| 12.1.2.4 | Samenstelling onderstel..... | 164 |
| 12.1.2.5 | Samenstelling telescoop | 165 |
| 13 | Collimeren..... | 166 |
| 13.1 | Wat is collimeren | 166 |
| 13.2 | Type 1A fout (coma) | 166 |
| 13.3 | Type 1B fout (gekanteld beeldveld) | 166 |
| 13.4 | Type 2 fout (vignettering) | 167 |
| 13.5 | Type 3 fout (vignettering) | 167 |
| 13.6 | Type 4 fout (vignettering) | 167 |
| 13.7 | Hulpmiddelen bij het collimeren..... | 168 |
| 13.7.1 | De stip op de hoofdspiegel | 168 |

| | | |
|-----------|-------------------------------|------------|
| 13.7.2 | Kijkbuis | 168 |
| 13.7.3 | Lasercollimator | 168 |
| 14 | Website | 168 |
| 14.1 | Waarom | 168 |
| 14.2 | www.gip2010.be | 169 |
| 14.3 | Server one.com | 169 |
| 14.4 | E-mailadressen | 170 |
| 14.5 | Maken van de website | 171 |
| 14.6 | Taalkeuze | 172 |
| 14.7 | Pagina's van de website | 172 |
| 14.7.1 | Startpagina | 172 |
| 14.7.2 | Nieuws | 172 |
| 14.7.3 | Onze klas | 173 |
| 14.7.4 | Galerij | 173 |
| 14.7.5 | Projecten | 173 |
| 14.7.6 | Verslagen | 173 |
| 14.7.7 | Forum | 174 |
| 14.7.8 | Gastenboek | 174 |
| 14.7.9 | Contacten | 175 |
| 14.7.10 | Archief | 175 |
| 15 | Bibliografie | 175 |

Inleiding

Wij zijn 15 gemotiveerde leerlingen uit het zesde jaar industriële wetenschappen van het Vrij Technisch Instituut Sint-Aloysius te Torhout . Onze richting legt vooral de nadruk op de technische en wetenschappelijke vakken met wiskunde als bindmiddel . In dat opzicht kozen we voor een eindwerk met een flinke brok theorie waar we eens goed onze tanden konden in zetten, maar we wilden ook een praktisch realisatie als kers op de taart . Bovendien trachtten we dit project zo goed mogelijk te koppelen aan ons leerplan . U kunt zich nu wel afvragen hoe de taalvakken aanbod zijn gekomen, maar geen zorgen : onze website kan vertaald worden in nog 3 andere talen uit onze opleiding : Frans, Duits en Engels.

Een GIP (geïntegreerde proef) heeft enerzijds als functie dat wij als klasgroep iets opsteken anderzijds dat we individuele vooruitgang boeken door verbeteringen aan te brengen aan onze realisatie .

Eind vijfde jaar hebben we talloze voorstellen mogen formuleren, de een al wat meer realistisch dan de ander . Uit die vele voorstellen kwam onze huidige GIP: het bouwen van een telescoop voor astrofotografie.

Ons doel was dus vooropgesteld : we gingen een telescoop bouwen die volledig automatisch te besturen is . Bovendien wilden we ook kwaliteitsvolle opnames maken van hemelobjecten. Om dat doel te bereiken was er natuurlijk heel wat motivatie nodig vanuit de klas en de begeleiders alsook organisatie om de krachten te kunnen bundelen .

1 September 2010 was de dag waarop we van start gingen. We hebben ons eerst wat proberen te oriënteren in het aparte wereldje van telescopen . Dit hebben we onder andere gedaan door gesprekken te voeren met Jean-Pierre Grootaerd en de mensen van VSRUG, een bezoek te brengen aan sterrenwacht “Beisbroek” en bij privé personen te rade te gaan . Dankzij deze voorbereidende stappen kregen we geleidelijk aan een beter beeld hoe we aan de slag konden bij het vervaardigen van onze telescoop . Natuurlijk werden we daarbij ook zeer goed begeleid door onze mentor : Mr. Verhaeghe.
















Alles wat we zelf konden doen hebben we dan ook gedaan (bv: het slijpen en polijsten hebben we op school gedaan, het fabriceren van de onderdelen en het monteren ervan gebeurde ook volledig op school).

We hebben ons als klasgroep verdeeld waardoor iedereen zijn eigen taak had, daarna hebben we alles samengebracht zodat iedereen van alles op de hoogte was.

Een voorbeeld hiervan is de website, die werd gerealiseerd door Pieter Develtere . Hij kreeg daarvoor een spoedcursus van Tom Hollevoet , een oud-leerling die vorig jaar de website van de GIP van 6 IW heeft gemaakt .

Door u dit GIP-boek te laten lezen willen we u informeren hoe het jaar van ons er heeft uitgezien, welke uitdagingen we hebben overwonnen, welke vooruitgangen we geboekt hebben, maar evenzeer welke tegenslagen die we te verwerken hadden .

Natuurlijk willen we iedereen bedanken voor de ondersteuning die ze ons hebben geboden en de kennis die ze ons hebben bijgebracht . In het bijzonder danken wij onze mentor, Mr. Verhaeghe, die heel wat van z'n vrije uurtjes heeft opgeofferd om ons project te kunnen doen slagen .

| | | | |
|---|--|--|---|
| <p>Bouwen van een telescoop voor astrofotografie</p> |  Beuselinck Freek |  Beuselinck Henri |  Decoster Arne |
|  Dejager Xavier |  Denutte Pieter-Jan |  Develtere Pieter |  Kuylle Niels |
|  Landuyt Bram |  Titeca Pjittrik |  Trio Arthur |  Vancaysele Martijn |
|  Van Renterghem Anthony |  Vanwalleghem Ulrike |  Verhaeghe Dieter |  Werkbrouck Jeroen |

1 Enkele begrippen uit de fysica

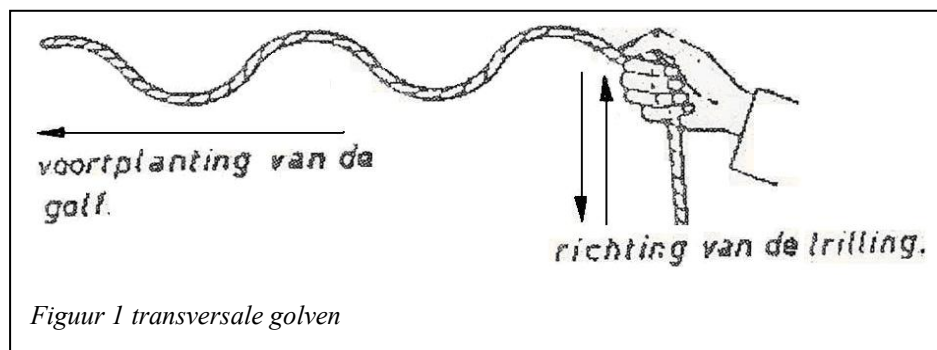
1.1 De golfbeweging

Gooien we een steen in vijver dan zien we concentrische cirkelvormige rimpels op het wateroppervlak ontstaan, deze rimpels noemen we golven. Deze golven breiden zich uit, daarbij geven ze de indruk dat ze over het wateroppervlak lopen. De initiale storing plant zich dus over het wateroppervlak voort en geeft aanleiding tot een lopende golf. De voortplantingswijze van de storing draagt de naam van golfbeweging. Liggen we op verschillende plaatsen dobbers dan zie we deze bij doorgang van de golf, een op- en neergaande beweging uitvoeren. Deze beweging staat loodrecht op de voortplantingsrichting van de golf. Een dergelijke golfbeweging noemen we transversaal. Hieruit leren wij, dat het niet de waterdeeltjes zijn die zich langs het wateroppervlak verplaatsen, maar dat het alleen de storing is die wordt voortgeplant.

De voortplantingswijze van een transversale lopende golf wordt goed weergegeven door middel van de golfmachine van Weller.

Wij moeten dus goed onderscheid maken tussen de trilsnelheid en de voortplantingssnelheid van de golfbeweging.

1.1.1 Transversaal lopende golven



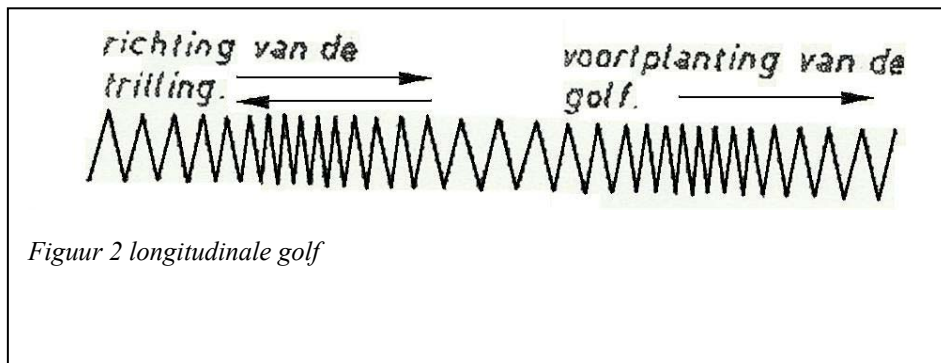
Transversale lopende golven doen zich niet enkel voor op een oppervlak maar op elk elastisch lichaam.

1.1.2 Longitudinaal lopende golven

Monteren wij een spiraalveer tussen twee vaste wanden en drukken wij aan het ene uiteinde enkele windingen samen om ze daarna plots los te laten dan zien we een storing doorheen de veer lopen. De oorspronkelijke storing plant zich in de veer voort als een verdichting en verdunning van de veerwindingen. Het heen en weer trillen van een veerwinding gebeurt nu volgens de richting waarin de storing (golf) loopt. Een golfbeweging waarbij de trilrichting dezelfde is als de richting waarin de golf loopt noemen we een longitudinale lopende golf.

Sluit de beide uiteinden van een wijde glazen buis af met een veerkrachtig vlies. Hang een bolletje op dat een van beide vliezen raakt. Geef nu een korte slag op het andere vlies dan komt het bolletje in een trillende beweging. De beweging van het ene vlies werd, langs de lucht kolom binnen in de buis, op het andere vlies overgedragen. De lucht bracht de storing longitudinaal over.

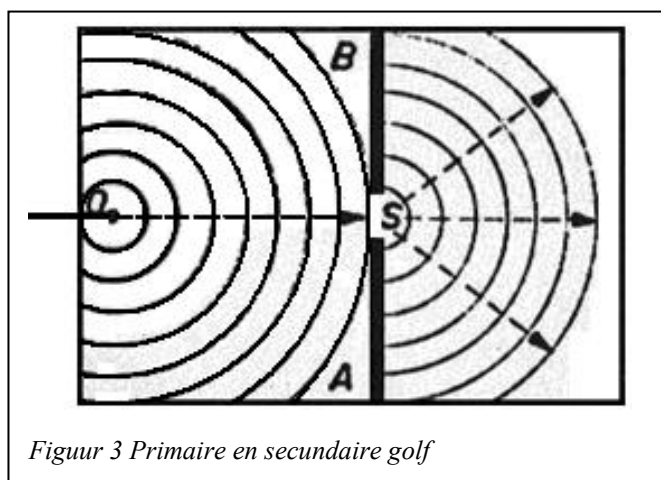
Longitudinale golven verplaatsen zich volgen de trilrichting van de trillende deeltjes.



1.1.3 Het beginsel van Huygens

Om de voortplanting van golven te bestuderen gebruikte de Nederlander Christiaan Huygens (1629-1695) een schaal gevuld met water. Een dergelijk hulpmiddel noemen we een rimpeltank.

Een rimpeltank is een metalen bak met een glazen bodem waarin men een dun laagje water giet. Dit laat toe om een stroboscopische belichting onder de tank aan te brengen. Naast deze rimpeltank heeft men ook nog een trillingsbron nodig, daarvoor gebruikte men een elektromagnetisch systeem dat zeer regelmatige trillingen kan opwekken. De stroboscopische belichting is gesynchroniseerd met de frequentie van de triller. Dit alles laat toe om een stilstaande projectie van het golfbeeld te verkrijgen. Op de horizontale trillingsstaaf bevestigt men een bolvormige dobber zodat deze in het midden van de tank iets onder water steekt. Laat men de dobber op en neer trillen dan zullen de waterdeeltjes rondom de dobber mee op en neer trillen. Deze waterdeeltjes trillen in fase. Samen vormen ze een golffront. Nu is de voortplantingssnelheid van een golf in een homogeen midden in alle richtingen even groot. We zien dus concentrische cirkelvormige golffronten ontstaan met het storingcentrum (de dobber) als middelpunt.



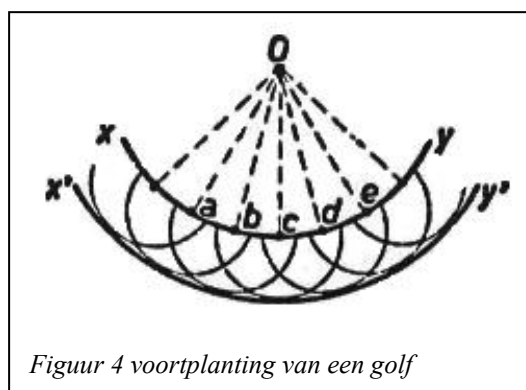
Verplaatsen we nu de puntvormige trillingsbron naar de kant toe en brengen we ongeveer in het midden van de tank, een hindernis aan waarin een spleet (S) zit.

Zoals hierboven aangehaald, wordt door de trillende dobber cirkelvormige golven uitgezonden. Beschouwen wij de uitbreiding van de golven in de richting van de golfstaaf OS. Het golffront bereikt de spleet en geeft daar het ontstaan aan van een nieuwe reeks cirkelvormige golven die achter het scherm voortlopen.

Deze secundaire golven doen zich voor alsof de trillingsbron zich bevinden in de spleet S. Het zelfde verschijnsel treedt op wanneer men de dobber vervangt door een horizontale staaf. Hierbij ontstaan er rechtlijnige golffronten. Wanneer dit rechtlijnig golffront het scherm raakt, ziet men opnieuw cirkelvormige secundaire golven zicht voortplanten achter het scherm.

Het lijkt alsof een lopende golf zich om een hindernis heen kan buigen.

Huygens was de eerste om dit buigingsverschijnsel te bestuderen. Volgens hem zouden die secundaire golven zich ook vormen als er geen hindernis voor handen is. Hij nam aan dat elk punt van een golffront het uitgangspunt is van een golfbeweging. Laat bijvoorbeeld a,b,c,d... punten zijn van een cirkelvormig golffront XY. In elk punt van dit golffront zullen secundaire golven ontstaan, die Huygens elementaire golven noemde.



Figuur 4 voortplanting van een golf

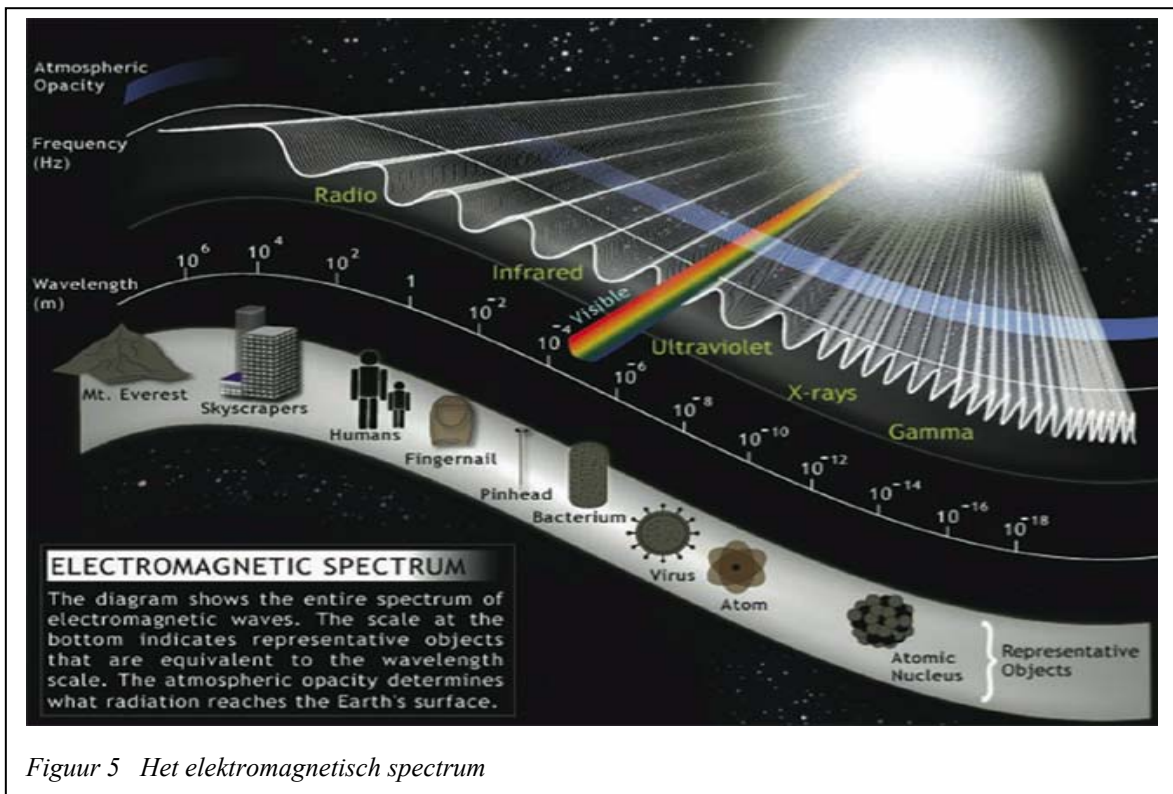
In een homogeen midden, waar de voortplantingssnelheid dezelfde is in alle richtingen, zullen na zekere tijd, de golffronten van de elementaire golven zo gevorderd zijn, dat hun omhullende een nieuw golffront vormt, nl. $X'Y'$. Dit nieuwe golffront is gelijkvormig met XY , dus ook cirkelvormig. Op dezelfde manier zal dan elk punt van het nieuwe golffront $X'Y'$ een uitgangspunt zijn van elementaire golven. Zo blijft dit proces zich herhalen.

Daar in een homogeen midden alle golffronten van een golvenstelsel gelijkvormig zijn, zal een rechtlijnig golffront, rechtlijnig blijven. Zo ook zullen alle golffronten van een sferische golfbeweging concentrische boloppervlakken zijn.

Besluit: Formulering van het beginsel van Huygens:

Elk punt dat getroffen wordt door een primaire golfbeweging wordt in trilling gebracht. Dit punt wordt dus een trillingsbron en meteen ook de oorzaak van een secundaire golfbeweging. De uitwendig omhullende van de secundaire golven vormen een nieuwe primaire golf.

1.2 Het elektromagnetisch spectrum



Figuur 5 Het elektromagnetisch spectrum

1.2.1 Inleiding

De meeste mensen staan er niet bij stil welke schat aan informatie we kunnen halen uit de elektromagnetische straling die ons vanuit de ruimte bereikt. Alle verschillende elektromagnetische stralen samen noemt men “het elektromagnetisch spectrum”. Dit spectrum kun je een vingerafdruk noemen van het lichaam dat het uitstuurde. Uit een studie van het spectrum (spectrumanalyse) van een ster kan men de temperatuur, de chemische samenstelling, de magnetische activiteit, de draairichting, de snelheid, de afstand en nog veel meer van die ster bepalen. De meeste straling die we ontvangen op aarde kunnen we niet zien, behalve een bepaald gedeelte dat we (zichtbaar)-licht noemen.

1.2.2 Bouw van de materie

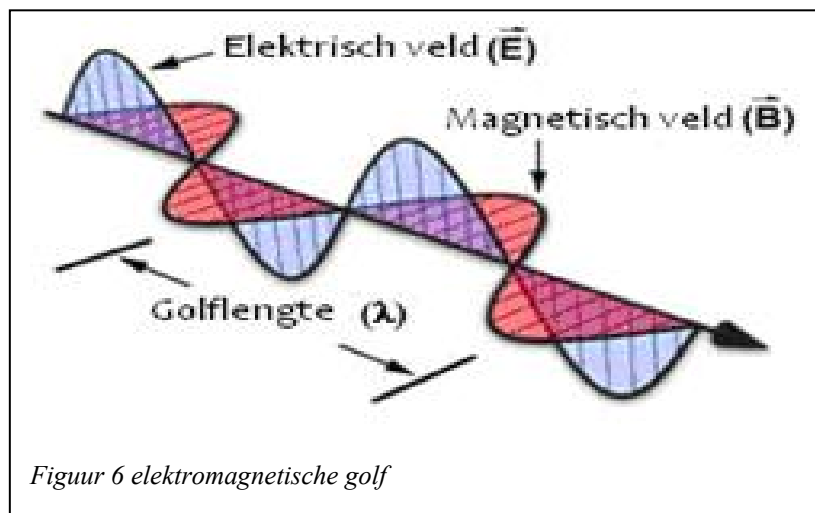
Alle materie bestaat uit atomen. Een atoom bestaat zelf uit 5 stabiele elementaire deeltjes: protonen, neutronen, elektronen, neutrino's en fotonen. Protonen en neutronen vormen samen de kern van het atoom. We noemen ze de kerndeeltjes. Protonen dragen een positieve lading terwijl de neutronen geen lading dragen. Elektronen zijn relatief kleine ten opzichte van deeltjes en dragen een negatieve lading. De elektronen bewegen over de kern heen met een bepaalde snelheid. De kern (protonen en neutronen) bezit het overgrote deel van de massa van het atoom. De twee andere elementaire deeltjes, neutrino's en fotonen, ontstaan door interactie tussen elektronen, protonen en neutronen. Deze interacties ontstaan

door de vier fundamentele natuurkrachten: de zwakke en sterke kernkracht, het elektromagnetisme en de zwaartekracht. Alle elektronen van een atoom draaien in welbepaalde banen rond de atoomkern. Elk van deze banen stemt overeen met een bepaalde energie-inhoud. Wanneer een elektron van een baan met een hogere energie-inhoud naar een baan met een lagere energie-inhoud valt, dan komt hierbij een foton vrij en stuurt dat elektron zijn overtollig energie uit in vorm van een foton (licht-straal).

1.2.3 Een elektromagnetische golf

Een elektromagnetische golf (EM-golf) is eigenlijk een energieverplaatsing in de ruimte. Een EM golf bestaat uit een magnetische en elektrische componenten die loodrecht op elkaar en loodrecht op de voortplantingsrichting staan. Elke EM-golf is gekenmerkt door zijn golflengte, amplitude en frequentie.

Voorbeeld van een elektromagnetische golf:



De **golflengte** (symbool: λ) is de afstand tussen twee toppen van een golf van 1 periode.

De **frequentie** is het aantal keer dat de golf zich herhaalt per seconde. Dit wordt uitgedrukt in Hertz (1 Hz = 1/s).

Er is een directe relatie tussen golflengte en frequentie van een golf: $\lambda = c/f$

Zo komen we bij de golfsnelheid van een EM golf (c). Daar licht een vorm is van EM-straling is deze snelheid meteen ook te omschrijven als de lichtsnelheid. Elektromagnetische golven planten zich voort met een constante snelheid. In vacuüm (luchtledige) heeft de lichtsnelheid een waarde van 299 792 458 m/s. Meestal ronden we het af naar 300 000 km/s.

1.2.4 Ontstaan van een elektromagnetische golf

Telkens een elektrische lading een versnelling ondergaat ontstaan er EM-golven. Er zijn 3 algemene manieren om die elektronen te versnellen:

Zwarte lichaam straling

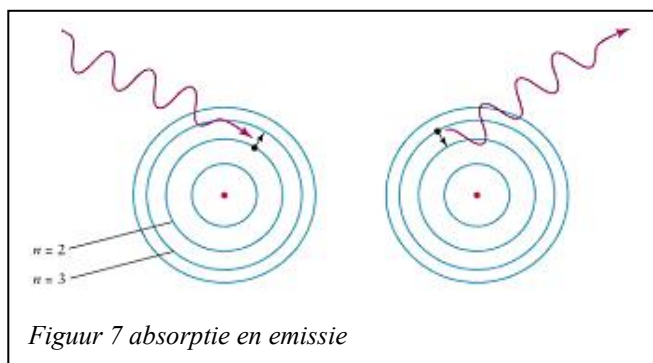
Alle lichamen, of ze nu vast, vloeibaar of gasvormig zijn, bestaan uit atomen (moleculen) die voortdurend in trilling zijn. Alle lichamen stralen dus constant elektromagnetische straling uit. De atomen trillen heviger naarmate de temperatuur hoger is. Warmen we bv een ijzeren staaf op dan zal deze vervolgens rood, geel, ... en uiteindelijk witgloeiend worden. Moest het mogelijk zijn de staaf tot één miljoen graden op te warmen, dan zou deze voornamelijk röntgenstraling uitzenden.

Afbuigen van elektronen

Een tweede manier om elektromagnetische straling op te wekken is door het afbuigen van geladen deeltjes. Als een elektron (negatieve lading) op korte afstand voorbij een proton (positieve lading) beweegt, zal de baan die het elektron volgt afgebogen worden. Het elektron ondergaat dus een tangentiële versnelling en dus zendt het straling uit. Hoe sterker de afbuiging en hoe hoger de snelheid van het elektron, hoe energierijker de straling is.

Aanslaan van elektronen

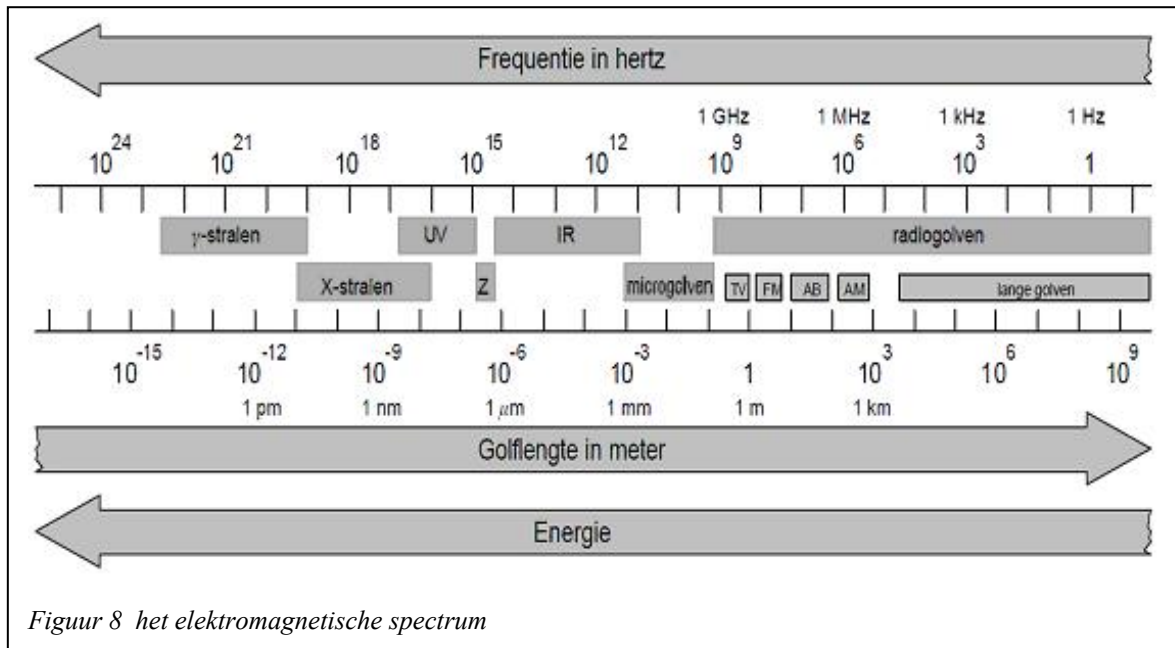
Een derde manier is door elektronen in een atoom of ion (geladen atoom) aan te slaan d.w.z. er energie aan toe te voegen. Het elektron wordt zo verplicht op een baan met een hogere energie-inhoud te gaan bewegen. We zeggen dat het elektron zich in aangeslagen



toestand bevindt. Deze toestand is echter niet stabiel. Het aangeslagen elektron zal na enige tijd spontaan terugvallen in zijn oorspronkelijke (stabiele) baan. Daarbij stoot het zijn overtollige energie onder de vorm van elektromagnetische energie (een foton) uit. Bij hooggeladen zware ionen kan die overtollige energie zo groot worden dat het foton een röntgenfoton is.

1.2.5 Energie van een elektromagnetische golf

Elektromagnetische golven kunnen zeer energierijk zijn. Denk maar aan de warmte die we



Figuur 8 het elektromagnetische spectrum

ontvangen via de zonnestraling. De energie van een EM-golf is recht evenredig met de frequentie van de golf. Hoe hoger de frequentie, hoe meer energie de golf bevat. De energiehoeveelheid van een golf kan worden berekend aan de hand van de volgende formule: $E = h \cdot f$

Hierbij is h de constante van Planck. Deze is gelijk aan $6,63 \times 10^{-34}$ Js.

$h = (6,626\,069\,3 \pm 0,000\,001\,1) \times 10^{-34}$ J . s Si-eenheid

1.2.6 Het elektromagnetisch spectrum

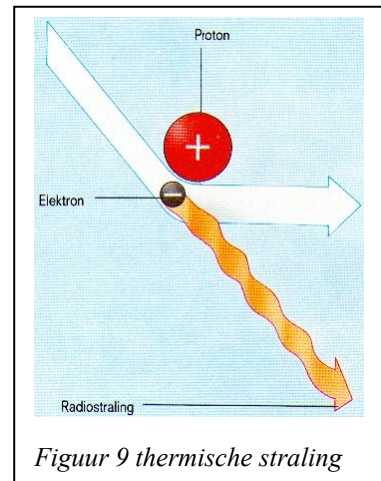
Het elektromagnetisch spectrum wordt traditiegetrouw ingedeeld in een aantal frequentiebanden die elk een eigen naam hebben. Zo hebben we het in volgorde van stijgende frequentie over radiogolven, microgolven, infrarode straling, zichtbaar licht, UV-straling, röntgenstraling en gammastraling. We kunnen opmerken dat bij een stijgende frequentie een stijgende energie inhoud en een dalende golflengte hoort.

1.2.7 Radiogolven

De radiogolven zijn ontdekt door Heinrich Hertz in 1888. Radiogolven hebben de grootste golflengte van het elektromagnetisch spectrum. De frequentie van radiogolven liggen tussen enkele hertz en 1 GHz. Hun golflengten variëren dus tussen vele kilometers en 30 cm. Radiogolven worden in het dagelijkse leven veel gebruikt. Zo worden ze bijvoorbeeld gebruikt voor radio en televisie. Hiervoor worden radiogolven gebruikt met hoge frequenties. Zendamateurs gebruiken een zo laag mogelijke frequentie omdat deze golven worden teruggekaatst door de ionosfeer en hierdoor hebben ze een heel groot bereik. Radiogolven kunnen op verschillende manieren ontstaan.

Thermische straling

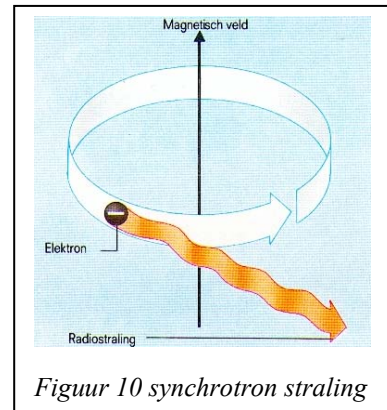
Deze ontstaat wanneer er elektrisch geladen deeltjes zich in een heet geïoniseerd gas bevinden: de atomen vallen uiteen in positief en negatief geladen deeltjes. De warmte zorgt ervoor dat de atomen hevig beginnen te trillen met botsingen tot gevolg. Door die botsingen worden de elektronen uit hun schil geslingerd waardoor dat elektron zijn overvloedige energie uitzendt.



Figuur 9 thermische straling

Synchrotron straling

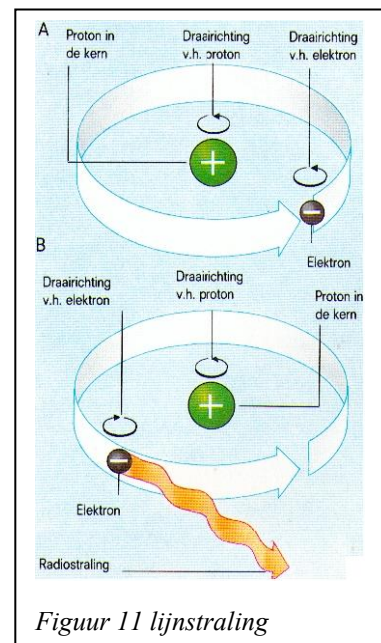
Deze wordt ook veroorzaakt door een versnelling van elektronen, maar het verschil zit hem in de oorzaak van de versnelling. Het elektron wordt versneld d.m.v. een magnetisch veld. Deze straling wordt gekenmerkt door dat de golven gepolariseerd zijn.



Figuur 10 synchrotron straling

Lijnstraling

Lijnstraling wordt gekenmerkt door een zeer smalle bandbreedte. Deze straling is bijna altijd afkomstig van interstellair waterstofgas. In eerste instantie hebben het proton in de kern en het elektron op zijn baan omheen het proton een parallelle spin. Het waterstofatoom is in deze hoge energietoestand instabiel. Het elektron zal spontaan van draairichting veranderen en krijgen proton en elektron een tegengestelde spin. Hierdoor daalt het energieniveau en wordt het geheel stabiel. Het energieverschil wordt uitgezonden in de vorm van radiostraling met een frequentie van ongeveer 1420 MHz. Dit komt overeen met een golflengte van 21 cm. In dit verband heeft men het vaak over de 21 cm lijn van waterstof.



Figuur 11 lijnstraling

1.2.8 Microgolven

Microgolven hebben een golflengte tussen de 30 cm en 1 mm. Dit betekent dat microgolven een frequentie hebben van 1 GHz tot 300 GHz. Deze golven lijken een beetje op lichtstralen wat afbuiging en weerkaatsing betreft, maar microgolven kunnen in tegenstelling tot lichtstralen ook in niet-transparante materialen binnendringen.

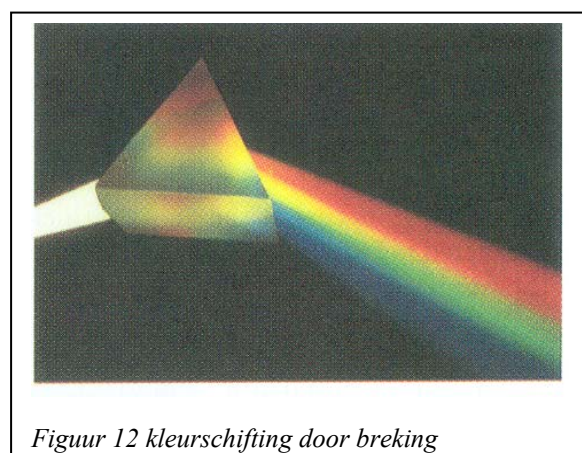
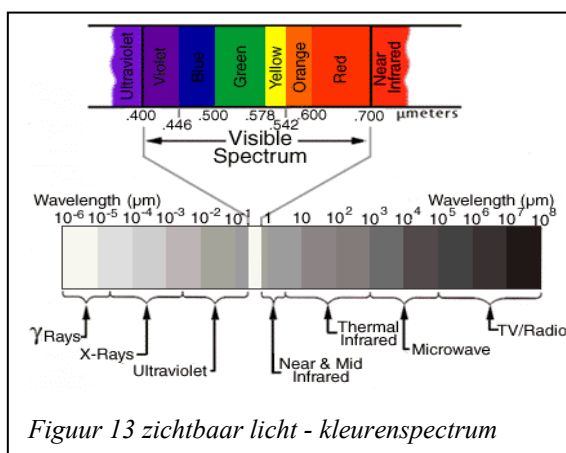
Dit wordt bijvoorbeeld toegepast in de magnetron. Microgolven worden geabsorbeerd door het water in het voedsel. Dit heeft als gevolg dat de watermoleculen heviger gaan trillen en dat het eten vervolgens warm wordt. Er is dus een interactie tussen de microgolven en de materie (het voedsel).

1.2.9 Infrarode straling

De infrarode straling werd in 1800 ontdekt door William Herschel (ontdekker van de planeet Uranus). Deze straling heeft een golflengte van 1 mm tot 780 nm. Omdat infrarode straling warmte afgeeft als die bijvoorbeeld op de huid valt, wordt deze straling ook wel warmtestraling genoemd. Infrarode straling wordt veel toegepast in fotografie en afstandsbepalingen, maar ook in bijvoorbeeld warmtelampen. Zo worden infraroodfoto's gemaakt door middel van de infrarode straling die voorwerpen afgeven. Deze wordt opgevangen op een film die gevoelig is voor infrarode straling. Hierdoor is het onder andere mogelijk om in het donker foto's te maken, in het donker te kunnen zien (nachtkijkers) Rondom de aarde zweven verschillende satellieten die de mogelijkheid hebben om infrarode foto's te maken van de aarde of een ander hemellichaam.

1.2.10 Zichtbaar licht

Het unieke aan licht is dat we het kunnen zien met het blote oog. De drie variabelen die licht beschrijven zijn lichtsterkte, frequentie of golflengte en de trillingsrichting. De studie van licht en de interactie van licht met materie heet optica. Licht trilt in verschillende vlakken. Sinds het begin van de 19^{de} eeuw weet men dat elektrische en magnetische velden hand in hand gaan. Het is onmogelijk het ene van het andere te scheiden: heb je een



bewegende lading dan heb je onmiddellijk een magnetisch veld. Heb je een verandering in het magnetisch veld, dan heb je stroom.

Het was Christiaan Huygens die als eerste beweerde dat het licht een golfverschijnsel is. Maxwell stelde als eerste dat licht een elektromagnetische golf is. Wanneer licht componenten bevat uit alle mogelijke trilrichtingen, dan zeggen we dat het licht circulair gepolariseerd is. Is er één welbepaalde voorkeursrichting, dan is dit licht lineair gepolariseerd.

Het zichtbare licht heeft een golflengte van 780 nm (rood) tot 380 nm (violet). Dit gebied wordt ook wel het kleurenspectrum genoemd. Tussen rood en violet bevinden zich de andere kleuren, namelijk oranje, geel, groen, blauw en indigo. Deze kleuren zijn ook terug te vinden in de regenboog of na breking van licht door middel van een prisma.

1.2.11 Ultraviolet licht

De golflengte van ultraviolet licht ligt tussen de 380 nm en de 12 nm. Onze zon is een natuurlijke bron van ultraviolette straling. De meeste ultraviolette straling wordt door ozon aanwezig in de dampkring geabsorbeerd. Dit is erg belangrijk voor het leven op aarde. Een te grote hoeveelheid ultraviolette straling kan dodelijk zijn voor levende wezens.

De ultraviolette straling die de atmosfeer van de aarde doorlaat, bestaat uit UV-A en UV-B. Type B is de meest energierijke van de twee en verantwoordelijk voor zonnebrand. De laatste jaren zien medici steeds meer de schadelijke effecten van UV-A onder ogen. De straling veroorzaakt geen verbranding, maar speelt wel een rol in veroudering van de huid en het ontstaan van huidkanker.

1.2.12 Röntgenstraling

In 1895 ontdekte Wilhelm Konrad Röntgen de X-stralen. Later werden deze stralen genoemd naar de ontdekker. Röntgenstralen hebben een golflengte die tussen de 12 nm en de 0,002 nm ligt. Een kenmerkende eigenschap van röntgenstraling is dat het door bijna alle stoffen heen dringt. Hierbij gaat een deel verloren door absorptie. Een andere eigenschap is dat veel stoffen fluorescerend worden wanneer ze in aanraking komen met

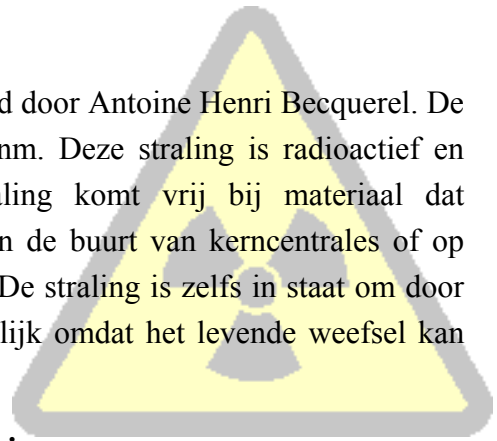
röntgenstralen. Wanneer er een menselijk lichaam tussen een röntgenapparaat en een fluorescerend scherm wordt geplaatst, dan verschijnen op het scherm schaduwen van de botten. Dit komt omdat bot de röntgenstralen beter absorbeert dan de zachte delen. In plaats van een fluorescerend scherm kan ook een film worden gebruikt. Dit wordt veel toegepast in ziekenhuizen.



Figuur 14 Röntgenstraling

1.2.13 Gammastralen

De gammastralen zijn in 1903 voor het eerst vastgesteld door Antoine Henri Becquerel. De golflengte van gammastralen ligt beneden de 0,002 nm. Deze straling is radioactief en heeft een hoog doordringingvermogen. Gammastraling komt vrij bij materiaal dat radioactief is (uranium). Het is ook vaak te vinden in de buurt van kerncentrales of op plaatsen waar een kernexplosie heeft plaatsgevonden. De straling is zelfs in staat om door lood en cement heen te gaan. Deze straling is gevaarlijk omdat het levende weefsel kan beschadigen.



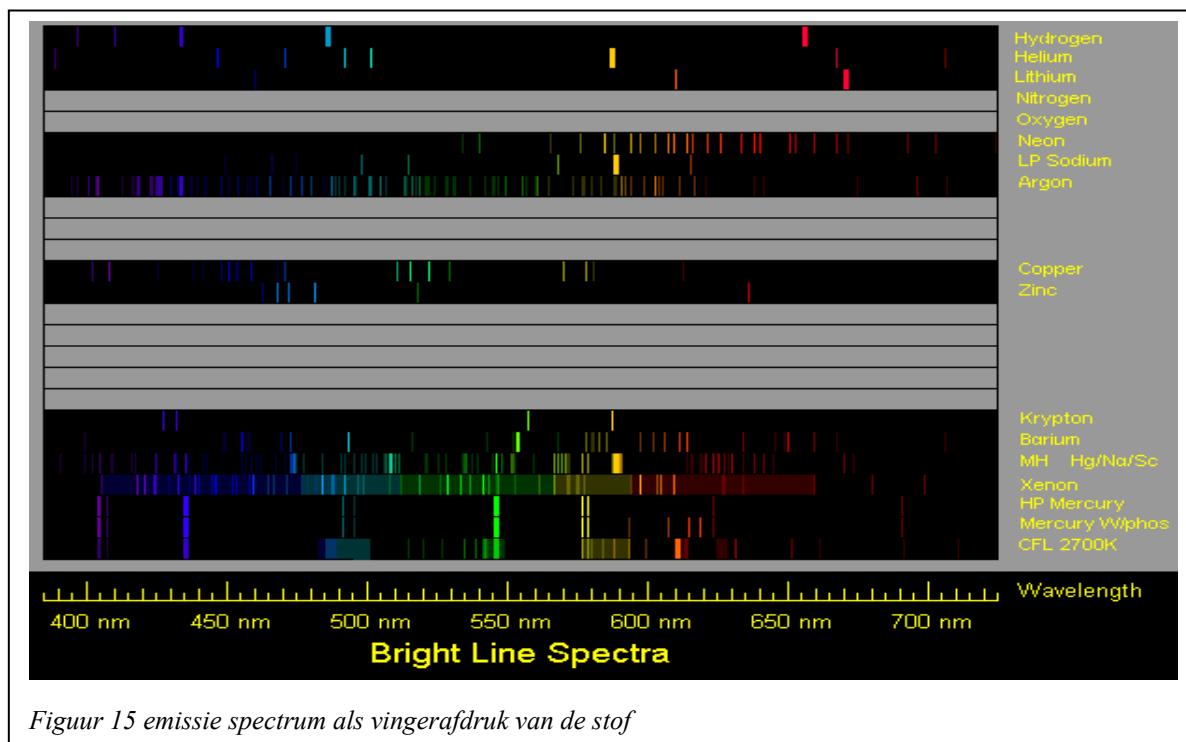
1.2.14 Elektromagnetische straling en astronomie

Astronomen kunnen heel wat informatie puren uit de elektromagnetische straling die ons vanuit het heelal bereikt. Zo kan men bijvoorbeeld:

- de temperatuur van sterren
- de stoffen waaruit een ster bestaat
- de bewegingssnelheid
- draairichting
- afstand
- magnetische activiteit

1.2.15 Samenstelling van een ster

In de 19^{de} eeuw was men al bezig met spectroscopie. De wetenschappelijke ontwikkeling van de spectroscopie begint bij Isaac Newton. Hij bestudeerde het licht met behulp van

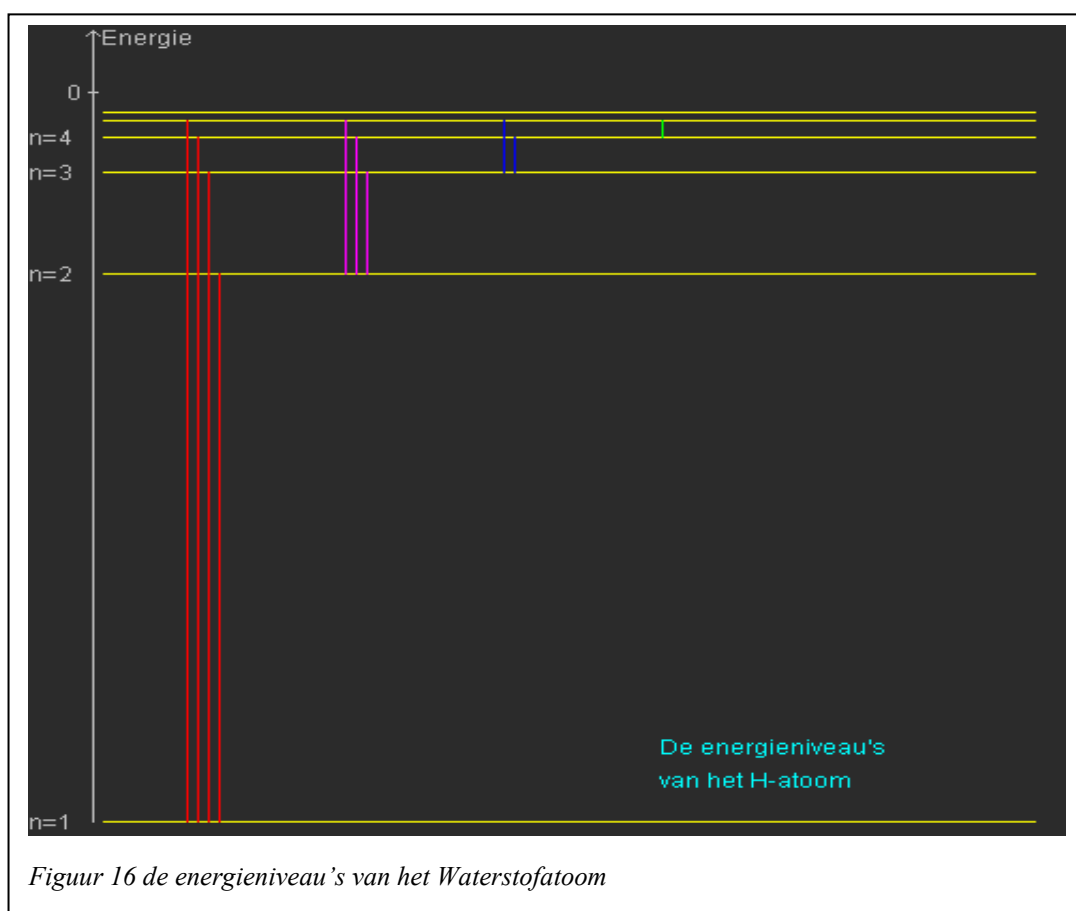


Figuur 15 emissie spectrum als vingerafdruk van de stof

prisma's. Zodoende ontdekte hij dat licht bestaat uit een verzameling van gekleurde lichtstralen. De spectroscopie bestudeert nu net deze verzameling gekleurde lichtstralen.

Even ter herhaling: wanneer een elektron van een baan met een hogere energie-inhoud valt op een baan met een lagere energie-inhoud, dan straalt dat elektron zijn overtollig energie uit onder de elektromagnetische golf. Elk soort atoom bezit unieke energieniveaus waartussen de aangeslagen elektronen kunnen vallen. Bij elk van deze mogelijke valpartijen wordt een andere bijhorende hoeveelheid energie uitgestoten. Met andere woorden atomen zijn te herkennen aan de elektromagnetische golven die ze uitstralen.

De fotonen die binnen het zichtbaarheidspectrum liggen noemen we de Balmer-reeks. Er zijn ook nog andere reeksen zoals de Lyman, Brackett, Paschen-reeksen, maar deze kunnen we met het blote oog niet zien.



Figuur 16 de energieniveau's van het Waterstofatoom

1.2.16 De snelheid van een ster

De golflengte van het licht uitgestraald door een lichtbron die zich met grote snelheid van de waarnemer verwijdt, wordt langer (de frequentie wordt lager) waargenomen naarmate deze snelheid groter is. Dit noemt men “roodverschuiving”. In de praktijk is de roodverschuiving alleen meetbaar bij de zeer hoge snelheden die in het heelal voorkomen. De roodverschuiving wordt kwantitatief uitgedrukt in de relatieve verandering z van de golflengte λ ten opzichte van de uitgezonden (oorspronkelijke) golflengte λ_0 :

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{f_0 - f}{f}$$

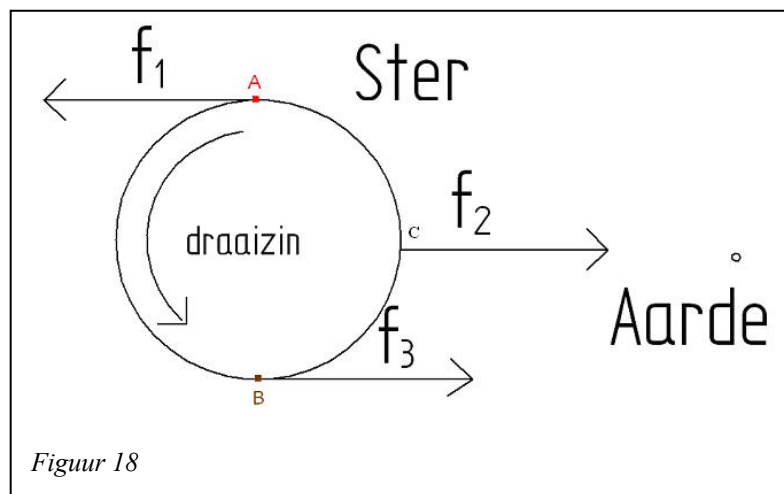
Uitgedrukt in frequenties is z de relatieve verandering van de uitgezonden frequentie f_0 ten opzichte van de waargenomen frequentie f . Daar de roodverschuiving het gevolg is van het dopplereffect voor een lichtbron en een waarnemer die zich met snelheid v van elkaar verwijderen, volgt voor z :

$$z = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} - 1 = \sqrt{\frac{1+\frac{v}{c}}{1-\frac{v}{c}}} - 1$$

Als de lichtbron en de waarnemer van elkaar weg bewegen, dan is $z > 0$. In het andere geval, lichtbron en waarnemer naderen elkaar, is $z < 0$ en spreekt men over blauwverschuiving. Als er geen relatieve beweging is, dan is $z = 0$, en is er ook geen spectrale verschuiving. Voor snelheden v die veel kleiner zijn dan de lichtsnelheid c , geldt bij benadering voor de roodverschuiving:

$$z \approx \frac{v}{c}.$$

1.2.17 Draairichting van een ster bepalen



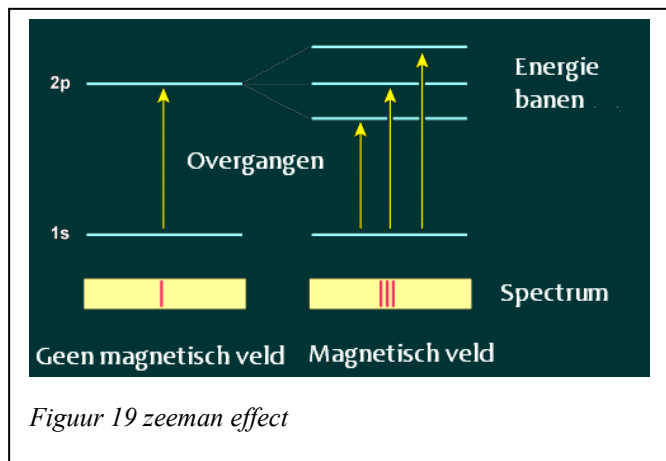
Figuur 18

De draairichting van een ster kunnen we ook achterhalen met behulp van spectrumanalyse. Nadat we het normale emissiespectrum f_2 bepaald hebben kunnen we het vergelijken met de emissiespectrums van de uiterste punten van de ster. Uit deze vergelijking kunnen we de omtreksnelheid van de ster bepalen.

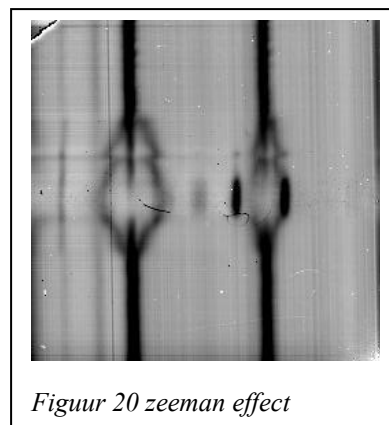
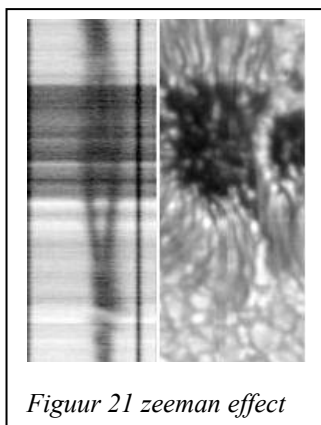
In bovenstaande figuur zal het spectrum uitgezonden door A (f_1) een roodverschuiving laten zien ten opzichte van het spectrum uitgezonden door C (f_2). Voor het spectrum uitgezonden door punt B (f_3) is het omgekeerde de waarheid. Het spectrum uitgezonden door het punt B laat een blauwverschuiving zien ten opzichte van het spectrum uitgezonden door het punt C (f_2). Uit de opgemeten spectra kunnen we dus de draaizin en de omtreksnelheid van de ster afleiden.

1.2.18 Het zeeman effect

De magnetische activiteit van een ster kunnen we achterhalen via het zeeman effect. Als een atoom in een magnetisch veld terecht komt, dan splitsen de energieniveaus in verschillende deelniveaus, dus ook de spectraallijnen. Dit verschijnsel noemt men het zeeman effect. Omgekeerd als men in een spectrum ziet dat bepaalde spectraallijnen gesplitst zijn in twee of meerdere lijnen dan kan men afleiden dat de atomen die deze lijnen uitstralen zich in een magnetisch veld bevinden.



Op deze wijze ontdekte men de sterke magnetische velden van zonnevlekken. Wanneer men het spectrum van licht afkomstig van een zonnevlek bekijkt, merkt men de splitsing van bepaalde spectraallijnen onmiddellijk op. Dit komt doordat er zich bijzonder sterke magneetvelden bevinden in een zonnevlek.



Figuur 21 en 22 tonen absorptie-spectraallijnen die door de sterke magnetische velden in een zonnevlek gesplitst zijn. Merk op dat de splitsing het grootst is in het centrum van de zonnevlek (umbra) omdat daar het magnetische veld het sterkst is.

1.3 Radiotelescopen

1.3.1 Inleiding

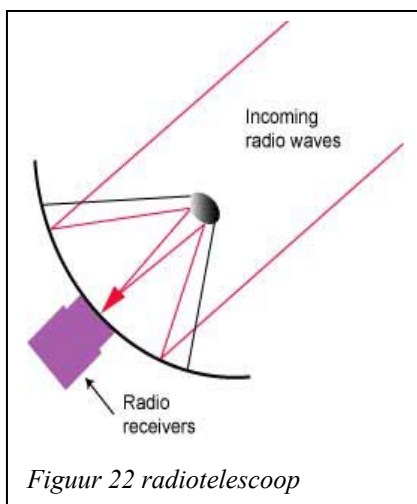
Zoals met optische kijkers gaan we met een radiotelescoop de ruimte rondom ons bestuderen. Radiostraling kan door mensen niet rechtstreeks waargenomen worden. De opgevangen radiostraling zullen we moeten omzetten in een interpreteerbare voorstelling. Denk misschien even aan een kleurencode bij de voorstelling van het reliëf van een landschap.

1.3.2 Geschiedenis

Aan het einde van de 19^{de} eeuw werd voor het eerst radiostraling afkomstig uit de ruimte waargenomen. Deze straling veroorzaakte ruis in het signaal voor radio's. Bij het zoeken naar de herkomst van deze ruis concentreerde men zich eerst op de zon. Door het gebrek aan gevoelige detectiemogelijkheden maakte men niet veel vorderingen. Pas in 1932 leek de tijd rijp. Door gebruik te maken van een antenne array kon men de eerste betrouwbare vaststellingen doen. Men kon onomstotelijk vaststellen dat de bewuste ruis niet afkomstig was van de zon. De storingen op het radiosignaal bleken afkomstig van nabij en zelfs van veraf verwijderd onweer. Het permanente gesis in de radioontvangst bleef een onbekende oorzaak hebben.

De verdere speurtocht naar deze oorzaak was de drijfveer achter de verdere ontwikkeling van de eerste radiotelescoop. Tegenwoordig kunnen we stellen dat dankzij de uitvinding van de radiotelescoop ons melkwegstelsel in kaart is gezet.

1.3.3 Werking van een radiotelescoop



Een radiotelescoop is een schotel die radiogolven opvangt en doorstuurt naar een ontvanger. De ontvanger zet de waargenomen straling via elektronische weg in een voor analyse bruikbare vorm om.

Een goede radiotelescoop moet aan volgende eigenschappen voldoen:

- de schotel moet een groot verzamelvlak hebben;
- de resolutie moet zo groot mogelijk zijn zodat de antenne hemellichamen kan onderscheiden die dicht bij elkaar staan.

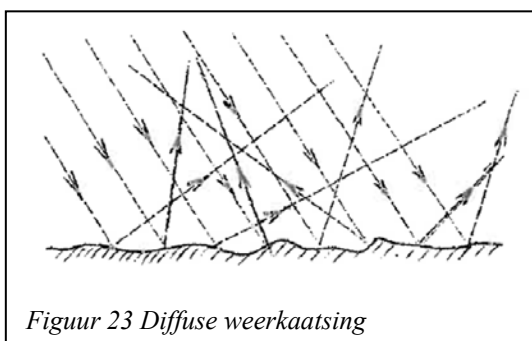
Deze hoge resolutie is zeer belangrijk in de astronomie. Zo kan de radiotelescoop objecten die dicht bij elkaar staan veel beter uit elkaar onderscheiden. Verder streeft men naar een zo groot mogelijke diameter van de antenne. Voor een goede ontvangst moet de diameter best vele malen groter zijn dan golflengte die men wil bestuderen. Anders gezegd: hoe groter de golflengte van de op te vangen stralen, hoe groter de diameter moet zijn.

Met een optische kijker met spiegeldiameter van 10 cm is het mogelijk 2 mensen te onderscheiden die 1 meter uit elkaar staan op een afstand van 200 km. Een gewone radiotelescoop met schoteldiameter van 30 meter (wat een gebruikelijke afmeting is voor een dergelijke schotel) kan deze mensen slechts tot op 60 meter uit elkaar onderscheiden. Om diezelfde resolutie als deze van de optische kijker te bekommen moet de schotelantenne een diameter van minstens 1 km hebben. Deze is zelfs met de huidige technologie niet te bouwen.

1.4 Weerkaatsing of reflectie

1.4.1 Diffuse of verstrooide weerkaatsing

Diffuse weerkaatsing is het verschijnsel waarbij evenwijdig invallende lichtstralen op een



Figuur 23 Diffuse weerkaatsing

niet gepolijst oppervlak terugkaatsen. De invallende lichtstralen komen terecht op oppervlakte-elementjes die onderling zeer verschillende vlakrichtingen hebben. Door deze oppervlakte-elementjes weerkaatsen de lichtstralen in de verschillende punten in zeer uiteenlopende richtingen. De lichtstralen worden in alle richtingen teruggekaatst.

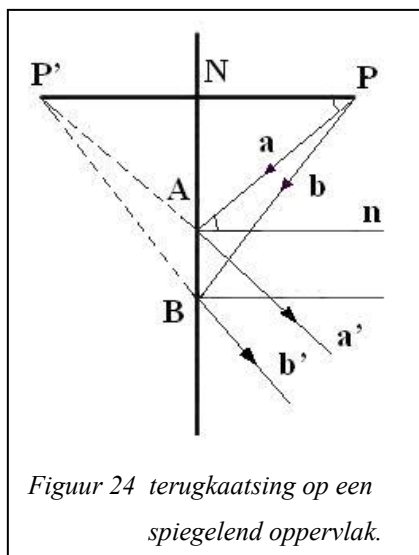
1.4.2 Beeldvorming door een vlakke spiegel

Valt een bundel evenwijdige lichtstralen op een effen vlak (vlakke spiegel), dan worden alle lichtstralen uit de bundel op een zelfde wijze teruggekaatst. Dit wil zeggen dat alle teruggekaatste lichtstralen eenzelfde richting hebben. Dit verschijnsel noemt men regelmatige terugkaatsing.

Er valt op te merken dat bij glazen spiegels de terugkaatsende laag niet het glasoppervlak maar wel een metaaloppervlak is. Het glasoppervlak weerkaatst slechts 5% van de invallende lichtstralen. Toch is deze hoeveelheid teruggekaatste lichtstralen oorzaak van een storing bij de vorming van het spiegelbeeld. Voor een zo nauwkeurig mogelijke weergave van het weerkaatste beeld opteert men voor metalen spiegels. Verder moet opgemerkt worden dat spiegelglas twee terugkaatsende vlakken bezit: het verzilverde oppervlak maar ook het voorste glasoppervlak. Het weerkaatsende vermogen van het glasoppervlak is echter veel kleiner dan dat van het metaal oppervlak. Hierbij moet verder nog opgemerkt worden, dat de bundel, die door het verzilverde oppervlak teruggekaatst wordt, niet volledig de spiegel verlaat. Een deeltje van de stralen wordt immers door het binnenvlak van de glasplaat opnieuw richting verzilverd oppervlak teruggekaatst. Dit verschijnsel doet zich herhaalde keren voor. Het gevolg hiervan is dat een waarnemer niet één, maar verscheidende naast elkaar liggende beelden van het lichtpunt in de spiegel ziet. Men kan deze veelvuldige beelden waarnemen, als men onder een redelijk grote hoek in de

spiegel kijkt. Als de invalshoek nul of nagenoeg nul is, dan liggen de secundaire beelden zo goed als op elkaar.

Eerst zullen we de beeldvorming van een punt bespreken om daarna over te gaan tot de beeldvorming van een lichaam.



Wanneer lichtstralen vanuit een punt P op een vlakke spiegel invallen, dan hebben de teruggekaatste stralen een zodanige richting, dat hun verlengden achter de spiegel elkaar snijden in het punt P'. Hierbij ligt P' symmetrisch met P ten opzichte van de spiegel. Om dit aan te tonen beschouwen we de in A invallende lichtstraal a. Nu weten we dat de hoek van terugkaatsing gelijk is aan de invalshoek. De terugkaatsende straal a' tekenen we van A tot A'. Verlengen we de lijn AA' achter het spiegelende oppervlak door (AP') dan snijdt deze punt P'. In deze figuur vinden we volgende gelijkheden:

$$< nAP = < NPA \quad (\text{verwisselende binnenhoeken bij evenwijdige rechten})$$

$$< NPA = < NP'A \quad (\text{wegens symmetrie})$$

$$< NPA' = < nAA' \quad (\text{overeenkomstige hoeken bij evenwijdige rechten})$$

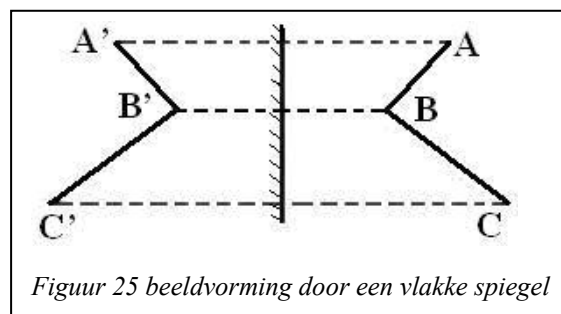
De rechte AA' vormt dus met de normale n een hoek $< nAA'$ gelijk aan de invallende hoek $< nAP$. De weerkaatste straal a' vormt echter met n een even grote hoek, en valt dus samen met AA'. Hiermee is aangetoond dat een willekeurige weergekaatste straal bij verlenging achter de spiegel door P' gaat.

Daar alle teruggekaatste stralen uit de richting van P' komen wordt door parallaxische waarneming het lichtpunt in P' gesitueerd. Het punt P' is het beeld van het punt P. Omdat er in P' in werkelijkheid geen licht aanwezig is, wordt het beeld P' virtueel genoemd.

Uit de beeldvorming door een vlakke spiegel van een punt, kunnen we de beeldvorming van een voorwerp afleiden.

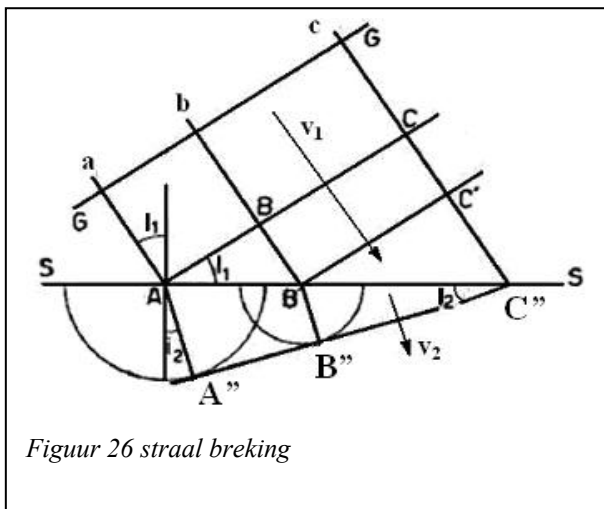
Men stelt dit voorwerp voor als een puntenstelsel. Ieder punt uit dit puntenstelsel wordt dan afgebeeld door een punt dat er symmetrisch ten opzichte van de spiegel mee

ligt. De verzameling van al deze beeldpunten is een puntenstelsel, symmetrisch met het voorwerp. Dit symmetrische puntenstelsel wordt in de spiegel net zoals het voorwerp aanzien. Men spreekt over het spiegelbeeld, kortweg beeld van een voorwerp. Hierbij is dit beeld virtueel.



1.5 Breking of refractie

Laat $a b c$ een vlak golffront zijn dat invalt op de scheidingslijn van twee oppervlakken met verschillende voortplantingssnelheid voor golven. Wij noemen v_1 de voortplantingssnelheden van de golven in het eerste midden



Figuur 26 straal breking

heden van de golven in het eerste midden en v_2 de voortplantingssnelheid in het tweede midden. Wanneer de golfstraal a de brekingslijn treft in A , wordt de golfstraal gebroken en vanuit A plant zich een elementaire golf voort in het tweede midden. Een ogenblik later zal de golfstraal b de brekingslijn bereiken in B , gebroken worden en vanuit B zal eveneens een elementaire golf zich in het tweede midden voortplanten. Nog een ogenblik later, dit is het tijdsverloop t

nadat het golffront in A aankwam, bereikt de golfstraal de brekingslijn.

Uit deze figuur kunnen we nu al afleiden dat wanneer een lichtstraal overgaat van een optisch ijlere naar een optisch dichtere middenstof, de straal naar de normaal toe gebroken wordt. Bij overgang van een optisch dichte stof naar een optisch ijle stof breekt de straal van de normale weg.

1.5.1 De brekingswetten van Snellius-Descartes

De brekingswetten werden voor het eerst opgesteld door Snellius, alias Willebrord Snel van Royen. Hij was een Nederlandse wis- en sterrenkundige die leefde van 1580 tot 1626. Op hetzelfde werd hetzelfde verschijnsel met succes bestudeerd door René Descartes in Frankrijk. Beide geleerden kwamen bijna gelijktijdig tot dezelfde brekingswetten. Tot op vandaag spreekt men uit respect voor beiden over de brekingswetten van Snellius-Descartes.



Figuur 27 Willebrord Snel van Royen

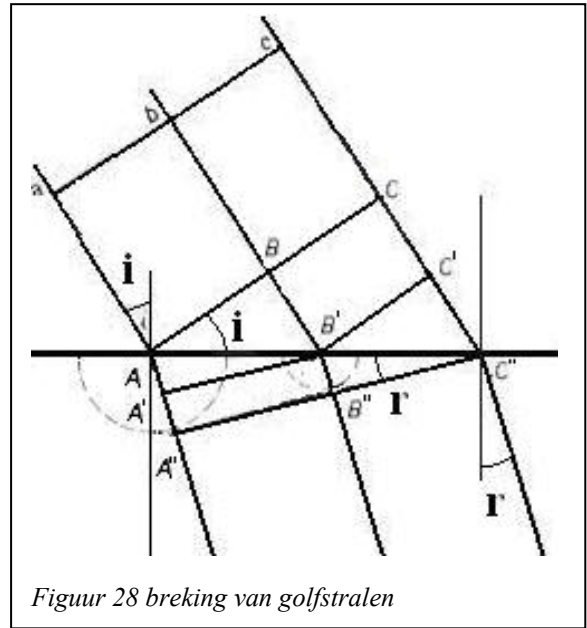
1.5.2 De brekingsindex

De snelheden v_1 en v_2 zijn constant. De verhouding van deze snelheden is dus ook een constante. Deze verhouding willen we even van dichterbij bekijken.

$$\sin i = \frac{CC''}{AC''} \text{ en } \sin r = \frac{AA''}{AC''}$$

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{CC''}{AC''} \cdot \frac{AC''}{AA''} = \frac{CC''}{AA''}$$

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\Delta t \cdot v_1}{\Delta t \cdot v_2} = \frac{v_1}{v_2} = n$$



De verhouding van de snelheden is een constante en noemt men de brekingsindex (n). Deze verhouding blijkt gelijk te zijn aan de verhouding van de sinussen van de invalshoek i en de hoek van breking r. Anders dan de snelheden zijn de hoeken i en r eenvoudig meetbaar. Men kan dus de brekingsindex op eenvoudige wijze meten en berekenen.

Indien het eerste middenstof het vacuüm is, dan spreekt men over de absolute brekingsindex. De waarden van de absolute brekingsindex zijn te vinden in tabelvorm. Bespreekt men de overgang van een milieu 1 naar een milieu 2 dan spreekt men over de relatieve brekingsindex.

De brekingsindices voor enkele min of meer alledaagse media zijn:

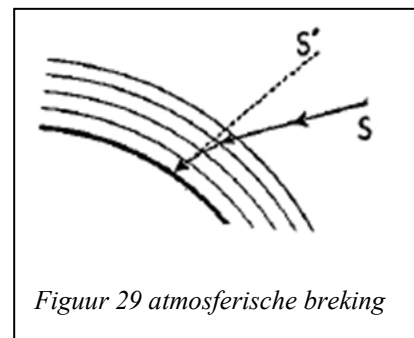
| | | | | | |
|---------|---------|------------------|------|-------------|------|
| Lucht | 1,00029 | Perspex | 1,49 | Diamant | 2,42 |
| Water | 1,33 | Laagbrekend glas | 1,50 | Kwarts | 1,44 |
| Alcohol | 1,36 | Hoogbrekend glas | 1,90 | Vensterglas | 1,52 |

1.5.3 Toepassingen

Er bestaat een toepassing van breking die verband houdt met onze geïntegreerde proef. Dit gaat over de atmosferische breking.

De dichtheid van de luchtlagen neemt af naarmate men hoger in de atmosfeer stijgt. Deze afname gaat gepaard met een gelijkmatige vermindering van de optische dichtheid.

Er bestaat een regel die zegt dat de stralen van de hemellichamen (zon, maan, sterren), die op de aarde neervallen, de normaal benaderen. Aangezien de grenzen van de luchtlagen in werkelijkheid niet scherp afgetekend zijn, neemt de optische dichtheid van de atmosfeer geleidelijk toe in de richting van de aarde. Het gevolg hiervan is dat de lichtstralen uit de ruimte, terwijl ze de aarde benaderen, afgebogen worden naar de normaal toe. De lichtstralen ondergaan dus een kromming. Deze kromming



is groter, naarmate de stralen schuiner op de aarde invallen. Zo ondergaan de zonnestralen een groter wordende kromming naarmate de zon zich lager aan de horizon bevindt. Dit is bij zonsopgang en –ondergang. Men heeft berekend, dat in deze gevallen de breking van de zonnestralen ongeveer 30' bedraagt. Daar waar de zonneschijf ook ongeveer onder een hoek van 30' wordt gezien, volgt hieruit, dat wij, bij zonsopgang of –ondergang, de zon juist boven de horizon zien terwijl deze in werkelijkheid nog net onder de horizon staat. De flikkering van de sterren is te wijten aan de voortdurende dichtheidsveranderingen van de hogere atmosferische lagen.

1.6 Kleurschifting of dispersie

Dit treedt op wanneer men wit licht, dat uit alle kleuren bestaat, door een prisma laat invallen. Dit witte licht wordt dan ontbonden in een waaier gekleurde stralen die onder verschillende richtingen uittreden. Dat kleurengamma werd door Newton een spectrum genoemd. De reden dat de verschillende kleuren onder verschillende hoeken uittreden moet gezocht worden in de verschillende brekingsindexen die het glas heeft voor de verschillende lichtsoorten.

Het was Newton die als eerste deze interpretatie gegeven heeft. Het verschijnsel was al veel vroeger bekend, toen zag men de kleuren niet als componenten van wit licht, maar wel als uitgezonden door het prisma, nadat wit licht erin binnengebroken was. Newton heeft zijn interpretatie proefondervindelijk gestaafd door de gebroken stralen door een tweede prisma te sturen dat omgekeerd opgesteld was. Hierdoor liepen de stralen terug in elkaar en werd het licht opnieuw wit.

De mate van dispersie wordt uitgedrukt door het getal van Abbe (V). Dit getal is genoemd naar de Duitse fysicus Ernst Abbe (1840-1905) die het getal als volgt definieerde.

$$V = \frac{n_e - 1}{n_{F'} - n_{C'}}$$

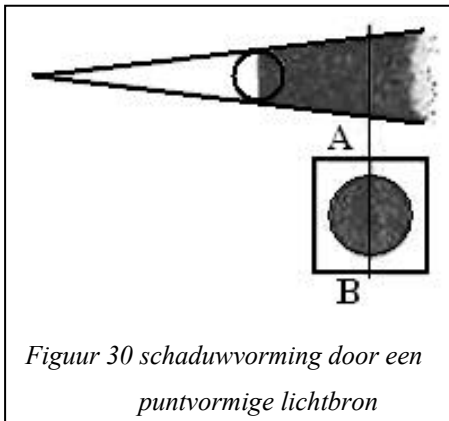
Met n_e , $n_{F'}$ en $n_{C'}$ de brekingsindices van het materiaal bij de golflengtes van Fraunhoferlijnen e, F' en C' (546,07 nm, 479,99 nm en 643,84 nm).

Het getal van Abbe is dus een dimensieloos getal. Hoe groter de getalwaarde, hoe geringer de kleurschifting is. Materialen die een hoge brekingsindex hebben, hebben in de praktijk een grotere dispersie en dus een kleiner getal van Abbe.

Fraunhoferlijnen zijn donkere lijnen in een absorptiespectrum. Deze werden voor het eerst waargenomen in 1802 door de Engelse chemicus William Hyde Wollaston (1766-1828) in het spectrum van de zon. Daar zijn de Fraunhoferlijnen zichtbaar als scherpe pieken die een lagere lichtintensiteit hebben dan het omliggende golflengtegebied.

1.7 Geometrische schaduwvorming

1.7.1 Schaduwvorming voor een puntvormige lichtbron

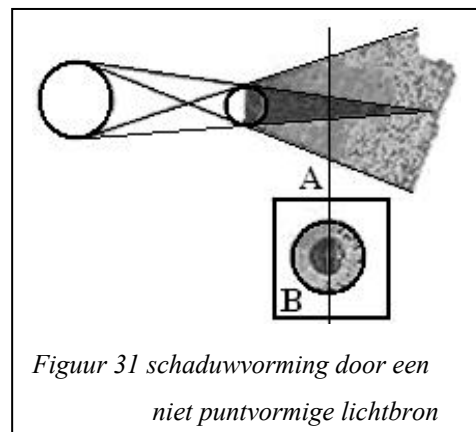


Een puntvormige lichtbron kunnen we bekomen door voor een gewone lichtbron een ondoorschijnend scherm te plaatsen waarin een zeer nauwe opening geboord is.

Een ondoorschijnende bol die door een puntvormige lichtbron wordt belicht, krijgt achter zich een donkere ruimte in de vorm van een afgeknotte kegel, waarin geen lichtstralen doordringen. Deze ruimte noemt men de schaduwkegel. Het bestaan hiervan kan enkel waargenomen worden indien men een wit scherm plaats na de bol. Op het scherm tekent zich dan een donkere schijf af.

1.7.2 Schaduw afgeworpen door een niet-puntvormige lichtbron

Nu verlichten we de bol met een niet-puntvormige lichtbron die groter is dan de bol. Dan vormt zich achter deze bol een schaduwkegel waarin geen enkele lichtstraal terecht komt. Deze kegel noemt men de kernschaduw of slagschaduw. Rondom deze kernschaduw wordt een ruimte waargenomen (in de vorm van een afgeknotte kegel) die minder duister is dan de eerste. In deze kegel dringen wel lichtstralen van de lamp door maar niet alle lichtstralen. Deze halfschaduw noemt men de bijschaduw.



Als we opnieuw een wit scherm zouden plaatsen, zou men in dit geval zien dat er in het midden een donkere cirkelvormige schijf is met daar rond een half donkere ring.

1.7.3 Toepassingen

Er bestaan enkele toepassingen van schaduwvorming die te maken hebben met onze telescoop. Zo heb je het ontstaan van schijngestalten op de maan en zons- en maansverduisteringen.

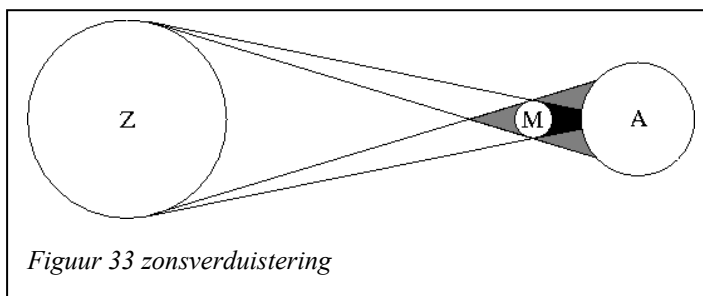
Om te beginnen zal ik het hebben over de schijngestalten op de maan. De opeenvolgende gestalten van de maan worden verklaard door het feit, dat wij slechts dat deel kunnen waarnemen dat door de zon verlicht wordt.



Figuur 32 schijngestalten van de maan

Bij volle maan staat de aarde tussen de zon en de maan. Daardoor is het volledige verlichte deel van de maan naar de aarde toegekeerd. Naarmate de maan zich rond de aarde verplaatst, neemt het verlichte deel in grootte af.

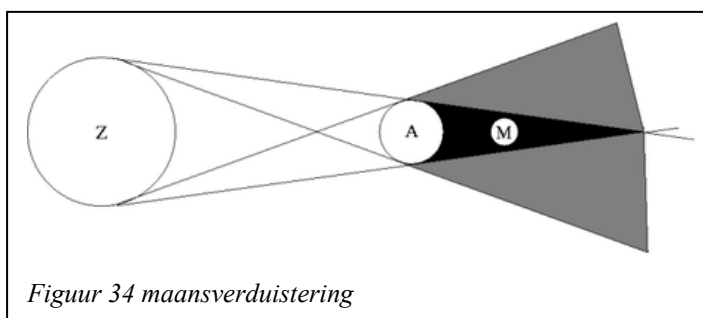
Wanneer voor een aardse waarnemer de maan zijdelings door de zon wordt belicht, is alleen een halve cirkel zichtbaar. Enkele dagen daarna zal de maan tussen de zon en de aarde staan. Het deel van de maan dat naar de aarde is toegekeerd is in het duister (nieuwe maan). Daarna neemt het verlichte deel van de maan opnieuw toe.



Vervolgens heb je dan ook nog zonsverduistering. Zowel de aarde als de maan zijn kleiner dan de zon. Als deze door de zon beschenen worden werpen zij een kernschaduw met bijschaduw af.

Er zal zich een volledige of gedeeltelijke zonsverduistering

voordoen, naargelang de waarnemers zich bevinden op plaatsen van de aarde die in de kernschaduw of in de bijschaduw van de maan zijn gelegen.



Integendeel wanneer de maan door de schaduwkegel van de aarde gaat, is er een maansverduistering. Komt dit verschijnsel voor bij volle maan, dan tekent zich op de verlichte maanshijf een zwarte cirkel af.

1.8 BUIGING OF DIFFRACTIE

Buiging of diffractie is het verschijnsel waarbij golven om een hindernis heen buigen. Daar licht een golfverschijnsel is buigt ook licht omheen een hindernis. Met andere woorden, “er moet licht te vinden zijn binnen de geometrische schaduw. Bij een oppervlakkige waarneming van schaduwen zal men geen buigingsverschijnselen vaststellen. Ondoorzichtige lichamen in een lichtbundel gebracht werpen immers duidelijk afgelijnde schaduwen af.

Bij dit alles moeten we bedenken dat de golflengte van het licht een paar honderd nanometer is. Het buigingsverschijnselen wordt pas merkbaar bij hindernissen met afmetingen in de orde van enkele golflengten.

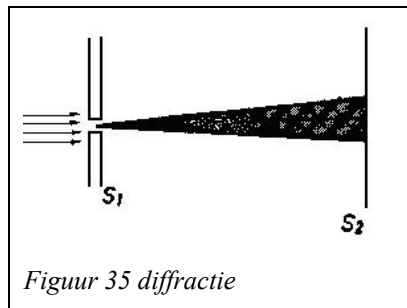
Bij hindernissen van de orde kan men weldegelijk buiging vaststellen.

Proef:

Laten wij een evenwijdige monochromatische lichtbundel vallen op een ondoorzichtig scherm, dat voorzien is van een zeer nauwe spleet. Plaatsen wij een tweede scherm op tamelijk grote afstand van het eerste en vangen wij er het beeld van de spleet op.

Wij constateren dat dit beeld breder is dan de spleet en daarbij niet eenvormig belicht: in het midden ziet men een zeer heldere streep en langs weerszijden hiervan een opeenvolging van donkere en heldere strepen, die in intensiteit zeer sterk afnemen naarmate ze verder van de centrale lichtstreep verwijderd zijn.

Deze strepen worden diffractiestrepen of buigingsstrepen genoemd. De heldere strepen hebben de kleur van het gebruikte monochromatische licht.



1.9 Absorptie

Absorptie betekent opnemen. Tijdens een zonnige zomerdag schakelen we gewillig over op het dragen van witte kledij. Deze kledij voelt veel frisser aan dan zwarte. Zwarte kledij is onder deze omstandigheden effectief warmer daar zwart licht absorbeert.

1.10 Interferentie

Als licht een golfverschijnsel is moet het mogelijk zijn om interferentie van lichtgolven te verwezenlijken. In de rimpeltank deden we dit met watergolven door gebruik te maken van coherente trillingsbronnen. Hieronder verstaan we twee trillingsbronnen die niet samenvallen en trillen met zelfde amplitude, fase en frequentie.

Interferentie met licht vraagt dus om twee coherente lichtbronnen. Deze lichtbronnen zijn moeilijk te verkrijgen, en dit om volgende reden.

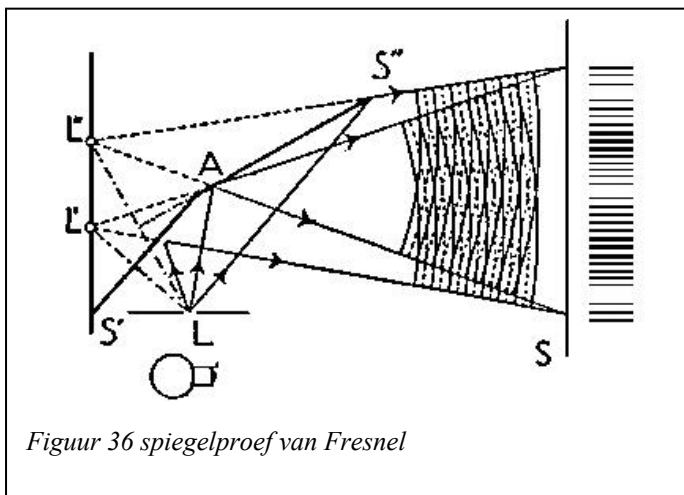
Het licht wordt uitgezonden door de atomen of moleculen waaruit de lichtbron opgebouwd is. De energieomzettingen in de lichtbron hebben tot gevolg dat elk atoom af molecule van tijd tot tijd, gedurende een korte tijdsperiode, licht uitzendt. Elk atoom of molecule wekt dus golfreksen of golfreinen op van eindige lengte.

De tijd die nodig is voor het uitzenden van een golfrein wordt geschat op 10^{-8} s. Daar waar de lichtsnelheid $3 \cdot 10^8$ m/s is, heeft een dergelijke golfrein een lengte van ongeveer $3 \cdot 10^8 \times 10^{-8} = 3$ m. Zo'n golfrein bevat dus nog ettelijke miljoenen golflengten. De golflengten, uitgezonden door de verschillende atomen en moleculen, kunnen dus wel dezelfde frequentie hebben, maar hun onderlinge faseverschil verandert voortdurend op grillige wijze. Elk interferentieverschijnsel zou zeker om 10^{-8} s gewijzigd worden. Daar waar de werkingstijd van ons oog ongeveer 0,1 s bedraagt, zouden we er niets van waarnemen. Een onveranderlijke en voor het oog waarneembare interferentietoestand kan slechts opgewekt worden door lichtbronnen van dezelfde frequentie, die steeds in fase zijn of een constant faseverschil hebben. Dergelijke lichtbronnen noemt men coherent.

De aangewezen methode om coherent licht te verkrijgen komt hierop neer, dat men langs het licht, uitgezonden door atomen of moleculen van eenzelfde lichtbron, langs verschillende wegen op eenzelfde plaats terecht laat komen.

In 1822 slaagde Fresnel voor het eerst in laten zien van interferentie bij licht. In onderstaande proef kan je lezen hoe hij erin slaagde om die interferentie te verwezenlijken.

We plaatsen een monochromatische lichtbron L tegenover twee spiegels S' en S'' die met elkaar een bijna gestrekte hoek van 180° vormen. Als monochromatische lichtbron gebruiken we een natriumlamp N, die voor een nauwe verstelbare spleet wordt geplaatst, waarvan L een doorsnede is, loodrecht op het vlak van de tekening, deze spleet is dus evenwijdig met de ribbe A van beide spiegels. De spiegels zijn niet vervaardigd uit gewoon glas, en dit om de dubbele weerkaatsing bij gewone glasspiegels te vermijden. Men



gebruikt bij voorkeur metalen spiegels of spiegels uit zwart glas. Deze spiegels geven van de spleet L twee virtuele beelden L' en L'', die dicht bij elkaar liggen naarmate de hoek tussen de twee spiegels dicht bij de 180° benaderd. De twee virtuele beelden werken nu als twee coherente lichtbronnen.

Met L' en L'' als middelpunten tekenen wij cirkels die golffronten van de uitgezonden lichtgolven voorstellen. De stralen van twee opeenvolgende cirkels verschillen van een halve golflengte van het gebruikte licht. De cirkels met stralen $2n\lambda/2$ zijn in volle lijn getekend, die met cirkel $(2n+1)\lambda/2$ zijn in puntlijn.

Waar twee gelijksoortige cirkels elkaar snijden, is de intensiteit van de licht maximaal (helder). Waar twee ongelijksoortige cirkels elkaar snijden is de intensiteit minimaal (donker).

In elk vlak dat door L'L'' en door het gemeenschappelijke gebied van de twee golfsystemen gaat, tekenen zich stellen hyperbolen af, die respectievelijk de punten met maximale amplitudes en die met minimale amplitudes verbinden. Wanneer men een wit scherm S op de doorgang van de golven plaats, ziet men afwisselend heldere en donkere strepen (interferentiestrepen of franjes) op verschijnen.

Hieruit kan men dus besluiten dat de afstand tussen de middens van twee naast elkaar liggende heldere interferentiestrepen recht evenredig is met de golflengte met de afstand van de lichtbronnen tot het scherm. Hij is omgekeerd evenredig met de afstand tussen de coherente bronnen.

1.11 Polariteit

De interferentieverschijnselen en de buigingsverschijnselen tonen ondubbelzinnig aan, dat het licht een golfkarakter bezit. Ze laten zelfs toe de golflengten van de verschillende lichtsoorten te meten, de polarisatieverschijnselen leren ons dat de lichtgolven transversale golven zijn, in tegenstelling met de geluidsgolven die longitudinale golven zijn.

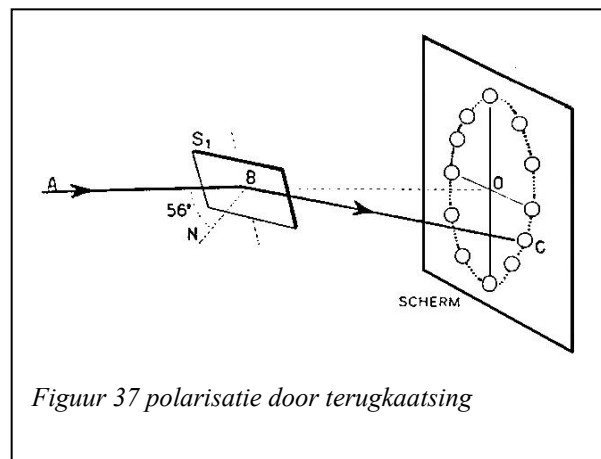
1.11.1 Polarisatie door terugkaatsing

De polarisatie van licht als je het laat terugkaatsen kan je aantonen aan de hand van de proef van Malus.

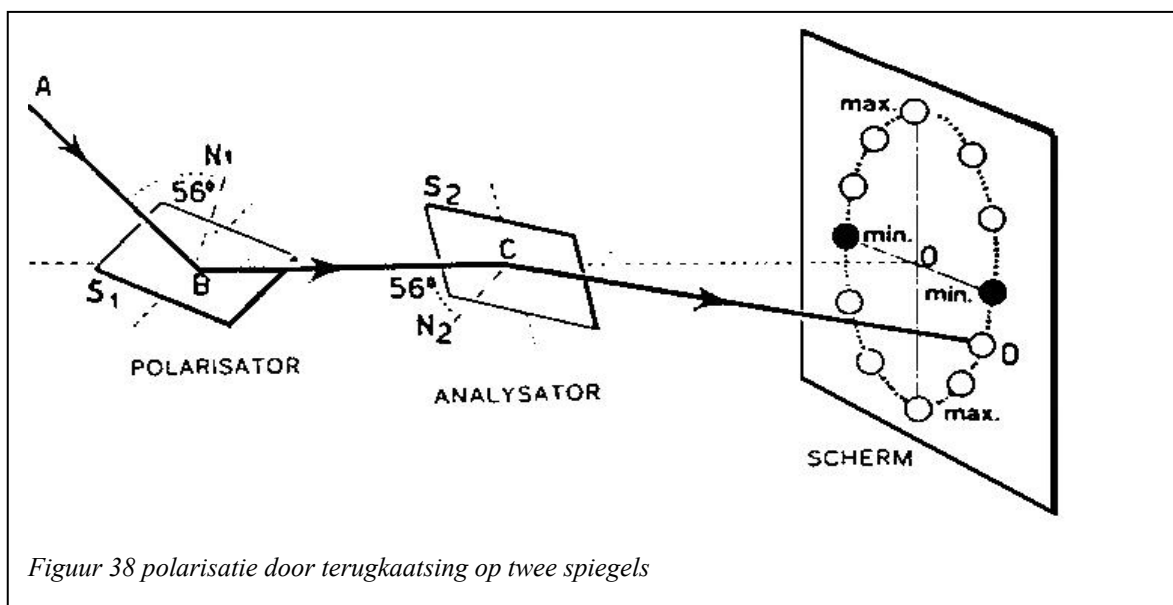
Deze proef bestaat eruit dat men een smalle evenwijdige witte lichtbundel onder een hoek van ruim 56° op een spiegel S_1 uit zwart glas vallen. Vangt men de terugkaatsende bundel op een wit scherm op, dan tekent zich op het scherm een lichtvlek C af.

Doen wij de spiegel S_1 draaien om de lichtbundel AB als as zodat dus de invalshoek i onveranderd blijft, dan doorloopt de lichtvlek een cirkel, waarvan het middelpunt O het doorgangspunt is van de as AB in het scherm.

Hierbij kunnen we waarnemen dat voor de verschillende standen van S_1 , de lichtvlek steeds dezelfde helderheid heeft.



Als we nu eens de teruggekaatste bundel BC op een tweede spiegel S_2 laten invallen onder



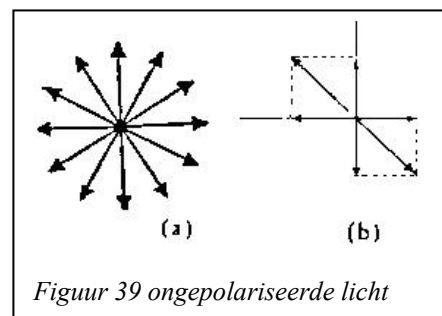
een zelfde hoek van 56° . De straal CD die door S_2 wordt teruggekaatst tekent op een wit scherm eveneens een lichtvlek D af. Doet men S_2 om de straal BC als as draaien, dan liggen de lichtvlekken wederom op een cirkel die O als middelpunt heeft.

Deze keer kan men vaststellen dat voor de verschillende standen van S_2 , de lichtvlekken op het scherm niet even helder zijn. Deze helderheid verandert periodiek. De helderheid van de lichtspot is maximaal indien de lichtstraal ABCD in één vlak ligt. Liggen de stralen AB en CD in vlakken loodrecht op elkaar dan is de helderheid van de lichtspot minimaal.

Draait men dus S_2 om BC eenmaal rond, dan ziet men de bundel CD tweemaal verdwijnen en tweemaal tot een maximumintensiteit komen door terugkaatsing op de eerste spiegel wordt de lichtstralenbundel zo beïnvloed, dat deze zich in twee onderling loodrechte richtingen totaal anders gedraagt. Men zegt dat de lichtbundel rechtlijnig gepolariseerd is. De spiegel die de polarisatie heeft veroorzaakt wordt de polarisator genoemd.

Het menselijke oog kan dit niet onderscheiden van niet-gepolariseerd licht. Daardoor heeft men dus altijd een toestel nodig bij het onderzoeken naar de polarisatieverschijnselen. Dit toestel noemt men dan de analysator. S_2 speelt hier de rol van analysator.

Een natuurlijk (niet-gepolariseerde) lichtstraal bestaat uit trillingen die in alle richtingen geschieden. Deze richtingen staan allen loodrecht op de voortplantingsrichting van de straal. Al de trillingscomponenten kunnen samengesteld worden volgens twee richtingen die loodrecht staan op elkaar, zodat men in elk punt van een lichtstraal tenslotte twee trillingsrichtingen kan onderscheiden: ab en cd. Laat

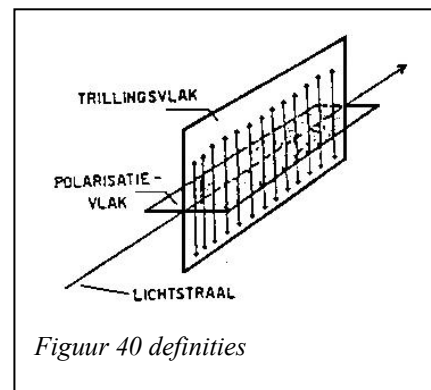


Figuur 39 ongepolariseerde licht

AB een lichtstraal zijn die onder een hoek van 56° op glas invalt. De twee hierboven vermelde trillingsrichtingen zijn op deze straal door puntjes en streepjes aangeduid. De puntjes verbeelden de trillingsrichting loodrecht op het vlak van tekening. De streepjes verbeelden de trillingsrichting in het vlak van tekening. Nu is het zo dat een deel van de invallende straal, nl. 10%, teruggekaatst wordt. Een ander deel wordt gebroken. In de teruggekaatste straal komen alleen trillingen voor loodrecht op het invalsvlak, de gebroken straal echter bestaat grotendeels uit trillingen volgens het brekingsvlak (dit valt samen met het invalsvlak) en ook voor een klein deel uit trillingen volgens de andere trillingsrichting. De straal BC wordt lineair gepolariseerde straal genoemd. Volkomen lineair gepolariseerd licht is licht waarvan de trillingsrichtingen allen in eenzelfde vlak liggen dat door de voortplantingsrichting van de straal gaat. De invalshoek waarvoor volledige polarisatie plaats heeft hangt af van de glassoort.

Enkel begrippen:

- **Polarisatievlak:** het vlak dat gevormd wordt door de lichtstraal en de loodrechte trillingsvector
- **Trillingsvlak:** het vlak waarin de gepolariseerde straal trilt. Het trillingsvlak staat dus loodrecht op het polarisatievlak.
- **Polarisatiehoek:** de invalshoek waarbij de polarisatie volledig is.



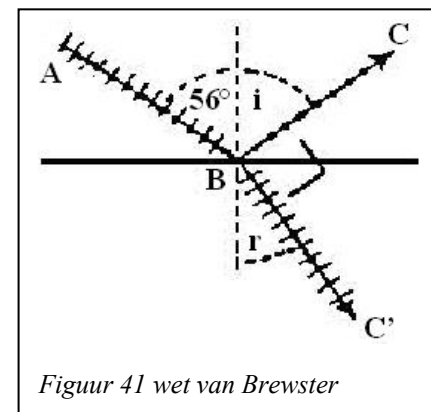
In bovenstaand voorbeeld kan je zien dat we als invalshoek 56° genomen hebben. Deze hoek wordt bepaald door de wet van Brewster en zou eigenlijk officieel moeten $56^\circ 18'$ bedragen.

Hij zei dat bij volledige polarisatie, de teruggekaatste straal loodrecht staat op de gebroken straal. In dit geval kan men dus stellen dat:

$$n = \frac{\sin i}{\sin r}$$

$$n = \frac{\sin i}{\sin(90^\circ - i)} = \frac{\sin i}{\cos i}$$

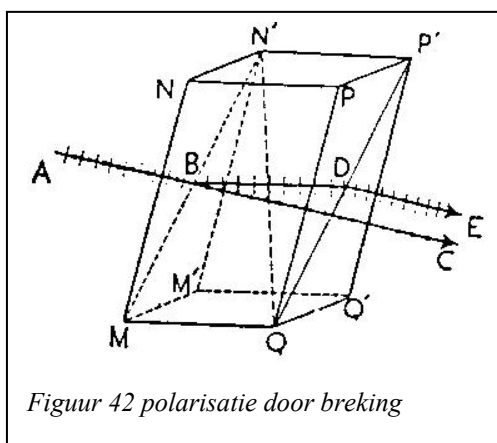
$$n = \tan i$$



Uit deze wet kun je afleiden dat de polarisatiehoek in rechtstreeks verband staat met de brekingsindex van de polariserende stof.

1.11.2 Polarisatie door breking

Een kalkspaatkristal, ook wel Ijslands spaat genoemd. Dit bezit een eigenaardige eigenschap: de *dubbele breking*. Dit komt omwille van de vorm, het is een schuine parallellepipedum.



Laat men hier een smalle lichtbundel loodrecht op een van de zijvlakken invallen, dan loopt een deel in dezelfde richting door. Dit deel van de lichtbundel treedt dan uit het kristal (ABC). Een ander deel wordt gebroken (BD). Deze treedt evenwijdig met het eerste uit het kristal (DE). De eerste straal gehoorzaamt dus aan de gewone wetten van Snellius, deze noemt men dus ook de gewone straal. De andere straal volgt de wet van Snellius niet en noemt daarom ook de

buitengewone straal. De enige richting waarin geen dubbele breking geschiedt, wordt de optische as van het kristal genoemd. Dit is de richting N'Q.

Indien men elk van de twee genoemde stralen onderzoekt, blijkt dat zij beiden volkomen gepolariseerd zijn en dat hun trillingsbewegingen van de gewone en de buitengewone straal loodrecht op elkaar staan.

Deze polarisatieverschijnselen, die bij dubbele breking optreden, laten toe dit verschijnsel te begrijpen. Kristallen bezitten door hun bijzondere structuur blijkbaar twee voorkeursrichtingen. Deze staan onderling loodrecht op elkaar. Invallend natuurlijk licht wordt door het kristal in twee onderling loodrechte lichttrillingen gesplitst, die beiden in het kristal een verschillende voortplantingssnelheden hebben. Daar waar deze snelheid echter de brekingsindex bepaalt, bezit het kristal voor elke voorkeursrichting een verschillende brekingsindex. Vandaar dat er twee gebroken stralen optreden in het kristal.

Bij sommige kristallijne stoffen die in polaroid voorkomen, treedt eveneens dubbele breking op. Toch wordt een van beide stoffen, bij voldoende dikte van de stof, nagenoeg volledig geabsorbeerd. Terwijl dit voor de andere veel minder het geval is. Daar waar de absorptie ook in zekere mate afhankelijk is van de golflengte van het licht, zal het doorgelaten licht meestal ook gekleurd zijn.

Om één van de stralenbundels, ontstaan bij dubbele breking, af te zonderen en voldoende zuiver gepolariseerd licht te verkrijgen, wordt dikwijls gebruik gemaakt van een zogenaamde nicol. Dit is een kalkspaatkristal die volgens een speciale manier geslepen is. Het kalkspaatkristal wordt daarvoor in diagonale wijze in twee stukken gezaagd. Beide stukken worden daarna weer aan elkaar gekleefd met canadabalsem. Daar waar nu de brekingsindexen van de twee gebroken stralen, die in het kristal ontstaan, verschillend zijn, zal in de ene de optisch ijlere canadabalsem totaal teruggekaatst worden. Terwijl de andere dat niet zal doen en dus zal doorgaan. Zo treedt de buitengewone straal, nagenoeg in het verlengde van de invallende straal uit. Terwijl de gewone straal aan de zijwand uittreedt. Daar wordt de gewone straal door een zwarte verflaag geabsorbeerd. De intensiteit van de uittredende gepolariseerde straal is kleiner dan die van de invallende straal, door dat de gewone straal verwijderd werd.

De richting waarin een nicol licht doorlaat noemt men de as van de nicol.

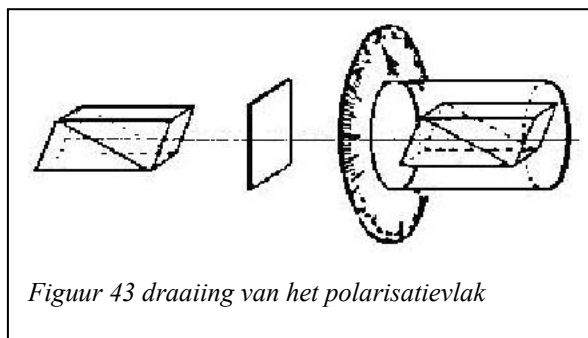
1.11.3 Draaiing van het polarisatievlak

Men plaatst twee nicols achter elkaar. Als men dit doet, dan dient de eerste als polarisator en de tweede als analysator. Daarna zendt men er een monochromatische lichtbundel doorheen. Vervolgens draait men de tweede nicol een kwartsplaatje, dan komt er weer licht door de analysator. Dit laatste noemt men weinig draaien om opnieuw uitdoving te verkrijgen.

Het kwartsplaatje waarover men hierboven sprak bezit de eigenschap het polarisatievlak te draaien. Als men bovenstaande proef herhaalt met een dikker kwartsplaatje dan stelt men vast dat het polarisatorvlak gedraaid wordt over een grotere hoek.

Indien men monochromatisch licht van een andere kleur gebruikt dan wordt hierdoor de draaiingshoek van het polarisatievlak gewijzigd. Met wit licht tot slotte, krijgt men op het scherm steeds kleuren die variëren naarmate men de analysator draait.

Stoffen die de eigenschap bezitten om het polarisatievlak te draaien, noemt men optisch actieve stoffen.



Figuur 43 draaiing van het polarisatievlak

1.12 Spectrum en spectroscop

Om het spectrum te bestuderen maakt men gebruik van een spectroscop. Dit is een toestel die zich bezig houdt met de ontleding van het licht dat door de lichamen wordt uitgezonden of opgeslorpt. De spectroscop bestaat hoofdzakelijk uit vier delen: de collimator (C), een prisma (P), een verrekijker (V) en de micrometerbuis (M). Al deze delen zijn opgesteld op een draaibare tafel die zelf op een statief is bevestigd.

Bijhorende figuur geeft deze hoofdbestanddelen in doorsnede aan. Door de verstelbare spleet A van de collimator komt licht, vanuit een witgloeiende lichtbundel, die door de convergerende lens L_1 tot een evenwijdige bundel wordt gemaakt. Het prisma P disperseert, verstrooit, deze lichtbundel. Wij duiden alleen de uiterste stralen: rood (r) en violet (v) aan.

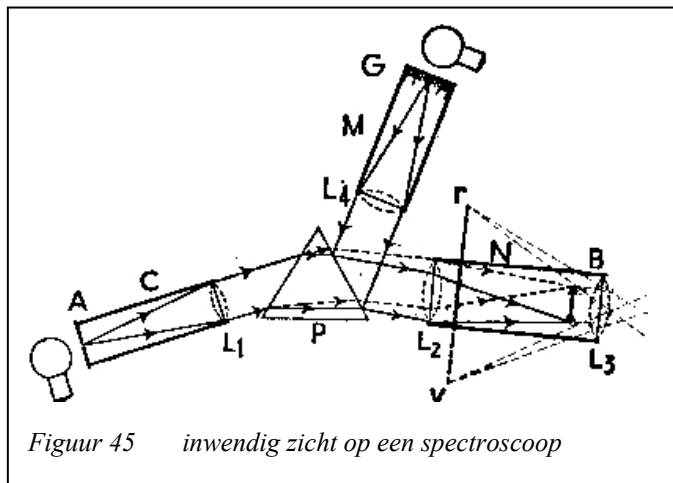
De uittredende stralen komen in evenwijdige bundels op het objectief L_2 van de verrekijker

V, waar zij geconvergeerd worden, zodat in B een reëel beeld van het spectrum wordt verkregen. Het oculair L_3 geeft ten slotte een virtueel en vergroot beeld rv.

Om de ontleding van het spectrum nog makkelijker te maken, bevat de spectroscop nog een micrometerbuis (M). Aan het ene uiteinde hiervan is een glaasje (G) bevestigd, waarop een kleine



Figuur 44 spectroscop



Figuur 45 inwendig zicht op een spectroscop

schaalverdeling is gegraveerd. Dit glaasje, dat door een tweede lichtbron is verlicht, ligt in het brandvlak van een convergerende lens L_4 , zodat de divergerende lichtstralen, die uit G komen, door L_4 evenwijdig worden gemaakt. Deze stralen worden verder door het zijvlak van het prisma P naar L_2 teruggekaatst zodat in B een beeld van G verschijnt. Het oog ziet dus terzelfder tijd de schaalverdeling en het spectrum. Deze schaalverdeling laat toe de plaats van de spectraallijnen met grote nauwkeurigheid te bepalen. Wordt in een spectroscop de kijker V vervangen door een fotografisch apparaat, dan spreekt men van een spectrograaf. Hiermede kan men dus fotografisch de spectra vastleggen.

1.12.1 Continu spectrum

Een spectrum waarin alle kleuren ononderbroken voorkomen, wordt continu spectrum genoemd. Gloeiende vaste stoffen, een booglamp, een elektrische gloeilamp, de vlam van een kaars of van een brandend gas waarin koolstofdeeltjes gloeien, zenden een continu spectrum uit.

1.12.2 Lijnspectra

1.12.2.1 Emissiespectrum

Brengen we in de niet-lichtgevende vlam van een bunsenbrander een weinig natriumchloride, dan kleurt de vlam meteen geel. Bekijken wij de vlam door de spectroscop, dan zien we een gele lijn (D-lijn) op zwarte achtergrond. De D-lijn bevindt zich dus in het geel-gebied van het spectrum.

Indien de spectroscop een groot dispersievermogen (scheidingsvermogen) heeft, kan men zien dat de gele lijn eigenlijk uit twee dicht bij elkaar gelegen gele lijnen bestaat.

Wij kunnen deze proef overdoen met andere natriumzouten, het valt op dat steeds dezelfde gele lijnen verschijnen en dat deze lijnen telkens precies dezelfde plaatsen innemen. Deze twee lijnen maken het discontinu emissiespectrum van natrium uit.

Elk chemisch element bezit een bepaald emissiespectrum dat kenmerkend is voor dit element.

Zo bestaat het emissiespectrum van waterstof uit vier lijnen: een in het rood, een in het blauw, een in het blauw-violet en een in het violet. Het emissiespectrum van neon bestaat uit verscheidene lijnen in het rood, het geel en het groen.

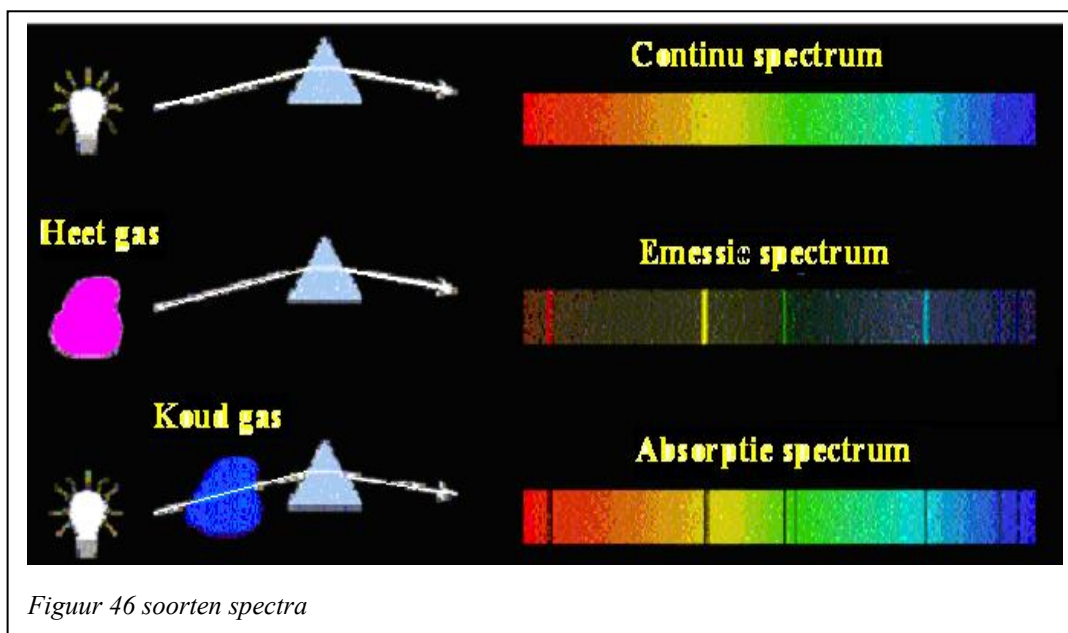
Spectra van gloeiende gassen verkrijgt men met de zgn. Geisslerbuizen. Deze buizen zijn met gassen onder lage druk gevuld. Aan de uiteinden zijn twee elektroden ingesmolten. Brengt men deze in verbinding met een Ruhmkorff-klos, dan kan men in die buizen elektrische ontladingen opwekken. Het gas verspreidt dan een gekleurd licht, dat in de spectroscop in een lijnspectrum wordt ontleed. Bij toenemende druk worden de spectraallijnen geleidelijk breder en lopen uiteindelijk in elkaar over tot een continu spectrum. Onder lage druk geven gloeiende gassen, gloeiende dampen van vloeistoffen en van vaste stoffen een discontinu lijnspectrum af.

1.12.2.2 Absorptiespectrum

Brengen wij nu achter de natriumverstuivende bunsenvlam een zeer hete lichtbron aan die wit licht uitstraalt (bv. een booglamp) dan zien we dadelijk het continu spectrum verschijnen; doch, juist op de plaats waar zich te voren de twee gele natriumlijnen bevonden, komen nu twee zwarte lijnen voor. Het blijkt dus, dat de gele natriumvlam die stralen heeft geabsorbeerd, waarvan de golflengte overeenkomt met die van de gele stralen welke ze zelf uitstraalt. Het continu spectrum, waarin de twee zwarte absorptielijnen voorkomen, wordt absorptiespectrum van natrium genoemd.

Wet van Kirchhoff en Bunsen:

Een gas of damp absorbeert die stralen die het in gloeiende toestand zelf uitzendt.



1.12.2.3 Bandenspectrum

De gloeiende gassen en dampen van chemische verbindingen, waarvan de moleculen door de hitte niet gedissocieerd worden, vertonen spectraallijnen die soms zeer breed kunnen zijn en waarvan de intensiteit doorgaans aan een zijde verzwakt; men spreekt in dit geval van bandenspectrum. Deze banden komen zowel voor in emissiespectra (emissiebanden) als in absorptiespectra (absorptiebanden). Bandenspectra zijn dus kenmerkend voor de aanwezigheid van moleculen (moleculspectra), terwijl de lijnenspectra kenmerkend zijn voor de aanwezigheid van atomen (atomenspectra). Bij nauwkeurig onderzoek blijken deze banden te bestaan uit ontelbare naast elkaar liggende lijnen.

1.12.3 Interpretatie voor de vorming van de spectraallijnen

In 1913 gaf Bohr een interpretatie voor de vorming van de spectraallijnen van het waterstofatoom. Hij nam aan dat het atoom slechts in welbepaalde energietoestanden, de zogenaamde stationaire toestand, kan verkeren. De toestand met kleinste energie-inhoud

draagt de naam van grondtoestand of normale toestand en wordt aangeduid door de notatie E_1 . De mogelijke toestanden met grotere energie-inhoud worden respectievelijk aangeduid door E_2 , E_3 , E_4 ... (energieniveaus).

De cirkelvormige banen die het elektron rond de waterstoffen kan beschrijven, beantwoorden aan deze energietoestanden. Elk van deze cirkelvormige banen heeft dus een vaste straal. Zolang het elektron op zo'n vaste baan blijft, verandert de energie-inhoud van het atoom niet. Om het elektron op een baan met grotere straal te brengen, moet men het dus energie toevoeren. Dit kan gebeuren door verhoging van de temperatuur, of onder invloed van een elektromagnetische straling (bv. lichtstraling) of elektrische ontlading, enz.

Veronderstellen wij dat het elektron, onder invloed van een elektromagnetische straling met frequentie f , op een meer buitenwaartse, dus energie-rijkere baan overspringt, en dat het atoom zich nu in een energietoestand E_n bevindt. Het elektron zal hierbij een energiequant hebben opgeslorpt, die gemeten wordt door het verschil tussen de corresponderende stationaire toestand van het atoom. Deze energiequant is dus gelijk aan:

$$E_n - E_1 = h \cdot f$$

Hierbij is h een universele constante die de naam draagt van "constante van Planck". Deze constante heeft de waarde $6,626 \cdot 10^{-34}$ J/s. Een meer binnenwaarts gelegen elektronenbaan is dus beroofd van haar elektron, met zegt dat het atoom zich in aangeslagen toestand bevindt.

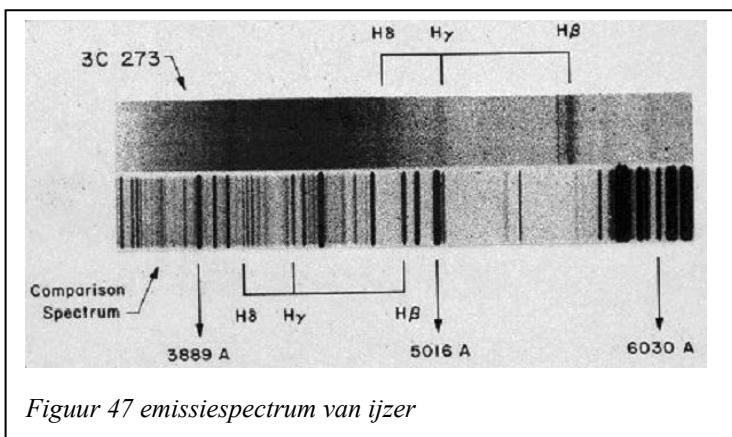
Het atoom kan slechts korte tijd in aangeslagen toestand verkeren, zodat het elektron vanzelf op zijn baan terugspringt. Deze terugkeer tot de normale toestand gaat gepaard met de restitutie, onder vorm van licht, van het opgeslorpte energiequant.

Met andere woorden, het atoom zendt een lichtquant of foton uit met grootte $h \cdot f$, waarbij f de frequentie is van het uitgezonden licht. Met deze frequentie correspondeert, een bepaalde golflengte. Behoort de straling tot het zichtbare gebied van het spectrum, dan correspondeert, met deze golflengte een bepaalde kleur. Elke overgang van een energie-rijke naar een energie-armere stationaire toestand gaat gepaard met de uitzending van licht met een bepaalde golflengte, vandaar de verschillende lijnen die wij in het emissiespectrum van waterstof kunnen waarnemen. Wat nu het absorptiespectrum betreft, denken we aan de verlichte natriumvlam. De natriumatomen absorbeerden uit de witte lichtbundel de frequenties die ze zelf in gloeiende toestand uitzenden. Hetzelfde geldt voor het geval van waterstof. Richt men een bundel wit licht op waterstof, waarvan de atomen zich in de grondtoestand (neutrale, dus niet aangeslagen toestand) bevinden, dan worden uit deze lichtbundel alleen die frequenties geabsorbeerd waarvoor de producten $h \cdot f$ corresponderen, met de mogelijke energietoestanden van het waterstofatoom. Dit is ook het geval voor de atomen van om het even welk element. Kirchhoff en Bunsen formuleerden in 1860 de wet als volgt: Een stof absorbeert uit doorvallend licht juist die frequenties, welke ze zelfde in lichtgevende toestand uitzendt.

De emissie- en absorptiespectra van de elementen zijn een belangrijk hulpmiddel voor de chemicus bij het onderzoek van de samenstelling van een stof. Ook de sterrenkundigen onderzoeken de samenstelling van de sterrenmaterie aan de hand van de spectra van de verschillende elementen.

Waterstof en de andere zenden niet alleen lijnen in het zichtbaar gebied, maar ook in het onzichtbaar gebied van het spectrum.

Het emissiespectrum van het ijzeratoom bestaat bijvoorbeeld uit een zeer groot aantal lijnen waarvan de meeste in het onzichtbare gebied liggen. De frequenties van deze lijnen en dus hun golflengten kunnen zeer nauwkeurig bepaald worden.



Figuur 47 emissiespectrum van ijzer

In verband met de bijzondere schikking van de lijnen in het spectrum van een element, slaagde de Zwitserse natuurkundige Balmer erin, op empirische wijze, de wetmatigheid van de vier spectraallijnen, in het zichtbare gebied, van het waterstofspectrum door wiskundige formules vast te leggen. Deze vier lijnen: een rode, een blauwe en twee violette worden aangeduid door de notaties: $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$ en beantwoorden aan de formule:

$$f = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Hierin is R een constante, die de waarde $3,29 \cdot 10^{15}$ heeft.

De grootte n kan de gehele waarde 3, 4, 5, ... aannemen. Bij elke spectraallijnen past een andere waarde voor n .

De bovenstaande formule laat ons toe de golflengten van de betrokken lijnen te berekenen. Wij schrijven dan deze formule onder de vorm:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{R}{c} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{met } c = 299\,774 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

De factor R/c is gelijk aan $109.677,7 \text{ /cm}$, en noemt men de “constante van Rydberg.”

Zoals men in de onderstaande tabel kan nagaan, verschillen de berekende waarden maar zeer weinig van de gemeten waarden.

Uit deze tabel blijkt verder, dat de afstand tussen de lijnen gaandeweg vermindert en dat de golflengte naar een grens streeft die gelijk is aan $0,3647 \mu\text{m}$. De betrokken reeks draagt de naam van Balmerreeks.

| n | $\frac{1}{\lambda} = \frac{R}{c} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ | λ in Å | | Spectraal lijn |
|---|--|----------------|---------|-------------------|
| | | berekend | gemeten | |
| 3 | $\frac{R}{c} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) = 15233,0$ | 6564,69 | 6564,60 | H α |
| 4 | $\frac{R}{c} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right) = 20564,6$ | 4862,73 | 4862,68 | H β |
| 5 | $\frac{R}{c} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2} \right) = 23032,3$ | 4341,73 | 4341,68 | H γ |
| 6 | $\frac{R}{c} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{6^2} \right) = 24372,8$ | 4102,93 | 4102,88 | H δ |

Andere onderzoekers vonden voor de lijnen in het onzichtbare gebied van het waterstofspectrum gelijkaardige formules als die van Balmer. Ze verschillen enkel in de noemer van de eerste breuk tussen de haakjes.

Het is wel merkwaardig dat de bedoelde noemer in de verschillende reeksen respectievelijk gelijk is aan de eerste vijf natuurlijke getallen.

Al de waterstoflijnen kunnen dus worden samengevat in de betrekking:

$$f = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

De waarde n het ranggetal is van de baan waaruit het elektron vertrekt en m het ranggetal van de baan waarop het elektron terecht komt. Hier volgen de vijf gevonden reeksen, met de namen van de ontdekkers en de vermelding van het gebied waarin de spectraallijnen zich bevinden.

$$f = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{Lymanreeks (1916), ultraviolet, } n = 2, 3, 4, \dots$$

$$f = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{Balmerreeks (1885), zichtbaar, } n = 3, 4, 5, \dots$$

$$f = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{Paschenreeks (1908), infrarood, } n = 4, 5, 6, \dots$$

$$f = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{Brackettreeks (1922), infrarood, } n = 5, 6, 7, \dots$$

$$f = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{Pfundreeks (1924), infrarood, } n = 6, 7, 8, \dots$$

Deze reeksen onderscheiden zich dus op grond van het getal m van de gemeenschappelijke baan waarop de elektronen terugvallen dus:

Het discontinu karakter van de emissie- en absorptiespectra is dus te wijten aan het feit, dat de elektronen binnen het atoom zich niet op continue manier maar sprongsgewijze verplaatsen. De energie wordt dus door het atoom opgeslorpt of uitgestraald met quanta. Vandaar dat men aan de energie een corpusculair karakter toekent. Op deze manier komen de lichtcorpusculen van Newton weer te voorschijn, maar nu onder de vorm van lichtquanta of fotonen. Het dualistische karakter van het licht komt dus opnieuw tot uiting.

2 Astronomie

2.1 De dierenriem

De dierenriem, ook wel zodiak genoemd, ligt op de ecliptica op een strook die ongeveer 20° breed is. Dit is eigenlijk ook de baan die de zon, de maan en de planeten rond de aarde maken.














Daarin liggen de 12 tekens van de dierenriem. Deze strook op de ecliptica is in 12 gelijke delen verdeeld, omdat er zich in een jaar 12 (om precies te zijn 12,4) maancycli voordoen. Bepaalde sterrenbeelden van de dierenriem overlappen elkaar.

Om zich beter te kunnen oriënteren heeft men de sterrenbeelden namen gegeven.

Aankankelijk werden 4 sterrenbeelden benoemd, daarna 6 dan 10 en tot slot kwam men tot 12 sterrenbeelden. In de scheepvaart gebruikt men echter nog een 13^{de} sterrenbeeld.

Dit 13^{de} sterrenbeeld, de slangendrager (Ophiuchus) dat tussen schorpioen en boogschutter staat, stamt nog uit de tijd van de Babyloniërs.

Hier is een lijst van alle sterrenbeelden van de dierenriem.

| Nederlandse naam | Latijnse naam | Symbool | De zon in dit sterrenbeeld | |
|------------------|---------------|---|----------------------------|----------------------|
| | | | Volgens Astrologen | In de werkelijkheid |
| Ram | Aries |  | 21 maart - 19 april | 18 april - 13 mei |
| Stier | Taurus |  | 20 april - 20 mei | 14 mei - 20 juni |
| Tweeling | Gemini |  | 21 mei - 21 juni | 21 juni - 19 juli |
| Kreeft | Cancer |  | 22 juni - 22 juli | 20 juli - 9 augustus |
| Leeuw | Leo |  | 23 juli - 22 aug. | 10 aug. - 15 sept. |
| Maagd | Virgo |  | 23 aug. - 22 sept. | 23 aug. - 22 sept. |
| Weegschaal | Libra |  | 23 sept. - 22 okt. | 31 okt. - 22 nov. |
| Schorpioen | Scorpius |  | 23 okt. - 21 nov. | 23 nov. - 29 nov. |
| Slangendrager | Ophiuchus |  | Bestaat niet | 23 nov. - 29 nov. |
| Boogschutter | Sagittarius |  | 22 nov. - 21 dec. | 18 dec. - 19 jan. |
| Steenbok | Capricornus |  | 22 dec. - 19 jan. | 20 jan. - 16 feb. |
| Waterman | Aquarius |  | 20 jan. - 18 feb. | 17 feb. - 11 maart |
| Vissen | Pisces |  | 19 feb. - 20 maart | 12 maart - 17 april |

2.2 Bepalen van de positie van de sterren en dwaalsterren

Men kon duizenden jaren geleden al de positie van een ster bepalen door middel van een hemelbol (hemelglobe). Een hemelbol is een fictieve bol rond de aarde.

Zo kan men op dezelfde manier je positie op aarde te weten komen en de positie van de sterren bepalen. Men gebruikte hiervoor de begrippen “declinatie” en “rechte klimming”.

2.2.1 Declinatie

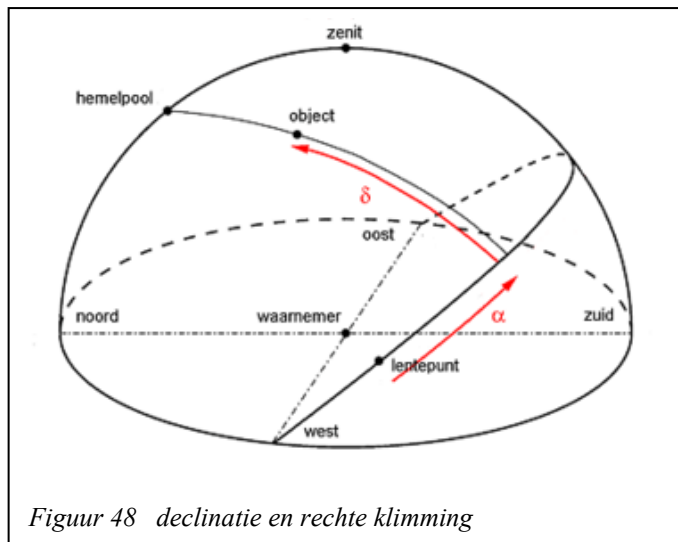
Om de declinatie te berekenen maakte men gebruik van de hemelequator. Dit is de cirkel waarop alle punten van de hemelglobe liggen waarvan de hoek tussen de hemelpolen, die in het verlengde van het geografische noorden en zuiden liggen en deze cirkel 90° is.

De hemelequator ligt dus in het verlengde van de evenaar. Dit hemelcoördinaat wordt gemeten in graden noord (+) en zuid (-). Dus heeft elke ster die op de hemelequator ligt een declinatie van 0° .

2.2.2 Rechte klimming

Voor de rechte klimming moeten we ook weten wat de ecliptica is. Dit is namelijk de baan van de jaarlijkse omwenteling van de aarde rond de zon. Omdat de aardas een hoek maakt van $23,5^\circ$ met het eclipticavlak, snijdt deze laatste 2 maal met de hemelequator. Die snijpunten worden de equinoxen genoemd. Dit zijn respectievelijk het lentepunt (21 maart) en het herfstpunt (23 september).

Voor de astrologie ligt het lentepunt in het sterrenbeeld Ram en het herfstpunt in het sterrenbeeld Weegschaal. Net als we op aarde de nulmeridiaan hebben, gebruikten de oude Grieken al het lentepunt van toen om te starten met de telling van de rechte klimming. Tegenwoordig doet men dit nog steeds. De afstand tussen de lijnen voor de rechte klimming is 1/24 van een cirkel, dus 15° . Dit is omdat voor iemand op aarde de hemel een volle omwenteling maakt in 24 uur. De rechte klimming kan in graden worden uitgedrukt, maar men doet het in uren, minuten en seconden.



Figuur 48 declinatie en rechte klimming

Vandaar dat men de declinatiecirkels ook wel eens de uircirkels noemt.

Voor de vroegste astronomen was het onmogelijk om de afstand tot de sterren in te schatten.

De dichtste sterren kon men zien bewegen t.o.v. de verre sterren die zagezegd stil stonden (parallax). Maar omdat de meeste sterren zo ver weg staan was het onmogelijk om de parallax te meten. Met de vooruitstrevende apparatuur van de grote sterrenwachten kan men steeds nauwkeuriger de ellipsvormige baan van de verre sterren in kaart brengen. Aan de hand daarvan worden steratlassen jaarlijks verbeterd.

Zoals men al weet waren de posities van de sterren al bekend voordat de telescoop was uitgevonden. Maar de banen en posities van de dwaalsterren (planeten) konden nog niet nauwkeurig worden vastgelegd. Daarom dat ze ook niet op een astrolabium of een sterrenkaart (zie volgende punt) werden aangegeven. Men kwam pas meer over de plaats

van de dwaalsterren te weten door de werken van Galilei, Brahe, Kepler en Newton. Zij waren het die het Griekse beeld, waarbij de aarde het middelpunt was van het zonnestelsel, verwierpen. Kepler toonde aan dat de baan van planeten ellipsvormig is. Newton kwam in 1687 tot de conclusie dat de zwaartekracht niet alleen op aarde voelbaar was, maar in het volledige heelal. Met deze algemene gravitatiewet zag Newton dat de wetten van Kepler een goede benadering waren van de werkelijkheid.

2.3 Het planisfeer

Voordat het planisfeer bestond heeft Hipparchus het astrolabium uitgevonden. Dit instrument is bedoeld om de positie van het hemellichaam te meten. De Arabieren hebben er grote verbeteringen aan aangebracht. Men kon, via een cirkel met daarin een vizierstang bevestigd, als men de schijf verticaal hield, de hoogte van de hemellichamen meten en als men het astrolabium horizontaal hield, het verschil in azimut bepalen. Het azimut is de afstand in graden van het hemellichaam vanaf het noordpunt tot het punt onder dat hemellichaam. Het wordt gemeten in oostelijke richting.



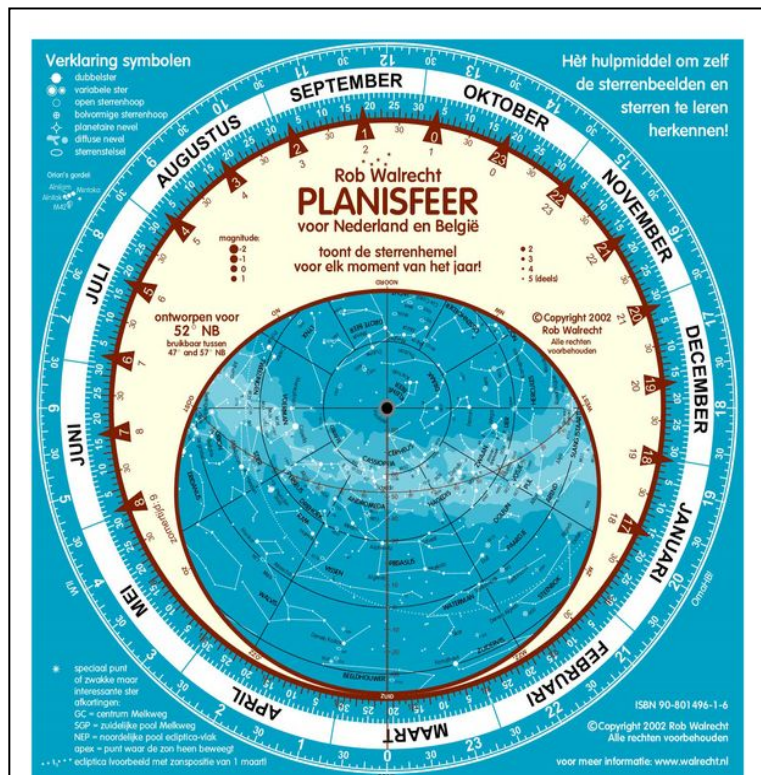
Figuur 49 het astrolabium

Met behulp van verwisselbare cirkels van constante hoogte die de zonnehoogte meten kon men er de tijd mee bepalen.

Naast deze toepassing kon men het ook voor de zeevaart gebruiken.

Het planisfeer (Planisferium) betekent letterlijk “hemelplein” omdat je de sterrenhemel op een plat vlak ziet. Het eerste planisfeer is in 1624 uitgevonden door Jakob Bratsch, de schoonzoon van Johannes Kepler.

Er zijn verschillende soorten planisferen. Je hebt er die een aparte wijzer hebben voor de declinatie die op hetzelfde punt bevestigd is als de bovenste schijf. Bij sommige



Figuur 50 planisfeer

is de declinatieverdeling gedrukt op de bovenste schijf. De rechte klimming wordt aangeduid aan de buitenrand, net als de datumcirkel op de onderste schijf. Het is ook niet gelijk welk planisfeer je waar gebruikt, want je hebt overal een ander uitzicht op de hemel. De planisferen worden dus gemaakt voor een bepaalde plaats op de wereldbol. Wij hebben er van 51°NB en 4°OL.

Het planisfeer bestaat dus uit 2 of meerdere schijven.

Op de bovenste schijf is er aan de rand een aanduiding van de winter- en zomertijd. Er is ook een deel van de bovenschijf doorzichtig in de vorm van een uitgezakte ovaal.

De rand van dit ovaal stelt de horizon voor. Als je toch een andere kaart hebt zodat de horizon niet overeen komt, zou je de onderste schijf (met de sterrenhemel en de data van het jaar) moeten verschuiven. Sommige dure planisferen hebben meerdere bovenschijven of hebben een bovenschijf met meerdere horizonlijnen zodat je deze op meerdere plaatsen op aarde kunt gebruiken. Doordat je zeker tot 5° boven de horizon de sterren niet duidelijk kunt zien door gebouwen, bomen, de dikte van de atmosfeer e.a. is het niet erg dat er een speling is van 5° t.o.v. de ontwerpbreedte.

Op het doorzichtige deel van de bovenschijf van planisferen staan de meridianen om de 45° en er is ook een hoogtelijn van 45° aangeduid.

Voor de onderste schijf bestaan er 2 verschillende uitvoeringen:

- de polair azimuthale equidistante projectie,
- de stereografische projectie.

De polaire azimuthale equidistante projectie, projecteert de hemel vanuit een hemelpool op een plat vlak. De cirkels met een declinatie van 60°, 30°, 0°, -30° en -60° worden vaak op een gelijke afstand van elkaar op de kaart aangebracht. Het enige nadeel van deze projectie is dat de verhoudingen in de richting van de declinatiecirkels niet meer kloppen. Dit wordt erger naarmate je verder van de hemelpool wekijkt.

Bij de stereografische projectie is de afstand tussen de declinatie cirkels niet gelijk waardoor je het probleem van de polaire azimuthale equidistante projectie niet hebt. Maar dit zorgt er wel voor dat de sterrenbeelden niet meer de juiste grootte hebben in verhouding met andere sterrenbeelden.

Om een planisfeer juist te gebruiken moeten eerst de datum en het uur van de waarneming worden ingesteld. Dan houdt u de kaart boven uw hoofd met het noorden op de kaart naar het werkelijke noorden gericht. Vervolgens ziet u door het doorzichtige deel van de bovenste schijf de zichtbare hemel. Het punt waar al de meridianen samenkomen (het zenit) is het punt dat zich boven uw hoofd bevindt.

2.4 Sterrenkaart

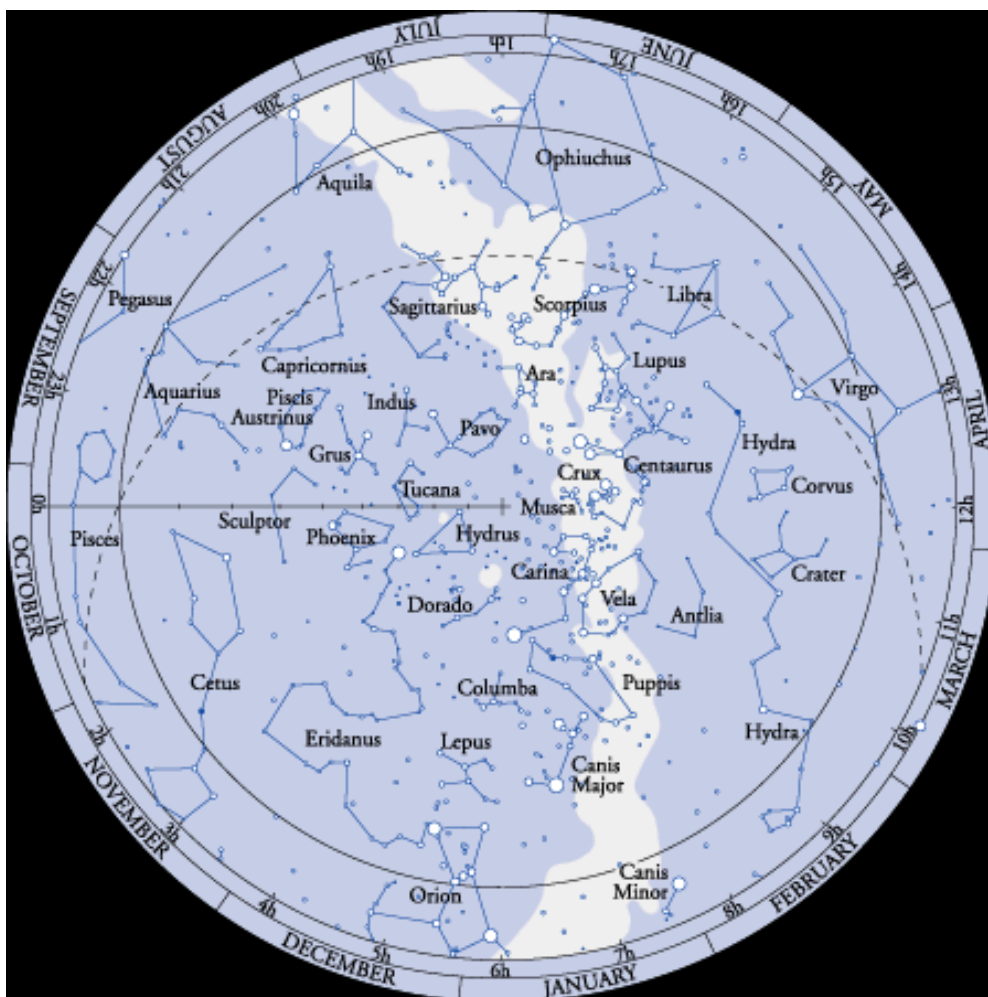
2.4.1 Noordelijke sterrenhemel



De Noordelijke sterrenhemel

| Noordelijke sterrenbeelden | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------|-------------|----|----------------|-------------|----|-----------------|--------------|
| 1 | ursa major | grote beer | 13 | aquila | Arend | 25 | coma berenices | Hoofdhaar |
| 2 | Hercules | hercules | 14 | serpens | Slang | 26 | lyra | Lier |
| 3 | Pegasus | pegasus | 15 | perseus | Perseus | 27 | vulpecula | Vosje |
| 4 | Draco | draak | 16 | cassiopeia | cassiopeia | 28 | ursa minor | kleine beer |
| 5 | Leo | leeuw | 17 | orion | jager | 29 | leo minor | kleine leeuw |
| 6 | Boötes | ossenhoeder | 18 | cephus | cephus | 30 | lacerta | Hegedis |
| 7 | Pisces | vissen | 19 | lynx | lynx | 31 | delphinus | Dolfijn |
| 8 | Cygnus | zwaan | 20 | gemini | tweeling | 32 | canis minor | kleine hond |
| 9 | Taurus | stier | 21 | cancer | kreeft | 33 | corona borealis | Noorderkroon |
| 10 | camelopardalis | giraf | 22 | monoceros | eenhoorn | 34 | triangulum | Driehoek |
| 11 | andromeda | andromeda | 23 | canes venatici | jachthonden | 35 | sagitta | Pijl |
| 12 | Auriga | voerman | 24 | aries | ram | 36 | equuleus | Veulen |

2.4.2 Zuidelijke sterrenhemel



De Zuidelijke sterrenhemel

| Zuidelijke sterrenbeelden | | | | | | | | |
|---------------------------|-------------|---------------|----|------------------|-------------------|----|------------------|---------------|
| 1 | Hydra | waterslang | 18 | canis major | grote hond | 35 | Ara | altaar |
| 2 | virgo | maagd | 19 | pavo | pauw | 36 | pyxis | kompas |
| 3 | cetus | walvis | 20 | Grus | kraanvogel | 37 | microscopium | microscoop |
| 4 | eridanus | eridanus | 21 | lupus | wolf | 38 | apus | paradijsvogel |
| 5 | centaurus | centaur | 22 | sextans | sextant | 39 | corvus | raaf |
| 6 | aquarius | waterman | 23 | tucana | toekan | 40 | dorado | goudvis |
| 7 | opchiuchus | slangendrager | 24 | indus | indiaan | 41 | norma | winkelhaak |
| 8 | sagittarius | boogschutter | 25 | octans | octant | 42 | mensa | tafelberg |
| 9 | puppis | achtersteven | 26 | lepus | haas | 43 | volans | vliegende vis |
| 10 | lybra | weegschaal | 27 | crater | beker | 44 | musca | vlieg |
| 11 | vela | zeilen | 28 | columba | duif | 45 | chamaeleon | kameleon |
| 12 | Scorpius | schorpioen | 29 | telescopium | telescoop | 46 | corona australis | zuiderkroon |
| 13 | carina | kiel | 30 | horologium | slingenuurwerk | 47 | caelum | graveerstift |
| 14 | sculptor | beeldhouwer | 31 | pictor | schilder | 48 | reticulum | net |
| 15 | phoenix | phoenix | 32 | piscis austrinus | zuidervis | 49 | scutum | schild |
| 16 | capricornus | steenbok | 33 | hydrus | kleine waterslang | 50 | circinus | passer |
| 17 | fornax | oven | 34 | antlia | luchtpomp | 51 | crux | zuiderkruis |

2.5 Rotatie – Precessie - Nutatie

De beweging van de aarde is te vergelijken met deze van een draaitol. Stel, we beschikken over een ideale tol, perfect symmetrisch en bovendien homogeen. Als we deze snel laten draaien omheen een verticale as dan blijft ze mooi rechtopstaan. De tol maakt een rotatie om haar rotatie-as.

Laten we de tol draaien rond haar rotatie-as maar plaatsen we deze schuin dan merken we dat de rotatie as een kegeloppervlak beschrijft. Deze beweging van de rotatie-as noemen we “de precessie beweging”. Door het schuin stellen van de tol ligt het zwaartepunt van de tol niet meer precies boven het steunpunt. De zwaartekracht oefent nu een (kantel)moment uit op de draaiende tol. Dit moment is de oorzaak van de beweging van de rotatie-as. We kunnen dus zeggen: “onder invloed van een uitwendige kracht zal een roterend voorwerp een precessie beweging maken.”

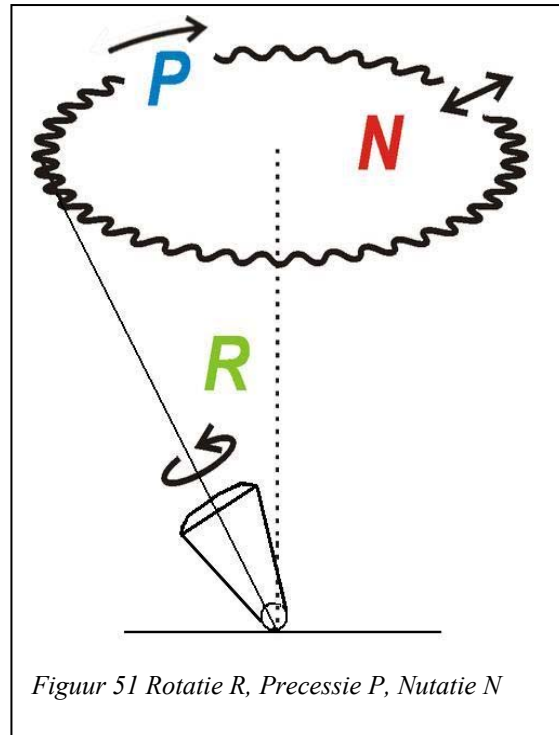
Prikken we een duimspijker in de tol en laten we deze draaien rond haar schuingestelde rotatie-as, dan merken we dat de rotatie-as

niet enkel een precessiebeweging maakt maar ook nog eens heen en weer slingeret. Deze slingerbeweging noemen we “de nutatiebeweging”. De nutatiebeweging wordt veroorzaakt door het aanbrengen van de duimspijker. Het plaatsen van de duimspijker zorgt ervoor dat het zwaartepunt van de tol niet meer op de rotatie-as ligt. We kunnen dus zeggen: “ligt het zwaartepunt van een draaiend lichaam niet op de rotatie as, dan zal de rotatie as een nutatie beweging maken.”

De rotatie-as van de aarde zal dus ook een nutatiebeweging maken. De nutatiebeweging van de aardas bedraagt slechts 10 boogseconden en heeft een periode van enkele dagen tot 18,5 jaar.

2.6 Beweging van de Aarde

De rotatie-as van de aarde staat niet loodrecht op het vlak waarin de aarde om de zon draait. De hoek die de rotatie-as maakt met de normaal op zijn bewegingsvlak noemt men “de inclinatie”. De inclinatie schommelt tussen 21,5 en 24,5 graden. Tegenwoordig is deze 23,5 graden. De rotatie-as van de aarde zal dus een precessiebeweging maken. Dit is ook de reden waarom de noordpool zich aan de hemel over een cirkel beweegt. De periode van de precessie is 25.800 jaar. Hierdoor zullen de ecliptica en de hemelequator t.o.v. elkaar



Figuur 51 Rotatie R, Precessie P, Nutatie N

verschuiven, wat er voor zorgt dat de snijpunten (equinoxen) steeds zullen veranderen van plaats. Zo liggen er de hele tijd, andere sterrenbeelden van de dierenriem bij de equinoxen.

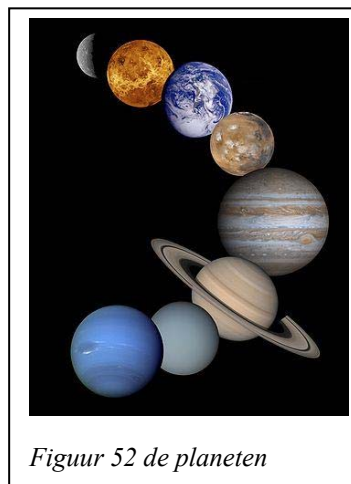
Daar de aarde noch symmetrisch noch homogeen is ligt het zwaartepunt niet op de rotatie-as.

De rotatie-as van de aarde zal dus ook een nutatiebeweging maken. De nutatiebeweging van de aardas bedraagt slechts 10 boogseconden en heeft een periode van enkele dagen tot 18,5 jaar.

2.7 De planeten

Het begrip planeet werd in 2006 nog maar eens wat bijgesteld. Een hemelobject moet tegenwoordig aan 3 voorwaarden voldoen voor het de titel “planeet” mag krijgen.”

- het hemelobject moet een baan rond een ster maken;
- het hemelobject moet genoeg massa hebben om met zijn eigen zwaartekracht de interne krachten van zijn eigen lichaam te overwinnen, zodat daarmee een hydrostatisch evenwicht bewerkstelligd wordt. Met dit laatste bedoelt men dat het zich gaat gedragen zoals een vloeistof en daardoor nagenoeg rond is;
- het hemellichaam moet zijn baan rond de ster hebben vrijgemaakt van andere objecten.



Figuur 52 de planeten

Aan deze omschrijving voldoen in ons zonnestelsel slechts 8 objecten. Ons zonnestelsel bestaat dus uit de zon en 8 planeten. (Pluto wordt niet meer aanzien als planeet.)

2.7.1. Oppositie

Hierbij ligt de aarde tussen de planeet en de zon. Dit is natuurlijk alleen maar mogelijk als de planeet verder van de zon wegstaat dan de aarde. De planeet is dan ook alleen maar te zien als de zon voor ons ondergaat. Wanneer dit gebeurt is, is er ook sprake van het seeliger effect. Bij Saturnus wil dit bijvoorbeeld zeggen dat de ringen van Saturnus helderder zijn dan de planeet zelf.

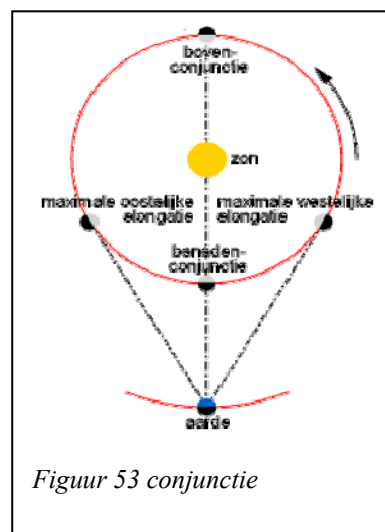
2.7.2. Conjunctie

I.p.v. dat de aarde tussen de planeet en de zon staat, is het zo dat bij conjunctie ofwel de zon tussen de planeet en de aarde zit (bovenconjunctie), of dat de planeet tussen de zon en de aarde staat (benedenconjunctie). Bij bovenconjunctie zie je de planeet totaal niet en bij benedenconjunctie zie je een donkere stip op het oppervlak van de zon.

2.7.3. Elongatie

Elongatie is wanneer de planeet zich tussen de 2 vorige plaatsen bevindt. De hoek die de planeet dan maakt met de denkbeeldige lijn van de zon naar de aarde noemt men de elongatie. Als de hoek klein is, kun je de planeet niet goed zien. Dit zijn meestal de planeten die dicht bij de zon staan dan de aarde. Deze kun je 's ochtends en 's avonds zien. Ze zijn optimaal zichtbaar bij een zonsverduistering. Maar als de planeten verderweg liggen van de aarde t.o.v. de zon, dan is de planeet goed zichtbaar.

Er zijn 8 planeten in ons zonnestelsel. In volgorde t.o.v. de afstand tot de zon, beginnende met de dichtste bij de zon, heb je Mercurius, Venus, Aarde, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus. Deze kunnen we onderverdelen in 2 groepen: de binnenplaneten, ook wel aardse-planetten genoemd, en de buitenplaneten ook wel gas-planetten genoemd. Deze 2 groepen zijn gescheiden door een planetoidengordel.



2.7.4. Mercurius

Omdat Mercurius het dichtste bij de zon staat, kunnen we al stellen, d.m.v. de elongatie, dat deze planeet slecht zichtbaar is. De maximale elongatie is 28° . Daardoor kunnen we geen oppervlakedetails zien.

De kern bestaat hoofdzakelijk uit ijzer (42%). De mantel van ongeveer 600 km dik bestaat vooral uit siliciumoxide. Zo heb je een rotsachtig oppervlak waarop er zich veel kraters bevinden. Deze planeet heeft geen atmosfeer. Hierdoor, en doordat Mercurius dicht bij de zon staat, is de temperatuurschommeling groot.

2.7.5. Venus

Venus is zichtbaar bij zonsopgang en zonsondergang. Zijn elongatie is maximaal 46%. Dit is al een pak meer dan Mercurius. De planeet is heel helder doordat hij een wolkendeek van kleine druppeltjes zwavelzuur heeft. Hierdoor zien we ook zo goed als geen oppervlaktestructuur van de planeet. We weten wel dat het een dichte atmosfeer heeft die bestaat uit CO_2 , waardoor het er ook bloedheet is. Venus heeft tevens ook dezelfde massa als de aarde.

Het is het tweede helderste object aan de avond- en ochtendhemel, natuurlijk voorafgegaan door de maan. Wanneer Venus in toenemende fase is, kun je hem 's ochtends zien, als hij in afnemende fase is, 's avonds. Als de Aarde en Venus in conjunctie staan en als de banen van de planeten kruisen vanuit het standpunt van de zon, dan ontstaat de venusovergang. Dit betekent dat je van op de aarde Venus ziet bewegen als een zwarte vlek over de Zon.

Er zijn 4 contacten die Venus maakt met de Zon:

- de rechtse rand van Venus raakt de linkse rand van de Zon
- de linkse rand van Venus raakt de linkse rand van de Zon
- de rechtse rand van Venus raakt de rechtse rand van de Zon
- de rechtse rand van Venus raakt de rechtse rand van de Zon

Daarna is Venus niet meer te zien op de Zon. Bij overgangen 2 en 3 heb je het zwarte druppel effect. Dit ontstaat doordat de telescoop Venus een beetje vervormd.

2.7.6. Mars

Mars is oranje van kleur en als hij in oppositie staat, staat hij heel dicht bij de aarde. Daardoor is hij heel goed te observeren. Hij is tevens ook heel de nacht te bezichtigen. Op Mars zijn er seizoenen en daardoor ook soms grote windstormen. Als de Aarde Mars tijdens oppositie “inhaalt”, dan lijkt het of Mars een tijdje tegengesteld beweegt, dit wordt de oppositielus genoemd. Mars heeft 2 manen: Phobos (angst) en Deimos (paniek, vrees). De kern van Mars bestaat hoofdzakelijk uit ijzer, zwavel en nikkel. Dit is deels vloeibaar door de Zon. Daarover ligt er een mantel van ijzer en magnesiumsilicaat. Dan heb je ook nog een korst die uit 1 stuk bestaat en die ongeveer 50 km dik is. Daar zijn vele sporen van vulkanisme en watererosie te zien, o.a. op de ijskappen.

De atmosfeer bestaat hoofdzakelijk uit CO₂.

2.7.7. Jupiter

Jupiter is de grootste planeet van ons zonnestelsel. Zijn massa is zo’n 300 maal deze van de Aarde. Het is ook de 1^{ste} gasreus die we tegenkomen. Doordat hij een rotatie heeft van 11u, zijn zijn polen afgeplat. Je kunt hem herkennen aan zijn oranje, rode en witte banden. Er is ook de Grote Rode Vlek, dit is eigenlijk een wervelstorm. Vroeger was er nog een 2^{de}, maar deze is vergaan in de 1^{ste}, die we nu nog altijd zien.

Jupiter heeft 4 manen: Io, Europa, Ganymedes en Callisto. Deze zijn ontdekt door Galileo Galilei, daarom worden de manen wel eens de Galileïsche manen genoemd.

De kern bestaat uit nikkel, ijzer en gesteente, dan heb je een dikke laag van metalische waterstoffen en helium, dat dan op zijn beurt overgaat naar vloeibare waterstof.

De atmosfeer bestaat uit 90% waterstof en 10% helium en ook nog sporen van o.a. ammoniak, methaan en waterdamp.

2.7.8. Saturnus

Saturnus is goed te herkennen aan zijn ringen.

De stand van deze ringen verandert jaar na jaar. Ze bestaan uit verschillende zones van rots-, ijs- en gasdeeltjes waarvan de helderheid verschilt.

Dit is tevens ook een gasreus.

Saturnus heeft eigenlijk heel veel manen want je kunt elk stuk puin dat rond de planeet draait zien als een maan.

De kern bestaat uit ijs en gesteente met zo'n diameter van ong. 30.000km.

De binnenste mantel bestaat uit vloeibaar metalisch waterstof en de atmosfeer uit helium en waterstof.

2.7.9. Uranus, Neptunus

Uranus is blauwgroen van kleur en draait in een eclipticavlak.

Neptunus is felblauw. Daar kan er een wind ontstaan van 2.000 km/u.

Hij heeft ook een grote donkere vlek die een storm is.

Van beide planeten kan je met de telescoop geen oppervlakedetails zien op aarde door de grote afstand.

2.7.10. Kometen

Komeetkoppen zijn oorspronkelijk van de Oortwolk afkomstig. Dit is een wolk waarin miljarden komeetachtige objecten die rond ons zonnestelsel liggen. Door de aantrekkingskracht van de zon komen er soms wel eens kometen los uit deze wolk. Deze komeet komt zo in de baan van een planeet waardoor de planeet van koers zal veranderen door de planeet z'n aantrekkingskracht. Een komeet bestaat uit 3 zichtbare delen.

- De coma: dit is de gaswolk die de kern omvat
- De gasstaart: grootte hiervan is afhankelijk van de afstand tot de zon.
- De stofstaart: dit is het puin dat loskomt van de kern

We kunnen gemiddeld om de 5 jaar een heldere komeet met het blote oog . Een echt grote komeet zien we slechts een paar keer in een mensenleven. Als het een zwakke komeet is, zien we alleen de coma.

2.7.11. Poollicht

Het poollicht ontstaat doordat er een zonne-eruptie is die een wolk met geladen deeltjes uitspuwt. Als deze wolk naar de aarde vliegt, dan zal het magnetische veld van de aarde grotendeels deze wolk opvangen. Maar de deeltjes die toch kunnen doordringen en die in de atmosfeer terecht komen zorgen voor een chemische reactie die het poollicht wordt genoemd. Deze reactie wordt poollicht genoemd omdat, wanneer de deeltjes dicht bij de aarde komen, ze afgebogen worden naar de Noord- en Zuidpool. Er is op de nacht van 14^{de} en 15^{de} februari nog maar net een grote zonne-eruptie geweest, waardoor we, moest het helder weer geweest zijn, op de nacht van 16^{de} en 17^{de} zelfs poollicht bij ons zouden moeten hebben gezien.

3 Glassoorten

3.1 Inleiding

Dat glas glad en helder is en zich bovendien gemakkelijk laat bewerken, wisten de oude Egyptenaren al. Tegenwoordig kunnen ingenieurs de eigenschappen van nieuwe glassoorten geheel naar hun hand zetten. Daarmee legden ze mede de basis voor de multimediale wereld van morgen.

Ongeveer 5000 jaar geleden leerde de mens, waarschijnlijk bij toeval, glas te maken. De samenstelling bestond toen uit bodemzand vermengd met kalksteen en soda. Na smelten en langzaam afkoelen van dit mengsel verkreeg men glanzende brokken materiaal met mooie ronde smeltvormen. Op sommige plaatsen waren deze even doorzichtig als “verstard water”. Toch mogen we gerust stellen dat het eerste glas vol gasbellen, steentjes en verkleuringen zat. Modern glas voor cameralenzen is zo helder als water, glashelder. Dankzij voortdurende studie en steeds fijnere technieken werd glas steeds beter.

Dankzij de steeds beter wordende eigenschappen van glas komen er ook nieuwe toepassingen in beeld, zoals:

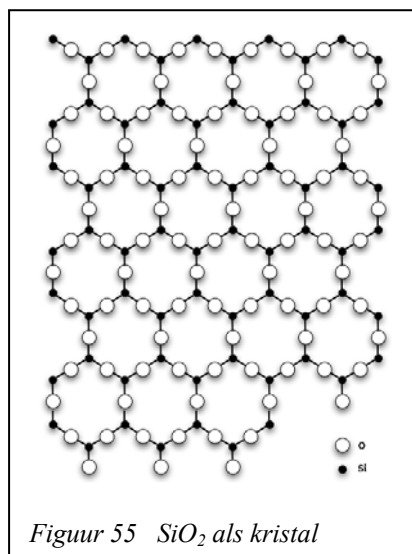
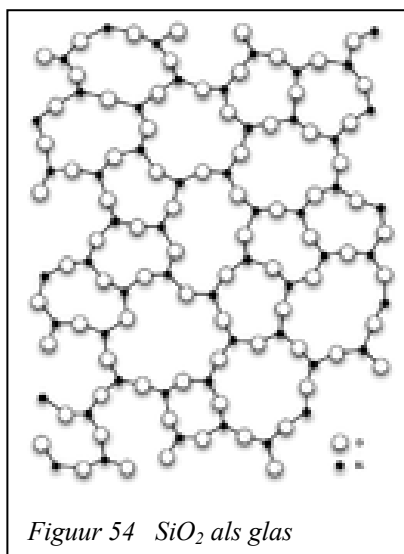
- glasvezels die het licht vele kilometers geleiden
- poreuze glasfilters waarmee men zelfs de kleinste schadelijke moleculen uit de lucht kan filteren
- Pyrexglas
- Glas(keramische) kookplaten

3.2 Wat is glas

Gewoon glas wordt gemaakt door het samensmelten van zand, kalksteen en soda met nog wat toevoegingen. Glas is bij kamertemperatuur een vaste stof, maar het heeft een (wanordelijke) vloeistofstructuur. Bij verwarmen gaat het geleidelijk over in een echte vloeistof. Die vloeistof is eerst heel taai, maar wordt bij temperaturen van zo’n 1.400°C zo dun als suikerstroop. Bij 1.400°C kan het glas goed homogeen worden doorsmolten. Als het daarna afkoelt wordt het bij temperaturen tussen 600 en 1.000°C bewerkt. Glas laat zich zeer goed bewerken omdat het zich gedraagt als een taaie (viskeuze) vloeistof.

Naast ‘gewoon’ glas is er ook ‘ongewoon’ glas dat wordt gemaakt van andere grondstoffen, bijvoorbeeld fluorideglas voor cameralenzen. Men kan zelfs metalen glasachtig maken door een gesmolten mengsel heel snel af te koelen. In principe is het mogelijk om van alle vloeistoffen glas te maken men moet daartoe de smelt enkel maar snel genoeg kunnen afkoelen, zodat er geen kristallisatie kan optreden. Als dat toch gebeurt heeft men per ongeluk keramiek gemaakt.

Daardoor is glas geen kristallijn maar wel een amorfe d.w.z. dat je de positie van een atoom Z.D.H. een ander atoom niet kunt voorspellen. Bij keramiek kunt u dat wel. (zie figuur)



Wanneer men glas verwarmt krijgt men een vloeistof die bij 1.400 °C lijkt op suikerstroop. Daardoor kan men glas bij warme temperatuur vervormen (uittrekken, platdrukken.) zodanig dat je het voor veel functies kunt gebruiken dat is nog eens een voorbeeld waarom we glas een composiet noemen. Het float-proces is een van de populairste processen bij het ontwikkelen van glas. Het vloeibaar glas wordt op een oneindig lange band uitgegoten op een immens groot van gesmolten tin. Zonder daar nog enige aanpassingen te doen krijgt men de mooiste glasruiten.

Wanneer het glas afkoelt is het de bedoeling dat dit niet kristalliseert, als dit echter wel gebeurt, noemt men dit “mislukt” glas of eerder in de volksmond “keramiek”. Keramiek is een glassoort, maar er bestaan oneindig veel soorten glas (gekleurd glas, vensterglas, isolatieglas, kwartsglas, LCD, Pyrexglas, waterglas...).

De glassoort die wij gebruikt hebben om daarna een spiegel van te maken, is soda-lime glas of ook wel in de volksmond kwartsglas, vensterglas genoemd. De samenstelling van kwartsglas bestaat voornamelijk uit SiO₂ (siliciumdioxide). Het is een glasplaat van 27 cm diameter met een dikte van 15 mm dik. Zo hebben we 2 van die schijven aan elkaar gefused, gebakt in een oven (zie figuur) die ze verwarmden tot 645°C en dan langzaam laten afkoelen zodat dit 4 dagen duurde. Daarna hebben we deze glasschijven geslepen, gepolijst, gepolijst. De laatste stap tot een spiegel is het opdampen van een aluminium laagje. In de volgende hoofdstukken wordt daar meer over verteld.



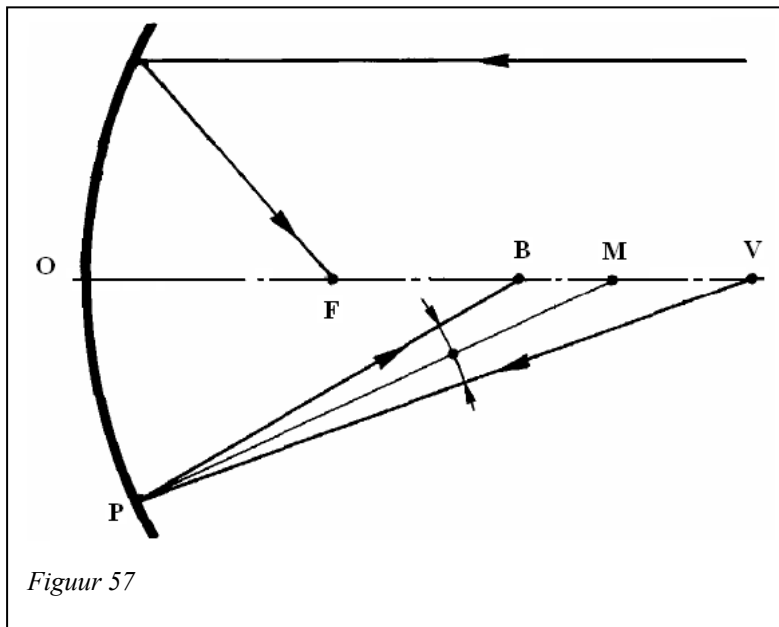
4 Optica

In het eerste hoofdstuk werd al gesproken over een paar begrippen zoals licht, breking en reflectie bij vlakke spiegels. In dit hoofdstuk bekijken we hoe dat zit bij holle spiegels, parabolische spiegels en lenzen.

4.1 De holle spiegel

Vooraleer we de parabolische spiegel behandelen moeten we eerst goed weten wat er gebeurt met de lichtstralen in een holle spiegel. Zoals een sfeer heeft een hol vlak een kromtestraal (r) en een kromtemiddelpunt (M). De as die loopt van het kromtemiddelpunt naar de top van het vlak noemen we de optische as of de hoofdas. Elke andere as die door het kromtemiddelpunt loopt, wordt een secundaire- of nevenas genoemd.

4.1.1 Reflectie van een punt op de hoofdas



We nemen een voorwerp V op de hoofdas en een willekeurige straal VP die op de spiegel invalt in het punt P . Omdat hier de weerkaatsingswet geldt (invalshoek is gelijk aan uitvalshoek), zal een straal PB terugkaatsen die de hoofdas snijdt in B .

In de driehoek VPB is PM een deellijn, dus kunnen we volgende evenredigheid toepassen:

$$\frac{BM}{PB} = \frac{MV}{PV}$$

Deze termen kunnen we ook als volgt schrijven:

$$BM = OM - OB = r - b \quad PB \approx OB = b \quad *$$

$$MV = OV - OM = v - r \quad PV \approx OV = v \quad *$$

De termen v en b zijn de abscissen van de punten V en B , r is de kromtestraal van de spiegel. We kunnen nu de evenredigheid aanpassen:

$$\frac{r-b}{b} = \frac{v-r}{v} \Leftrightarrow b = \frac{r \cdot v}{2 \cdot v - r}$$

Door dit laatste hebben we bewezen dat de afstand b onafhankelijk is van de ligging van het punt P , dus alle stralen die invallen op de spiegel worden bij benadering * teruggekaatst door het punt B .

Met een kleine omvorming komen we tot de spiegel - of lenzenformule:

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{b} = \frac{2}{r}$$

* De opening van een spiegel bij een optisch toestel wordt meestal kleiner genomen dan 20° om scherpe beelden te verkrijgen. Dus is het verschil tussen het invalspunt (P) en de optische as miniem en kunnen we stellen dat dit een goede benadering is.

4.1.2 Reflectie van een punt buiten de hoofdas

Een voorwerp kan ook buiten de optische as liggen, in dat geval maken we gebruik van een secundaire as. Zoals eerder werd gezegd loopt deze as door het kromtemiddelpunt en het voorwerp. Het beeld van het voorwerp dat gevormd wordt door reflectie aan de spiegel zal omwille van de weerkaatsingswet ook op de nevenas vallen. Op deze nevenas krijgen we dus weer een voorwerpsafstand v en een beeldafstand b . Op dezelfde manier als voorheen kunnen we dus aantonen dat de spiegelformule hier ook geldt.

4.1.3 Het brandpunt

Als het voorwerp in het oneindige ligt, zullen de lichtstralen evenwijdig met de hoofdas invallen. De teruggekaatste stralen zullen de optische as snijden in het punt F , dit punt noemen we het brandpunt van de spiegel. De afstand van F tot de spiegel kunnen we nu berekenen:

$$\frac{1}{\infty} + \frac{1}{f} = \frac{2}{r} \Leftrightarrow f = \frac{r}{2}$$

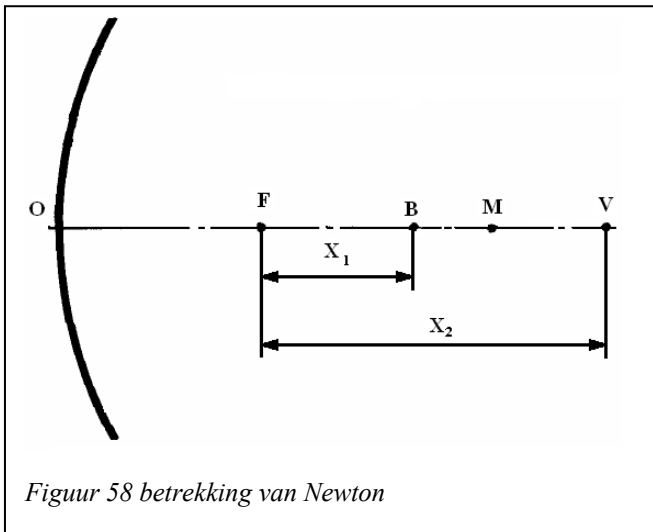
Hierdoor krijgt de spiegelformule een eenvoudiger vorm:

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

Ook op een nevenas is een brandpunt te vinden, we noemen dit een nevenbrandpunt. De brandpuntsafstand komt hier ook overeen met de helft van de straal. De verzameling van alle nevenbrandpunten noemen we het brandvlak of focaalvlak, dit vlak is een bolsegment concentrisch met de spiegel.

Een voorwerp dat oneindig ver afgelegen is wordt in het brandvlak afgebeeld. Bij een telescoop zullen we aannemen dat sterren oneindig ver van de spiegel staan.

4.1.4 De betrekking van Newton



Als we F gelijk stellen aan de oorsprong, dan zijn de abscissen van V en B gelijk aan X_1 en X_2 . Samen met de brandpuntsafstand kunnen we deze waarden invullen in de spiegelformule:

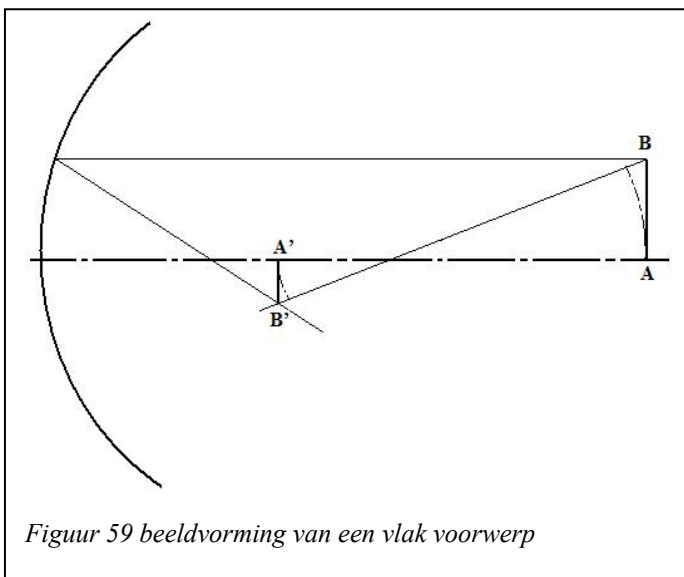
$$\frac{1}{f + X_1} + \frac{1}{f + X_2} = \frac{1}{f}$$

Na uitwerking vinden we:

$$X_1 \cdot X_2 = f^2$$

Omdat de uitkomst van een kwadraat steeds positief is kunnen we besluiten dat voorwerp en beeld altijd langs dezelfde kant van het brandpunt liggen. Als X_1 en X_2 positief zijn zullen V en B langs weerszijden van M liggen en als ze negatief zijn langs weerszijden van O liggen.

4.1.5 Het beeld van een vlak voorwerp



Als een vlak voorwerp AB op een grotere afstand van de spiegel ligt dan het krommingsmiddelpunt, zal er een beeld gevormd worden die lichtjes weg van de spiegel kromt concentrisch aan de spiegel.

Ligt het voorwerp tussen de spiegel en het brandpunt, dan zal een virtueel beeld gevormd worden die ook naar de spiegel toe gekromd is. Omdat de kromming van het beeld gering blijft (vooral als het voorwerp klein is), wordt dit in de

meeste gevallen verwaarloosd. We kunnen dus aannemen dat het beeld vlak is en loodrecht op de hoofdas staat. Ook het brandvlak kan met goede benadering als een plat vlak worden aanzien.

4.1.6 De vergrotingsmaatstaf

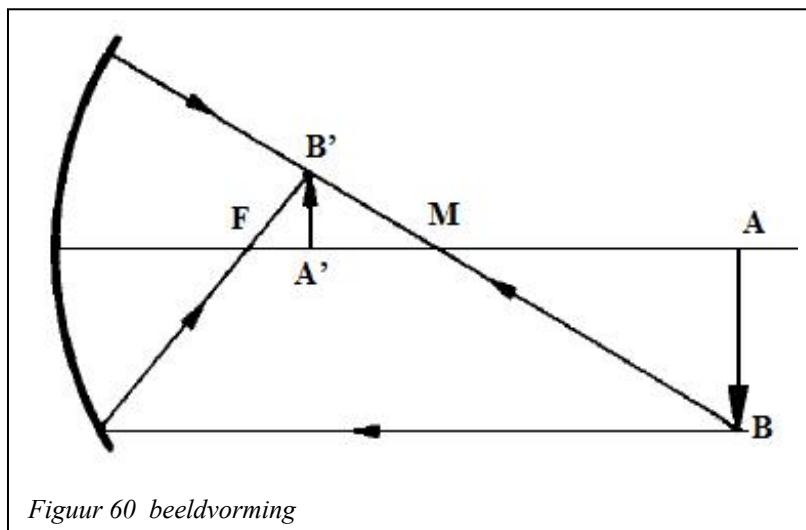
De vergrotingsmaatstaf (N) is de verhouding tussen de grootte van het beeld en de grootte van het voorwerp. Het is eenvoudig te berekenen met volgende formules (zie figuur 3):

$$N = \frac{A'B'}{AB} \Leftrightarrow N = \frac{b}{v}$$

Hierin zijn b en v de afstanden van beeld en voorwerp tot de spiegel.

4.1.7 De constructie van afbeeldingen

Een afbeelding construeren bij een holle spiegel is zeer eenvoudig. We maken gebruik van twee bijzondere stralen: een straal die door het kromtemiddelpunt loopt, gaat na reflectie weer door het kromtemiddelpunt en een straal evenwijdig aan de hoofdas loopt na reflectie door het brandpunt.



We kunnen nu vijf gevallen bespreken:

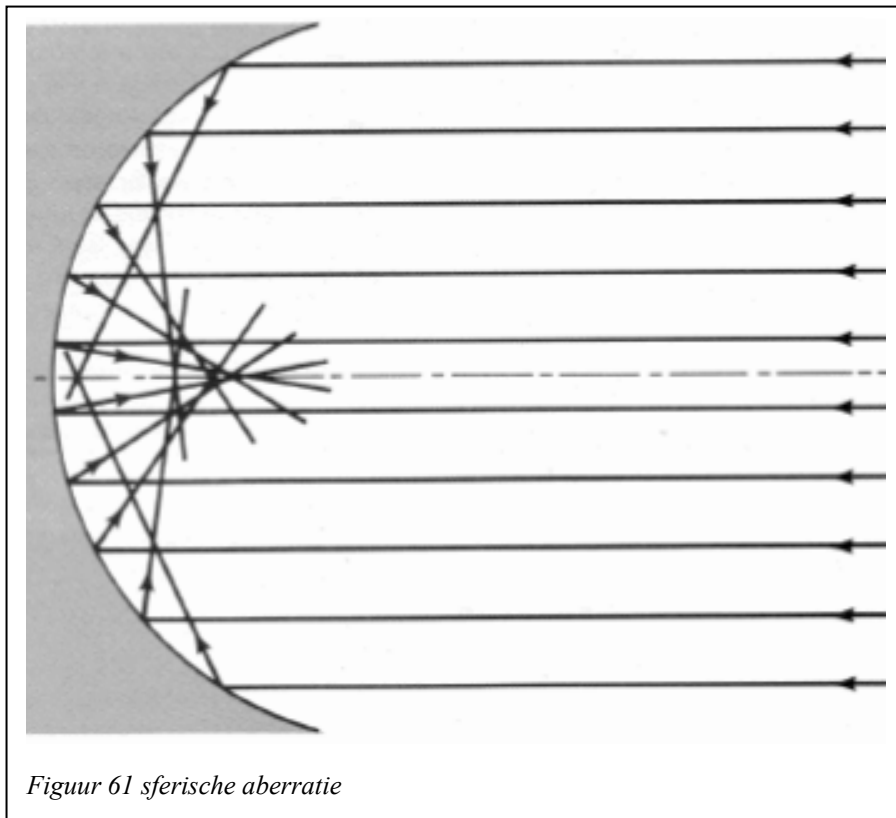
- Het voorwerp staat voorbij M. Er zal een reëel beeld ontstaan tussen F en M, het beeld is omgekeerd en verkleind ($N < 1$).
- Het voorwerp staat in M. Er zal een reëel beeld ontstaan in M, het beeld is omgekeerd en blijft even groot ($N = 1$).
- Het voorwerp staat tussen F en M. Er zal een reëel beeld ontstaan voorbij M, het beeld is omgekeerd en vergroot ($N > 1$).
- Het voorwerp staat in F. Er ontstaat een oneindig groot beeld in het oneindige.
- Het voorwerp staat tussen F en de spiegel. Er ontstaat een virtueel beeld achter de spiegel, het beeld staat recht en is vergroot.

Hieruit kunnen we besluiten dat bij reële beeldvorming het beeld steeds omgekeerd is en bij virtuele beeldvorming het beeld recht staat.

4.1.8 De bolle spiegel

De stralengang in een bolle spiegel kan op dezelfde manier als bij een holle spiegel beschreven worden. Het enige verschil is dat de stralen naar buiten gereflecteerd worden. Dit wil zeggen dat het beeld altijd virtueel is en dus ligt het brandpunt ook achter de spiegel. Om deze reden is de brandpuntsafstand bij een bolle spiegel steeds negatief.

Bij het bepalen van het brandpunt hebben we enkele benaderingen gemaakt. Als we deze nader bekijken, zien we dat het hoofdbrandpunt niet nauwkeurig bepaald is. Bij spiegels met een kleine openingshoek blijft dit verwaarloosbaar, maar als we gaan kijken naar spiegels met een openingshoek van enkele tientallen graden dan zullen de randstralen de



hoofdas dichterbij de spiegel snijden dan de stralen die meer centraal liggen. Als we de weerkaatste stralen zouden opvangen dan zal je geen puntje zien, maar een vlek die groter wordt naarmate de openingshoek vergroot. Deze afwijking noemen we sferische aberratie en ontstaat door de sferische vorm van de spiegel.

Dit gebrek kan gedeeltelijk verholpen worden door het plaatsen van een diafragma dat enkel de centrale stralen van de lichtbundel doorlaat. Bij het plaatsen van een diafragma zal de lichtintensiteit wel verminderen.

4.2 De parabolische spiegel

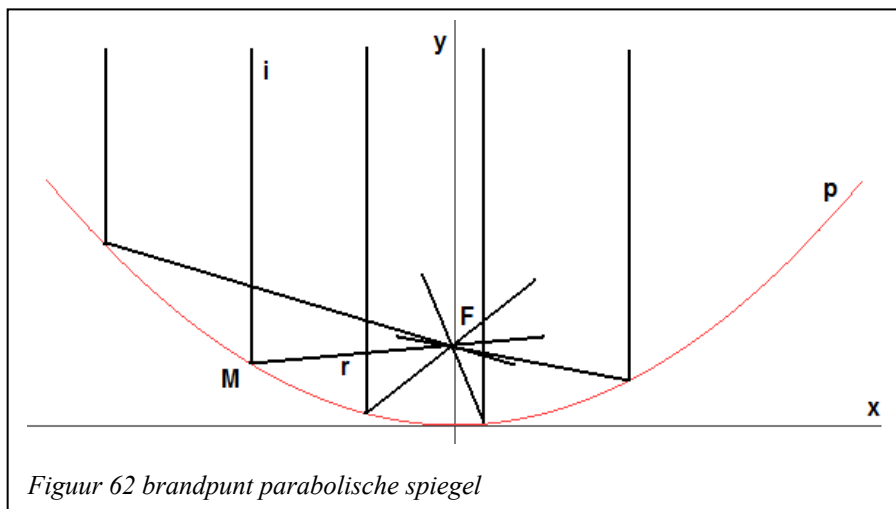
Een parabolische spiegel is een holle spiegel die de vorm heeft van een omwentelingsparaboloïde. De functie van een parabool kan op twee manieren geschreven worden:

$$y^2 = 2px \quad (\text{De X-as is de hoofdas van de parabool.})$$

$$y = \frac{x^2}{4f} \quad (\text{De Y-as is de hoofdas van de parabool, } f \text{ is de brandpuntsafstand.})$$

4.2.1 Het brandpunt

Bij het bepalen van het brandpunt van een holle sferische spiegel werd gezegd dat de stralen die evenwijdig lopen aan de hoofdas door het brandpunt weerkaatst worden. Dit was echter een benadering. Bij een parabolische spiegel zullen we met volgend bewijs aantonen dat evenwijdige stralen wel door het brandpunt weerkaatst worden.



We kiezen M (a,b) als het punt van de parabool p waar de straal i invalt (onder de hoek i). De straal r is dan de teruggekaatste straal (onder de hoek r) en F is het brandpunt van de parabool. We tekenen vervolgens de raaklijn t aan de parabool door M en de normaal n door M.

De vergelijking van de parabool: $y = \frac{x^2}{4f}$

De eerste afgeleide is dan gelijk aan: $y' = \frac{x}{2f}$

Rico van de raaklijn in het punt M (a,b): $y'_a = \frac{a}{2f}$ dus $m_t = \frac{a}{2f}$

$$n \perp t \Rightarrow m_t \cdot m_n = -1$$

$$m_n = -\frac{2f}{a}$$

We nemen α als de hoek tussen de normaal en de x-as.

$$\tan \alpha = m_n = -\frac{2f}{a}$$

We nemen β als de hoek tussen de teruggekaatste straal r en de x-as.

$$\beta = \alpha - r = \alpha - i \quad \text{daar } r = i \text{ (spiegel!)}$$

$$\tan \beta = m_r$$

$$\Rightarrow m_r = \tan(\alpha - i)$$

$$\Rightarrow \alpha + i = 90^\circ \Rightarrow \alpha = 90^\circ - i$$

$$\Rightarrow m_r = \tan(90^\circ - 2i) = -\cot g(2i) = -\frac{1}{\tan(2i)} = -\frac{(1 - \tan^2 \alpha)}{2 \tan \alpha}$$

$$m_r = -\frac{(1 - \tan^2 \alpha)}{2 \tan \alpha}$$

Nu vullen we $\tan \alpha = -\frac{2f}{a}$ in:

$$\text{Dus: } m_r = -\frac{\left(1 - \frac{4f^2}{a^2}\right)}{2\left(-\frac{2f}{a}\right)} = \frac{\left(\frac{a^2 - 4f^2}{a^2}\right)}{\frac{4f}{a}}$$

$$m_r = \left(\frac{a^2 - 4f^2}{a^2} \cdot \left(\frac{a}{4f}\right)\right) = \frac{a^2 - 4f^2}{4fa}$$

De vergelijking van de teruggekaatste straal door het punt M (a,b):

$$y - b = \frac{a^2 - 4f^2}{4fa} \cdot (x - a)$$

We zoeken nu het snijpunt met y-as : $x = 0$

$$y - b = \frac{a^2 - 4f^2}{4fa} \cdot (-a) \quad M \in p : b = f(a) \Rightarrow b = \frac{a^2}{4f}$$

$$y = \frac{a^2}{4f} - \frac{a^2 - 4f^2}{4f} = \frac{4f^2}{4f} = f$$

Hieruit kunnen we besluiten dat de positie van het snijpunt met de y-as onafhankelijk is van de plaats waar de straal i invalt. De teruggekaatste straal r zal dus altijd door het brandpunt $F(0, f)$ gaan. Algemeen kunnen we stellen dat iedere straal die evenwijdig loopt aan de hoofdas, gereflecteerd wordt door het brandpunt.

Omgekeerd is ook waar: als men een lichtbron in het brandpunt zet, dan zal er een stralenbundel ontstaan waarvan alle stralen evenwijdig zijn aan elkaar (denk maar aan een schijnwerper). Als de stralen niet evenwijdig aan de hoofdas invallen, zal een nevenbrandpunt ontstaan. Alle nevenbrandpunten samen vormen het brandvlak.

4.2.2 Sferische aberratie

Omdat het brandpunt bij een sferische spiegel niet nauwkeurig bepaald is kunnen we spreken van sferische aberratie. Een parabolische spiegel daarentegen heeft wel een nauwkeurig bepaald brandpunt. De fout die we dus maakten bij een sferische spiegel kunnen we oplossen door gebruik te maken van een parabolische spiegel. Daarom gebruikt men bij het maken van een newtontelescoop een parabolische spiegel om een zo scherp mogelijk beeld te verkrijgen.

5 Slijpen – Polijsten - Paraboliseren

5.1 Slijpen van een newtonspiegel

5.1.1 Voorbereiding

Voor het slijpen van een spiegel, zijn er een aantal zaken nodig voordat je kunt beginnen. Het eerste dat je nodig hebt zijn twee glasplaten, wij hebben soda-lime glas (beter bekend als gewoon vensterglas) gebruikt. De ene glasplaat dient als tool de andere wordt straks de spiegel. Het volgende dat je nodig hebt is een werkplaats. In de meeste gevallen worden tonnen gebruikt met een houten plank op met schroeven, om de glasplaat op zijn plaats te houden. Verder zijn er nog de slijppoeders. Het poeder dat wij gebruikt hebben was carborundum. Het is na diamant het hardste materiaal. Er zijn verschillende niveaus van poeder namelijk 80, 120, 240, 320, 500, 600, 800, 1200. Deze waarden staan voor het aantal korrels per inch, dus 80 is de grofste korrel en 1200 is de fijnste.

5.1.2 Uitrusten van de spiegel

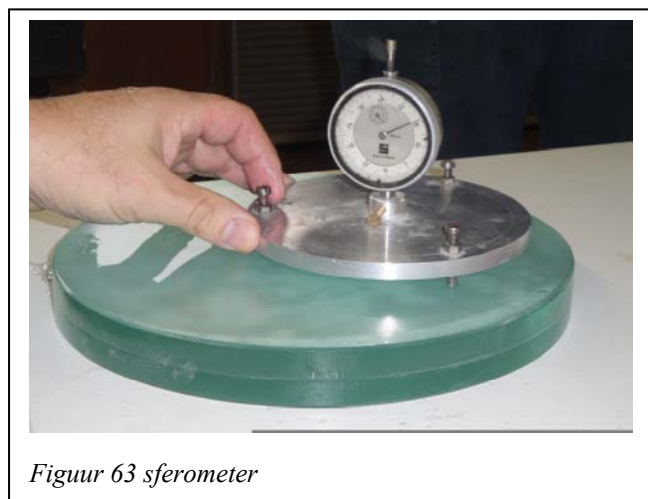
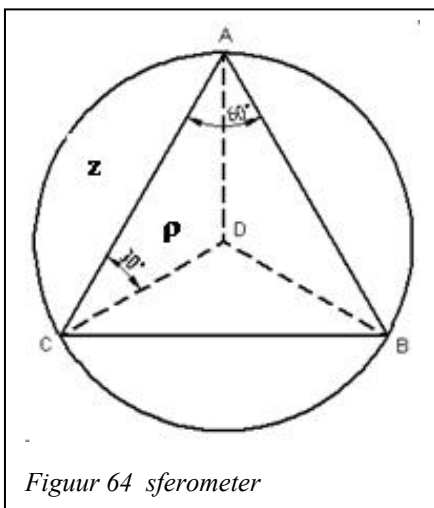
Eerst en vooral moeten de twee glasplaten een schuine kant van 45° hebben. Dit wordt gedaan onder stromend water met een carborundumsteen. Je moet de steen van je weg duwen om zo een schuine rand te creëren. Als je dit niet doet, dan bestaat de kans dat er stukken glas van de rand afbreken. Dan moet je de tool vastzetten op de ton met de spiegel erop met carborundum 80 en een beetje water ertussen, want wanneer je twee ronde glasplaten over elkaar heen wrijft, dan wordt de onderste (de tool) bol en de bovenste (de spiegel) hol. Als je ze in alle richtingen en met evenveel druk over elkaar heen wrijft, dan worden ze precies sferisch. Het is dus de bedoeling dat in het midden meer wordt weggeslepen dan aan de randen. Om dit te doen kan je verschillende slijptechnieken gebruiken, zoals de kordenslag, de diagonaalslag en de W-slag. Als eerste gebruik je de koordenslag en zorg je ervoor dat het midden van de bovenste glasplaat de rand raakt. Je moet wel opletten dat ze niet klikken. Als je een slag gedaan hebt, draai je de spiegel naar rechts en draai je zelf de andere richting op en doe je opnieuw dezelfde slag. Na een tijdje voel je dat het carborundum niet meer schuurt. Als dit gebeurt, moet je opnieuw poeder bijdoen en er een beetje water op vernevelen. Het water zorgt ervoor dat de tool en spiegel beter over elkaar glijden en het poeder niet in de lucht vliegt. Wij slepen een spiegel met 3 personen. Elke voerden we een andere slag uit. We werkten elk om beurt, over eenzelfde tijdspanne. Als er een diepte te zien is, dan mag de diagonaalslag gebruikt worden en nog iets later mag de W-slag gebruikt worden. Na een tijdje zie je dat de cirkel in het midden van de spiegel groter geworden is. Het is de bedoeling dat dit tot aan de randen gebeurt. Als het te lang duurt, dan kun je de schijven eens omkeren om de randen beter te bewerken. Maar niet te lang, want zo wordt de curve ondieper. Wanneer je met de sferometer een brandpunt meet die 10 à 15 cm langer is dan hetgeen je wilt bereiken, dan is het tijd om over te gaan op het C120 poeder. Voor je werkelijk kunt over gaan op poeder C120 moet alles eerst goed gekuist worden. Dit moet grondig gebeuren om te voorkomen dat een korreltje C80 achterblijven. De spiegel, de tool, de werkomgeving en ieder die in contact komt met de spiegel moeten schoon gemaakt worden. Het is zelfs aangeraden om van kledij te veranderen. Hoe fijner het poeder wordt hoe grondiger men zal poetsen.

Na carborundum 80 moet je de koordenslag niet meer toepassen omdat die diende voor het uitdiepen, maar nu is het belang de afwerking. Bij de volgende poeders gebruiken we de diagonaal- en W-slag. Aan het slijpen zelf veranderd er niet veel, de spiegel wordt het best afgewerkt wanneer de tool 1/3 van de tijd vanboven ligt om de randen af te werken. Bij de poeders 80 tot 240 gebruikt men enkel de sferometer om te zien wanneer er op een volgent poeder mag worden overgeschakeld. Vanaf poeder C180-C240 wordt er een stereomicroscop bij gehaald. Met het C120 poeder hebben we een uurtje door gewerkt. Dit poeder verschilt niet zoveel van het voorgaande. Daarna volgt poeder C180 dat wel een duidelijk verschil in structuur heeft t.o.v. het C80 poeder. Eens het slijpen met het C180 poeder kan men de spiegel een eerste maal met de stereomicroscop afspeuren naar krassen. Krijgt men een egaal beeld te zien dan kan men beslissen om over te gaan tot het

volgende poeder. Naarmate de poeders fijner worden, gaan ze langer mee. Soms is het voldoende om tijdens het slijpen enkel nog water toe te voegen. We moeten nu echter steeds meer bedacht zijn op vacuümvorming tussen de spiegels. Daar spiegel en tool steeds nauwer op elkaar aansluiten wordt de kans steeds groter dat er tussen spiegel en tool een vacuüm ontstaat. Als dit zich voordoet komen de twee op elkaar vast te zitten. Losmaken kan met behulp van een houten blok en hamer. Met zachte slagen probeert men de twee glazenschijven zijdelings over elkaar te laten bewegen. De kans op beschadiging is reëel. Eens Als bovenstaande goed verlopen is, kan je overschakelen naar het polijsten.

5.1.3 De sferometer

Een sferometer is een meettoestel waarmee je de kromtestraal van een oppervlak (in dit geval de spiegel) kunt meten. De sferometer bestaat uit een ronde plaat met 3 steunpunten die op gelijke afstand van elkaar liggen met in het midden een schroef waarvan de eigenschappen bekend zijn. Wanneer het oppervlak waarop de sferometer staat perfect vlak is, dan moet de waarde ervan 0 zijn. Indien dit niet het geval is dan moet hij geijkt worden door de pootjes te veranderen van hoogte. Wanneer de sferometer geijkt is en je hem dan op een hol of bol oppervlak plaatst, dan zal er een afwijking te zien zijn. Hoe groter de kromtestraal, hoe geringer de afwijking. Als de sferometer op een oppervlak met een kleinere kromtestraal wordt gebruikt, dan zal de afleesklok enkele omwentelingen maken. Om dan toch een nauwkeurige kromtestraal te berekenen, wordt er gebruik gemaakt van de formule:



Met

- R = de kromtestraal
- a = de afstand tussen de drie voetjes
- h = de gemeten afwijking

Afleiding van deze formule voor het berekenen van de kromtestraal:

De 3 toppen bepalen op het bolvlak een kleine cirkel, d.i. de omschreven cirkel van de gelijkzijdige driehoek ABC. De meetstift van de meetklok staat in de pool P van de cirkel, en haar as staat loodrecht op het vlak van cirkel en driehoek en loopt door D, middelpunt van de driehoek, en ook door O het middelpunt van de bol.

We stellen:

$$AB = AC = BC = z$$

$$AD = BD = CD = \rho$$

De boog BE door de pool P behoort tot een grote cirkel, en daarvan wordt de straal R gevraagd. De koorde BE = 2. ρ , en PD is de pijl van het segment BPE. Men heeft dus :

$$R^2 = BD^2 + OD^2$$

$$R^2 = \rho^2 + (R - h)^2$$

$$\text{Uitwerking} \quad R^2 = \rho^2 + R^2 - 2Rh + h^2$$

$$2Rh = \rho^2 + h^2$$

$$R = \frac{\rho^2}{2h} + \frac{h}{2}$$

Uit de constructie van de sferometer volgt:

$$\rho = \frac{z}{\sqrt{3}} \quad \text{of} \quad \rho^2 = \frac{z^2}{3}$$

$$\text{Vandaar} \quad R = \frac{z^2}{6h} + \frac{h}{2}$$

5.2 Polijsten – Polijstmiddelen

5.2.1 Wat is polijsten?

Het polijsten is het volgende proces dat de glasschijven moeten ondergaan. De functie van polijsten is eigenlijk om de glasschijven terug doorzichtig te maken en heeft ook als bedoeling om ze perfect sferisch te maken. Dit proces gebeurt door blauwe viltjes te kleven op de tool. Het gebruik van viltjes is nieuw in de lectuur van polijsten voor een telescoop, maar met diezelfde viltjes werden al brillenglazen gepolijst. Vroeger werd er gebruik gemaakt van optisch pek en ceriumoxide, maar je kunt dit vergelijken met 10 keer de tijd die men nodig heeft om nu een glasschijf te polijsten. Niet enkel de viltjes polijsten het glas, er wordt ook gebruik gemaakt van de samenstelling CeO_2 (ceruimoxide) en water. Het



Figuur 65

product ceriumoxide is een fijn kristalijn poeder, dat een witte tot gele kleur heeft. Het wordt ook gebruikt voor bijvoorbeeld het ontkleuren van groen glas.

5.2.2 Werkwijze

De tool wordt bedekt met blauwe viltjes waarop men vervolgens een papje van CeO_2 en water giet. Als dit alles gebeurt is, maakt men gebruik van de diagonaalslag die we reeds eerder bij het slijpen gebruikten. Deze voeren we met grote druk maar niet te snel uit. Na 30 minuten kunnen we reeds een eerste maal de spiegel nazien op eventuele fouten in de kromming. De correctie van fouten moet nu niet meer gebeuren door de slaglengte aan te passen maar wel door plaatselijk te gaan wrijven. Dit plaatselijk wrijven is met viltjes zeer eenvoudig te doen. Het gebruik van viltjes heeft echter als nadeel dat er op het oppervlak steeds een soort “microrimpel” blijft bestaan .



Figuur 66 microrimpel

Met behulp van een lichtstraal, bv een laserpointer, kan men nagaan of het polijsten in voldoende mate gebeurt is. De laserpointer hou je onder een hoek van 45° t.o.v. het spiegeloppervlak. De straal gaat schuin doorheen de spiegel en is dus breder bij de intrede. Doet men dit op een onbewerkte glasplaat dan merkt men geen terugkaatsing aan het oppervlak van de plaat. Dit willen we nu ook bereiken bij de bewerkte en gepolijste spiegel. Eens de lichtstraal niet meer weerkaatst aan het oppervlak van de spiegelglasplaat is het polijsten achter de rug en kan het paraboliseren starten.

5.3 De foucaulttest

Na ongeveer 1 uur polijsten is het tijd om de spiegel te controleren op fouten. Dit wordt gedaan via de foucaulttest. De opstelling van deze test gaat als volgt: uiterst links bevindt zich de spiegel (deze kun je in verschillende richtingen kantelen), dan heb je een meetopstelling (zie figuur) waarin zich een lichtbron met daarbovenop een scheermesje. Voor er kan gemeten worden moet de spiegel enkele minuten op de optische bank

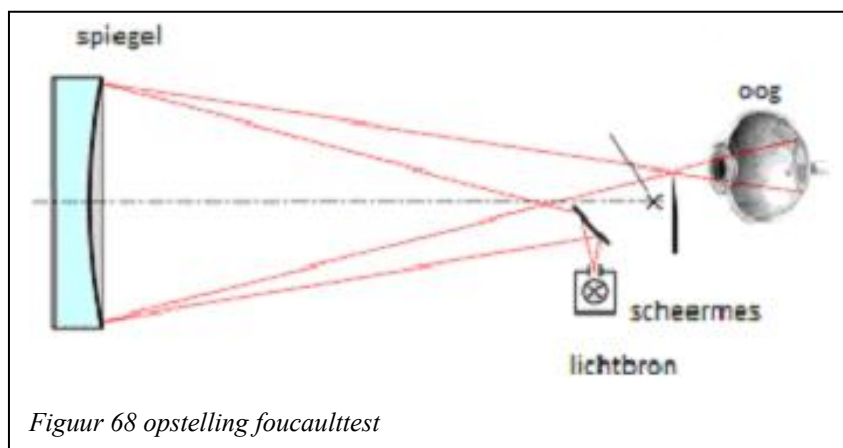
acclimatiseren. Zodat de spiegel de omgevingstemperatuur kan aannemen. Dan moet je het straal-punt van de teruggekaatste lichtbundel zoeken. Dit doe je door het licht via grote maar trage beweging in alle richtingen (uitgenomen, voor- en achterwaarts) te bewegen tot je de terugkaatsing van de lichtbron ziet. Als je dit ziet, dan zit je met je oog op de optische as van de spiegel. Nadat je de optische as gevonden hebt,



Figuur 67 foucaulttest

moet je, je oog zo dicht mogelijk achter de zijkant van het mes houden en de tester naar links en rechts schuiven tot je de gereflecteerde lichtstralen ziet.

Terwijl we naar de spiegel kijken en de lichtstralen zien, moeten we de lichtbundel voorzichtig en zeer traag insnijden. Als je tijdens het insnijden een zwarte schaduwrand ziet die in dezelfde richting gaat als het mes, dan staat het mes te dicht bij de spiegel. Als de schaduw in tegengestelde richting gaat, dan staat het mes te ver van de spiegel.



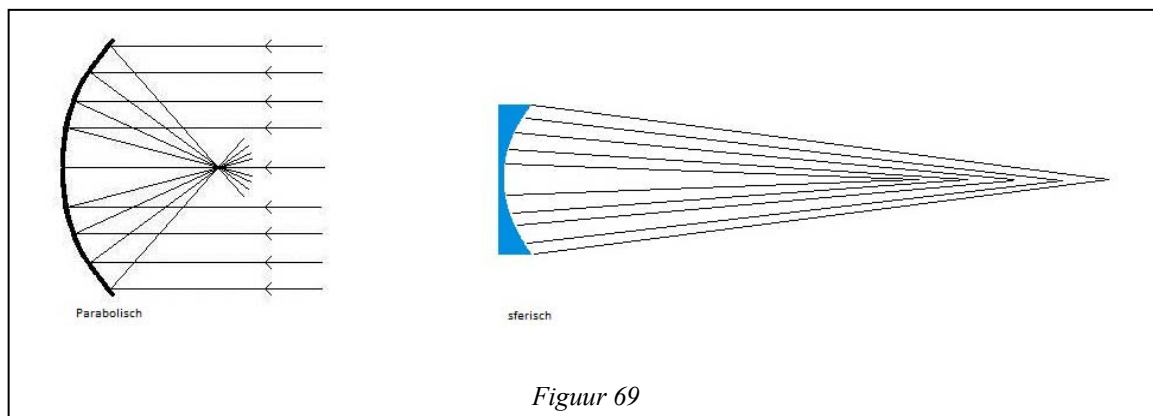
Figuur 68 opstelling foucaulttest

Wanneer het mes precies in het brandpunt staat en je dat heel traag snijdt, dan wordt de spiegel stelselmatig grijs tot hij volledig zwart is. Als je tijdens het insnijden door het brandpunt schaduwen

ziet die zowel links als rechts bewegen, dan heeft de spiegel foutieve zones die door verder polijsten weggewerkt moeten worden.

5.4 Paraboliseren

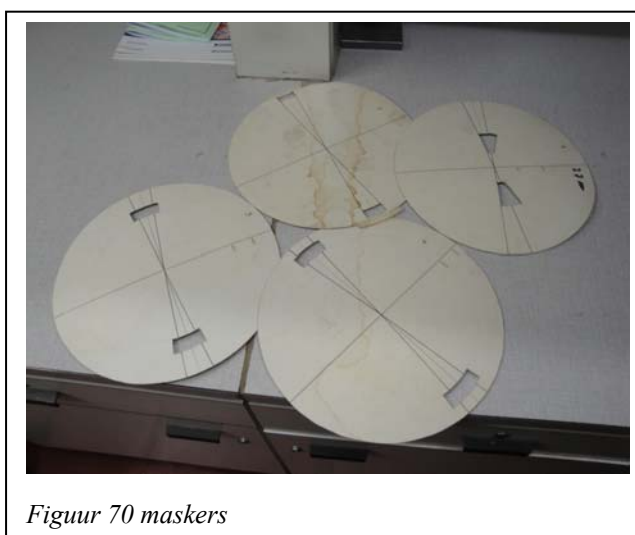
Het paraboliseren van een telescoopspiegel is, zelfs voor amateurs als wij, een noodzakelijk kwaad. Voor leken is dit een moeilijke maar o zo belangrijke ingreep voor de



goede werking van de telescoop. Zoals je kunt zien in bovenstaande figuur en vroeger reeds bewezen, heeft een sferische spiegel geen eenduidig brandpunt. Om ervoor te zorgen dat er maar 1 brandpunt is, moeten men de spiegel een gepaste paraboolvorm geven. Deze parabool heeft wel één enkel brandpunt. Gelukkig konden wij rekenen op de hulp van Jean-Pierre Grootaerd om dit karweitje te klaren.

5.5 Maskers

Om na te gaan of de spiegel goed geparaboliseerd is, maakt men opnieuw gebruik van de Foucaulttest. Om de brandpuntsafstand op verschillende stralen op de spiegel te kunnen meten maakt men gebruik van maskers. Wij maakten gebruik van 5 maskers. ervoor. De maskers zijn gemaakt uit karton en hebben dezelfde grote als de spiegel. Elk van deze maskers hebben twee gelijke en concentrisch gelegen openingen (zie




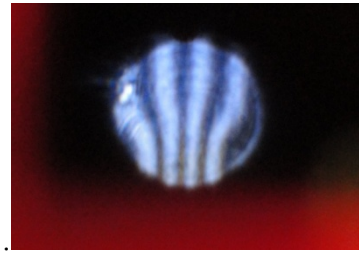
figuur 72). Op het eerste masker liggen de openingen het dichtste bij het middelpunt. Merk op dat de spiegelzone rond het middelpunt niet bestraald wordt door de aanwezigheid van de vangspiegel op de middellijn. Van de opeenvolgende maskers wordt de straal van het middelpunt tot de gaatjes steeds groter naarmate de gaatjes zich meer op de rand van het masker zich gaan bevinden. De spiegel moet nu op dezelfde manier aangebracht worden als de Foucaulttest, maar dan wel met de maskers bovenop de spiegels geplaatst. Wanneer

je met het scheermes in de lichtbundel snijdt, dan kun je zien dat beide gleuven even snel van grijswaarden veranderen. Bij een fout zullen de twee gleuven niet gelijk verduisteren.

5.5.1 Ronchi-test

De Ronchi-test heeft bijna dezelfde opstelling als de foucaulttest. Maar bij de Ronchi-test wordt er gebruik gemaakt van een transparant met verticale parallelle lijnen op. Wanneer je die lijnen voor de spiegel zet, dan zie je de fouten staan en kun je duidelijk het verschil zien tussen een parabolische en een sferische spiegel. Heel belangrijk bij deze test is dat men geen maskers gebruikt.

In onderstaande tabel kan je enkele van onze opnamen als voorbeelden vinden.

| | |
|---|--|
|  | <p>Uit deze figuur kan je afleiden dat het een parabool is met een zwaar afgezakte rand.</p> |
|  | <p>Hieruit kan je afleiden dat er een zwaar astigmatisme is. Dit wil zeggen dat het midden hier niet meer in het midden zit. De oplossing hiervoor is dat de spiegel opnieuw geslepen zal moeten worden.</p> |

6 Optische Coating

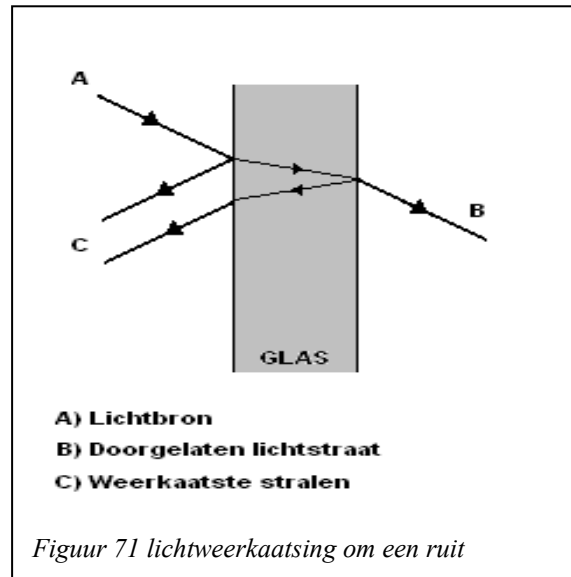
6.1 Inleiding

Als we de lens van een camera bekijken zien we dat deze vaak een blauwachtige glans vertoont. Dit effect is het gevolg van een uiterst dunne laag materiaal waarmee zo'n lens is bedekt, coating genoemd. Dit laagje heeft als doel hinderlijke reflecties tegen te gaan. Deze reflecties treden op als lichtstralen de grensvlakken tussen lucht en lens passeren. Bovendien kan het laagje bijdragen aan de verbetering van de beeldkwaliteit. Verder kunnen coatings in de optica ook als filter bedoeld zijn.

De juiste dikte van het laagje en een geschikte keuze van het materiaal zijn zeer belangrijk. In sommige optische apparaten komen coatings voor die opgebouwd zijn uit meer dan veertig laagjes van verschillende dikte en verschillende materialen.

6.2 Lichtweerkaatsing

Als je 's avonds aandachtig door een venster kijkt terwijl er licht brandt in de kamer, zal merken dat de vensterruit een dubbele reflectie van de lamp laat zien. Dit dubbelbeeld ontstaat doordat zowel de voorkant als de achterkant van de ruit de lichtstralen terugkaatst. Ook bij een lens komen dergelijke dubbele reflecties voor. Ze hebben een tweeledig effect op de beeldvorming: het beeld wordt lichtzwakker en het wordt minder scherp. De oorzaak van beide effecten zullen we opsporen bij een zogenaamde ideale lens. Dit is een lens die van een puntvormig voorwerp een puntvormig beeld geeft. Wanneer een invallende straal een intensiteit van 100% heeft, en als het glas van de lens een



Figuur 71 lichtweerkaatsing om een ruit

brekingsindex $n = 1,51$ heeft ten opzichte van lucht, volgt uit de formule van Fresnel dat bij het linkeroppervlak van de lens 4,1% van het invallende licht wordt teruggekaatst en dus 95,9% wordt doorgelaten. Ook aan het rechteroppervlak van de lens wordt 4,1% van de opvallende intensiteit teruggekaatst en 95,9% doorgelaten, zodat uiteindelijk in het beeldpunt maar 95,9% van 95,9%, dus circa 92% van de oorspronkelijke intensiteit aankomt. We laten daarbij nog de eventuele absorptie van het licht door het glas van de lens buiten beschouwing. Het is duidelijk dat in een lenzensysteem het totale lichtverlies aanzienlijk kan worden.

De vraag is hoe we dit lichtverlies kunnen beperken. Een mogelijkheid is een lens te gebruiken van een glassoort met een lage brekingsindex n , de intensiteit van de teruggekaatste lichtstraal is namelijk van n afhankelijk. In het hierboven uitgewerkte voorbeeld (met $n = 1,51$ ten opzichte van lucht) was het intensiteitsverlies 4,1%. Bij flintglas met $n = 1,65$ is het zelfs 6,0%. Moesten we echter kunnen beschikken over een glassoort met $n = 1,23$ dan is de reflectie ongeveer 1,1%, wat merkkelijk minder is. Gebruiken we echter een lens met $n = 1,51$ niet in lucht, maar in een atmosfeer met $n = 1,23$, dan bedraagt de reflectie ook ongeveer 1,1%. Het glas van de lens heeft dan ten opzichte van die omringende atmosfeer een brekingsindex van $1,51 : 1,23 = 1,23$. Zo'n atmosfeer kunnen we nu maken door de lens te coaten met een laagje geschikt materiaal.

6.2.1 Antireflectielagen

De werking van een antireflectielaag op een lens berust op het verschijnsel interferentie. We laten een lichtstraal loodrecht op een gecoate lens invallen. Deze straal kaatst dan voor een deel terug tegen het grensvlak van lucht en coating, en eveneens voor een deel tegen het grensvlak coating/glas (zie fig.). Voor duidelijkheid is in de tekening de invallende straal iets schuin getekend; de teruggekaatste stralen 1 en 2 lopen in de tekening naast elkaar, maar vallen in de werkelijkheid samen. De stralen 2 en 3 kunnen nu interfereren. Dit geeft volledige uitdoving als ze tegengestelde fase hebben en als ze gelijke intensiteit hebben. Aan de eerste voorwaarde kan voldaan worden door de dikte van het laagje coating geschikt te kiezen. Straal 3 heeft vergeleken met straal 2 nog een extra weg af te leggen van 2.d. Hierdoor krijgt hij ten opzichte van 2 een faseverschil ($\Delta\phi$) van

$$\Delta\phi = \frac{2d}{\lambda_c} \quad \text{verder weten we dat} \quad n = \frac{\lambda_o}{\lambda_c} \Leftrightarrow \lambda_c = \frac{\lambda_o}{n}$$

$$\text{hieruit volgt} \quad \frac{2d}{\lambda_c} = \frac{2dn_c}{\lambda_o}$$

Als de golflengte in de lucht λ_o is, is deze in de coating $\lambda_c = \lambda_o / n_c$ waarin n_c de brekingsindex van de coating ten opzichte van lucht is. We moeten verder nog letten op eventuele fasesprongen bij de grensvlakken. Zowel bij de terugkaatsing aan het grensvlak lucht/coating als aan het grensvlak coating/glas is er een overgang naar een stof die optisch dichter is. Hierbij treedt een fasesprong van een half op als gevolg van terugkaatsing tegen een vaste wand. Dit heeft dus geen invloed op het faseverschil tussen de stralen 2 en 3.

Voorwaarde voor uitdoving is dus

$$\frac{2.d.n_c}{\lambda_o} = 1/2 \quad \text{ofwel} \quad d = \frac{\lambda_o}{4.n_c}$$

De tweede voorwaarde voor volledige uitdoving is die gelijke intensiteit van de stralen 2 en 3. Nu geldt voor de intensiteit van een teruggekaatste straal I_t , vergeleken met de intensiteit van de invallende straal I_o de betrekking van Fresnel heeft afgeleid:

(n_a, n_b respectievelijk de brekingsindices van de stof a en b t.o.v. lucht)

$$I_t = \left[\frac{n_a - n_b}{n_a + n_b} \right]^2 \cdot I_o$$

Voor straal 2 wordt dit:

$$I_2 = \left[\frac{n_c - n_l}{n_c + n_l} \right]^2 \cdot I_1$$

en voor straal 3:

$$I_3 = \left[\frac{n_g - n_c}{n_g + n_c} \right]^2 \cdot I_2$$

(n_c , n_g respectievelijk de brekingsindices van de coating en van het glas van de lens ten opzichte van vacuüm).

Uit $I_2 = I_3$ volgt:

$$\begin{aligned} \left[\frac{n_c - n_l}{n_c + n_l} \right]^2 \cdot I_1 &= \left[\frac{n_g - n_c}{n_g + n_c} \right]^2 \cdot I_2 & I_1 \approx I_2 \text{ voor de eenvoud stellen we } I_1 = I_2 \\ \Rightarrow \left[\frac{n_c - n_l}{n_c + n_l} \right]^2 &= \left[\frac{n_g - n_c}{n_g + n_c} \right]^2 \\ \Rightarrow \left[\frac{n_c - n_l}{n_c + n_l} \right] &= \left[\frac{n_g - n_c}{n_g + n_c} \right] \\ \Rightarrow (n_c - n_l) \cdot (n_g + n_c) &= (n_g - n_c) \cdot (n_c + n_l) \\ \Rightarrow n_c \cdot n_g + n_c^2 - n_l \cdot n_g - n_l \cdot n_c &= n_g \cdot n_c + n_g \cdot n_l - n_c^2 - n_c \cdot n_l \\ \Rightarrow n_c^2 - n_l \cdot n_g &= n_g \cdot n_l - n_c^2 \\ \Rightarrow 2n_c^2 &= 2 \cdot n_g \cdot n_l \\ \Rightarrow n_c &= \sqrt{n_g \cdot n_l} \end{aligned}$$

Voor een lens van kroonglas zou de optimale brekingsindex van het coating materiaal moeten gelijk zijn aan: ($n_g = 1,51$ en $n_l = 1,00029 \approx 1$)

$$\Rightarrow n_c = \sqrt{1,51} = 1,23$$

Besluit: Door het aanbrengen van een coating met gepaste brekingsindex ($n_c = \sqrt{n_g \cdot n_l}$) kan men de intensiteit van het gereflecteerde licht sterk doen afnemen. Door de coating een geschikte dikte ($d = \lambda_0 / (4 \cdot n_c)$) te geven kan men de intensiteit van het gereflecteerde licht tot nul herleiden. Een laag van deze dikte noemen we daarom een antireflectielaag.

Het realiseren van een antireflectielaag, die volledige uitdoving geeft, levert in de praktijk nog enige moeilijkheden op. Aangezien we niet beschikken over coatingmateriaal met de

juiste brekingsindex dat bovendien een goede hechtingkracht en grote duurzaamheid heeft, kunnen we met één laag nooit volledige uitdoving bereiken. Magnesiumfluoride bezit wel een goede hechtingkracht en duurzaamheid, maar deze stof heeft een brekingsindex van $n_c = 1,38$.

Een laagje hiervan met ideale dikte geeft geen volledige uitdoving. Bovendien gaan de voorwaarden voor uitdoving maar op voor één golflengte op. Werken we met monochromatisch licht dan is deze beperking geen enkel bezwaar. Maar bij gebruik van wit licht waarin alle kleuren van het spectrum voorkomen, kan maar één golflengte, dus één kleur, volledig uitgedoofd worden. Meestal kiest men voor een golflengte die in het midden van het spectrum ligt, bijvoorbeeld die van geel licht van 550 nm. De andere golflengten worden dan niet volledig uitgedoofd, maar verliezen toch een aanzienlijk deel van hun intensiteit. Van de kleuren die aan de grenzen van het zichtbare spectrum liggen, rood en violet, blijft nog het meeste over in de gereflecteerde bundel. Vandaar dat het gereflecteerde licht van een gecoate lens vaak enigszins paars van tint is. Soms kiest men ook voor een coating van meerdere antireflectielagen over elkaar. Met twee of drie lagen is de terugkaatsing voor een bepaald golflengtegebied wel tot nul te reduceren. De opeenvolgende lagen bestaan uit verschillende materialen met verschillende brekingsindices. Als voorbeeld nemen we een coating met een eerste laag uit magnesiumfluoride ($n = 1,38$), een tweede laag uit titaanoxijde ($n = 2,35$) en de derde uit siliciumoxijde ($n = 1,50$).

6.3 Filters

Een filter dient om één bepaald golflengtegebied uit het hele spectrum te selecteren. Met de dunne-lagentechniek kan men filters vervaardigen die zo selectief zijn dat er vrijwel één golflengte wordt uitgefilterd. Het uitgangspunt hierbij is de uitdoving van lichtstralen door interferentie. We onderscheiden reflectiefilters (die één golflengte terugkaatsen) en transmissiefilters (die één golflengte doorlaten).

6.3.1 Reflectiefilters

Gewone spiegels bestaan uit een glasplaat die aan de achterzijde bedekt is met een spiegellende metaallaag. Hierbij treedt dubbele terugkaatsing op. In het dagelijkse leven is dit niet hinderlijk, het dubbele beeld zien we enkel als we er doelbewust op letten. In optische apparatuur wil men echter deze dubbele reflectie zo goed mogelijk onderdrukken. Dat kan met een vlak dat alleen aan de voorzijde spiegelt. Een metaalplaat voldoet in principe aan deze eis, maar metaal laat zich niet zo vlak polijsten als glas. Een oplossing vinden we in het aanbrengen van een dun laagje reflecterend metaal op de voorzijde van een vlakke glasplaat. Zilver heeft in het zichtbare deel van het spectrum een groot reflecterend vermogen maar is vrij kwetsbaar. Aluminium reflecteert wat minder goed, maar het beschermt zichzelf door de vorming van een dun oxidelaagje. Voor een goede reflectie moet de dikte van de laag minstens 30 nm zijn.

6.3.2 Transmissiefilters

Zo'n transmissiefilter bestaat bijvoorbeeld uit een lichtdoorlatende laag B met dikte $d = \lambda_0 / (4.n_B)$ die aan beide zijden bedekt is met dunne reflecterende laagjes R_1 en R_2 die een grote reflectie (R) en een kleine transmissie (T) moeten hebben. Valt nu een lichtstraal van links loodrecht op deze filter in, dan wordt die tussen R_1 en R_2 een groot aantal malen heen en weer gekaatsd. Bij elke terugkaatsing door R_2 treedt een klein percentage T van deze straal aan de rechterzijde uit het filter. Al deze fracties zijn daarbij onderling volkomen in fase wanneer de golflengte λ_0 van het licht gelijk is aan tweemaal de dikte van B, die immers $2.\lambda_0 / (4.n_B) = \lambda_0 / (2.n_B)$ bedraagt. Lichtstralen met een golflengte afwijkend van λ_0 doven uit.

6.3.3 Breedbandfilters

Breedbandfilters hebben als doel een breed golflengtegebied door te laten of terug te kaatsen. In kleuren-tvcamera's zit zo'n filter om het licht in een blauwe, een rode en een groene component te splitsen. De filter bestaat uit een aantal glazen prisma's. De coatings zijn breedbandfilters met transmissiekrommen in het blauwe, rode en groene gebied. Het effect is dat de drie basiskleuren gescheiden uit het prismastelsel naar buiten treden.

6.4 Het aanbrengen van dunne lagen

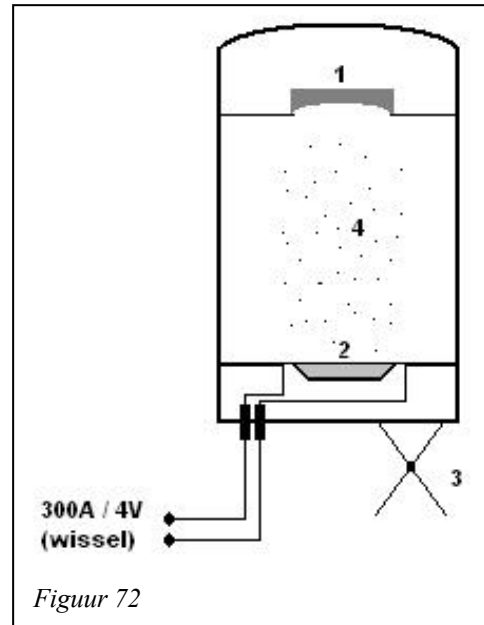
6.4.1 Inleiding

De 2 meest gebruikte manieren om dunne laagjes aan te brengen op een lens of een ander optisch element, zijn opdampen en sputteren. Beide methoden vereisen een ruimte waarin een hoogvacuüm heerst van ongeveer 10^{-3} Pa.

Men moet zich realiseren dat een ruimte met een hoogvacuüm niet volkomen leeg is. Bij 10^{-3} Pa bevinden er zich in 1 dm^3 nog steeds zo'n $3 \cdot 10^{15}$ luchtmoleculen. Bij het aanbrengen van een coating mogen moleculen van het coatingmateriaal onderweg niet te veel last ondervinden van deze luchtmoleculen. Een belangrijke grootheid hierbij is de gemiddelde vrije weglengte van de deeltjes. Hieronder verstaan we de gemiddelde afstand die een deeltje bij deze dichtheid kan afleggen voor het een volgende botsing met een ander deeltje ondergaat. Bij 10^{-3} bedraagt de vrije weglengte ongeveer 3,5 m.

6.4.2 Opdampen

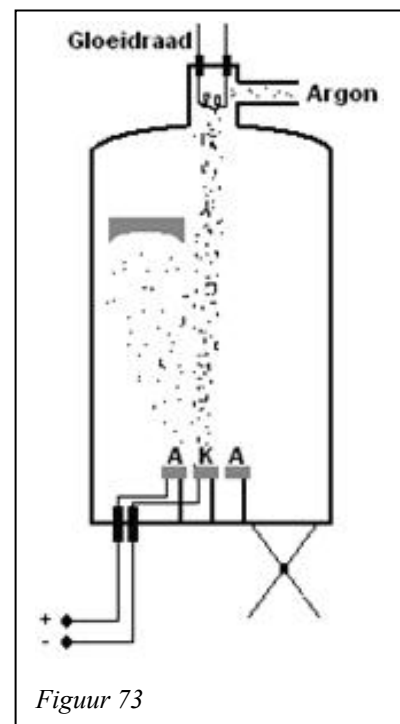
Het opdampen wordt uitgevoerd in een vacuüm klok. Eerst wordt de spiegel (1) boven in de klok geplaatst. Het op te dampen materiaal wordt nu beneden in de klok in een kroesje van wolfram (2) geplaatst. Daarna wordt in de vacuüm klok een hoog vacuüm gemaakt. Dit gebeurt in twee trappen, eerst met een roterende pomp tot een voorvacuüm van ongeveer 1 Pa en vervolgens met een oliediffusiepomp tot het gewenste hoogvacuüm van ongeveer 10^{-3} Pa. Eens zover wordt het opdampmateriaal zo sterk verhit dat het gaat smelt en verdampt. Dit doet men meestal op een van de volgende twee methodes. Men maakt gebruik van een sterke elektrische stroom (300A-4V) die men door heen het kroesje sturen of van een elektronenbundel afkomstig van een gloeikathode. De elektronenbundel wordt door middel van een magnetisch veld op het opdampmateriaal gericht wordt, waardoor daaruit deeltjes vrijkomen. De op deze wijzen vrij gekomen opdampdeeltjes kun zich nu, dankzij het hoogvacuüm, zonder belemmering tot bij de spiegel bewegen en zich op vasthechten.



Op deze wijze streeft men naar een laag dikte van 50 à 60 nm op de lens. Gelijktijdig vormt zich een zelfde laagje op de binnenkant van de vacuümstolp.

6.4.3 Sputteren

Het sputteren, gebeurt eveneens in een vacuüm klok. Hierin leidt men een chemisch inert gas, meestal argon. Daar zorgt een gloeidraad ervoor dat het argon geïoniseerd wordt. De positieve argonionen die vrij komen zijn versnelt men m.b.v. een sterk elektrisch veld en laat ze met grote snelheid op het coatingmateriaal botsen. Door de botsing komen moleculen uit het coatingmateriaal vrij. Deze doorlopen op hun beurt de vacuümkamer en hechten zich aan de spiegel. Het voordeel van sputteren boven opdampen is de betere hechting die bereikt kan worden. Bovendien is het met de sputtertechniek eenvoudiger om mengsels en legeringen aan te brengen. Een nadeel is dat bij een lage dichtheid van de argonvulling in de klok het proces lang duurt, maar dat bij een wat grotere dichtheid de gemiddelde vrije weglengte van de coatingmoleculen weer afneemt.



7 Beeldopname met CCD's

In huishoudelijke, commerciële en wetenschappelijke lichtgevoelige en beeldregistrerende apparaten is een CCD-chip het cruciale onderdeel. CCD staat voor Charge Coupled Devices. Een CCD-chip, kort weg een CCD, zet licht om in een elektrisch signaal. Nu is licht één van de moeilijkst te beschrijven natuurkundige fenomenen. Sommige eigenschappen van licht kunnen het best worden begrepen door licht als een golfverschijnsel op te vatten (diffusie, interferentie, ...). Voor andere eigenschappen is het handiger licht als een stroom van deeltjes te zien (foto-elektrisch effect).

CCD's zijn bijzonder knappe staaltjes van wetenschappelijk vernuft gekoppeld aan technologisch kunde. Ze combineren het deeltjeskarakter van licht met de silicium-technologie om op een oppervlak van één vierkante centimeter honderdduizenden, afleesbare, lichtgevoelige puntjes samen te brengen.

7.1 Wetenschappelijke achtergrond CCD's

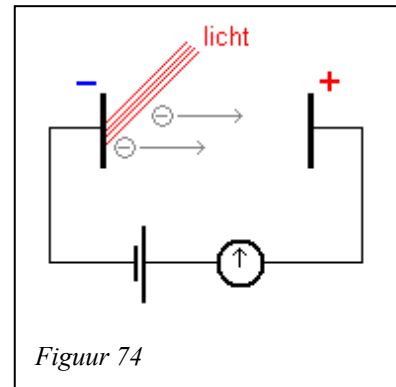
7.1.1 Halfgeleiders

In een vrij atoom bevinden de elektronen zich in welbepaalde schillen rond de kern. Elektronen in een bepaalde schil (niveau) bezetten een zeer bepaalde energie (bindingsenergie). Meestal heeft men het over, "het energieniveau van het elektron". In een kristalrooster (gebonden atomen) vloeien sommige schillen in elkaar over. Er is nu geen sprake meer van één energieniveau maar van een energieband. Voor transport van ladingen (elektronen) in een kristalrooster komt normaal gesproken alleen de band van de buitenste atoomschillen in aanmerking. Deze band noemen we de geleidingsband. De band daaronder noemt men de valentieband.

- Een isolator wordt gekenmerkt door een volledig gevulde valentieband en een lege geleidingsband. Beide banden worden bovendien gescheiden door een relatief grote energiekloof. D.w.z. een elektron uit de valentieband moet veel energie opslorpen om over te gaan naar de geleidingsband.
- Een geleider (metaal) heeft een geleidingsband die gedeeltelijk met elektronen is gevuld. Deze elektronen kunnen gemakkelijk over springen naar de geleidingsband van een naburig atoom. Daardoor kan deze stof gemakkelijk stroom geleiden.
- In een halfgeleider is het energieverval tussen de gevulde valentieband en de in principe lege geleidingsband vrij klein. Nu blijkt het mogelijk dat elektronen uit de valentieband, door opname van energie, kunnen overgaan naar de geleidingsband. De lege plaats die zo'n elektron achterlaat in de valentieband noemen we, "(elektronen)gat". In een zeer zuiver kristal zijn er dus evenveel gaten als elektronen in de geleidingsband.

7.1.2 Foto-elektrisch effect

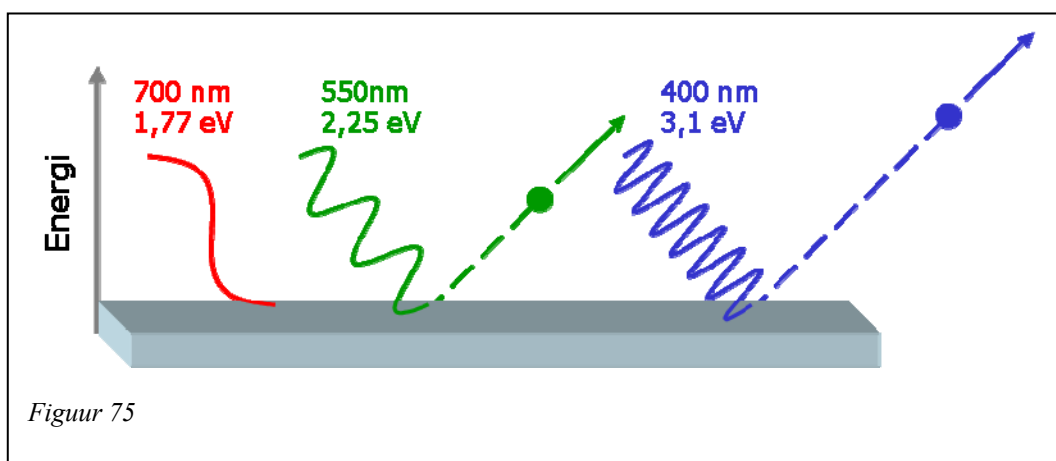
Wanneer twee geleidende platen in een vacuümbuis (weggelaten in de figuur), via een gelijkspanningsbron verbonden zijn zal een van de twee een positieve lading krijgen en de andere een negatieve lading. Laten we nu licht vallen op de negatieve plaat, dan worden er elektronen uitgestoten (geëmitteerd), waardoor er een stroom gaat vloeien in de kring. Dit verschijnsel werd ontdekt door Heinrich Hertz in 1887 tijdens zijn experimenten met elektromagnetische golven. Later ontdekte Philip Lenard een verband tussen de frequentie van de gebruikte straling en de sterkte van de opgewekte stroom. Heeft het invallende licht een te lage frequentie dan vloeit er geen stroom hoe groot de lichtsterkte ook is. Is de frequentie van het invallende licht wel groot genoeg dan vloeit er een stroom zelfs al is de lichtsterkte zeer gering.



Dit verschijnsel noemt men het foto-elektrisch effect.

Dit verschijnsel is niet te verklaren met de klassieke Wetten van Maxwell i.v.m. het elektromagnetisme. Deze stellen dat licht is opgebouwd uit golven (elektromagnetische golven). De deeltjestheorie kan het foto-elektrisch effect echter wel verklaren.

In de deeltjes theorie neemt men aan dat elektronen die niet stevig gebonden zijn aan een atoom, vrij komen nadat ze getroffen worden door een foton (een invallende lichtgolf) met voldoende energie.



Dat was in tegenspraak met wat de toenmalige fysici verwacht hadden. Volgens deze laatste was er enkel een verband met de intensiteit van de straling te verwachten, maar niet met de stralingsfrequentie. Dat was niet het enig vreemd gedrag van de elektronen: de spanning die nodig was om de uitgestoten elektronen te stoppen (de remspanning) bleek

enkel afhankelijk van de frequentie en niet van de intensiteit van de lichtgolf. Dit was volledig in tegenspraak met de golftheorie op dat moment.

Verklaring

Max Planck had in 1900 al laten zien dat licht in karakteristieke energiepakketjes (kwanta) voor komt. De energie van licht is recht evenredig met de frequentie van het licht. Albert Einstein werkte dit idee in 1905 verder uit en paste het toe op het foto-elektrisch effect:

- om een elektron vrij te maken uit de geleider is een bepaalde arbeid W nodig
- licht is opgebouwd uit afzonderlijke lichtkwanta ofwel fotonen
- deze fotonen kunnen niet "samenwerken" om een elektron vrij te maken

We stellen dat elektronen alleen kunnen worden vrijgemaakt door fotonen met voldoende energie. Met andere woorden door fotonen met voldoende hoge frequentie. Het aantal invallende fotonen (de intensiteit) speelt hierbij geen enkele rol.

In formulevorm: $E_k = h \cdot f - W$

Waarbij:

| | |
|-------------|---|
| E_k | : de kinetische energie van het losgeslagen elektron voorstelt |
| h | : de constante van Planck = $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$ |
| f | : de frequentie van het licht |
| $h \cdot f$ | : de energie van een invallend foton |
| W | : de arbeid die nodig is om het elektron vrij te maken uit de geleidende plaat. |

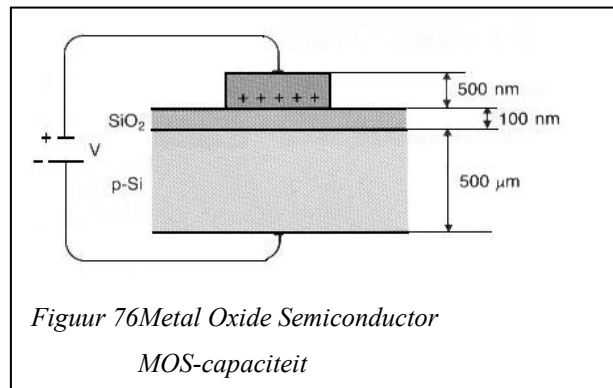
7.2 Werking CCD's

Wanneer licht op een halfgeleidermateriaal invalt, kunnen fotonen hun energie overdragen aan elektronen in de valentieband. Indien de over gedragen energie groter is dan het energieverval tussen valentie- en geleidingsband, gaat het getroffen elektron over naar de geleidingsband. Gelijktijdig ontstaat er dus een elektrongat in de valentieband. Indien men nu over de met fotonen "bestookte" halfgeleider een spanning plaatst, ontstaat er een elektronenstroom. Het aantal elektronen in deze stroom is gelijk aan het aantal ingevallen fotonen. De sterkte van de stroom als gevolg van de invallende fotonen kan gemeten worden. We spreken van een fotostroom in een fotoweerstand.

De door de fotostroom ontstane ladingen kunnen verzameld worden in een condensator of capaciteit. Een capaciteit bestaat uit twee geleidende platen met daartussen een isolator. Op een siliciumplaatje met een overschot aan gaten (p-Si) kan men een capaciteit maken door het groeien van een dun laagje siliciumdioxide (SiO_2), de isolator, en het aanbrengen van een geleidende plaat, meestal aluminium (Al) of polykristallijn silicium. Zo'n capaciteit

wordt een MOS-capaciteit (Metal Oxide Semiconductor) genoemd. In doorsnede ziet de capaciteit eruit als weergegeven in de figuur 77.

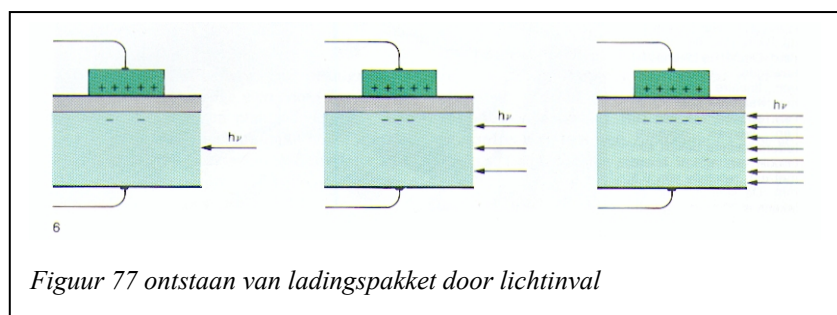
Wanneer bij zo'n MOS-capaciteit een positieve spanning wordt aangelegd tussen de Al elektrode en het Si-substraat, ontstaat er een positieve lading op de Al-elektrode. Deze positieve lading is noodzakelijkerwijs gecompenseerd door een even grote, negatieve lading in het Si-materiaal. Zeker in p-Si zijn heel weinig vrije elektronen aanwezig. Bijgevolg kan



de negatieve lading niet onmiddellijk volledig worden opgebouwd. De capaciteit verkeert dan in een niet-evenwichtstoestand waarbij in het Si-materiaal een elektrisch veld bestaat dat alle gecreëerde elektrongatparen scheidt. De gaten worden afgevoerd via het substraatcontact, terwijl de elektronen naar het Si-oppervlak bewegen onder invloed van het elektrisch veld. Naarmate de negatieve lading wordt opgebouwd, neemt het elektrisch veld in sterkte af, om nul te worden wanneer de lading volledig is opgebouwd en de capaciteit dus in evenwicht is.

De capaciteit in niet-evenwicht wordt vaak vergeleken met een put die men kan vullen met Water. De diepte van de put is dan evenredig met de bereikbare graad van niet-evenwicht, of wel met de grootte van de aantrekkingskracht voor elektronen aan het Si-oppervlak. Naarmate de negatieve lading wordt opgebouwd, raakt de put gevuld. Wanneer de negatieve lading volledig is opgebouwd, is de capaciteit in evenwicht en de put vol. Er is geen aantrekkingskracht voor elektronen meer.

De grootte van de negatieve lading die na een zekere referentietijd, de integratietijd, is opgebouwd aan het oppervlak, is recht evenredig met het aantal elektrongatparen dat gedurende die tijd gevormd wordt in het Si-materiaal, en dus met het aantal fotonen dat is ingevallen. Er is dus een ladingspakket gevormd waarvan de grootte bepaald wordt door de hoeveelheid licht die is ingevallen op de capaciteit (zie fig. 78) Op die manier wordt



beeldinformatie omgezet in een ladingspakket. Indien op één chip meerdere capaciteiten naast elkaar worden gemaakt, ontstaan ladingspakketten die informatie bevatten van verschillende beeldpunten.

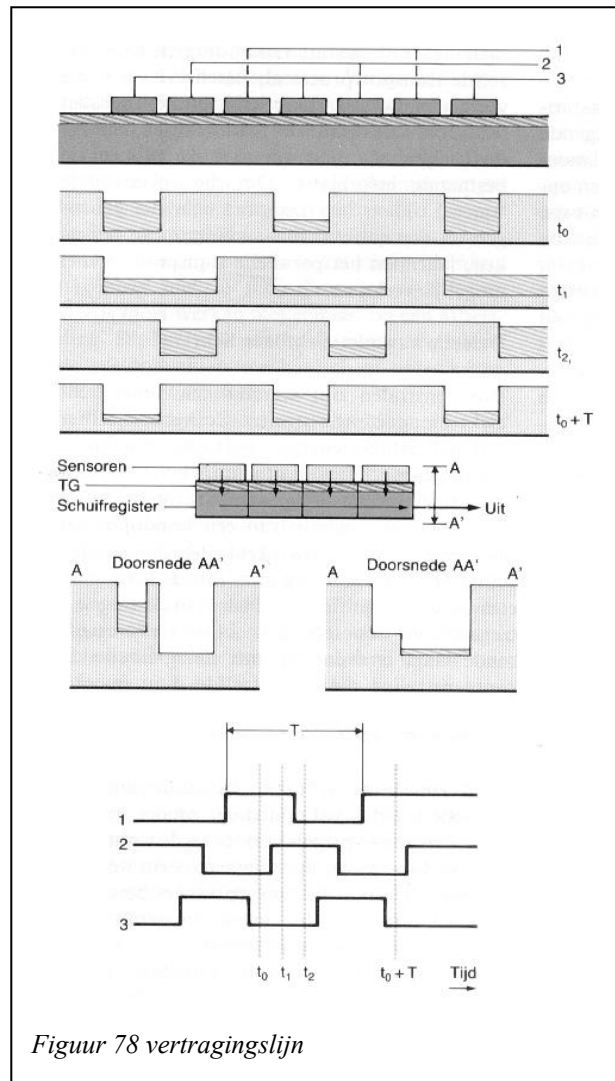
7.2.1 Vertragslijnen

Om de beeldinformatie in de ladingspakketten te gebruiken, moet ze elektronisch verder verwerkt worden. Daarom moeten de ladingspakketten naar een uitgang worden getransporteerd. Dit gebeurt met een ladingsgekoppelde vertragslijn. Daarbij moeten we ons voorstellen dat een opgebouwde lading stapje voor stapje doorgegeven wordt aan een volgende capaciteit, tot een uitgang is bereikt.

Een ladingsgekoppelde vertragslijn (Charge Coupled Device – CCD) bestaat dus uit een aantal naast elkaar geplaatste capaciteiten (zie figuur 79).

Deze capaciteiten worden in drie of vier groepen verdeeld. De capaciteiten van één groep zet men op 0V of op een positieve spanning. Bij 0V spanning bevindt er zich geen lading op de Al-elektrode. Er bestaat in het Si-materiaal onder die elektrode op dat moment dus geen aantrekkingskracht voor elektronen; er is geen potentiaalput. Bij positieve spanning daarentegen ontstaat een aantrekkingskracht voor elektronen.

Stel dat in de begintoestand t_0 een aantal ladingspakketjes onder de capaciteiten van groep 1 die onder spanning staan. Op het tijdstip t_1 worden ook de naastliggende capaciteiten van groep 2 op een positieve spanning gebracht. Hierdoor ontstaat een potentiaalput onder de groepen 1 en 2 die overal even diep is. De ladingen, vergelijkbaar met watermoleculen, verdelen zich over de bredere potentiaalput zodat die overal tot hetzelfde niveau gevuld is. Op t_2 wordt vervolgens de spanning over de capaciteiten van groep 1 teruggebracht naar 0V. Hierdoor verdwijnt de potentiaalput onder deze capaciteiten en verzamelen alle elektronen zich in de capaciteiten van groep 2, waar nog steeds een aantrekkingskracht voor elektronen bestaat. De ladingspakketjes zijn zo langs het Si-oppervlak verschoven. Door de daarop volgende spanningsovergangen komen de ladingspakketjes vervolgens onder de capaciteit van groep 3 en uiteindelijk weer onder die van groep 1, maar dan inmiddels drie plaatsen verschoven. Daarmee is één cyclus van spanningsschakelingen, een zogenaamde klokcyclus, voltooid. Alle ladingspakketjes zijn dus over één eenheidsafstand, een cel verschoven. Door de klokcycli te herhalen kunnen de



Figuur 78 vertragslijn

ladingspakketjes over relatief lange afstand in het Si-materiaal worden verplaatst. We hebben zo een schuifregister of een vertragsingslijn gerealiseerd.

Zoals reeds uitgelegd, bevatten de schuivende ladingspakketjes beeldinformatie. Om die informatie eruit te kunnen halen en het beeld te kunnen reconstrueren, moet men de grootte van de ladingen kunnen bepalen. Dit gebeurt door de ladingen om te zetten in een spanning, die wordt gemeten. Aan verschillende uitgangsspanningen worden grijswaarden toegekend: hoe groter de spanning, hoe witter het beeldpunt, hoe kleiner, hoe zwarter.

7.2.2 Beeldopnemers

CCD-beeldopnemers zij onder te verdelen in twee grote categorieën: de lineaire beeldopnemers en de tweedimensionale of oppervlaktebeeldopnemers.

Een lineaire beeldopnemer bestaat uit één rij lichtgevoelige elementen met daarlangs één (of meerdere) schuifregister(s) en een uitgangstrap. Tussen de sensoren en het CCD-schuifregister bevindt zich een transfert-elektrode TG. Als TG “hoog” wordt gezet, dat wil zeggen: op spanning, worden de elektronen uit de sensoren naar de potentiaalputten in de vertragsingslijn gezogen. Hierdoor ontlaadt de capaciteit van de sensor tot zijn startniveau. Onder invloed van de fotostroom, raken de sensoren weer opgeladen, en het volledige proces herhaalt zich. Gedurende de volgende integratietijd schuiven de ladingen in het CCD-register naar de uitgangsversterker van de vertragsingslijn.

Vrij wel alle fotokopieerapparaten werken met behulp van een lineaire beeldopnemer. In een dergelijke apparaat wordt lijn per lijn op de beeldopnemer geprojecteerd terwijl deze in de lengte richting over het blad beweegt en zo een opname van het volledige blad maakt. Op dezelfde wijze wordt aan aardobservatie vanuit satellieten gedaan.

Bij al deze toepassingen is het belangrijk zoveel mogelijk gevoelige elementen op één lijn op de chip te kunnen plaatsen. Immers, hoe groter het aantal beeldpunten, hoe fijner de details die men kan detecteren. Een groter aantal beeldpunten per lineaire opnemer kan worden verkregen door de realisatie van langere beeldopnemers, of dank zij de reductie van de afmetingen van één beeldelement. Meestal wordt gekozen voor deze laatste oplossing. De afmetingen van de beeldopnemer zijn namelijk beperkt door de toenemende kans op defecten in de chip. De reductie van de afmetingen van een eenheidscel van een beeldopnemer wordt beperkt door de afmetingen van een cel van het CCD-schuifregister. Voor één schuifcyclus zijn immers, zoals we hebben gezien, steeds drie elektrodes nodig en die nemen schaarse ruimte in beslag. Het gevoelige element zelf bestaat uit één elektrode en deel isolatie. Als oplossing construeert men daarom schuifregisters langs beide zijden van een rij sensoren. De even sensoren worden dan via het schuifregister aan één zijde uitgelezen, de oneven sensoren aan de andere zijde. Hierdoor konden de sensoren tweemaal zo klein gemaakt worden. Beeldopnemers met deze configuratie worden bilineaire CCD's genoemd. Een volgende stap is het gebruik van vier schuifregisters, twee aan elke kant. Dit heet een quadrilineaire CCD.

7.2.3 Tweedimensionale beeldopnemers

Wanneer men met een stilstaande camera statische beelden wil opnemen, zonder bewegende delen zoals spiegels voor of in de camera, moeten de sensoren in een matrixvorm worden opgesteld. Voor dit type opnemers bestaan twee basisvormen: de geïnterlineerde en de frame-transferti beeldopnemer.

Een geïnterlineerde opnemer is een directe uitbreiding van de lijnopnemer. Men plaatst daartoe verscheidene sensorrijen, de kolommen van de beeldpuntmatrix, ieder met hun schuifregister tegen elkaar. Na de integratietijd worden alle ladingen parallel naar de kolomregisters overgebracht, daarna gaat de informatie rij na rij naar het uitleesregister en tenslotte serieel, dat wil zeggen beeldpunt na beeldpunt, naar de uitgangstrap.

In een frame-transferti opnemer zijn daarentegen de sensor- en de ladingstransportfuncties gecombineerd. De signaallading in de CCD-registers schuift na de integratietijd parallel naar een geheugengedeelte van dezelfde omvang, dat van het licht is afgeschermd door een metaallaag. Nadien start vanuit dit geheugen hetzelfde transportproces als beschreven is in de vorige paragraaf. Ook tijdens het parallel transport van beeldinformatie valt er licht op de beeldmatrix. Dit veroorzaakt ruis in de bestaande informatie. Om die zogenaamde “smeer” tijdens het transport naar het geheugen tot een aanvaardbaar minimum te beperken, laat men het parallelle transport zo snel mogelijk verlopen.

7.3 Lichtsterkte en helderheid

7.3.1 Lichtsterkte (met betrekking tot fotografie)

De lichtsterkte van een lens of optisch instrument is de hoeveelheid licht die het opvangt en nuttig gebruikt om er een beeld mee te vormen.

De bepaling van de lichtsterkte hangt af van de situatie: als we het menselijk oog als voorbeeld nemen, zien we dat de lichtsterkte hier bepaald wordt door de grootte van de pupil. In zonlicht zal deze ongeveer een millimeter zijn, in de duisternis wordt dit 7 of 8 millimeter.

Nog een eigenschap van de lichtsterkte is dat de lenzen die het meest lichtsterk zijn groter en zwaarder zijn dan minder lichtsterke lenzen en dat deze meer kans lopen op optische fouten zoals sferische en chromatische aberratie.

Sferische aberratie is een fout die bij enkelvoudige lenzen optreedt. De fout wordt veroorzaakt doordat de lichtstralen die parallel aan de optische as binnenvallen bij een zuivere bolvorm niet exact in hetzelfde brandpunt terecht komen. Bij lenzen en spiegels wordt dit probleem opgevangen door ze niet sferisch (bolvormig) maar a-sferisch (bv. parabolisch) te slijpen. Dit heeft dan weer het nadeel dat we coma noemen, dit betekent dat de lichtstralen die schuin invallen nog steeds niet in een brandpunt samenvallen. Bij de spiegeltelescopen waarmee wij bezig zijn kan deze fout vermeden worden door het plaatsen van een correctie-element in de lichtweg.

Chromatische aberratie wordt veroorzaakt door dispersie of kleurschifting (een verschijnsel dat er o.a. voor zorgt dat wit licht, wanneer het door een prisma gaat uiteenvalt in de verschillende kleuren van de regenboog) waarvoor het getal van Abbe een maat is. Onder chromatische aberratie verstaat men een optische fout van lenzen die ontstaat doordat licht van verschillende golflengten niet in dezelfde hoeveelheid wordt gebroken aan de lensoppervlakken. Chromatische aberratie wordt kenbaar onder de vorm van een paarse rand rond details met veel contrast, dit komt doordat er wordt ontworpen in functie van optimale scherpte in het midden van het spectrum en paars ligt namelijk aan de rand van het zichtbare spectrum. Chromatische aberratie wordt tegengegaan door samengestelde lenzen te maken van lenzen met onderling tegengestelde chromatische aberratie die elkaar grotendeels opheffen. Voor de tweede lens wordt flintglas gebruikt met een grote dispersie en dus een grote brekingsindex

7.3.2 Helderheid

Helderheid geeft de hoeveelheid licht weer uitgedrukt in candela.

Helderheid kunnen we onderscheiden in twee soorten, nl. de schijnbare en de absolute helderheid.

De absolute helderheid is de helderheid die een ster zou hebben als ze op 10 parasec staat (1 parasec is gelijk aan 3,26 lichtjaar).

De schijnbare helderheid I is dan weer de helderheid zoals wij deze waarnemen.

De schijnbare helderheid van een ster kan op verschillende manieren gemeten worden:

- schatting: de waarnemer vergelijkt de helderheid van de onderzochte ster met die van bekende sterren die ongeveer even helder zijn;
- fotografie: sterren zijn puntvormige lichtbronnen de dikte van een sterbeeld op een fotografische plaat is dus vooral afhankelijk van de helderheid van de ster;
- fotometrie: het licht van de ster wordt geconcentreerd op een foto-elektrische cel, die gekoppeld is aan een ampèremeter;
- bolometrie: het licht van de ster wordt op een gevoelige thermometer geconcentreerd.

Deze schijnbare helderheid hangt voornamelijk af van de hoeveelheid energie die ze uitstraalt en van haar afstand. De planeten zijn hiervan een duidelijk voorbeeld. Hipparchus verdeelde de met het blote oog zichtbare sterren in zes klassen, de helderste sterren (een twintigtal) zijn van de eerste grootte, de zwakste van de zesde grootte. Door de uitvinding van de kijker werd dit stelsel uitgebreid doordat de kleinere sterren erin betrokken werden. Elk interval tussen de zes helderheidsklassen komt overeen met een verschil van 0,4 in de logaritme van de schijnbare helderheden.

De magnitude is een begrip dat je bij helderheid vaak zult tegenkomen. In de geologie geeft het de sterkte van een aardbeving weer. In de astronomie is de magnitude van een ster het getal dat de helderheid van een ster weergeeft. Hoe kleiner het getal, hoe groter de

helderheid van de ster. Doordat de magnitude daalt als de helderheid stijgt zijn er dus sterren die een negatieve magnitude hebben, als we bijvoorbeeld de zon nemen dan heeft die op een heldere dag een magnitude van -26,5 en de maan -12,5.

De magnitude is een logaritmische schaal waarbij een verschil van 1 overeenkomt met een helderheidsverhouding van ongeveer 2,51. Dit en het verschil van de helderheidsklassen

wordt weergegeven in de formule van Pogson: $I_m / I_n = 100^{\frac{m_1 - m_2}{5}} = 10^{0,4 \cdot (m_1 - m_2)}$ of $\log I_m / I_n = 2,5 \cdot \frac{m_1 - m_2}{5}$ en dus $m_1 - m_2 = 2,5 \log(I_n - I_m)$

Waarbij I_m en I_n de schijnbare helderheden van 2 sterren met respectieve magnitudes m en n zijn.

In magnitude onderscheiden we twee soorten, namelijk de visuele en de fotografische magnitude. Het verschil tussen de fotografische en de visuele magnitude wordt de kleurindex genoemd.

Sterren kunnen verschillende kleuren hebben. Het menselijk oog heeft zijn hoogste gevoeligheid in het geel waar de fotografische platen het meest gevoelig zijn voor blauw en violet. M.a.w. een blauwe ster of een ster in het violet zal dus meer helder lijken op een fotografische plaat.

De definitie van de absolute magnitude M is grotendeels hetzelfde als die van de absolute helderheid L , dit is nl. de schijnbare magnitude m die de ster zou hebben als deze zich op een afstand van 10 parsec zou bevinden. Omwille van het feit dat er weinig sterren zijn die op 10 parsec liggen moeten we een vergelijking gebruiken waarmee we de absolute helderheden van sterren op verschillende afstanden kunnen berekenen → de

afstandsvergelijking $d = 10^{\left(\frac{m_2 - m_1 + 5}{5}\right)}$

Omwille van de magnitude wordt ook gefotografeerd op een heldere dag, want als je op een bewolkte dag of op een plaats met veel lichtvervuiling zou fotograferen is de grensmagnitude ongeveer 2, als je op een bergtop zou fotograferen zou je een grensmagnitude hebben van 6.

Dit is ook de reden waarom we een telescoop gebruiken. Hierdoor worden sterren met zwakkere magnitude zichtbaar.

7.3.3 Het Hertzsprung-Russel diagram

In het begin van de twintigste eeuw creëerden de sterrenkundigen Hertzsprung en Russel een diagram om de waarnemingen van sterren te kunnen rangschikken. Dit diagram is gebaseerd op de effectieve temperatuur en de absolute magnitude van een ster.

Op de verticale as vindt men de absolute magnitude alsook de lichtkracht van een ster (= de totale hoeveelheid energie die de ster per seconde uitstraalt).

Op de horizontale as kan je de effectieve temperatuur of spectraaltype (eventueel spectraalklasse) van een ster terugvinden met de koude sterren aan de rechterkant en de

warmere sterren aan de linkerkant. De effectieve temperatuur van een ster staat in relatie met zijn kleur. Elk van de spectraaltypes wordt nog onderverdeeld in 10 subklassen van 0 tot 9 bv. F0, G3, ...

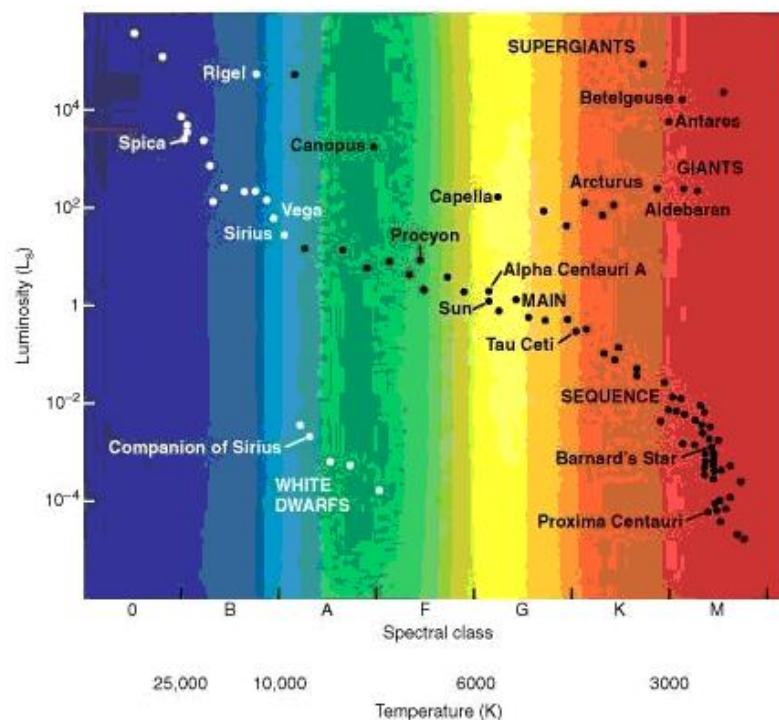
De volgorde van de spectraaltypes worden doorgaans onthouden met volgend zinnetje: "Ons Bezoek Aan Frans Garandeert Kostelijke Momenten"

De indeling van de spectraalklassen wordt ook de Harvard-classificatie genoemd.

De temperatuur met bijhorende kleur en voorbeeld vind je in volgende tabel.

| kleur | spectraalklasse | temperatuur | voorbeeld |
|-----------|-----------------|---------------|---------------------|
| blauw | O | 28000 - 60000 | zeta Orionis |
| blauw-wit | B | 10000 - 28000 | Rigel, Spica |
| wit | A | 7500 - 10000 | Sirius, Deneb |
| wit-geel | F | 6000 - 7500 | Procyon, Canopus |
| geel | G | 5000 - 6000 | Zon, Capella |
| oranje | K | 3500 - 5000 | Aldebaran, Arcturus |
| rood | M | < 3500 | Antares, Betelgeuse |

De sterren zijn niet homogeen verdeeld over het HR-diagram, het merendeel van de sterren bevinden zich in een band die het diagram doorkruist van linksboven naar rechtsonder, deze wordt de hoofdreeks genoemd. Linksonder vind je een kleine groepering sterren die de witte dwergen genoemd worden. Ten slotte vind je rechts een redelijke groep sterren die de rode reuzen worden genoemd. De zon bevindt zich ergens in het midden van de hoofdreeks.



7.4 Astrofotografie

7.4.1 Inleiding

Astrofotografie is het stuk in de fotografie waar men zich richt op het nemen van foto's aan de nachtelijke hemel, de zogenaamde deepsky objecten dus. De bedoeling van astrofotografie is om objecten die te zwak zijn om met het oog waar te nemen zichtbaar te maken. Het gaat dus om een object dat gewoonlijk zeer weinig licht afgeeft. Astrofotografie wordt mogelijk omdat alle camera's in staat zijn om over een lange periode voldoende deeltjes licht te verzamelen. Als je op een correcte manier aan astrofotografie wil doen, kan je diverse technieken gebruiken zoals:

- montage van de camera in het brandpunt van een grote telescoop,
- emulsies die speciaal zijn ontwikkeld voor lage lichtsterktes,
- zeer lange belichtingstijden (een uur of langer is normaal),
- volgen van het object gedurende de opname om de draaiing van de aarde te compenseren,
- met behulp van gas verhogen van de gevoeligheid van emulsies,
- gebruik van filters om versluiering door lichtvervuiling van de nachtelijke hemel tegen te gaan.

De astrofotografie wordt tegenwoordig bemoeilijkt door de lichtvervuiling. De enige manier om dit tegen te gaan is aankoop van speciale filters en dure camera's.

Naast de normale objecten die we kennen zoals planeten en manen zijn er nog meer zaken die we kunnen waarnemen. Dit betekent niet dat ze zichtbaar zijn, als we bijvoorbeeld spreken over de onzichtbare straling. Het spreekt voor zich dat je dit niet kan waarnemen met een normale telescoop. Voor de verschillende soorten straling bestaan verschillende telescopen en handelingen.

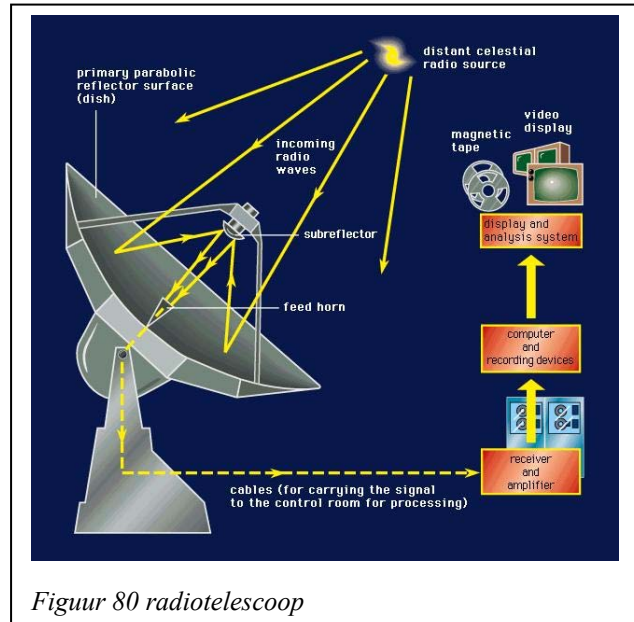
7.4.2 De radiotelescoop

7.4.2.1 Onderdelen

De radiotelescoop bestaat op de simpelste manier uit één parabolische radioantenne en een ontvangstinstallatie voor het opvangen van korte radiosignalen. De modernere telescopen bestaan uit een aantal van deze antennes die het zogenaamde array genoemd worden. Dit wordt gedaan zodat de signalen kunnen gecombineerd worden om het scheidend vermogen te vergroten. Het scheidend vermogen is recht evenredig met de diameter van de schotel en omgekeerd evenredig met de gebruikte golflengten. Dit is de reden dat er voor de langere golflengtes van radiosignalen een grotere telescoop nodig is dan die voor de waarneming van licht.

7.4.2.2 Werking

De werking ervan is ietwat moeilijker. De radiostraling die uit het heelal komt wordt gereflecteerd door de parabolische schotel naar één centraal punt, het focuspunt of brandpunt. Naargelang de parabool van de schotel groter wordt, worden de zwakkere radiosignalen door een voorversterker in het brandpunt versterkt en doorgestuurd naar een volgende versterker of een ontvanger. Het is noodzakelijk dat de diameter van de schotel zoveel mogelijk keren groter is dan de golflengten want



Figuur 80 radiotelescoop

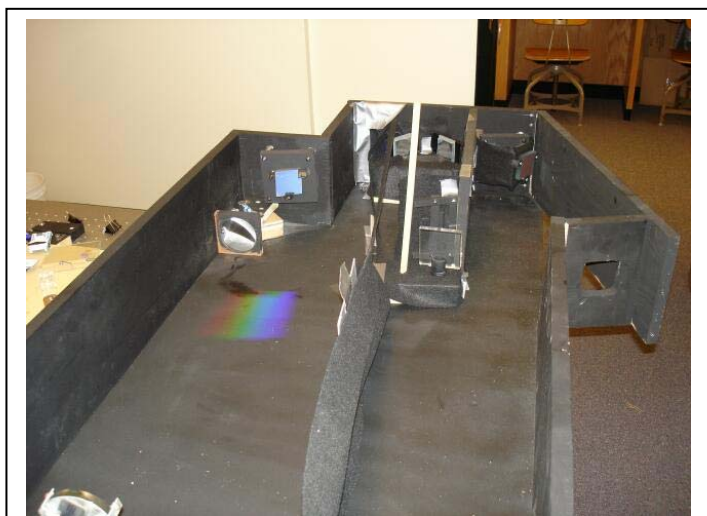
waar je een optische telescoop met een diameter van 10 cm gebruikt zou je al een schotel nodig hebben met een diameter van 1 kilometer. Als we het verhaal volgen van een antenne dan krijgen we volgende schematische voorstelling

Dus zoals aangegeven op de foto wordt de radiostraling op de schotel gereflecteerd naar het brandpunt, waar hier een tweede reflector is geïnstalleerd die de signalen reflecteert naar de "Feed Horn". Deze heeft als eigenschap dat de signalen voorversterkt worden. Hier wordt gesproken van een voorversterking. De opgevangen signalen worden doorgestuurd naar een ontvanger waar het nogmaals versterkt wordt en vervolgens doorgestuurd wordt naar het registratietoestel.

7.4.3 Spectrohelijscoop

7.4.3.1 Ontstaan

In 1924 heeft George Ellery Hale de spectrohelijscoop uitgevonden. Hij vond deze telescoop uit omdat hij de zon wou bestuderen op een bepaalde golflengte. Vandaar dat de spectrohelijscoop ook een zonne-telescoop is. De naam zelf komt van drie Latijnse woorden: spectro wat naar het optisch spectrum verwijst, helio dat naar de zon verwijst en scoop verwijst duidelijk naar telescoop.



Figuur 81 spectrohelijscoop

7.4.3.2 Werking

Het belangrijkste doel van de spectroheliocope is om ongewenst licht weg te filteren en dus enkel licht van een specifieke golflengte door te laten.

De simpelste spectroheliocope is een machine die een spectroscop gebruikt om het oppervlak van de zon te scannen. Het beeld van de objectieve lens is gefocust op een smalle spleet die slechts een deel van het oppervlak van de zon toont. Daarna wordt het licht verspreid in een spectrum door een prisma of diffractierooster (een optische component met een periodieke structuur die het licht splitst en buigt en in verschillende richtingen doet vooruitgaan). Dit spectrum wordt dan weer gefocust op een andere nauwe spleet die alleen een fijn stuk van het spectrum (de gewilde golflengte) doorlaat.

Daarna wordt het licht simpelweg gefocust op het oculair zodat het oppervlak van de zon bekeken kan worden. Op de afbeelding is een spectroheliocope te zien waarvan de kap verwijderd is. Het regenboogpatroon dat te zien is, is geproduceerd door de reflectie van de flits van de camera op het tweede diffractierooster. Dit kan je zien boven de regenboog aan de rechterkant van de lens. De spectroheliograaf is een gelijkaardig apparaat. Dit wordt gebruikt om de zon in monochromatisch licht te bestuderen, dit wil zeggen licht van exact één golflengte. Dit apparaat werd ook uitgevonden door G.E. Hale in 1891.

7.4.4 De spectroscop

7.4.4.1 Ontstaan

Tussen 1859 en 1861 werkten Dimitri Mendelejev en Gustav Robert Kirchhoff samen aan de ontwikkeling van de spectroscop. Robert Bunsen heeft hierbij ook zijn bijdrage geleverd. Door middel van dit apparaat werd o.a. in 1868 helium ontdekt.

7.4.4.2 Werking

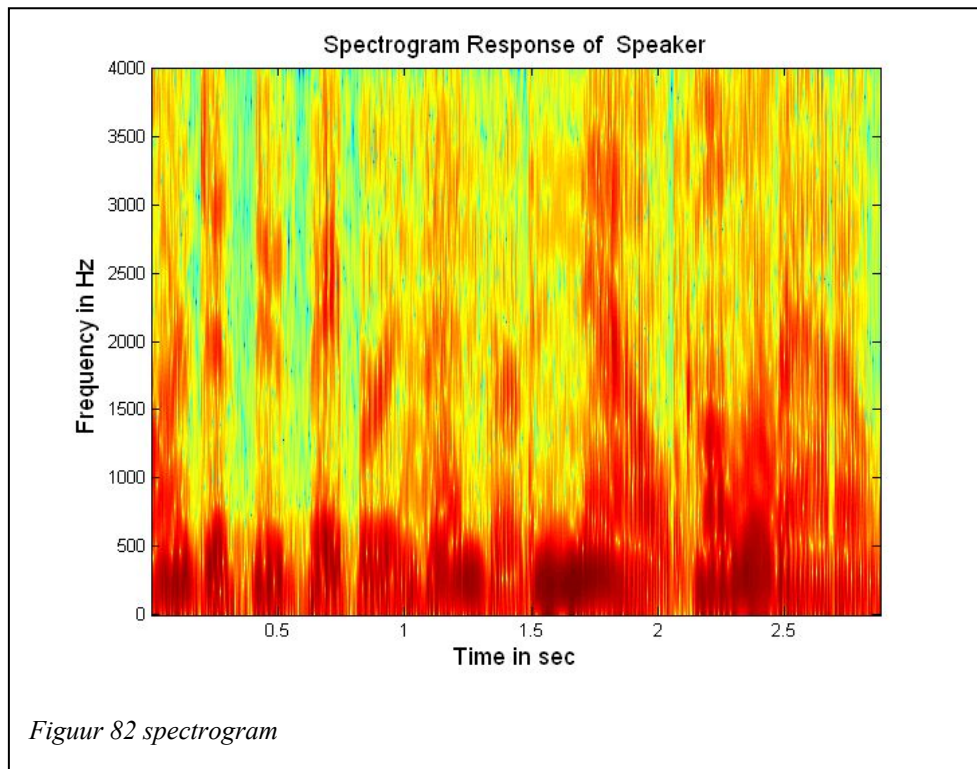
De modernste spectroscopen bestaan uit 3 delen:

- een collimator die een evenwijdige bundel licht naar het prisma moet sturen,
- een prisma dat voor de breking van het licht zorgt,
- een kijker.

Deze onderdelen zijn de dag van vandaag allemaal gecomputeriseerd.

Een spectroscop is een instrument om het lichtspectrum te bestuderen. Als een materiaal verwarmd wordt zal, het licht uitstralen dat eigen is aan dat materiaal. Hierna zal het licht door een nauwe spleet gestuurd worden waarna de evenwijdige lichtbundel die eruit komt in een prisma terechtkomt. Hierdoor zal het licht breken in een spectrum van verschillende golflengten. Het beeld wordt daarna bekeken in een buis waarin men een camera geplaatst heeft. Door de uitvinding van de fotografische film kon er ook een nauwkeurig spectrogram gemaakt worden

Een spectrogram is een grafiek waarin de energie per frequentiegebied uitgezet wordt tegen de tijd. Hier zie je een voorbeeld van een dergelijk spectrogram.



7.4.4.3 Spectroscopie

Onder spectroscopie verstaat men de verzamelnaam voor wetenschappelijke technieken om stoffen te onderzoeken aan de hand van hun spectrum, hun wisselwerking met straling van verschillende energie. Spectroscopische technieken komen voor in verschillende disciplines zoals natuurkunde, fysische chemie enz. Deze technieken zijn gebaseerd op de kennis van het feit dat elektromagnetische straling in interactie kan treden met materie. Een van de bekendste spectroscopische technieken is de Ramanspectroscopie. Een alternatief voor deze techniek is de infraroodspectroscopie. Beide technieken geven een signaal waarmee de verschillen in energieniveaus gemeten kunnen worden. Het verschil is dat waar IR-spectroscopie gebaseerd is op de absorptie van infraroodlicht, is Ramanspectroscopie gebaseerd op Raman-strooiing van monochromatisch licht.

In de astronomie is spectroscopie het belangrijkste hulpmiddel om de samenstelling van sterren en andere hemellichamen te bepalen. Eén van de voorlopers op het gebied van astronomische spectroscopie was William Huggins. Door de verschuiving van spectraallijnen omwille van het Doppler-effect konden ze nu ook de snelheid van objecten bepalen. Zo was Huggins de eerste die de snelheid van de ster Sirius kon bepalen.

7.4.5 Fotometrie

7.4.5.1 Definitie

Fotometrie is de wetenschap die zich bezighoudt met het zo nauwkeurig mogelijk meten van helderheidsvariaties van hemellichamen, als tegenhanger van astrometrie die enkel de positie bestudeert. Bij de fotometrische bepalingen moet er altijd rekening worden gehouden met een subjectief element omdat het oog niet voor alle golflengten (kleuren) even gevoelig is. Om de subjectiviteit te beperken gebruiken we foto-elektrische cellen. Als deze metingen gebeuren met monochromatisch licht zullen ze nog eenvoudiger en objectiever verlopen.

7.4.5.2 Toepassing

Een toepassing hiervan is bijvoorbeeld het meten van de lichtcurve van een asteroïde waaruit men verschillende aspecten kan bepalen. Men kan onder meer heel wat leren over de fysische aard van de asteroïde uit de kleureigenschappen in de geijkte banden. Uit de combinatie van helderheidsmetingen en kleurtypes kan men zelfs de grootte van de asteroïde bepalen.

7.5 Kwaliteitsbepalende factoren bij de

7.5.1 Seeing

Met de seeing bedoelt men de luchtonrust die ontstaat door de verschillende temperaturen in de verschillende luchtlagen. Je herkent het doordat de randen van je beeldoppervlak alle kanten op bewegen. Een mogelijk gevolg van seeing is dat wanneer je, je beeld verwerkt tot een effectieve foto er details verdwijnen die je door je telescoop kon waarnemen. Op de seeing heeft de mens geen directe invloed.

7.5.2 Locatie van de telescoop

De locatie van de telescoop is heel belangrijk. De telescoop moet in de mate van het mogelijke uit de wind en luchtwervelingen door temperatuurverschillen staan. Want dit kan onwetens minuscule trilling veroorzaken.

7.5.3 Temperatuur

De temperatuur van de telescoop is van groot belang. Wanneer de telescoop niet (of nog niet) de temperatuur van de omgeving heeft kan dit zorgen voor een vervorming van de spiegel en dus ook van je beeld. Details zul je niet goed tot niet kunnen waarnemen. Voor optimale beeldopname moet de telescoop dus de omgevingstemperatuur hebben.

7.5.4 Locatie van het object aan de hemel

De locatie van het object aan de hemel is van belang voor de kwaliteit van je opname. Wanneer je een object wil vastleggen dat laag aan de hemel staat moet je door een dikkere atmosfeer heen kijken dan wanneer je een object hoog aan de hemel wil vastleggen. En meer lucht betekent meer kans op luchttrillingen, wat ten koste gaat van details.

7.5.5 Klaar maken van de telescoop voor het maken van een opname

In een hemel kalender kun je vinden welke objecten er op de avond van opname zichtbaar zijn. Eens je een object gekozen hebt dat je wil fotograferen kun je in de hemelkalender de positie van het gekozen object vinden. Wanneer je aandacht enkel naar sterren en nevels gaat is een sterrenkaart al voldoende om de posities te bepalen.

Voordat we beginnen met opnames maken, zorgen we ervoor dat één as van het statief (en volgmotor) volgens de poolas staat. Eens de telescoop in de juiste opname positie gebracht zal men eerst nog even de collimatie van de telescoop controleren.

Eens de collimatie ok kan men opzoek naar het object dat men wil fotograferen. Als hulpmiddel kan men het gekozen object eerst met de zoeker proberen te vinden. Eens gevonden zal men het object centreren in het beeldveld van de zoeker. Als dit gelukt is schakelt men over op oculair van de kijker. Als men het object in het oculair te zien krijgt zal men het ook hier in centreren. Nu is de kijker klaar voor het aansluiten van een webcam op de plaats van het oculair. De webcam zelf stelt men zo lichtgevoelig mogelijk in. Men kiest voor een gepast aantal beelden per seconde, bijvoorbeeld 5. Verder stelt men de gain (=signaalsterke) helemaal open en kiest men de sluitertijd zo groot mogelijk. Met een beetje geluk zie je nu een wazig vlekje. Wanneer dit niet het geval is kan het zijn dat je beeld uit focus is. Het zal eventjes zoeken zijn naar de juiste stand van de focus. Eens een het wazige lichtvlekje toch in beeld sluit je de barlowlens aan op de webcam en plaatst men het geheel terug op de telescoop. Nu zie je, je beeld x maal vergroot. Na het aansluiten van je barlowlens controleer je best opnieuw het beeld, en wanneer het object na het aansluiten van je barlowlens niet meer gecentreerd is moet je eventueel correcties toepassen. Als laatste stap moet je het object scherpstellen. Dit kun je doen op 2 manieren: controleren of de randen van je object scherp zijn of zorgen dat de details zuiver zichtbaar zijn.

Pas als al het voorgaande in orde is, is de telescoop klaar voor opnames.

7.5.6 De webcam

Een webcam kan men op verschillende manieren in stellen. De gemakkelijkste manier is de automatisch instelling. Wie reeds wat ervaring heeft kan via de manuele instelling tot een kwalitatief betere opname komen. Een aanrader is om het aantal frames per seconde in te

stellen tussen 5 tot 10 fps. Stelt men een waarde boven de 10fps in, dan kan men te maken krijgen met teveel compressie waardoor de kwaliteit van de opname zal dalen.

De gain en de sluitertijd gaan nauw samen met elkaar. De gain kiest men best niet te hoog om onnodig veel ruis te vermeiden. De sluitertijd kiest men best zo kort mogelijk. Op deze wijze bevriest men de seeing (de seeing wordt verspreidt over de hele afbeelding). Een nadeel van een korte sluitertijd is dat men minder lichtvangst zal hebben. Dit is te compenseren door de gain hoger in te stellen. Daarom hangen de gain en de sluitertijd nauw samen. Als laatste moet je zorgen dat je webcam niet te helder of te donker opneemt, want dan verlies je aan contrast.

De opnametijd is in de astrofotografie een heel belangrijk aspect. Het is zeer van belang dat die goed gekozen wordt. Denk hierbij even aan het feit dat bepaalde objecten (bv. planeten) rond hun eigen as draaien. Dit kan zorgen voor een verschuiving van details in de gemaakte opname. Natuurlijk is de opnametijd afhankelijk van object tot object. Zo heb je bijvoorbeeld planeten waarvan de details zo goed als niet waarneembaar zijn waardoor je een langere opnametijd kunt instellen. De sluitertijd is ook afhankelijk van het aantal filter die men wenst te gebruiken. Het aspect met de meeste invloed op de opnametijd is de helderheid van je object. Wanneer een object helder is, mag de sluitertijd ingekort worden is het object niet helder dan moet de sluitertijd langer gekozen worden

7.6 Kwaliteitsbepalende factoren bij het maken van een afbeelding

7.6.1 LRGB techniek toepassen

Dit is een techniek waarbij men een aantal opnames samen voegt tot één afbeelding. Dit gaat als volgt. Binnen de opnametijd maak men een opname met een zwart/wit webcam voor de luminance opname en een opname met een kleurenwebcam voor de kleurenopname. Wanneer dit gelukt is binnen de juiste opnametijd kan men die twee opnames samenvoegen tot één afbeelding. Het voordeel aan deze techniek is dat men de kwaliteit van een zwart/wit webcam combineert met de juiste kleuren van de kleuren webcam.

Een tweede mogelijkheid is te werken met slechts één kleurenwebcam. Deze stelt men eerst in op zwart/wit opname, en schakelt na een bepaalde tijd over op kleurenopname. Deze methode heeft een klein kwaliteitsverlies t.o.v. de voorgaande methode

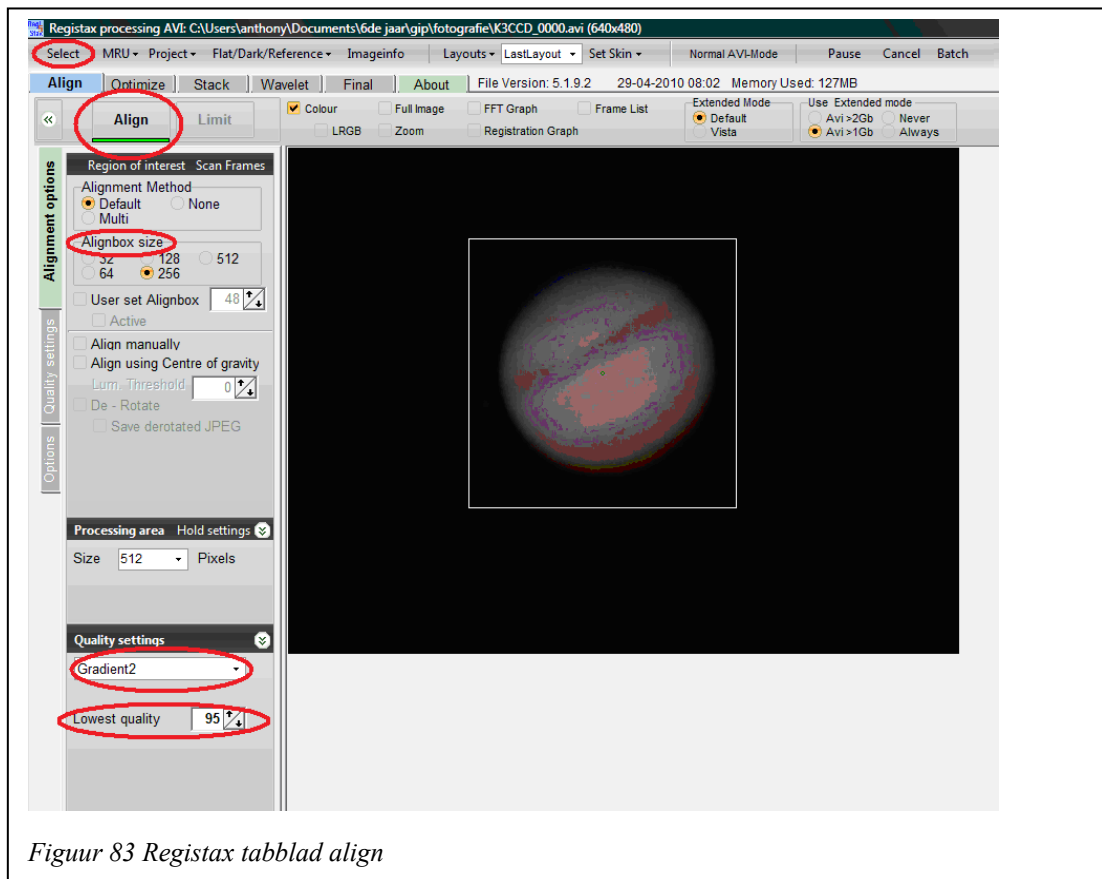
7.6.2 Bewerken van een opname

Bij volgende bespreking gaan we uit van het beeldbewerkingsprogramma registrax 5.1.

7.6.2.1 Stacken (samenvoegen)

Eerste voert men de opname in registax in. Dit doet men door op de knop select te drukken en daarna de juiste opname te selecteren en op “openen” te klikken. Nu staat de opname in het blad van registax. Registax bepaalt nu voor elk frame de plaats van het object.

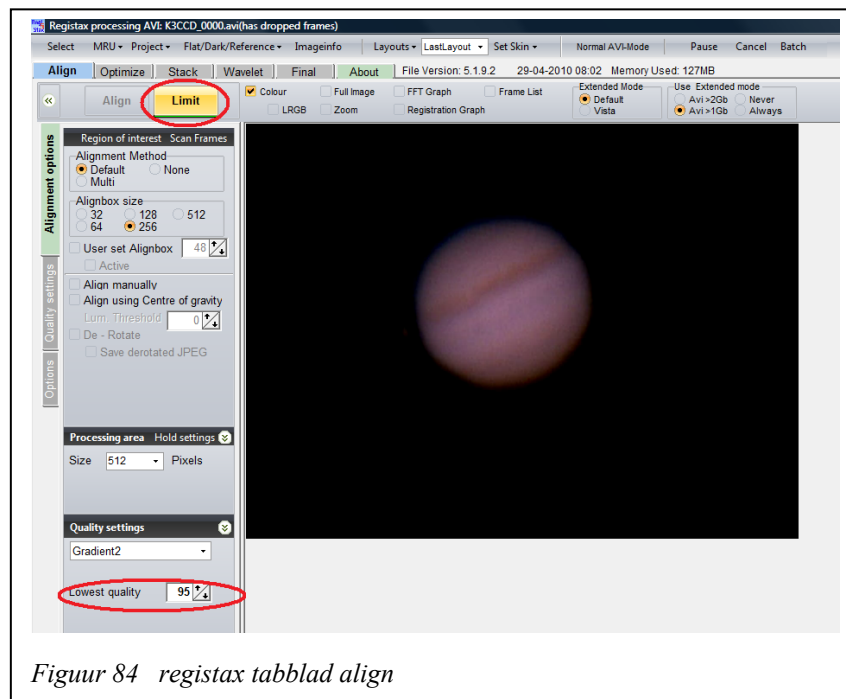
Nu bevind je, je in het tabblad “Align”. Dit tabblad dient om de opnamen over elkaar heen te leggen. Dit noemt men aligneren. Aligneren kan men op verschillende manieren. Een paar voorbeelden zijn: gradient, classic, human, Ze hebben als gemeenschappelijk hoofdkenmerk dat ze de opnamen eerst rangschikken volgens hun kwaliteit. Vervolgens kan men een ‘lowest quality’ bepalen. Door de lowest quality in te stellen op bijvoorbeeld 80% zullen alle beeld met een kwaliteit beneden de 80% genegeerd worden. De lowest quality kan je overigens nog veranderen later in het proces. Tijdens een tweede stap kiest de gebruiker zelf de opname die hij het beste vindt. Eens deze opname gekozen plaatst men er een kader rond. De eerder geselecteerde opnamen word nu gealigneerd met de gekozen opname. De grootte van het kader dan men koos kan men nog wijzigen in de rubriek “alignbox size”. Wanneer men het object omkaderd heeft, klik men op het midden van het object en vervolgens op de knop align.



Tijdens het aligneren kan het zijn dat registax het object uit het oog verliest. Als zich dit voordoet kan dit opgelost worden door bij “general options” de functie “track object” of “predict track” aan te zetten. Na het aligneren heeft registax alle beeldjes van goed naar slecht geordend en op de juiste plaats gezet. Nu moet men definitief het aantal frames kiezen die men wenst te gebruiken. Dit kan men door bij de functie “lowest quality” de kwaliteit zo in te stellen dat slecht het gekozen aantal opnamen overblijft. Wanneer je dit gedaan hebt klik je op de knop limit.

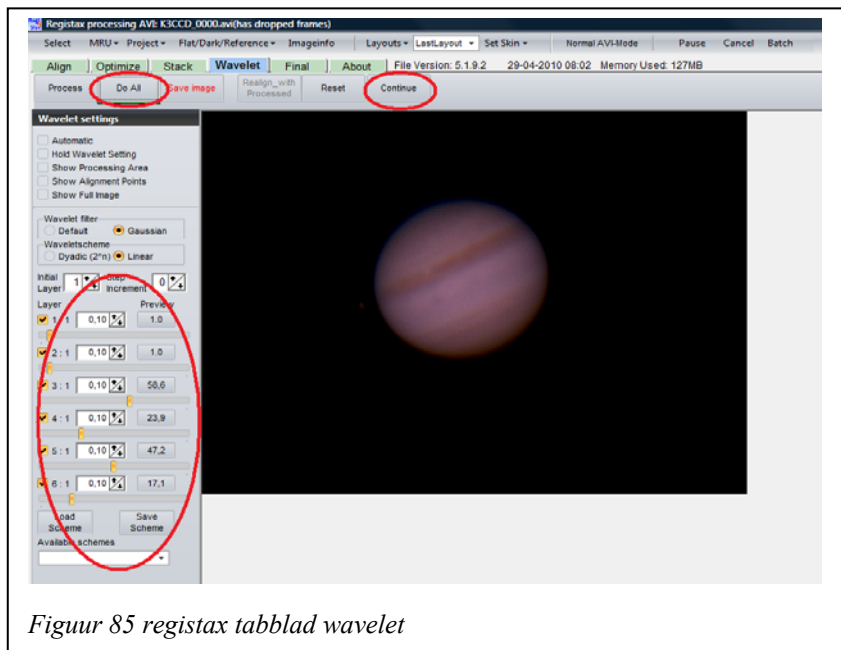
Registrax voert nu zijn taak uit en schakelt over naar het tabblad “optimize”.

Met behulp van het tabblad optimize kan men het aligneren nog perfectioneren. Dit doet men het best aan de hand van een referentieafbeelding. Dit kun je door op de knop “create a reference frame” te drukken. Hier kun je ook bepalen hoeveel frames je wilt samenvoegen.



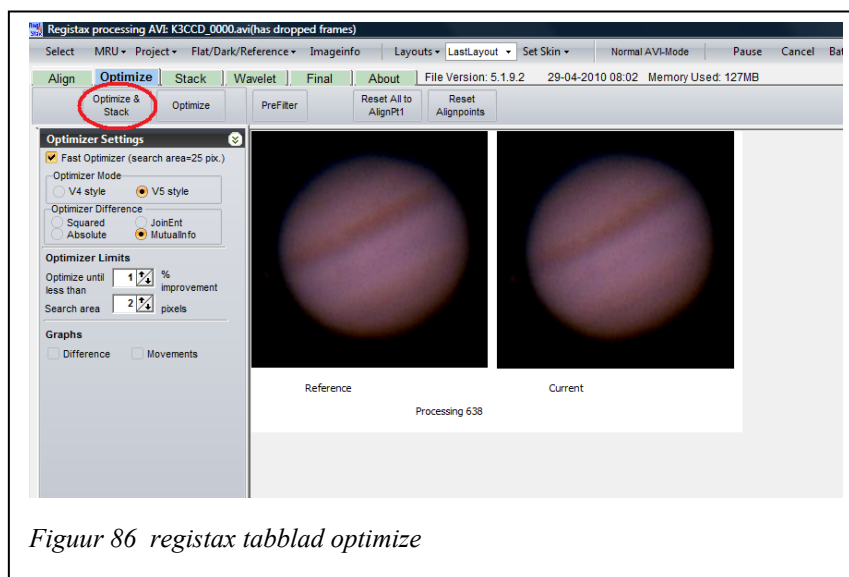
Figuur 84 registax tabblad align

Om de referentieafbeelding nog te verbeteren kan men gebruik maken van het tabblad “wavelet”. Hier kun je afhankelijk van wat je opnam met de wavelet balkjes de kwaliteit van de afbeelding nog verder verbetert. Het bijwerken met behulp van de wavelet balkjes is erg afhankelijk van de vergroting en de hoeveelheid seeing. Na het aanpassen klik je op de knop “do all” en vervolgens op “continue”.



Nu is je referentieafbeelding gemaakt en komen we terug in het tabblad “optimize”. Vervolgens druk je op de knop “optimize” en “stack”.

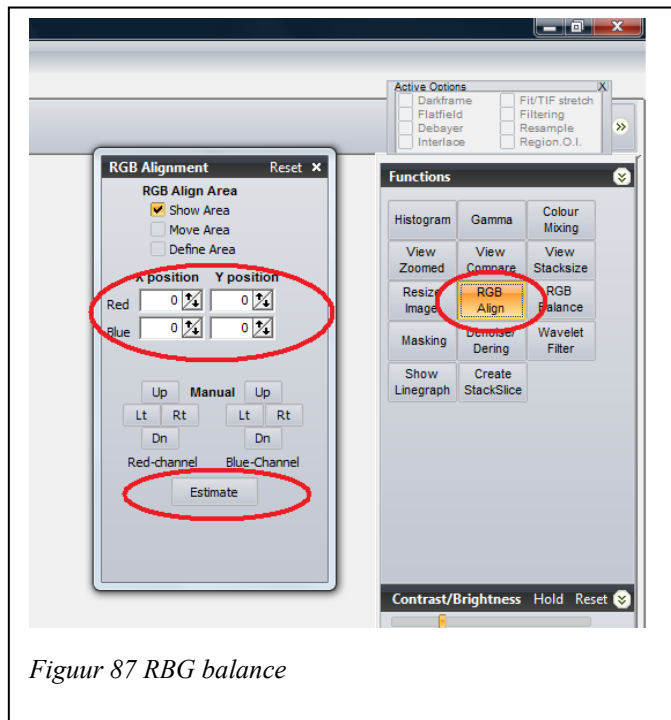
Registax bewerkt nu alle frames tot de gewenste instellingen van je referentieafbeelding en voegt ze vervolgens samen tot één afbeelding.



7.6.2.2 Kleur bewerken

Wanneer de bijgewerkte opname klaar is, komt men terug in het tabblad “wavelet”. Nu kunnen men de kleuren van de afbeelding verder instellen. Wanneer men met een kleurenwebcam heeft gewerkt, kan het zijn dat de kleuren niet goed over elkaar liggen. Dit is een gevolg van de atmosferische dispersie (= de lichtstralen die afbuigen op de stofdeeltjes waardoor het lightspectrum tevoorschijn komt en waardoor bepaalde kleuren versterkt

worden en anderen verzwakken). Nu kan men terug aan de hand van een functie in het tabblad de juiste verhouding zoeken tussen de kleuren. Je gaat als volgt te werk. Eerst klik je op het midden van de planeet om registax te laten weten dat hij daar moet kijken. Vervolgens klik je op de knop “RGB align”. Nu kan men de kleuren aanpassen naar wens. Vervolgens druk je op de knop “estimate”.

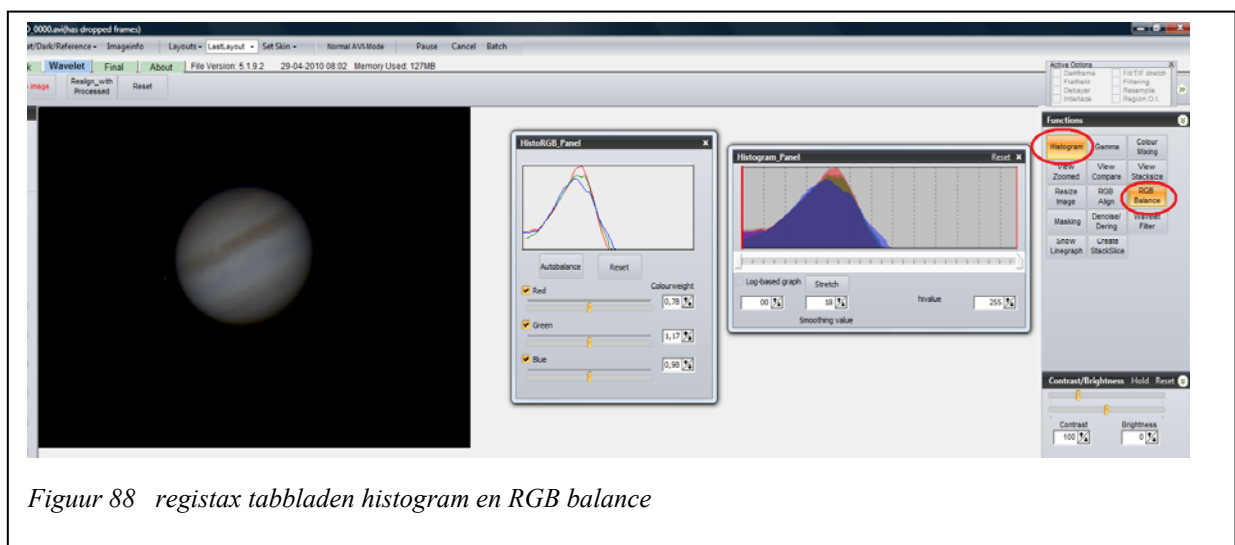


Figuur 87 RGB balance

Vervolgens kan men nog de scherpte van de afbeelding aanpassen door met de 6 wavelet balkjes te schuiven. De balkjes hebben van boven naar beneden meer uitwerking op de grovere details. Maar het effect staat niet vast. Dit is nog altijd afhankelijk van de scherpte van de gebruikte opname. Dus moet men goed opletten op wat er met de afbeelding gebeurt.

Wanneer men planeetopnames maakt zal de foto stretchen om zoveel mogelijk details zichtbaar te

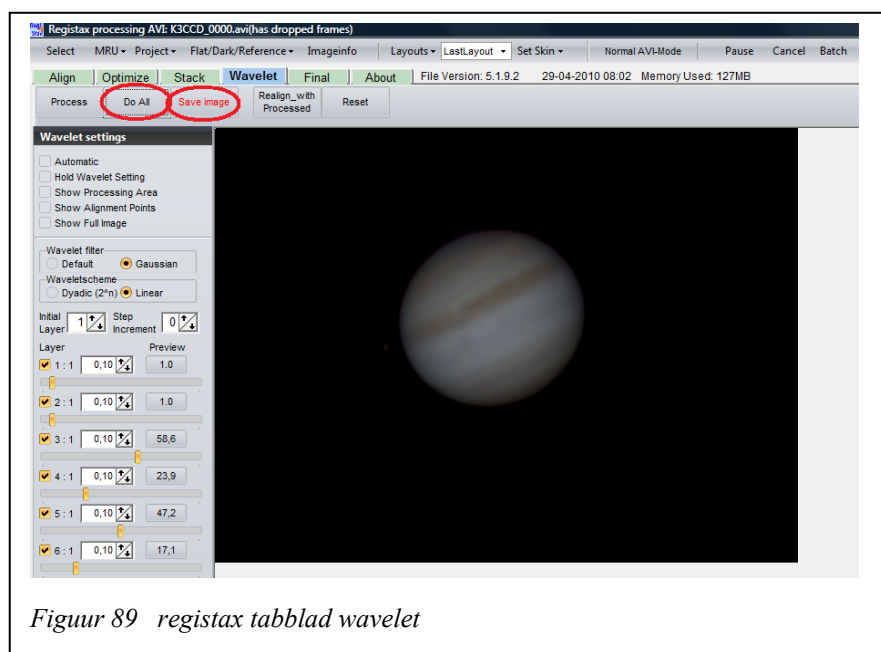
maken. Dit doe je door bij opties op “histogram” en “RGB balance” te klikken. Nu zie je 2 kaders waarmee je de balans van de kleuren nog kunt aanpassen en vervolgens stretchen. Het stretchen is goed wanneer je in RGB balance alle kleuren ziet en 5% wit over hebt aan de rechterkant.



Figuur 88 registax tabbladen histogram en RGB balance

7.6.2.3 Opslaan

Wanneer men de volledige afbeelding heeft bewerkt, komt men aan het laatste onderdeelje, het opslaan. Voordat men opslaan moet men wel nog eens op “do all” klikken om de afbeelding definitief aan te passen. Pas daarna mag men op de knop “save image” drukken.



Figuur 89 registax tabblad wavelet

Indien men nog verdere bewerkingen voor ogen heeft kan dit met behulp van programma's zoals Photoshop, the GIMP, ...

Nawoord

Wij hebben nu één bepaalde werkwijze gebruikt om van een opname naar een afbeelding te gaan. Maar zoals je gemerkt hebben zijn er veel meer opties en mogelijkheden. Afhankelijk van wat je eigen wensen zijn, kun je bepaalde instellingen veranderen of uitproberen.

8 Elektronica

8.1 Aandrijving

8.1.1 Soorten motoren

Er bestaan heel wat soorten motoren, om er maar enkele te noemen: stappenmotoren, servomotoren, gelijkstroommotoren, piëzomotoren, wisselstroommotoren, brushless DC motoren, lineaire motoren, variabele spindelmotoren ... Ze zijn allen sterk voor hun toepassing, maar wij zoeken een motor die kan dienen om onze telescoop te verplaatsen met een constante trage snelheid.

| | Stappenmotor | Servomotor | Piëzomotor | DC motor |
|---------------|--|--|--------------------------|--|
| Aansturing | Controller + powertrap | Puls van $\pm 2\text{ms}$ van controller | Pulsen van controller | H-brug aangestuurd door een controller |
| Aantal draden | 4 à 8 draden | 3 draden | 4 à 10 draden | 2 draden |
| Namen draden | A B C D AA' BB' CC' DD' A com B C com D A B C D com | + - sig | | A B + - |
| Kracht | Groot | Groot | Klein | Gemiddeld |
| Precisie | Goed > zeer groot | Goed | Redelijk | Slecht |
| Feedback | Stappen tellen Optische schijf | Tijd puls \approx hoek | Moeilijk | Optische schijf |
| Opmerkingen | Reductiekast wenselijk | | Grote slip | Klein startkoppel |

8.1.2 Keuze motor

Wij hebben gekozen voor stappenmotoren omdat die eenvoudig aan te sturen is. In prijs vallen die motoren ook zeer goed mee. Doordat we enkel een controller met een eenvoudig programma en een aangepaste powertrap nodig hebben, vallen de kosten dan ook goed mee.

8.2 Sturing

8.2.1 Controllers

Controllers zijn in feite niets meer dan hele kleine computertjes, variërend van minimalistische voorzieningen tot machines voorzien van een volledige periferie. Natuurlijk bestaan verschillende fabrikanten van controllers, we noemen er enkele: Intel, AMD, Microchip, Atmel, Cirrus, Motorola, Zilog ... Wij hebben gekozen voor Microchip, meer bepaald de PIC16F627. Dit is een microcontroller met plaats voor 1024 programmawoorden, en met een maximale kloksnelheid van 20 MHz.

8.2.2 Programmeren

Om de juiste informatie uit een controller te krijgen moet je zorgen dat de controller weet wat hij moet doen. Hij heeft een programma nodig, een algoritme, een volgorde van opdrachten.

Nu bestaan er verschillende programmeertalen. We kunnen ze onderscheiden in enkele groepen: machinetaal, lagere talen, tussentalen, hogere talen, software to hardware talen

| Soort taal | Machinetaal | Lagere taal | Tussentaal | Hogere taal | Soft to Hardware taal |
|------------|-------------|-------------|----------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| Voorbeeld | Hex files | Assembly | Javascript VBA Batch | C, C++, C# Java Visual Basic | VDHL Verilog |

Er bestaan nog heel wat programmeertalen: PHP, HTML, Python, Pascal, PIC basic, JAL ...

Wij hebben dus gekozen voor een uiterst eenvoudige taal, namelijk ASM (Assembly). Samen met de instructieset van de controller weten we alle mogelijke commando's die voor die controller te gebruiken zijn. In de datasheet van de controller kan je vinden hoe je die commando's moet gebruiken (syntax) en waar je wat kan vinden in het geheugen van de controller.

8.3 Vermogens sturen

8.3.1 Vermogens schakelen

Om vermogens te kunnen schakelen hebben we een element nodig die met weinig vermogen een grote vermogen kan aan en uit zetten. Dat element noemen we een vermogenstrap of powertrap. Nu zijn er weer verschillende mogelijkheden: relais, transistoren, (MOS)FET's, optocouplers, solid state relais (een combinatie tussen relais en optocoupler).

8.3.2 Waarom

Omdat de controller maar met hele kleine stroompjes kan werken, mag en kan je op de uitgangen geen grote verbruikers schakelen. De eindtrappen van de controller zouden anders doorbranden. Daarom moeten we een soort relais tussen steken, maar omdat een relais dan weer te traag is en vonken trekt gebruiken we transistoren.

8.3.3 Opbouw

Om het geheel te doen werken moeten we de basis van de transistor aan de uitgang van de controller hangen. Maar om de stroom in het ergste geval te begrenzen gebruikt men een seriële weerstand van 1 kΩ. Vervolgens wordt in de emitterleiding de te schakelen last in serie opgenomen. Bij ons geval (NPN transistor) komt de massa aan de collector.

8.4 Uitvoering

8.4.1 Ontwerp tools

Om een schema te ontwerpen staan er op vandaag verschillende computerprogramma's ter beschikking. Maar het echte rekenwerk doe je toch best op papier. Het schema zelf kan je tekenen in een CAD pakket zoals Eagle, waarvan de studentenversie gratis beschikbaar is.

Verder kan je ook koelelementen laten berekenen door de computer en een simulatie maken van de warmteverdeling over het koelelement. Bijna alles is te simuleren. Door de immense rekenkracht van hedendaagse computers kan je er perfect een andere computer mee simuleren. Denk maar aan programma's als Spice, een vrij compleet simulatieprogramma.

8.4.2 Schema

Een schema wordt gemaakt door de benodigde componenten één voor één te importeren en ergens op je blad te schikken. Die schikking moet liefst zo overzichtelijk mogelijk zijn. Daarna ga je de componenten verbinden met elkaar. Hierbij moet je er opletten dat je de juiste baandikte gebruikt dit om straks geen problemen te hebben bij het routen. Het beste kun je beginnen met het plaatsen van de IC's, omdat die de meeste verbindingen hebben. Daarna kun je de invokes en powersymbolen plaatsen. Invokes zijn de potentiaalaansluitingen van meervoudige en logische IC's. De powersymbolen zijn de potentialen en de massa's. Vervolgens kan je de weerstanden en condensatoren invoegen en plaatsen. Leg nu al alle mogelijke verbindingen, houd rekening met de baandikte en het type signaal. Geef alles een gepaste naam. Voeg nu nog de resterende componenten in. En verbind ze. Nadien kan je eventueel een ULP (User Language Program) gebruiken om de verschillende componenten te hernummeren. Als je het volledige schema getekend is mag je verder gaan naar het tekenen van de printplaat.

8.4.3 Printplaat

Nadat je het schema ontworpen hebt moet je het schema nog omvormen tot een printplaat. Op voorwaarde dat je telkens de goede eigenschappen selecteert bij het tekenen van je schema verloopt dit laatste relatief vlot. Je maakt een lege printplaat waarbij je alle componenten die op het schema importeert. Dan begin je de componenten te schikken zodat er zo weinig mogelijk kruisende verbindingen in voorkomen. (ratsnest is een functie die daarbij helpt). De aansluitingen komen uiteraard op de rand van de print, anders zijn ze meestal niet bereikbaar. Daarna begin je met banen leggen, tot de volledige print gerouted is. Nu controleer je alles dubbel op verkeerde behuizingen en zo. En als laatste maak je de nodige bestanden aan om de printen dan daadwerkelijk te maken. Bij het maken van een fysieke printplaat begin je met een printplaat met een volle laag koper erop. kan je maken Nu kan men de juiste banen maken door ze uit te frezen of door ze te etsen.

Bij het frezen van een print wordt het koper rond de banen weg gefreesd waardoor je geïsoleerde banen krijgt. Daarna worden de gaten op juiste afmeting geboord.

Bij het chemisch etsen van de banen brengt men eerst de juiste tekening aan op printfolie. De tekening in zwarte lijnen wordt straks wat rest van de koperlaag. De folie, met de getekende schakeling erop, legt men op de printplaat en begint men deze te belichten met UV licht. Dit moet gedurende een 4 à 7 minuten (afhankelijk van printfabrikant) duren. Daarna dompel je de belichte printplaat onder in ontwikkelaar. De belichte delen lossen op en zo komt het ongewenste koper bloot te liggen. Nu spoel je de printplaat af om ze

vervolgen in een bijtend product te leggen. En na ongeveer een kwartier zal de koper weg zijn en heb je enkel het gewenste koper nog over. Verder moet je met een met aceton bevochtigde doek de lak van het resterende koper wegnemen. Nu moeten men enkel nog de nodige gaten boren.

8.4.4 Componenten

Het op de printplaat plaatsen en fixeren van de nodige componenten noemt men “bestukken”) Daarna kan men de onderdelen die moeten gesoldeerd worden solderen. Er bestaan een enorme variatie aan soorten behuizingen. Deze zij in twee grote groepen te verdelen. De SMD componenten en de TH componenten. SMD staat voor Surface Mounted Device, dit is dan montage op het oppervlak van de printplaat. En TH staat voor Through Hole, dus montage door een gat in de print. Bij TH zijn de afmetingen nogal groot ten opzichte van deze van SMD. Een voorbeeld een ‘gewone’ weerstand in TH meet 7x2 mm bij SMD is dit slechts 0.2x0.3 mm. Er bestaan SMD behuizingen met meer dan 1000 aansluitpunten. In beide groepen beschikt men over een zeer keuze aan IC behuizingen. Voor de TH componenten gebruikt men meestal DIL (Dual In Line) behuizingen. De afmetingen van de meeste componenten zijn gebaseerd op de inch. De mil is gelijk aan 0.01 inch. De standaard steek bij DIL is 0.1 inch.

9 Verrekijker

9.1 Het oog

9.1.1 Inleiding

Al eeuwenlang was het oog de enige telescoop waarmee de mens de sterrenhemel kon waarnemen. Het oog komt heel goed overeen met een lenzentelescoop of refractor. Het oog werkt dus natuurlijk door middel van lenzen. Hieronder worden enkel de delen besproken die overeenstemmen met een refractor.

9.1.2 Beschrijving van het oog

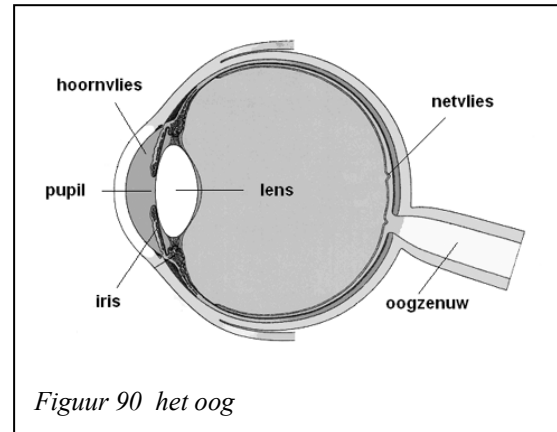
Het menselijke oog is net zoals een bol waarvan de gemiddelde diameter zo’n 2,3 centimeter meet. Deze onderdelen komen overeen met de lenzentelescoop ook wel nog refractor genoemd.

1. Het regenboogvlies of iris : dat is het deel dat de kleur van je ogen bepaalt dit kleur is van persoon tot persoon verschillend. Dit onderdeel van het oog regelt de grote van de pupil of ook wel nog oogappel genoemd.

Bij de refractor stemt dit deel in met het uit- en inzoemen van het beeld.

2. De pupil of oogappel : is een zwarte ronde vlek, die eigenlijk een opening is. De pupil wordt groter of kleiner door het uitzetten of samentrekken van het regenboogvlies. De normale diameter is 4 mm. De uiterste waarden bedragen 2 en 8,5 mm.

3. De lens ook wel nog de kristallens genoemd, is een lens die aan beide zijden bol is waarvan de voorzijde sterker gebogen is. Heeft een brekingsindex van 1,454. De lens is 4 mm dik en meet 9 mm in doorsnede. Bij de refractor is dit deel natuurlijk de lens of indien er meer zijn de lenzen.



4. Het oog is onderverdeeld in 2 kamers. In de 1^{ste} kamer die tevens ook de kleinste is, zit een waterachtige vloeistof met de wetenschappelijke naam humor aquaeus. Deze vloeistof heeft een brekingsindex van 1,337. De 2^{de} kamer het glasachtig lichaam of corpus vitreum genoemd, heeft ook een brekingsindex van 1,337. Bij de refractor komen deze kamers overeen met de binnenkant van de telescoopbuis.
5. Het netvlies of de retina is het gevoeligste deel van ons oog, dit deel vangt de lichtprikkels op, en stuurt die beelden via de oogzenuw naar onze hersenen. Bij de refractor is het netvlies de vangspiegel die door het oculair de beelden naar ons oog stuurt.
6. Het straalvormig lichaam of Corpus ciliare dit onderdeel ondersteunt de lens in ons oog. Bij de refractor is dit het deel dat de lens ondersteunt en op zijn plaats houdt.

9.1.3 Het accommodatievermogen

De accommodatie is de verandering van kromming van de ooglenzen om een voorwerp scherp te kunnen zien als we van ver naar dicht kijken en het voorwerp dichtbij staat. Deze aanpassing doet de mens zonder nadenken.

Het accommodatievermogen is omgekeerd evenredig met de leeftijd van de persoon. Jonge mensen of kinderen kunnen vb. met gemak lezen van op een afstand van 15 cm terwijl een oudere of bejaard persoon het blad al heel wat verder moet houden. Om het even goed te kunnen lezen als het kind.

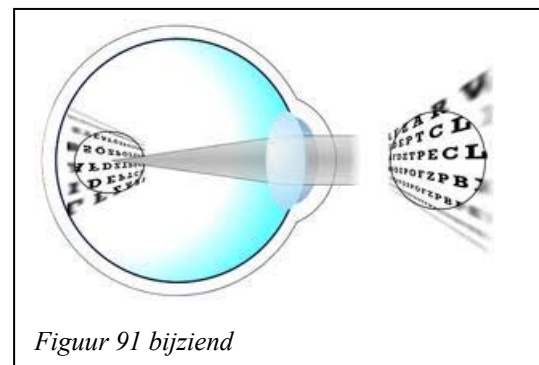
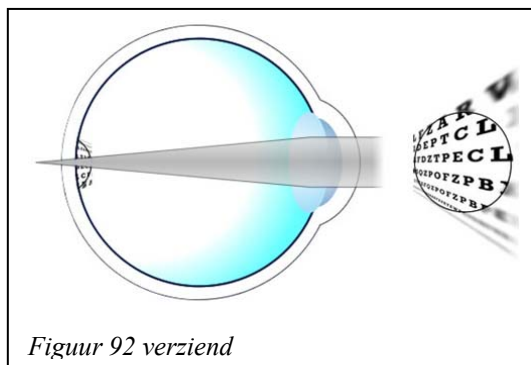
9.1.4 De gebreken aan het oog

Het oog heeft natuurlijk gebreken maar er zijn slechts enkele die overeenkomen met wat je ook kan meemaken met een refractor telescoop. Hieronder worden er alvast 2 besproken.

9.1.4.1 Soorten

Je hebt 3 gebreken bijziend (Myopie) en verziend (Hypermetropie) dit zijn geen ziektes maar refractiefouten van het oog. Bij beide zijn de afbeeldingen die geprojecteerd worden wel scherp, maar ze worden niet op de juiste plaats geprojecteerd.

1. Bijziendheid of myopie dit gebeurt wanneer het oog merkbaar langer is, en dat het beeld voor het netvlies geprojecteerd wordt. Dit is meestal erfelijk bepaald.
2. Verziend of hypermetropie dit heb je wanneer het oog merkbaar korter is of de brekingskracht van de kristallens verzwakt, en dus het beeld achter het netvlies projecteert.



Bij de refractor telescoop kan je ook bijziend of verziend tegenkomen wanneer je de vang spiegel te ver naar voren (plaatst dit is verziend) of te ver naar achteren plaatst (voor bijziend).

9.1.4.2 Hulpmiddelen

Bijziend bij de mens kan verholpen worden door middel van een negatieve of divergerende glazen in een bril. Zodanig dat het beeld op het netvlies terecht komt.

Verziend bij de mens wordt verholpen door een bril met positieve of convergerende glazen. Ook om terug het beeld op het netvlies te laten komen

Bij de telescoop wordt dit verholpen door de vangspiegel op de goede plaats te monteren.

9.2 De microscoop

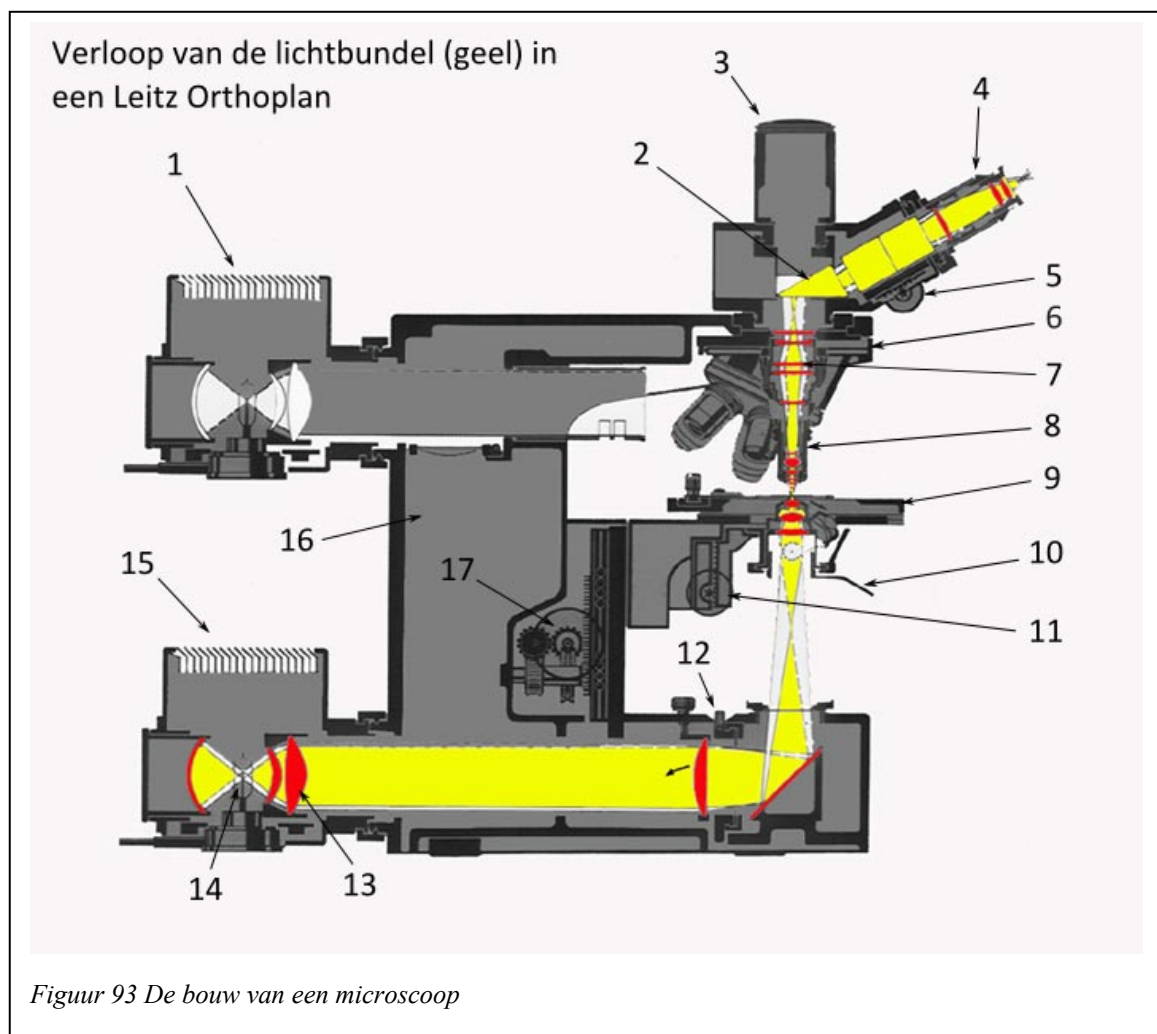
9.2.1 Inleiding

Een microscoop komt in grote lijnen overeen met een telescoop op gebied van bouw. Toch hebben ze een totaal andere bedoeling. Met een telescoop proberen we heel grote maar heel ver verwijderde objecten te bestuderen terwijl een microscoop dient om heel kleine maar nabije objecten in beeld te brengen.

9.2.2 Bouw van de microscoop

Hieronder staat een illustratie van een microscoop. Deze microscoop is een Leitz Orthoplan model. De microscopen kan je onderverdelen in de doorschijnende en de oplichtende microscopen; de microscoop hieronder is een doorschijnende microscoop, dat wil zeggen dat de lichtstraal van onder het preparaat naar het oculair gaat. Deze lichtstraal kan je volgen op de figuur.

Dit zijn de verschillende onderdelen:



- | | |
|---|--|
| 1 Bovenste lamp huis | 15 Onderste lamp-huis |
| 2 Prisma voor een goede leeshouding | 16 Statief |
| 3 Fototubus | 17 Scherpstelmechanisme, fijn en grof. |
| 4 Oculair | |
| 5 Stelschroef om oculairs op oogafstand af te stellen | |
| 6 Slede voor objectiefrevolver | |
| 7 Lenzen | |
| 8 Objectief | |
| 9 Objecttafel | |
| 10 Verstellhendel condensor diafragma | |
| 11 Hoogteverstelling condensor | |
| 12 Verstelwiel van het veld diafragma | |
| 13 Lens | |
| 14 Halogeenlamp 100W | |

9.2.3 Soorten microscopen

De microscoop kan je verder onderverdelen in 2 grote groepen, de lichtmicroscoop die werkt via zichtbaar licht en de elektronenmicroscoop die werkt op basis van elektronen om het object te kunnen zien:

- Een lichtmicroscoop: bestaat meestal uit twee lenzenstelsels, die in hun werking als twee enkelvoudige lenzen met gemeenschappelijke hoofdas mogen worden gezien. Het eerste lenzenstelsel is naar het voorwerp gekeerd en wordt het objectief genoemd; het tweede lenzenstelsel is naar het oog van de waarnemer gekeerd en wordt het oculair genoemd. Voor een lichtmicroscoop bestaat er een grenswaarde voor de mogelijke vergrotingsvermogen. Deeltjes die kleiner zijn dan 0,25 micron zijn niet meer te onderscheiden.
- De elektronenmicroscoop: bestaat uit een gebruikt elektronenbron die een elektronenstroom uitzend en een systeem om deze elektronenstroom te focussen. Om het gemaakte beeld zichtbaar te maken gebruikt men een fluorescerend scherm. De theoretisch mogelijke vergroting is een factor 100 groter dan voor lichtmicroscopen.

9.2.4 Toepassingen

Een microscoop wordt gebruikt in meerdere sectoren: medisch, biologisch, forensisch, enz. onderzoek. Maar de microscoop wordt ook gebruikt in de macrofotografie. Dit zijn o.a. natuurfoto's van enorm kleine objecten, dit kan zowel een plant zijn als een insect. De foto's die worden bekomen zijn foto's van wat je normaal niet of zelfs nooit kan zien.

Daarom zijn deze enorm fascinerend. Dit is net zoals onze telescoop, we willen ook een object zo goed mogelijk fotograferen, maar onze objecten zijn niet op aarde gelegen.

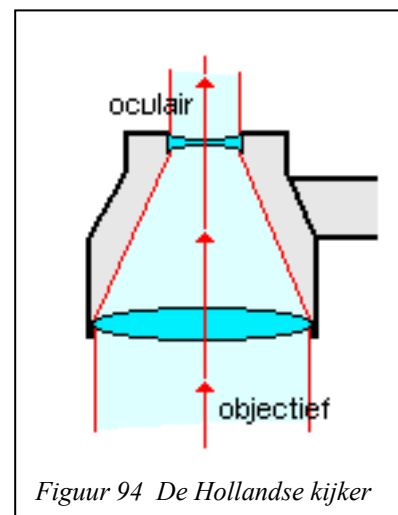
Microscoop kan je ook indelen volgens hun prijsklasse.

De goedkope microscoop is natuurlijk de eenvoudigste, die heeft een kunststofbehuizing met een simpel vergrotingssysteem door middel van een lamp of spiegel. Ze zijn meestal monoculair (1 kijker om door te kijken) en hebben maximale vergroting van 300x. Ze kunnen meer maar het is niet aan te raden wegens de kwaliteit die je bekomt. De kostprijs varieert tussen de 50 en de 100 euro.

De duurdere microscoop, zijn microscopen bedoeld voor laboratoria. Geven natuurlijk een veel beter resultaat, het optisch systeem is gewoon een veel betere oculair. Ze zijn meestal binoculair (2 kijkers om door te kijken). Ze kunnen tot 1000x of zelfs meer versterken. Deze prijs varieert voor een hoogwaardig merk tussen de 10.000 en de 50.000 euro.

9.3 De Hollandse kijker

De Hollandse kijker is eigenlijk de voorloper van de gewone verrekijker. De Hollandse verrekijker wordt ook nog de toneelkijker genoemd. De Hollandse kijker maakt gebruik van een negatieve lens, zodanig dat de kijker geen prisma nodig heeft om het beeld weer recht op te zetten. Een gewone lens draait het beeld om terwijl hij het breekt, een negatieve doet dat niet. Maar door zijn kleine beeldhoek is een hoge vergroting niet haalbaar.



Figuur 94 De Hollandse kijker

9.3.1 De uitvinder

Het is het jaar 1608, wanneer de telescoop voor het eerst daglicht ziet. De persoon die de telescoop uitvond was de Hollander Hans Lippershey te Middelburg. Maar dat kan in twijfel worden getrokken omdat in die zelfde periode in die zelfde periode nog een persoon beweerde de telescoop uitgevonden te hebben. Die persoon was Sacharias Jansen hij woonde tevens ook in Middelburg en zelfs in de zelfde straat als Lippershey. Wie de eerste was zal men echter nooit met zekerheid kunnen bewijzen.

9.3.2 Voor- en nadelen

Jammer genoeg had de Hollandse kijker maar een vergroting van 2 tot 3. Maar omdat de Hollandse kijker de toneelkijker wordt genoemd en dus duidelijk gebruikt wordt om naar het toneel te kijken (vanuit de tribune) zou een hoge vergroting minder geschikt zijn. De toneelkijker is niet groot (zakformaat) en dus ook zeer licht, en kan dus ook voor een lange tijd gebruikt worden. Een hedendaagse toneelkijker bevindt zich van prijs tussen de 30 en de 150 euro.

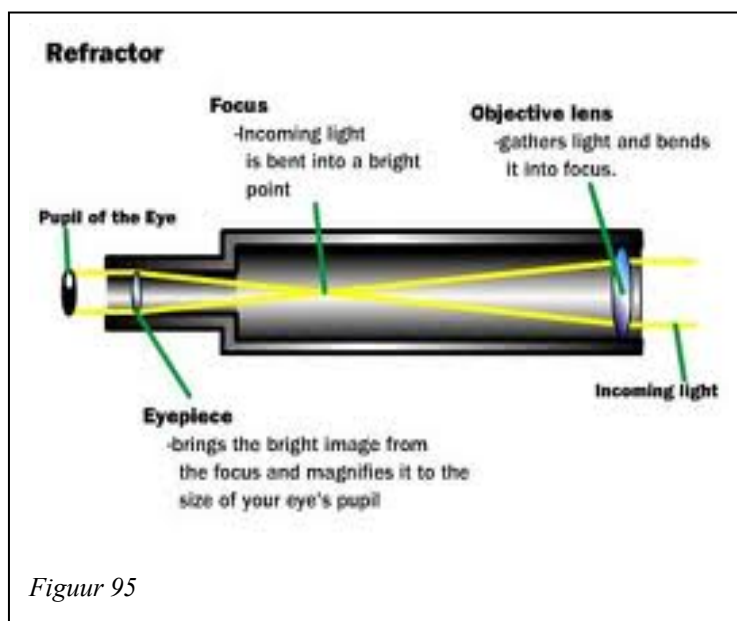
9.4 Lenzentelescoop

9.4.1 Geschiedenis

De allereerste telescopen die werden uitgevonden waren refractors. Galilei was in 1609 de eerste persoon die een lenzenkijker bouwde voor het observeren van de sterrenhemel. De telescopen werden altijd maar verder geperfectioneerd. Huygens gebruikte een enorm lange brandpuntsafstand voor zijn lenzenkijker.

Het nadeel van een enkelvoudige lenzentelescoop was dat er chromatische aberratie optreedt. Het was Newton die zorgde voor een schitterende oplossing. Hij maakte een spiegeltelescoop, hij verving de refractor door een metalen spiegel. Hij maakte gebruik van spiegels en lenzen. Omdat een spiegeltelescoop moeilijker te maken is dan een lenzentelescoop, maakte hij toch gebruik van samengestelde refractors.

9.4.2 Hoe werkt het



Een lenzenkijker of refractor heeft een bol objectief die de lichtstralen in een brandpunt laten samenkomen door lichtbreking of refractie. Met een lenzenkijker kan je goed kleine details observeren van oppervlaktestructuren van de maan of planeten.

Het licht afkomstig van een lichtbron wordt eerst opgevangen door de objectieflens. Het opgevangen

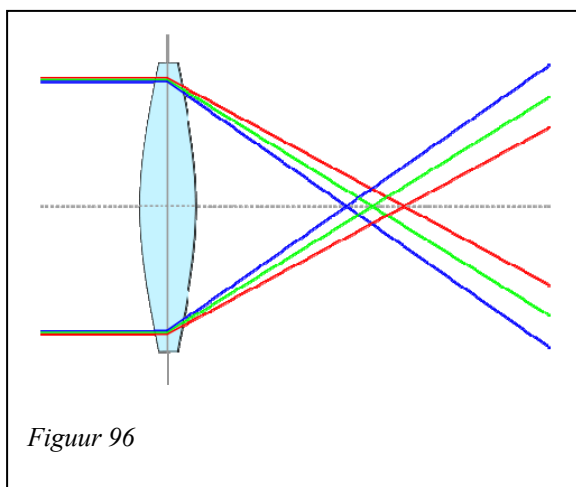
licht wordt door de objectieflens geconvergeerd. Het punt waar de lichtstralen samen

komen wordt het focuspunt of brandpunt genoemd. De afstand van het brandpunt tot de objectieflens wordt de focale lengte genoemd.

9.4.3 Wat is chromatische aberratie

Chromatische aberratie is een optische fout van lenzen en lenzensystemen die ontstaat doordat wit licht (bestaat uit alle kleuren, iedere kleur heeft zijn eigen golflengte), niet in dezelfde mate worden gebroken aan het lensoppervlak. De oorzaak hiervan is dispersie, de brekingsindex van het materiaal glas is niet voor alle kleuren hetzelfde. Het getal van Abbe is een maat voor de dispersie van een optisch medium. Hoe groter dit getal, hoe kleiner de dispersie of kleurschifting.

Door het maken van samengestelde met onderling tegengestelde chromatische aberraties

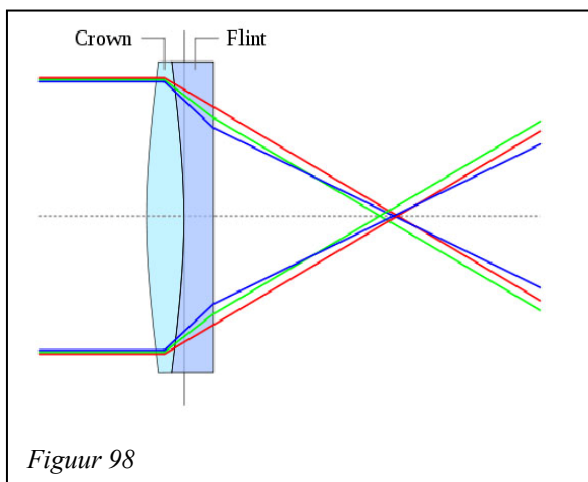


Figuur 96

(de ene lens van een glassoort met een hoge brekingsindex en de andere lens van een glassoort met een lage brekingsindex) zullen die elkaar grotendeels opheffen. Een samengestelde lens die de beelden voor twee kleuren corrigeert heet een achromaat en een samengestelde lens die de beelden voor drie kleuren corrigeert heet een apochromaat. Waardoor twee (achromaat) of drie (apochromaat) verschillende golflengtes van het licht nagenoeg dezelfde brandpuntafstand hebben.

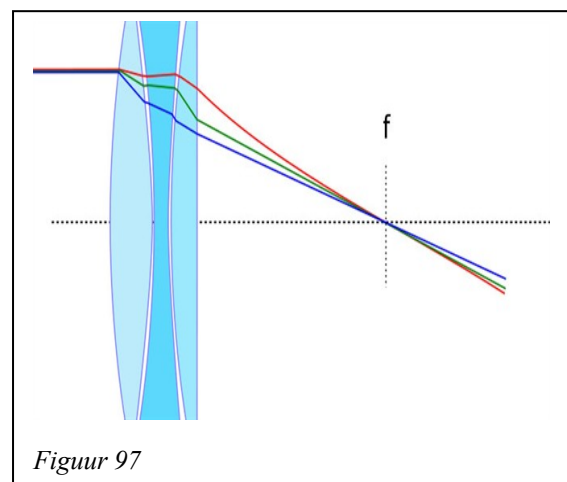
De figuur toont een voorbeeld van een ongecorrigeerde lens. Als het projectievlak op het brandpunt van groen zou staan, dan zou de groene component scherp zijn, terwijl de rode en blauwe component onscherp zou zijn.

Achromatische lenzen



Figuur 98

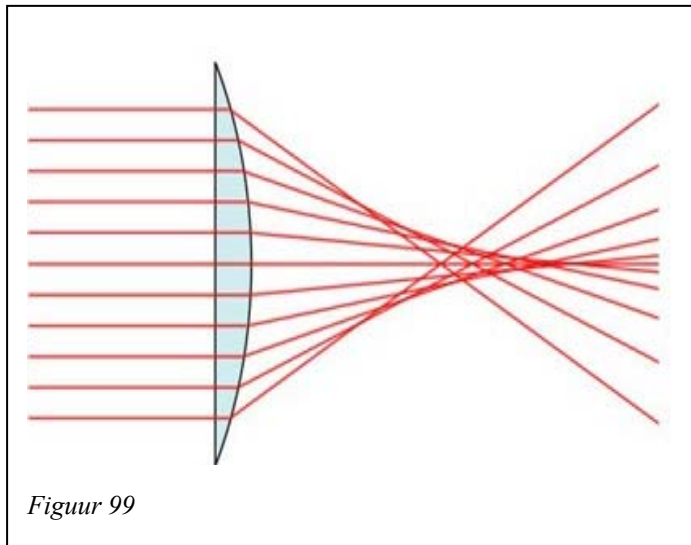
Apochromatische lenzen



Figuur 97

9.4.4 Wat is sferische aberratie

Sferische aberratie is een optische fout die ontstaat doordat lichtstralen die verder liggen



van de optische as van de lens (en zijn verlengde) een ander brandpunt hebben dan de lichtstralen die dichterbij de optische as van de lens (en zijn verlengde).

Om het probleem op te lossen kan je gebruik maken van een diafragma. De buitenste lichtstralen worden dan afgeschermd. Maar het nadeel is wel dat er veel licht verloren gaat.

9.5 Prismakijker

9.5.1 Geschiedenis

Een andere naam voor prismakijker is verrekijker. De verrekijker is uitgevonden in 1608 door Hans Lippershey. De beide kijkerhelften van een verrekijker bevatten een objectief en oculair en een stelsel van prisma's. Met een verrekijker zonder prisma's krijg je een omgekeerd beeld. De verrekijker van Lippershey was zonder prisma's, maar bevatte een negatieve lens als oculair. Het beeld was wel rechtopstaand, maar de beeldhoek was klein en de vergroting was ook niet groot.

9.5.2 Beeldveld

Het beeldveld bij een verrekijker is heel belangrijk. Een groot beeldveld maakt het gemakkelijker om een bewegend object te volgen.

9.5.3 Chromatische aberratie

(uitleg chromatische aberratie, zie voorliggend deel lenzenkijker)

Omdat ieder kleur een andere golflengte heeft breekt het ene kleur meer dan het andere aan het lensoppervlak. Daardoor heeft ieder kleur een ander brandpunt.

9.5.4 Sferische aberratie

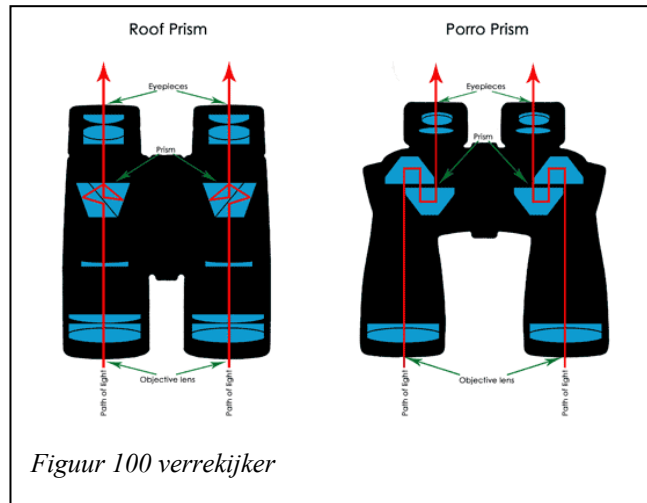
(uitleg sferische aberratie, voorgaand deel lenzenkijker)

Door de afstand van de lichtstralen t.o.v. de optische as van de lens (en zijn verlengde) hebben de lichtstralen die ver liggen van de optische as van de lens (en zijn verlengde) een ander brandpunt dan de lichtstralen die dichterbij de optische as.

9.5.5 Soorten prisma's

Er worden twee soorten prismastelsels gebruikt. De dakkantprisma's of pentaprisma's geven een rechtdoorgaande verschuiving in de stralengang. De porroprisma's geven een parallelle verschuiving in de stralengang.

Dakkantprisma en pentaprisma



9.6 De spiegelkijker

9.6.1 Definitie / werking

Een spiegeltelescoop is een telescoop die gebruik maakt van spiegels in plaats van lenzen. Spiegels gebruiken het effect weerkaatsing.

Een spiegeltelescoop werkt door reflectie (= weerkaatsing) van het licht op een holle spiegel. De stralen worden opgevangen door een vangspiegel die de stralen naar buiten geleidt (buiten de kijkerbuis naar het oculair).

9.6.2 Ontstaan

De spiegeltelescoop is uitgevonden in 1663 door James Gregory en in 1668 door Isaac Newton. Deze telescoop werd toevallig door deze twee mensen op hetzelfde moment bedacht, zonder dat zij samenwerkten. James Gregory zorgde voor het eerste praktische ontwerp. Newton was de persoon die zijn eigen telescoop ontwierp en het in zicht van de wetenschappers bracht. Hij was de belangrijkste persoon in de uitvinding van de spiegeltelescoop. De spiegeltelescoop was een grote verbetering, want volgens Isaac Newton vergroot een telescoop met spiegels beter dan een telescoop met lenzen. Bij een spiegeltelescoop is er ook veel minder kleurschifting dan bij een lenzentelescoop.

9.6.3 Voor en nadelen

Voordelen spiegelkijker

1. Spiegeltelescopen zijn gemakkelijk te bouwen.
2. Er is minder kleurschifting.
3. De spiegel wordt ondersteund, waardoor dat het beeld niet kan vervormen door het doorbuigen van de spiegel
4. Er kunnen veel grotere spiegels gemaakt worden dan lenzen doordat de spiegel ondersteund wordt.

Nadelen spiegelkijker

1. Doordat het brandpunt voor de spiegel ligt in het veld van het toekomende licht is er een speciale constructie nodig om het licht op te vangen.
2. De speciale constructie die het licht opvangt en laat keren naar het oculair blokkeert een deel van de inkomende lichtstralen waardoor men een stuk van het invallende licht verliest.

9.6.4 Soorten spiegelkijkers / spiegeltelescopen

9.6.4.1 Newton kijker

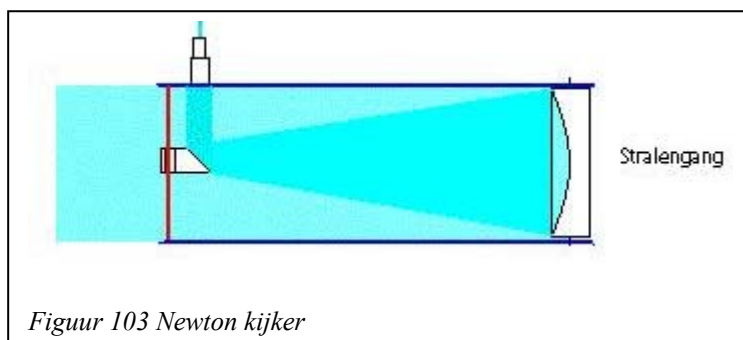
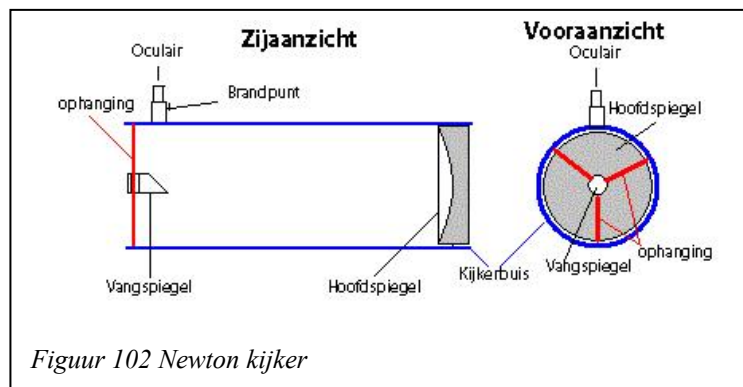
De Newtonkijker is uiteraard uitgevonden door Isaac Newton in 1668.

De Newtonkijker werkt met een holle spiegel en een vangspiegel die onder een hoek van 45° staat.

De Newton kijker is zowel geschikt voor een spiegel met een lange brandpuntsafstand als voor een spiegel met een korte afstand.

De Newtonkijker is meestal goedkoper dan een ander type kijker en van kwaliteit van beeld is hij zeker vergelijkbaar.

Doordat de vangspiegel en de ophanging van de vangspiegel tussen het invallende licht en de spiegel staat, wordt er wel een stuk van de lichtinval op de spiegel weggenomen.

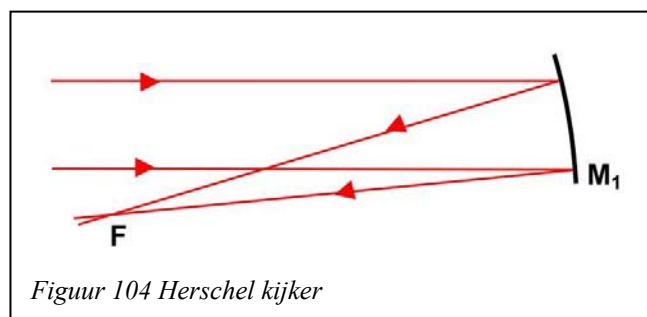


9.6.4.2 Herschel kijker

De Herschel kijker is uitgevonden door de Brits - Duitse William Herschel (1738-1822).

Bij deze kijker wordt opnieuw gewerkt met een kijker maar hier is er geen vangspiegel nodig, omdat de hoofdspiegel (M_1) onder een hoek staat waardoor dat de stralen schuin worden teruggekaatst.

Daardoor kunnen de stralen, met een opening in de zijkant van de kijkerbuis



waar dan het oculair wordt op gemonteerd, naar buiten gaan en buiten het veld van het invallende licht opgenomen worden.

9.6.4.3 Gregoriaanse telescoop / kijker

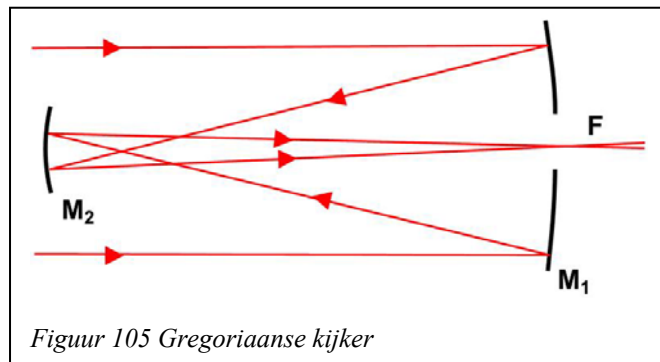
De Gregoriaanse telescoop (kijker) is uitgevonden door James Gregory (1638-1675).

De eerste pogingen van James Gregory mislukten omdat hij geen opticien kon vinden die de spiegels kon slijpen. Deze kijker werkt met een holle hoofdspiegel met een boring in het midden van de spiegel. De invallende stralen weerkaatsen op de hoofdspiegel naar de holle vangspiegel die de stralen dan terugkaatst en dan door de opening in de hoofdspiegel naar het oculair stuurt.

Doordat beide spiegels hol zijn heeft deze telescoop een rechtstaand beeld.

Robert Hooke was de eerst die een Gregoriaanse telescoop kon bouwen in 1673 maar Isaac Newton had eerder de Newton telescoop uitgevonden

- Invallende stralen
- Holle vangspiegel
- Teruggekaatste stralen
- Hoofdspiegel met boring in het midden



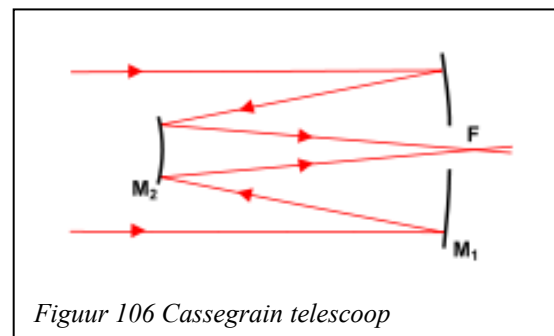
Figuur 105 Gregoriaanse kijker

Hier vindt men opnieuw hetzelfde nadeel terug als bij een newtonkijker, namelijk dat de vangspiegel terug in het veld zit van het invallende licht. Met als gevolg dat er minder licht het spiegeloppervlak bereikt. Een andere oorzaak van de mindere lichtinval is het stuk oppervlak dat van de spiegel verwijderd is, doordat er een gat geboord is in de spiegel.

9.6.4.4 Klassieke Cassegrain telescoop

De klassieke Cassegrain telescoop is uitgevonden door de Franse priester die tevens ook fysicus was, Laurent Cassegrain (1629-1693). Deze telescoop komt in grote lijnen overeen met de Gregoriaanse kijker met dat verschil dat de weerkaatste stralen op een bolle vangspiegel worden teruggekaatst in plaats van een holle zoals bij de Gregoriaanse telescoop. De vangspiegel en de primaire spiegel zijn parabolisch.

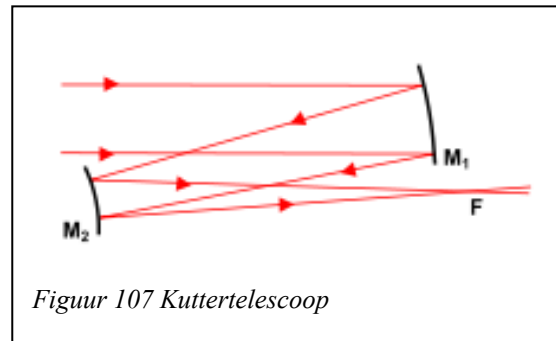
- Invallende stralen
- Bolle vangspiegel
- Teruggekaatste stralen
- Hoofdspiegel met boring in het midden



Figuur 106 Cassegrain telescoop

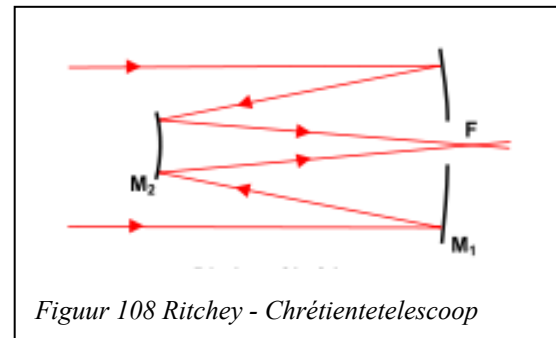
9.6.4.5 Kuttertelescoop

De Kuttertelescoop, die ook wel eens de Schiefspiegler wordt genoemd. Deze werd ontwikkeld door een Duitser Anton Kutter, rond het jaar 1950. Anton Kutter was een werktuigbouwkundige ingenieur en filmregisseur. De Kuttertelescoop werkt door middel van 2 spiegels, maar de secundaire spiegel bevindt zich net naast de optische as van de primaire spiegel. Het oculair bevindt zich net naast de primaire spiegel waar de lichtbundels samenkomen. Doordat de telescoop een grote brandpuntsafstand heeft en een relatief lage openingsverhouding is deze telescoop vooral geschikt voor heldere objecten, zoals de maan en de planeten. Een voordeel van deze telescoop is dat de secundaire spiegel niet in het veld zit van de primaire spiegel. Dus meer invallend licht.



9.6.4.6 Ritchey-Chrétientelescoop

De Ritchey-Chrétientelescoop is gemaakt door een Amerikaanse astronoom George Willis Ritchey (1864-1945) en zijn Franse Collega Henri Chrétien (1879-1956). De telescoop zelf is gemaakt rond het jaar 1910. De telescoop is net zoals de klassieke Cassegraintelescoop met dat verschil dat de vangspiegel in primaire spiegel niet parabolisch zijn maar hyperbolisch. De constructie is compact terwijl het beeldveld groot is, maar de constructie is tevens enorm duur. De Ritchey-Chrétien wordt onder andere toegepast in de Hubble en de 4 telescopen van 8,2 meter in Chili op het Paranal-Observatorium.

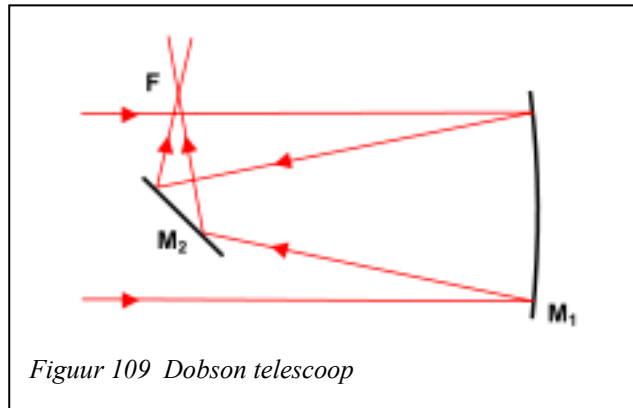


9.6.4.7 Dobson telescoop

De Dobson telescoop is uitgevonden door John Dobson wat de doorbraak van de telescoop bij amateurs betekende in 1979. De Dobson telescoop is een eenvoudige constructie van een telescoop en dus ook enorm geliefd door amateur sterrenkijkers. De telescoop is meestal gebaseerd op een Newtontelescoop. Maar toch zijn er enkele afwijkingen tegenover de Newtontelescoop. Zoals een dunne hoofdspiegel is $1/20$ tot $1/10$ van de diameter. Dus is het gewicht aanzienlijk kleiner. Ook is de brandpuntsafstand aanzienlijk kleiner (een openingsverhouding van rond de $1:5$). De Dobson telescoop is niet echt geschikt voor astrofotografie doordat er een speciaal volgsysteem nodig is om objecten te kunnen volgen.

9.6.4.8 Vloeibare spiegeltelescoop

De spiegeltelescoop werd gebouwd door Henry Skey rond het jaar 1872 in Nieuw-Zeeland. Een vloeibare spiegeltelescoop werkt doormiddel van een vloeibare metaal aan een constante snelheid te laten ronddraaien. Daardoor ontstaat een oppervlak dat de vorm krijgt van een parabool. Het voordeel is de prijs. Het kost slechts een tiende van de prijs van een gewone spiegeltelescoop. Het nadeel is dat de vloeibare telescoop enkel recht omhoog kan worden gericht. Want als de telescoop wordt gekanteld verliest hij zijn vorm. Deze toepassing wordt gebruikt in Canada, waar de Large Zenith Telescope (LZT) van 6 m diameter staat.



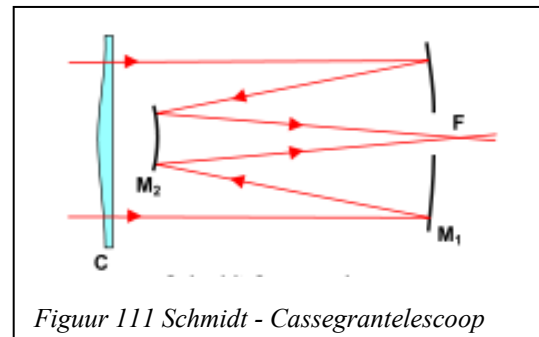
Figuur 109 Dobson telescoop

9.6.4.9 Catadioptrische telescoop

De Catadioptrische telescopen zijn telescopen die zowel spiegels als lenzen gebruiken om hemelobjecten in beeld te brengen. Hieronder staan de bekendste correctors:

1. Schmidtcorrector

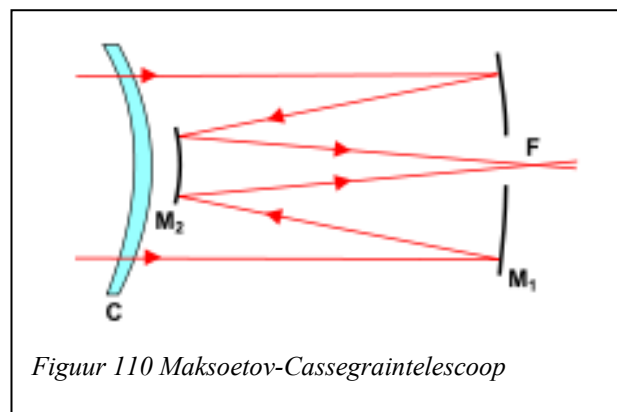
De Schmidtcorrector is een telescoop met een primaire spiegel die sferisch is. De telescoop wordt ook wel nog groothoekcamera genoemd en is uitgerust met een vierde-ordecorrectieplaat dat ontwikkeld is door Bernhard Schmidt deze plaat dient om de sferische aberratie te corrigeren. Voor de visuele waarneming wordt een secundaire spiegel toegevoegd om dan tot een Schmidt-Newton- of Schmidt-Cassegrainontwerp te komen.



Figuur 111 Schmidt - Cassegraintelescoop

2. Maksoetovcorrector

Deze telescoop is ontwikkeld van Dmitri Maksoetov en is net zoals de Schmidtcorrector, maar dan met een gebogen vierde-ordecorrectieplaat. Zelf

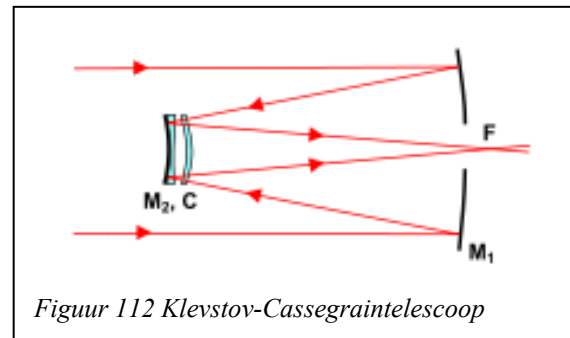


Figuur 110 Maksoetov-Cassegraintelescoop

is deze moeilijk te bouwen wegens de sterke kromming en hoge nauwkeurigheidseisen.

3. Klevtsov-Cassegraintelescoop

Is ontwikkeld door G.I. Popov en praktisch uitgevoerd door Joeri A. Klevtsov. Het is een variant van de Klassieke Cassegraintelescoop. Alle spiegels bij deze telescoop zijn sferisch of bijna. De secundaire spiegel is uitgerust met een correctielens. Voordelen zijn

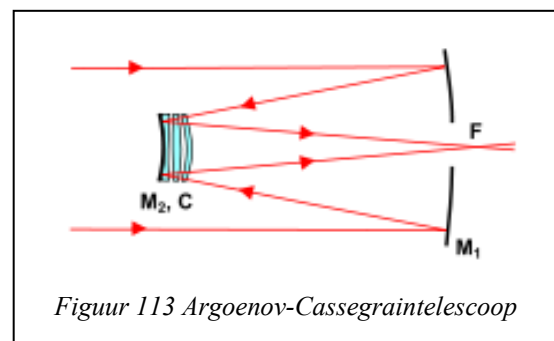


Figuur 112 Klevtsov-Cassegraintelescoop

onder andere de boring waardoor het toestel zich sneller stabiliseert, en het gewicht van de secundaire spiegel die zorgt voor minder beperkingen van de constructie. Het nadeel is wel dat de secundaire spiegel met ophangingssteunen moet worden bevestigd, wat tot diffractieartefacten leidt.

4. Argoenov-Cassegraintelescoop

Ontwikkeld in 1972 door P.P. Argoenov. Is gebaseerd op de Klevtsov-Cassegraintelescoop maar de corrector bestaat nu niet uit 1 maar 2 lenzen op de secundaire spiegel. En alle optische oppervlakken zijn sferisch.



Figuur 113 Argoenov-Cassegraintelescoop

10 De telescoop

10.1 Definitie

De telescoop is een optisch instrument dat dient om ver afgelegen objecten vergroot weer te geven door combinatie van lenzen of spiegels.

10.2 Ontstaan

De telescoop is uitgevonden in 1608 door Sacharias Jansen of Hans Lippershey. Het is niet zeker wie de eerste uitvinder van de telescoop was. Beide personen waren Nederlanders en woonden in Middelburg, wat toen een belangrijke stad was in Nederland. De eerste kijker had een vergroting van 3 of 4 keer. Deze kon gebruikt worden als verrekijker. Glazen kon men in feite al slijpen in de middeleeuwen, toch werd de telescoop pas een stuk later uitgevonden. Dit komt omdat om een telescoop te bouwen een combinatie nodig is van het allerbeste glas en de beste slijptechniek om de mogelijkheid te hebben om van 2 brilglazen

een bruikbare telescoop te maken. De eerste telescoop had geen montering en werd vastgehouden met de hand.

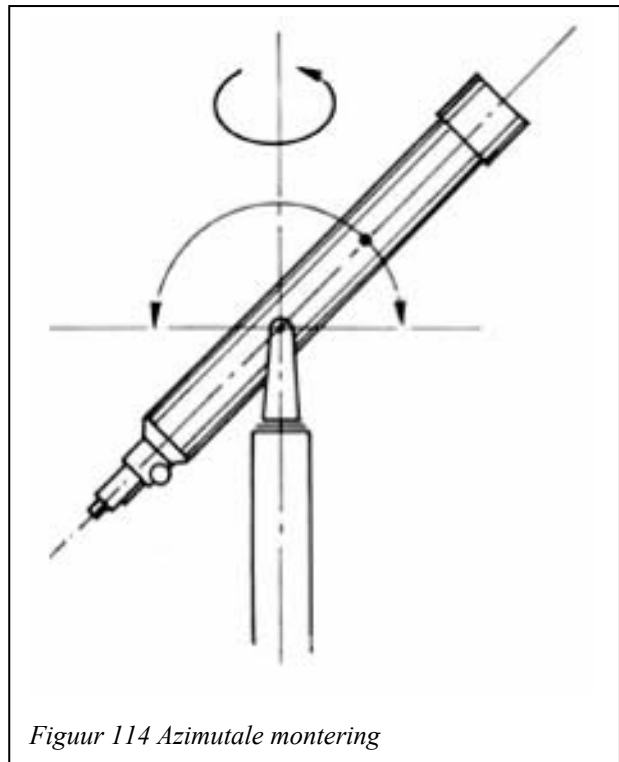
10.3 Soorten monteringen

Er zijn 2 soorten basisonteringen die veel gebruikt zijn: de azimutale en de parallactische montering. Er bestaat ook nog een variant: de Dobsonmontering. Men heeft ook nog de hexapodmonteringen, maar deze wordt zelden gebruikt. De montering is even belangrijk bij een telescoop als de spiegels, want als de montering niet stabiel en stevig is dan is de telescoop op zich ook niet veel waard, ook al zijn de spiegels toch goed geslepen. Bij een onstabiele montering verkrijgt men een wazig beeld, wat een groot nadeel is voor astrofotografie.

10.3.1 Azimutale montering

De azimutale montering is de goedkoopste en de eenvoudigste montering. Dit is een type montering die gebruik maakt van 2 bewegingsassen. Enerzijds is er de horizontale as (= azimuth) en anderzijds de verticale as (= de altitude). Door het combineren van deze 2 bewegingen kan de kijkerbuis van de telescoop het volledige hemeloppervlak waarnemen.

Rond de verticale as kan de volledige constructie draaien en rond de horizontale as kan men de kijkerbuis kantelen. De positie van een object aan de hemel wordt weergegeven door een combinatie van 2 coördinaten, deze zijn de hoogte (= elevatie) en de



Figuur 114 Azimutale montering

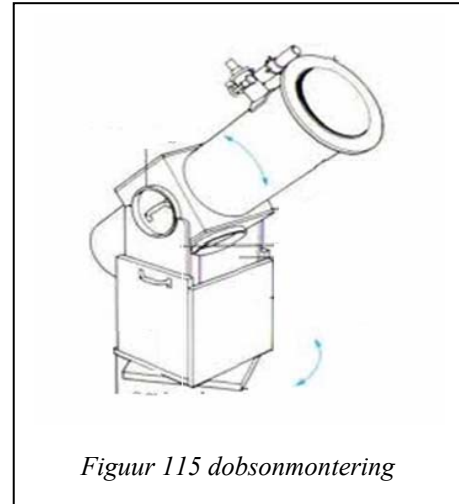
kompasrichting, beschreven door de hoek tegenover het noorden via het oosten, dit wordt aangegeven in graden. Een groot nadeel van de azimutale montering is dat indien men een ster wil volgen, men telkens de 2 richtingsassen moet bijsturen om het voorwerp in beeld te houden, wat nogal moeilijk is. De 2 assen moeten bijgestuurd worden, omdat de aarde draait rond de poolas, waardoor de sterren bewegen over het hemeloppervlak.

10.3.1.1 Varianten op azimuthale montering

Er zijn heel veel verschillende types monteringen, maar de basis is grotendeels gelijk.

- Dobsonmontering

De Dobsonmontering is een sterk vereenvoudigde versie van de azimuthale montering. Deze montering is in 1950 ontwikkeld door John L. Dobson. Deze montering is zeer goedkoop en heel gemakkelijk te bouwen. De oorspronkelijke bedoeling van deze montering was om zeer grote kijkerbuizen gemakkelijk te kunnen gebruiken en bewegen. Deze montering is namelijk niet geschikt voor zeer lange belichtingstijden. De montering heeft het voordeel dat hij snel op te bouwen is. De montering heeft een zeer grote stabiliteit wat ook heel goed is voor de waarneming. Het onderstel van deze montering wordt ook wel een dobsonbak genoemd.



Figuur 115 dobsonmontering

- Vorkmontering op azimuthale montering

De wigmontering lijkt zeer sterk op de dobsonmontering. Deze montering heeft dezelfde voordelen en nadelen van de azimuthale montering. Bij deze montering rust de buis in een U-vormige houder, die ervoor zorgt dat de kijkerbuis omhoog en omlaag kan draaien.

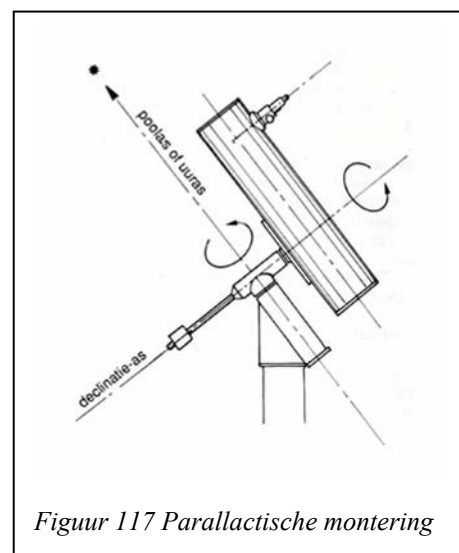
De U-vormige houder rust op een pilaar of statief dat ervoor zorgt dat de kijkerbuis stevig staat. Deze montering is goed geschikt voor korte telescoopbuizen.



Figuur 116 U-vormige houder

10.3.2 Parallactische montering

De parallactische montering (= equatoriale montering) komt technisch gezien zeer goed overeen met de azimuthale montering. De parallactische montering maakt ook gebruik van 2 bewegingsassen. Om het probleem van de draaiende assen op te lossen, heeft men de horizontale as onder een hoek gezet en deze hoek is gelijk aan de breedtegraad, van waar de locatie in de verticale as moet liggen in het verlengde van de poolas (uuras). Door de schuine stand van de



Figuur 117 Parallactische montering

bewegingsassen is de telescoop moeilijker in te stellen. Om een object in de ruimte te volgen is dit systeem eenvoudiger omdat 1 rotatie-as al voldoende is om het object te volgen. Het kan wel gebeuren dat men de andere rotatie as eens een beetje opnieuw moet instellen (heruitlijnen) zodat het beeld mooi in het midden blijft.

In principe is 1 motor op dit systeem voldoende, maar men plaatst beter nog een 2^e motor, zodat het beeld steeds mooi in het midden blijft.

Bij de parallactische montering kan het wel gebeuren dat de kijkerbuis de steunvoet raakt waardoor deze niet volledig kan ronddraaien. Men kan dus wel alles bereiken, maar dan moet de kijkerbuis een volledige toer terugdraait worden. Dit probleem doet zich niet voor bij alle parallactische monteringen.

10.3.2.1 Varianten op de parallactische montering

Er zijn verschillende varianten op de parallactische montering. De hoofdmonteringen zijn allemaal gelijk, mits enkele kleinere verschillen.

- Vorkmontering op parallactische montering

De Gaffelmontering is zeer goed geschikt voor kortere kijkerbuizen. Dit is dezelfde montering als de kijkerbuis van de wigmontering. Het enige verschil is dat de Gaffelmontering op een parallactisch montering staat en de wigmontering staat op een azimutale montering.

- Mesu-mount montering

Deze montering is een recente montering. Het werd uitgevonden in 2008 en is van Nederlandse makerij. De mesu-mount montering is een zeer stevige montering. Deze is bedoeld om te werken via elektronica en om te gebruiken voor astrofotografie. De montering is zeer gemakkelijk op te bouwen en af te breken.

Een synoniem is de mobiele krachtpatser. De mesu-mount heeft een laadvermogen van 2x 65kg en wordt aangedreven door wrijvingswielen. De standaard montering kan opgedeeld worden in 2 delen van 25 kg per stuk en is heel eenvoudig samen te voegen.

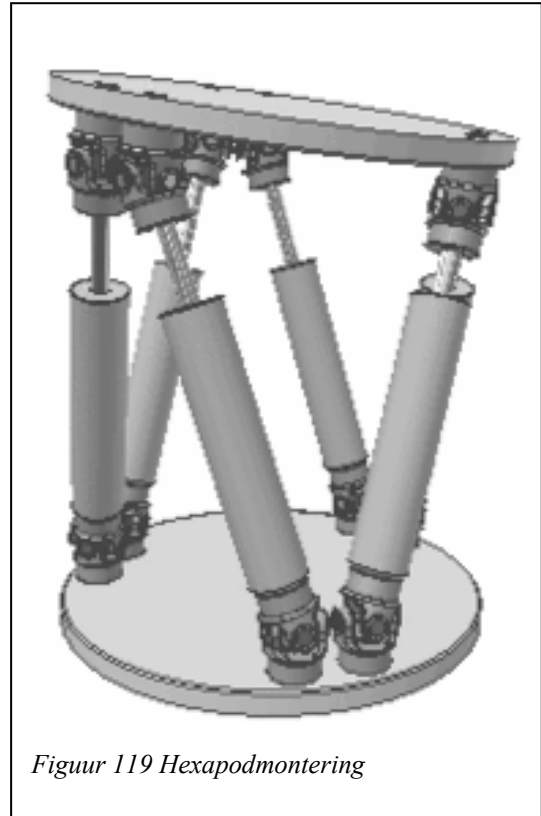


Figuur 118 : mesu-mount montering

10.3.3 Hexapodmontering

Deze montering wordt zelden als zuivere montering gebruikt. De beweging komt niet uit rotatie-assen, maar uit 6 bewegende cilinders die zorgen voor lengteverandering. Deze constructie is zeer moeilijk te maken en te besturen, omdat er een aantal zeer hoge mechanisch eisen zijn. Bovendien is deze constructie enkel geschikt voor kleine lasten. De constructie kan wel heel nauwkeurig werken, indien alles goed is afgesteld. Dit systeem heeft wel niet zoveel bewegingsmogelijkheden als de azimuthale of parallactische montering. Deze montering is zeer nauwkeurig, maar deze nauwkeurigheid is onnodig voor een gewone telescoop. Daarom wordt de hexapodmontering enkel gebruikt bij militaire telescopen, voor het volgen van satellieten en ook voor het op zijn plaats zetten van de secundaire spiegel.

De hexapodmontering werd ontwikkeld door Krupp in samenwerking met Universiteit van Bochum. Hij werd van 1999 tot 2004 goed getest en in 2004 werd hij naar Cerro Armazones in Chili gebracht.



Figuur 119 Hexapodmontering

10.4 Ruimte telescopen

10.4.1 Hubble

Wanneer ons een auto met loeiend hard spelende radio voorbij rijdt, dan stellen we vast, dat het waargenomen geluid bij het naderen hoger klinkt en bij het verwijderen lager klinkt. Zittend in een trein horen we het belsignaal bij het naderen als een hoge toon en bij het verwijderen als een lage toon.

Dit verschijnsel, dat we “het Doppler-effect” noemen, doet zich voor van zodra geluidsbron en waarnemer t.o.v. elkaar in beweging zijn.

Dit verschijnsel is eigen aan de golfbeweging. Elektromagnetische golven (licht) zijn dus ook onderworpen aan het Doppler-effect. Wanneer een elektromagnetische

golfbron een waarnemer nadert, zal de waarnemer een hogere frequentie waarnemen dan de bron uitstuurt. Voor zichtbaar licht zouden we kunnen zeggen dat de waargenomen kleur niet deze is die uitgestraald werd. Bewegen waarnemer en lichtbron naar elkaar toe dan zal de waarnemer een hogere frequentie waarnemen dan de lichtbron uitstuurde. Voor zichtbaar licht komt dit neer op een kleurverschuiving richting blauw. In dit geval spreken we over blauwverschuiving. Wanneer de bron van de waarnemer weg beweegt zal de waarnemer een lagere frequentie waarnemen dan de bron uitstuurde. Voor zichtbaar licht komt dit neer op een kleurverschuiving richting rood. In dit geval spreken we dan ook over roodverschuiving.



Figuur 120 Edwin Hubble

Edwin Hubble ontdekte samen met Milton Humason (1929) dat er een lineair verband bestaat tussen de roodverschuiving van verre sterrenstelsels en hun afstand tot de aarde. Dit verband staat tegenwoordig bekend als de wet van Hubble. Deze wordt uitgelegd als een gevolg van het Dopplereffect in een uitdijend heelal. Met deze vinding leverde Hubble de eerste daadwerkelijke ondersteuning voor de theorie van het uitdijende heelal. Deze was door Alexander Friedmann in 1922 als wiskundige mogelijkheid geopperd en in 1927 door Georges Lemaître naar voren geschoven. Beiden steunden hiervoor op de algemene relativiteitstheorie van Albert Einstein (1915). De resultaten van Hubble leidden tot brede aanvaarding van de uitdijng van het heelal en tot de uitwerking van de Big-Bangtheorie.

Op 24 april 1990 lanceerde de NASA een ruimtetelescoop. Als eerbetoon aan Edwin Hubble werd deze de Hubble Space Telescope (HST) genoemd. De Hubble ruimtetelescoop is een Cassegrain-spiegeltelescoop met een spiegel diameter van 2,4 m voorzien van een aantal precisie-instrumenten voor astronomische waarnemingen. Hij werd vooral gebruikt voor optische waarnemingen. Verder beschikt de telescoop ook over

een infraroodcamera. Door het ontbreken van een atmosfeer in de ruimte is een ongekend scherpe afbeelding van verre astronomische objecten mogelijk.

Intussen werden al plannen gemaakt voor de volgende, betere en grotere ruimtetelescoop.

Anderzijds stonden de ontwikkeling van de aardse telescopen zeker niet stil. Het idee om de beelden van een groot aantal kleinere telescopen te combineren blijkt zeer goede resultaten op te leveren. Het in real time computergestuurd corrigeren van optische fouten veroorzaakt door temperatuurverschillen en turbulentie in de atmosfeer werd zo mogelijk. Zo werd het mogelijk om vanaf de aarde afbeeldingen te maken die niet meer voor deze van de Hubble moeten onderdoen.

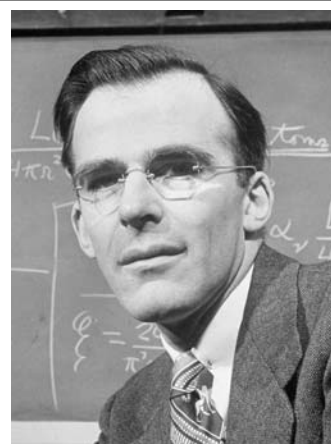
Op 16 januari 2004 maakte de NASA bekend dat er geen onderhoud meer aan de Hubble zou worden verricht.

Op 31 oktober 2006 maakte de NASA echter bekend dat in de tweede helft van 2008 alsnog een vierde onderhoudsmissie naar de Hubble zou worden uitgevoerd. Door het aanbrengen van nieuwe gyroscopen en nikkel-waterstof-accu's zou de levensduur van de telescoop kunnen worden verlengd tot op zijn minste 2014.

In september 2008 deed zich echter nog een technische storing aan de Hubble voor in de Science Instrument Command and Data Handling (SIC&DH) Unit. Om deze tijdens het groot onderhoud te kunnen verhelpen, bleek extra voorbereiding nodig. Daarom is deze reparatie-missie uitgesteld tot 2009. De lancering van de vierde onderhoudsmissie vond op 11 mei 2009 plaats. Dit is waarschijnlijk de laatste onderhoudsbeurt die de telescoop krijgt. Hubble kan nu meer gegevens verwerken dan ooit. En met de nieuwe camera die werd geplaatst krijgt men steeds duidelijkere opnamen van sterrenstelsels, exploderende sterren en mysterieuze nevels.

10.4.2 Lyman Spitzer

Lyman Spitzer was de eerste wetenschapper die het voorstel opperde om een telescoop in de ruimte te plaatsen. Hij was dan ook de man die meehielp aan de Hubble Space Telescope. In 2003 werd er een nieuwe ruimtetelescoop de ruimte in gejaagd. Hij kreeg de naam van Spitzer, de Spitzer Space Telescope (SST). De SST was de opvolger van de Hubble en ook deze werd door de NASA tot stand gebracht. Het grote voordeel van de Spitzer is dat hij infraroodgolven kan waarnemen en zo door stof heen kan kijken. De Spitzer is een telescoop die met vloeibaar helium gekoeld is. De diameter van de hoofdspiegel is 85 cm. Deze telescoop wordt in het Langrange punt L2 geplaatst. Een Langrange punt is een plaats in de ruimte waar er evenwicht heerst tussen de zon en de aarde. Het punt L2 ligt op een afstand van 1,5 miljoen kilometer ten opzichte van de aarde. De Spitzer



Figuur 121 Lyman Spitzer

houdt zich daar koel en heeft daar geen stuwkracht nodig omdat hij met de aarde meedraait, dat is het grote voordeel van het punt L2.

10.4.3 Herschel

In 1800 ontdekte William Herschel het infrarood. Dit deed hij door de temperatuur van het spectrum te meten dat door een prisma valt. Herschel merkte op dat rood warmer bleek te zijn dan blauw, en dat naast de kleur rood de temperatuur nog hoger was. Hij concludeerde dat er straling bestond die door het menselijke oog niet kon worden waargenomen. Ook naar Herschel werd een ruimtetelescoop genoemd. Deze telescoop werd gelanceerd door het European Space Agency (ESA) in het jaar 2009. De hoofdspiegel heeft een diameter van 3,5m. Deze ruimtetelescoop heeft als bedoeling de verre infraroodstraling te bestuderen. De Herschel werd ook in het punt L2 geplaatst.

10.4.4 James Webb

De James Webb Space Telescope (JWST) is een ruimtetelescoop die men in 2014 wil lanceren. Deze telescoop maakt de NASA in samenwerking met de ESA en de Canadian Space Agency (CSA). Net als de Spitzer en de Herschel heeft de James Webb de bedoeling het opvangen van licht van sterren en sterrenstelsels die kort na de oerknal werden gevormd. Deze studie moet ons meer en beter inzicht geven over de oerknal en dus van het ontstaan van het heelal. Verder is de studie van de geboorte van sterren en de vorming van sterrenstelsels mogelijk. De straling van ver verwijderde objecten is uitgerekt (roodverschuiving). Deze straling heeft dus een erg lage frequentie (verre infrarood). Daarom moet de James Webb ruimtetelescoop over een grotere spiegeldiameter, ongeveer 6,5 m diameter, beschikken. Er werd veel onderzoek gedaan naar het ontwerp van de telescoop. Het probleem bij het ontwerp was dat men geen massieve spiegel van dergelijke grootte de ruimte kon insturen. Alleen al het gewicht zou dit onmogelijk maken. De ontwerper Lockheed Martin stelde voor om toch één vaste spiegel te maken, maar dan met een groot aantal gemotoriseerde pootjes. De spiegel zou dan geen massieve spiegel worden, maar een dun laagje membraam. Men zou dan kunnen de kromming van de spiegel zeer nauwkeurig krijgen, maar ook het gewicht zou beperkt blijven. Helaas voor Martin heeft de NASA voor de uitklapbare bloem gekozen dat het Goddard Space Flight Center (GSFC) had voorgesteld. De hoofdspiegel zou bestaan uit 18 verschillende segmenten die men kan open- en dichtvouwen. De bedoeling zou zijn om de spiegel in dichtgevouwen toestand in de ruimte te brengen. Eens de telescoop het Lagrange punt L2 heeft bereikt zouden de spiegelsegmenten worden openvouwen. Deze segmenten kunnen vrij van elkaar bewegen zodat ze in de juiste vorm kunnen worden geplaatst. Deze constructie is vederlicht t.o.v. een massieve spiegel. Bij dit ontwerp heeft men verder ook nog 4 thermische schilden aangebracht om de temperatuur van de spiegel temperatuur zo laag mogelijk te houden.

11 Ontwerp onze telescoop

11.1 Berekeningen voor de vangspiegel

De grootte van de vangspiegel moet zo klein mogelijk zijn omdat de lichtstralen zo weinig mogelijk zouden belemmerd worden. Maar de grootte is ook afhankelijk van de lengte van de telescoopbuis en het beeldveld (= totale verlichting) van de spiegel.

1. Het beeldveld van de vangspiegels

Algemeen

$$V = \frac{2 \cdot \pi \cdot F}{360} \text{ mm} / ^\circ$$

Met F = de brandspuntafstand

Met de brandpuntsafstand van iedere spiegel

Spiegel 1) F = 1710 mm

Spiegel 2) F = 1540 mm

Spiegel 3) F = 1310 mm

Voor iedere spiegel

$$\text{Spiegel 1) } V = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1710}{360} = 29,8 \text{ mm} / ^\circ \rightarrow 14,9 \text{ mm} / 0,5^\circ$$

$$\text{Spiegel 2) } V = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1540}{360} = 26,9 \text{ mm} / ^\circ \rightarrow 13,5 \text{ mm} / 0,5^\circ$$

$$\text{Spiegel 3) } V = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1310}{360} = 22,9 \text{ mm} / ^\circ \rightarrow 11,5 \text{ mm} / 0,5^\circ$$

2. Berekeningen van de korte en lange as van de elliptische vangspiegels

Algemeen

$$\text{Korte as } V = \frac{d \cdot D + (F - d) \cdot v}{F} \text{ in mm}$$

Met

F = brandpuntsafstand

F-d = afstand van hoofdspiegel tot vangspiegel

D = diameter van de spiegel

d = afstand van de vangspiegel tot brandvlak

v = beeldveld

Voor iedere spiegel

$$\text{Spiegel 1) } V = \frac{250 \cdot 270 + (1710 - 250) \cdot 14,9}{1710} = 52,19 \text{ mm}$$

De korte as = 52,19 mm

De lange as = 73,59 mm

$$\text{Spiegel 2) } V = \frac{250 \cdot 270 + (1540 - 250) \cdot 13,5}{1540} = 55,14 \text{ mm}$$

De korte as = 55,14 mm

De lange as = 77,75 mm

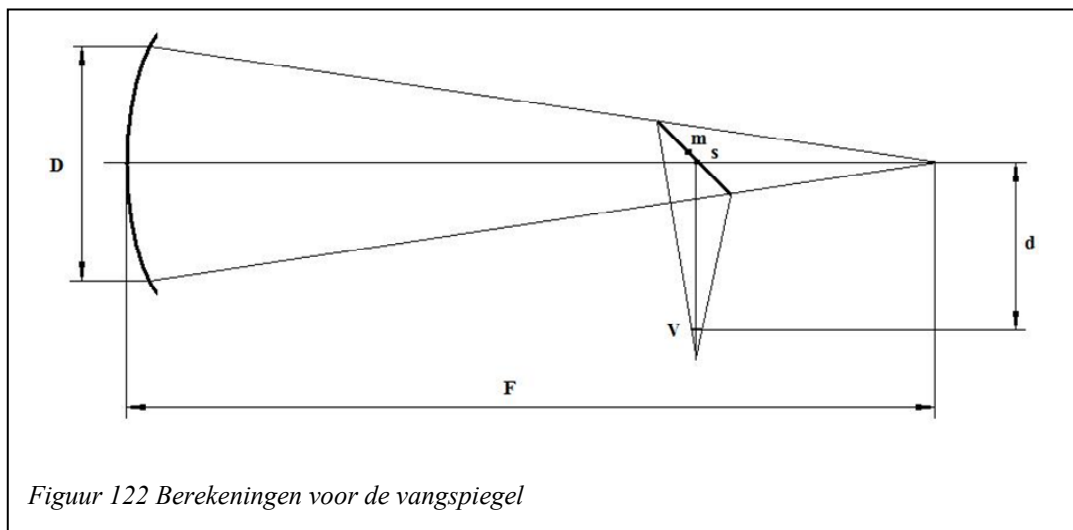
$$\text{Spiegel 3) } V = \frac{250 \cdot 270 + (1310 - 250) \cdot 11,5}{1310} = 60,83 \text{ mm}$$

De korte as = 60,83 mm

De lange as = 85,77 mm

3. De juiste plaatsing van de vangspiegels

Figuur



Algemeen

$$ms = \frac{v \cdot F + d \cdot D - d \cdot v}{1,4} \left[\frac{1}{2F - D} - \frac{1}{2F + D} \right] \text{ mm}$$

Met

m_s = de afstand tussen het midden van de vangspiegel en de plaats waar de middelste straal terechtkomt

F = brandpuntsafstand

$F-d$ = afstand van hoofdspiegel tot vangspiegel

D = diameter van de spiegel

d = afstand van de vangspiegel tot brandvlak

v = beeldveld

Voor iedere spiegel

Spiegel 1)

$$m_s = \frac{14,9.1710 + 250.270 - 250.14,9}{1,4} \left[\frac{1}{2.1710 - 270} - \frac{1}{2.1710 + 270} \right] mm = 2,96 mm$$

$$m_{s1} = 2,96 mm$$

Spiegel 2)

$$m_s = \frac{13,5.1540 + 250.270 - 250.13,5}{1,4} \left[\frac{1}{2.1540 - 270} - \frac{1}{2.1540 + 270} \right] mm = 3,48 mm$$

$$m_{s2} = 3,48 mm$$

Spiegel 3)

$$m_s = \frac{11,5.1310 + 250.270 - 250.11,5}{1,4} \left[\frac{1}{2.1310 - 270} - \frac{1}{2.1310 + 270} \right] mm = 4,52 mm$$

$$m_{s3} = 4,52 mm$$

Voor de bouw van onze telescoop mochten we beroep doen op het materiaal dat ons aangeboden was, daardoor werden we soms beperkt in onze mogelijkheden. Doordat we materialen gebruikten die we vonden op school konden we zo de kosten verminderen, zodat we onze telescoop zo goedkoop mogelijk konden maken. De eerste bedoeling was om de telescoop mobiel te maken, maar omdat we van de school een vaste plaats kregen om onze telescoop te plaatsen, hebben we ons bij hoofdzaak gericht op het stabiel maken van de montering.

11.2 Stukkenlijsten

Tekeningen van alle onderdelen kunt u namelijk terugvinden in de bijlage achteraan.
Op de samengestelde tekeningen staan alle aantallen per stuk.

11.2.1 Stukkenlijst kijker

Alle onderdelen (stukken) zijn gerekend voor 2 kijkers omdat onze montering 2 kijkers kan dragen.

| STUK NR. | BENAMING | AANTAL |
|-----------------|-------------------------|---------------|
| 01/1 | KIJKERBUIJS 1310 | 1 |
| 01/2 | KIJKERBUIJS 1540 | 1 |
| | SPIDER | 2 |
| 02 | SPIEGELHOUDER | 2 |
| 03 | STEUNSTUKSPIEGELHOUDER | 2 |
| 04 | RONDSEL | 2 |
| 05 | MOER M20 | 2 |
| 06 | AS Ø4 VOOR VLEUGEL | 8 |
| 07 | VLEUGEL SPIDER | 8 |
| 08 | REGELSCHROEF SPIDER | 8 |
| 09 | STELSCHROEF M4x10 | 8 |
| 10 | VANGSPIEGEL | 2 |
| | SPIEGELDRAGER | 2 |
| 11 | BASISPLAAT | 2 |
| 12 | REGELSCHROEF | 6 |
| 13 | BUS | 6 |
| 14 | MOER M8 | 6 |
| 15 | SPIEGELDRAAGPLAAT | 2 |
| 16 | CILINDERKOPSCROEF M4x20 | 12 |
| 17 | CILINDERKOPSCROEF M4x15 | 6 |
| 18 | ZIJSTEUN SPIEGEL | 6 |
| 19 | STEUNPLAATSPIEGEL | 6 |
| 20 | VILTJES | 18 |
| 21 | SPIEGEL | 2 |
| 22 | SLUITRING M8 | 6 |
| 23 | CILINDERKOPSCROEF M5x20 | 8 |
| 24 | MOER M20x1,5 dikte 5 | 16 |
| 25 | BUISPLAAT R | 1 |
| 26 | BUISPLAAT L | 1 |
| 27 | CILINDERKOPSCROEF M8x25 | 2 |
| 28 | VERZONKENSCHROEF M8x15 | 12 |

11.2.2 Stukkenlijst onderstel

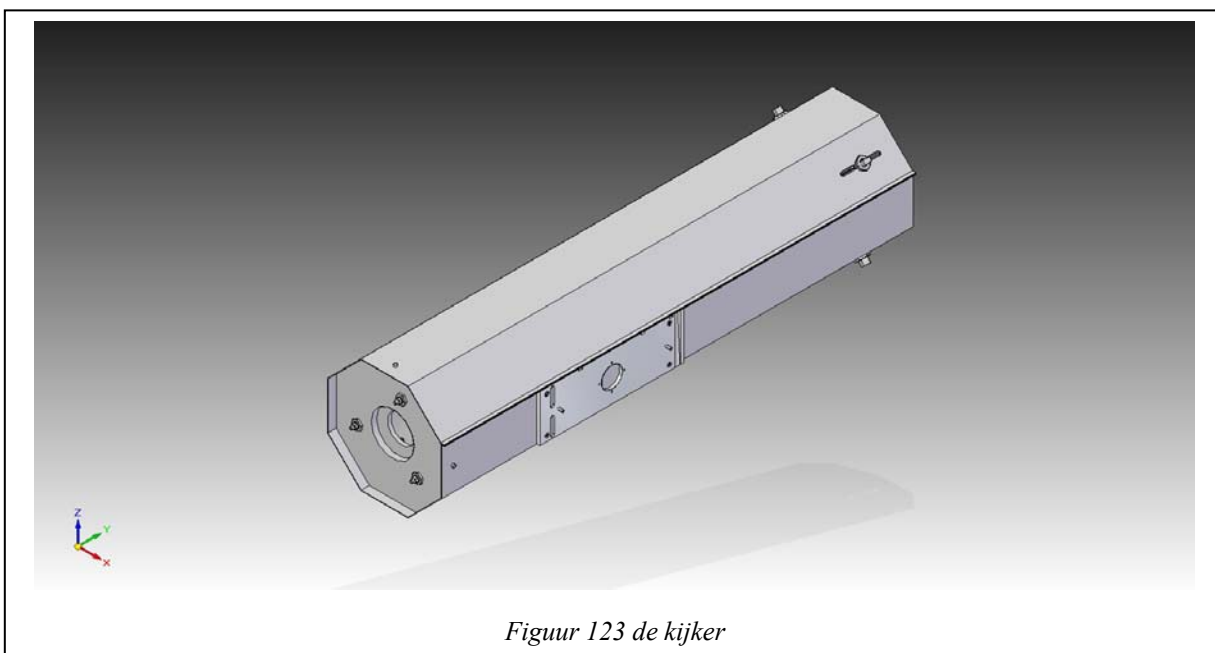
| STUK NR. | BENAMING | AANTAL |
|----------|--------------------------|--------|
| 29 | CILINDERKOPSCHROEF M5x30 | 4 |
| 30 | VERZONKENSCHROEF M5x15 | 16 |
| 31 | VERZONKENSCHROEF M8x35 | 4 |
| 32 | BASISPLAAT ONDERSTEL | 1 |
| 33 | LAGERBUS ONDERAAN | 1 |
| 34 | BSB PROFIEL 40x40x856 | 4 |
| 35 | DEKSEL TOP | 1 |
| 36 | LAGERBUS BOVEN | 1 |
| 37 | ROLLAGER 6304 | 1 |
| 38 | BUITENDRAAGSTUK LAGER | 1 |
| 39 | GROEFKOGELLAGER | 1 |
| 40 | BINNENDRAAGSTUK LAGER | 1 |
| 41 | CILINDERKOPSCHROEF M6x25 | 4 |
| 42 | DRAAGPLAAT BOVEN | 1 |
| 43 | BUS BOVENPLAAT | 1 |
| 44 | REDUCTIEKAST BOVENAAN | 1 |
| 45 | MOER M8 | 4 |
| 46 | MOER M6 | 4 |
| 47 | SPIE | 1 |
| 48 | AS BOVENAAN | 1 |
| 49 | KLEMBUS 1 | 2 |
| 50 | STELSCHROEF M6x20 | 4 |
| 51 | DRAAGPLAAT MOTOR | 1 |
| 52 | BEVESTIGINGSSTUK MOTOR | 1 |
| 53 | VERBINDINGS AS MOTOR | 1 |
| 54 | STELSCHROEF M4x15 | 1 |
| 55 | DRAAGBUIS | 2 |
| 56 | DRAAGPLAAT R | 1 |
| 57 | DRAAGPLAAT L | 1 |
| 58 | STELSCHROEF M5x40 | 4 |
| 59 | VERZONKENSCHROEF M8x25 | 4 |
| 60 | MOER M6 | 2 |

11.3 Beschrijving onderdelen onze telescoop

11.3.1 De kijker

Wij maken een Newtonkijker omdat hij makkelijk te maken is en omdat hij van kwaliteit en van beeld zeker niet moet onderdoen voor de andere soorten kijkers.

In de kijker verft men beste alle onderdelen zwart om reflectie te voorkomen.



Figuur 123 de kijker

11.3.1.1 Kijkerbuis

Op de kijkerbuis worden alle onderdelen die samen de kijker vormen gemonteerd. Wij hebben gekozen voor aluminium omdat het een zeer goed materiaal is om te gebruiken voor de kijkerbuis. Aluminium is een goed materiaal omdat het licht is. Het enige nadeel is reflectie van aluminium, maar dit wordt opgelost door de kijkerbuis zwart te verven. De binnenkant van een kijkerbuis wordt het best zwart geschilderd om reflectie van het licht te voorkomen.

De lengte van de kijkerbuis hangt af van de brandpuntsafstand voor de volledige afstand van de buis. Voor het type Newtonkijker neemt men

$$lengte\ buis = brandpuntsafstand - 34mm.$$

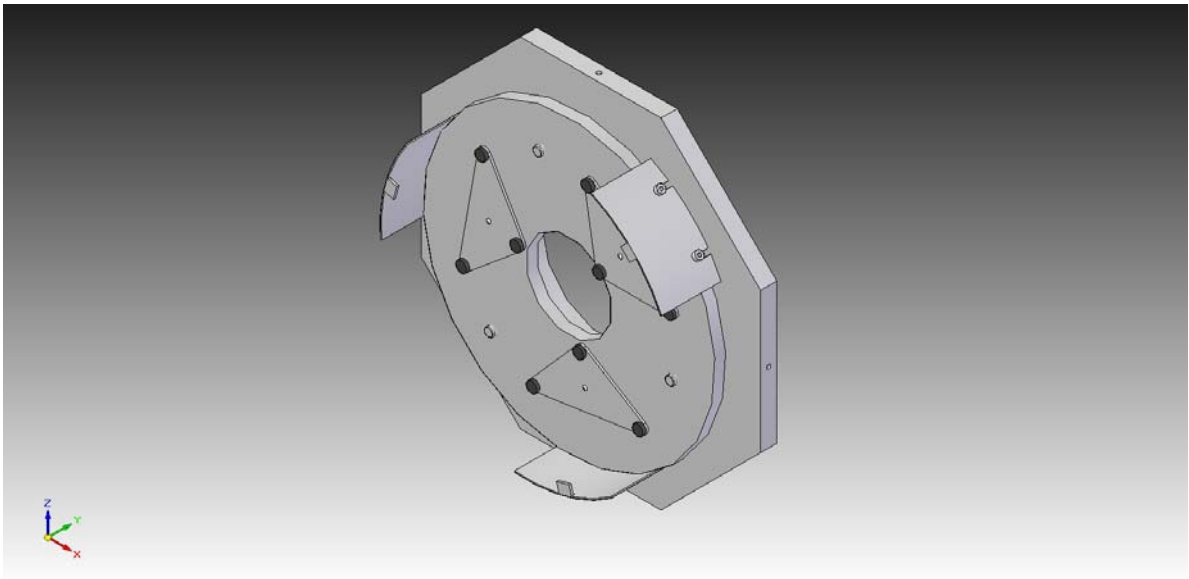
11.3.1.2 De spider

De spider draagt de vangspiegel, deze moet geregeld kunnen worden zodat de stralen die door de hoofdspiegel gekaatst worden kunnen afgebogen worden in het oculair. Men moet er zeker voor zorgen dat de vangspiegel onder een hoek van 45° komt te staan. De grootte van de vangspiegel kan men namelijk berekenen via het programma NEWT. Onze spider is ook in aluminium gemaakt, terug omdat dit een lichte stof is.

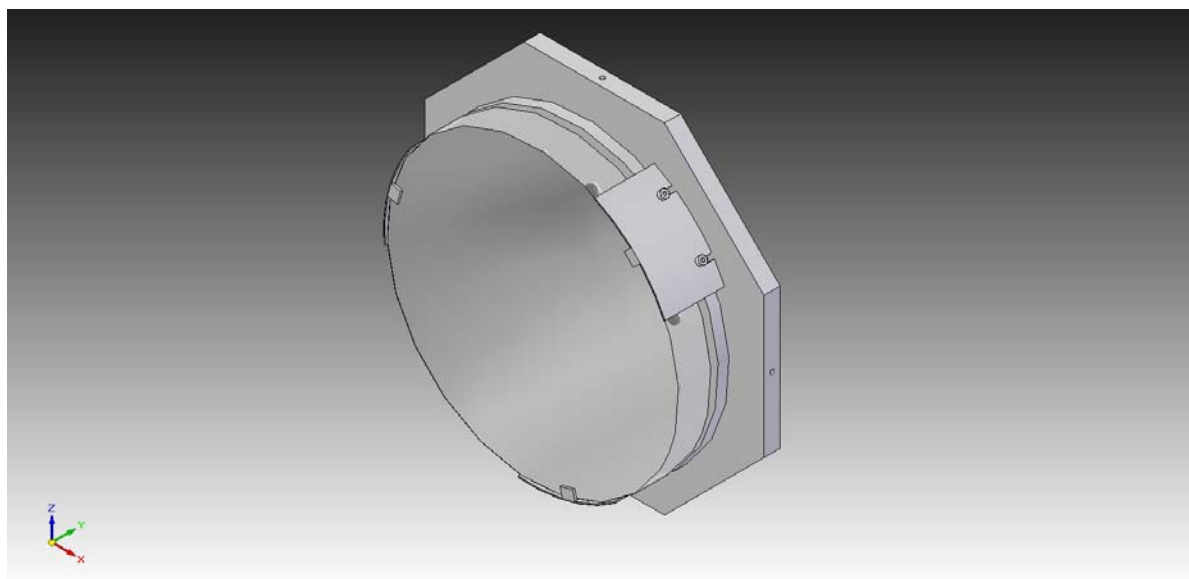
Wij zorgen ervoor dat de spider kan bewegen door het samenwerken van de kijkerbuis en de spider. In de kijkerbuis werden er sleuven gefreesd op de plaats waar de spider moet worden gemonteerd, zodat dat men de spider kan bewegen over een bepaalde afstand.

11.3.1.3 De spiegeldrager

De spiegeldrager dient om de hoofdspiegel stevig op zijn plaats te houden. wij gebruiken hier weer een aluminiumconstructie. We gebruiken hier terug aluminium omdat het een lichte stof is en omdat we het op school ter beschikking hadden.



Figuur 124 spiegeldrager zonder spiegel



Figuur 125 spiegeldrager met spiegel

Onderdelenbeschrijving:

1. Basisplaat: de basisplaat dient om de volledige spiegeldrager aan de kijkerbuis vast te monteren.
2. Bus en regelschroef: vormen door combinatie een systeem dat werkt door trek en druk, die ervoor kunnen zorgen dat de spiegeldraagplaat kan worden geregeld
3. Spiegeldraagplaat: zorgt er voor dat het mogelijk is om het systeem van trek en druk te laten werken.
4. Zijsteun spiegel: is een plaatje dat gebogen is met dezelfde straal als de spiegel en dient om ervoor te zorgen dat de spiegel niet van de spiegeldraagplaat kan vallen.
5. Steunplaatspiegel: dient om de spiegel te ondersteunen en het doorbuigen van de spiegel tegen te gaan. De afmetingen van de steunplaatspiegel worden berekend via het programma “Graphical Plop”. Eenmaal je alle gegevens ingevuld hebt, kun je opvragen waar de steunpunten liggen. Ze zijn opgesplitst in 3 aparte plaatjes met telkens 3 steunpunten per plaatje en de hoek tussen de zwaartepunten van de plaatjes is telkens 120° . Je kan ook een schematische voorstelling vragen waar met kleur de plaatsen aangeduid worden waar de spiegel doorbuigt in verschillende variaties.

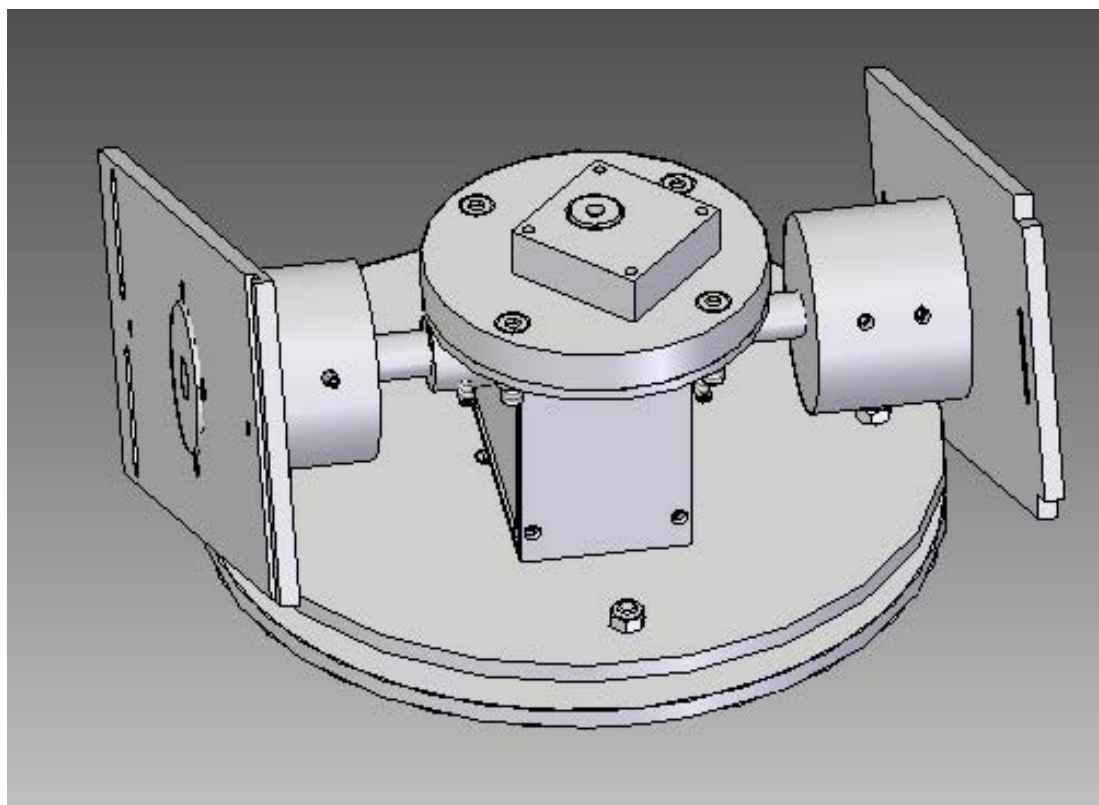
11.3.2 Het onderstel

Het onderstel dient als ondersteuning van de kijkerbuis en is ook zeker en belangrijk onderdeel want je kijkerbuis mag zo goed zijn dat het wilt als de ondersteuning onstabiel is is het onmogelijk om een mooie foto te kunnen nemen van een ver hemellichaam omdat de foto nooit goed zal kunnen belicht worden. Dit is ook terug in aluminium gemaakt dit zou normaal in een zwaarder metaal mogen gemaakt worden omdat het dan zwaarder is en het zwaartepunt van de volledige telescoop ligt dan lager waardoor hij stabiel is op de grond.

11.3.2.1 Draaimechanisme

Het draaistuk dient voor het draaien in een horizontaal en een verticaal vlak.

Op het draaistuk worden ook de 2 kijkerbuizen op bevestigd. Ook hiervoor gebruikten wij weer aluminium.



Figuur 126: Draaimechanisme

11.4 Samenstellen telescoop

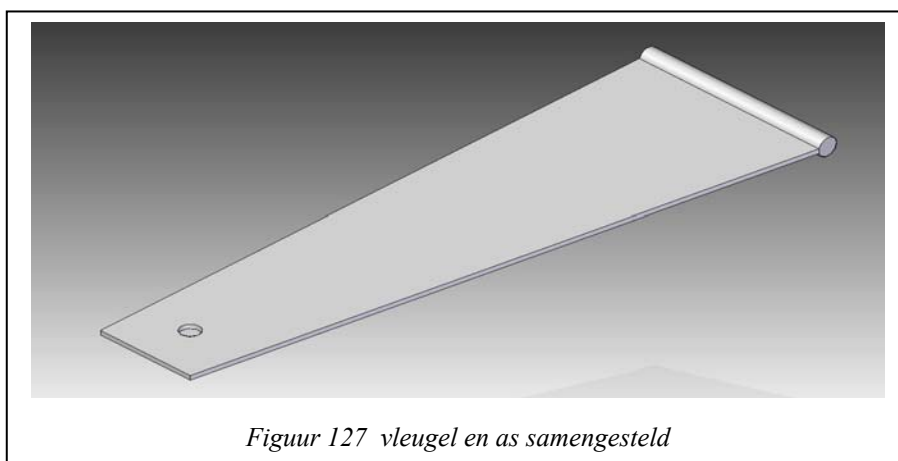
11.4.1 Samenstellen vleugel en as Ø4 voor vleugel spider

Alle aantallen zijn voor het maken van 1 vleugel en as Ø4 voor vleugel.

1. Neem volgende onderdelen.

| STUK NR. | BENAMING | AANTAL |
|-----------------|--------------------|---------------|
| 06 | AS Ø4 VOOR VLEUGEL | 1 |
| 07 | VLEUGEL SPIDER | 1 |

2. De as Ø4 wordt aan de vleugel bevestigd met behulp van hard solderen.



11.4.2 Samenstellen spider

Alle aantallen zijn voor het maken van 1 spider.

1. Neem volgende onderdelen.

| STUK NR. | BENAMING | AANTAL |
|-----------------|-------------------------------|---------------|
| | SPIDER | 1 |
| 02 | SPIEGELHOUDER | 1 |
| 03 | STEUNSTUKSPIEGELHOUDER | 1 |
| 04 | RONDSEL | 1 |
| 05 | MOER M20 | 1 |
| 08 | REGELSCHROEF SPIDER | 4 |
| 09 | STELSCHROEF M4x10 | 4 |
| 10 | VANGSPIEGEL | 1 |
| | VLEUGEL EN AS Ø4 SAMENGESTELD | 4 |

2. Neem de spiegelhouder (02) en de steunstukspiegelhouder (03) en schuif ze over elkaar.
3. Schuif 4 vleugels en as Ø4 in de openingen Ø5 van de steunstukspiegelhouder en steek er een ronsel (04) achter.
4. Draai de moer M20 (05) achteraan op spiegelhouder en span hem lichtjes aan.
5. Kleef de vangspiegel (10) op het schuine vlak van de spiegelhouder. Let op dat de vangspiegel hierbij niet beschadigd raakt. Gebruik lijm die “leeft”, d.w.z. die enige beweging toelaat zodat de vangspiegel kan uitzetten en niet hoeft te buigen.

Dan zou dit geheel er moeten uitzien zoals de afbeelding. Op de afbeelding is er wel nog geen vangspiegel gemonteerd.



Figuur 128 spider

11.4.3 Samenstellen basisplaat

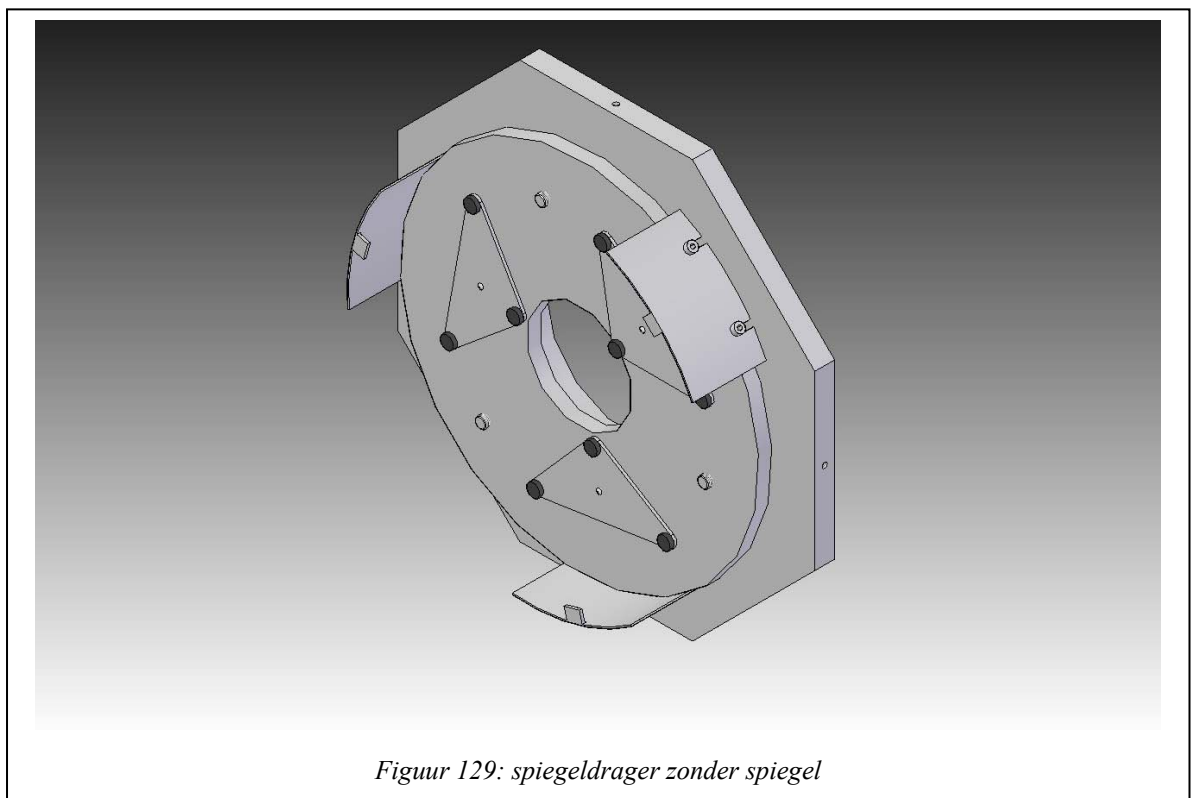
Alle aantallen zijn voor het maken van 1 basisplaat.

1. Neem volgende onderdelen.

| STUK NR. | BENAMING | AANTAL |
|-----------------|-------------------------|---------------|
| | SPIEGELDRAGER | 1 |
| 11 | BASISPLAAT | 1 |
| 12 | REGELSCHROEF | 3 |
| 13 | BUS | 3 |
| 14 | MOER M8 | 3 |
| 15 | SPIEGELDRAAGPLAAT | 1 |
| 16 | CILINDERKOPSCROEF M4x20 | 6 |
| 17 | CILINDERKOPSCROEF M4x15 | 3 |
| 18 | ZIJSTEUN SPIEGEL | 3 |
| 19 | STEUNPLAATSPIEGEL | 3 |
| 20 | VILTJES | 9 |
| 21 | SPIEGEL | 1 |
| 22 | SLUITRING M8 | 3 |

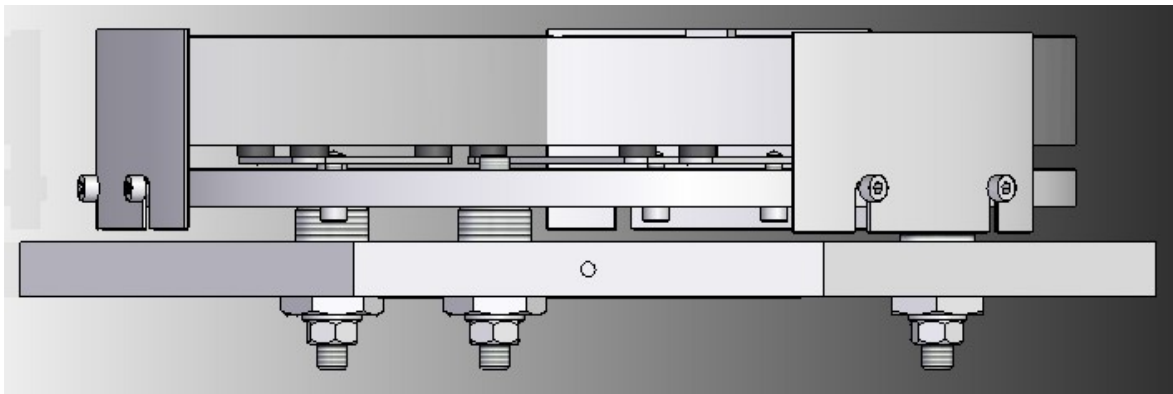
2. Neem de basisplaat (11) en 3 bussen (13) en schroef ze in de basisplaat. Zorg ervoor dat de kop van de bussen telkens aan dezelfde kant is, deze kant wordt dan de onderkant van de basisplaat genoemd.
3. Draai dan de 3 regelschroeven (12) met de kortste kant van de schroefdraad in de spiegeldraagplaat (15), draai ondertussen ook de cilinderkopschroeven M4x15 (16) in de spiegeldraagplaat met de draad naar boven gericht.
4. Dan steekt men dezelfde regelschroeven in de openingen van de bussen met de langste draad naar de onderkant gericht.
5. Steek dan aan de achterkant van de basisplaat waar de regelschroeven uitkomen een sluitring M8 (22) en een moer M8 (14).
6. Maak een karton met dezelfde diameter als de spiegel. Daarop kleeft men de steunplaatjes (19) nadat je hebt afgemeten waar dit moet gebeuren. Men moet ervoor zorgen dat het steunplaatje op het uiteinde van de cilinderkopschroef M4x15 kan rusten op het kleine puntje dat in de steunplaatjes geboord is ter hoogte van het zwaartepunt van het steunplaatje. Men moet er ook voor zorgen dat de steunplaatjes zo geplaatst zijn dat de steunpunten van ieder steunplaatje samen 2 cirkels vormen, 1 kleine waar zich 3 steunpunten op bevinden en 1 grote waar zich 6 steunpunten op bevinden.
7. Dan kan men de viltjes (20) op de 9 steunpunten plaatsen.

Als alles tot nu toe goed gemonteerd is zou men dit beeld moeten bekomen:



8. Dan kan men de spiegel (21) voorzichtig op de steunpunten leggen.
9. Dan moeten nog de zijsteunen (18) bevestigd worden. Men smelt best lichtjes een rubberen hoesje over de omgeplooiden kanten van de zijsteunen voor het vermijden van schade aan de spiegel. Door aan de zijkant van de spiegeldrager de cilinderkopschroeven M4x20 in te schroeven, kan je de zijsteunen daar over schuiven en aanspannen.

Als alles goed gemonteerd is, zou men dit beeld moeten bekomen:



Figuur 130 spiegeldrager met spiegel

11.4.4 Samenstellen kijker

1. Men neemt de spider en de spiegeldrager en onderstaande stukken.

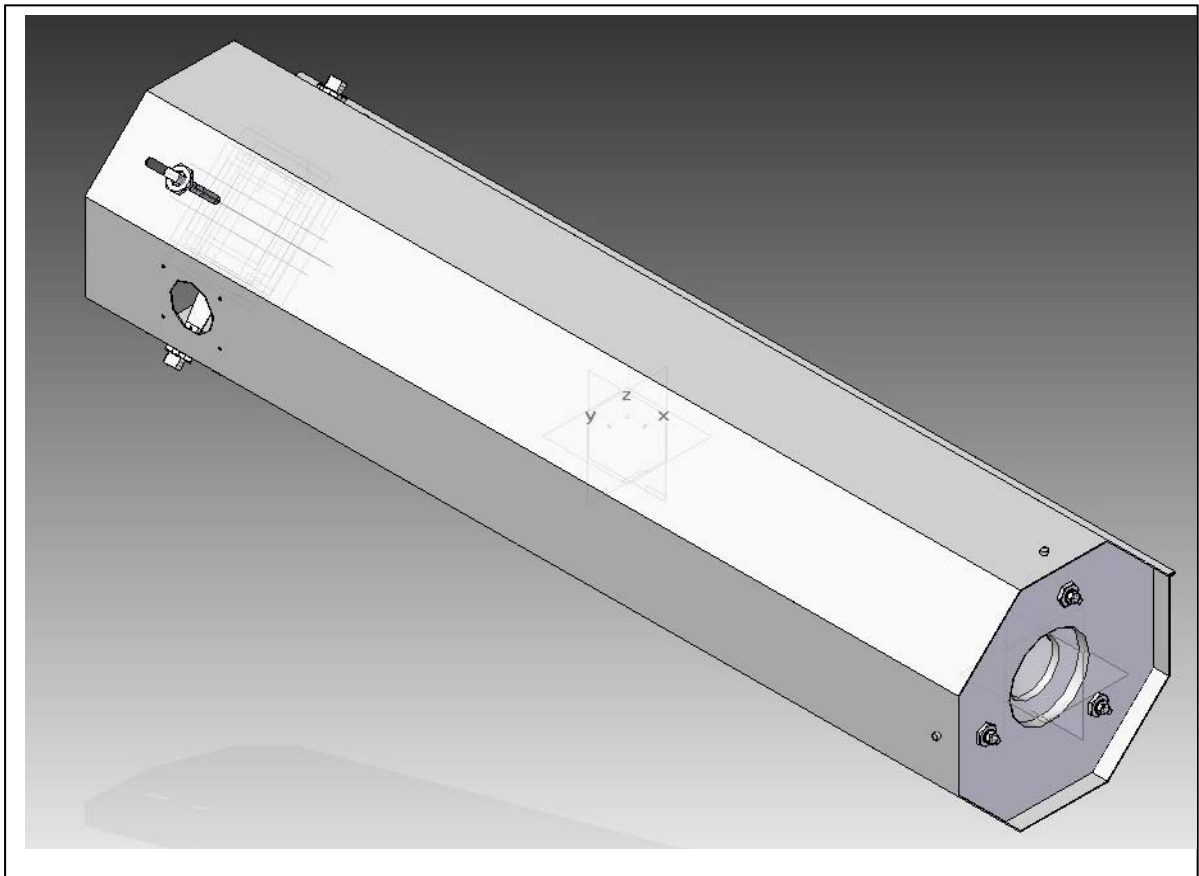
| STUK NR. | BENAMING | AANTAL |
|----------|--------------------------|--------|
| 01/1 | KIJKERBUIJS 1310 | 1 |
| 23 | CILINDERKOPSCHROEF M5x20 | 4 |
| 24 | MOER M20x1,5 dikte 5 | 8 |
| 25 | BUISPLAAT R | 1 |
| 26 | BUISPLAAT L | 1 |
| 27 | CILINDERKOPSCHROEF M8x25 | 2 |
| 28 | VERZONKENSCHROEF M8x15 | 12 |
| 45 | MOER M8 | 4 |

2. Monteer dan zonder schade aan de binnenkant van de buis de spider in de kijkerbuis. De regelschroeven moeten door de gleuven komen die in de buis zijn gemaakt.
3. Draai dan de volgende 4 moeren M20 dikte 5 op de regelschroeven.
4. Dan neemt men de basisplaat en probeert deze aan de andere kant van de buis met de spiegel naar de spider gericht er in te steken. Met behulp van een regel dikte 30 mm monteert je deze op zijn plaats. De boringen die in de spiegeldrager zitten

komen nu voor de boringen in de buis te liggen. Bevestig de basisplaat aan de kijkerbuis met cilinderkopschroeven M5x20 (23).

5. Neem dan buisplaat R (25) of buisplaat L (26) afhankelijk van welke buis dat je aan welke kant hangt en bevestig die aan de kijkerbuis met behulp van de cilinderkopschroef M8x25(27) en de verzonkenschroef M8x15 (28) en met de Moer M8 (45)
6. Neem dan buisplaat R (25) of buisplaat L (26) afhankelijk van welke buis dat je aan welke kant hangt en bevestig die aan de kijkerbuis met behulp van de cilinderkopschroef M8x25(27) en de verzonkenschroef M8x15 (28) en met de Moer M8 (45)

Als alles goed is uitgevoerd zou men dit beeld moeten uitkomen.



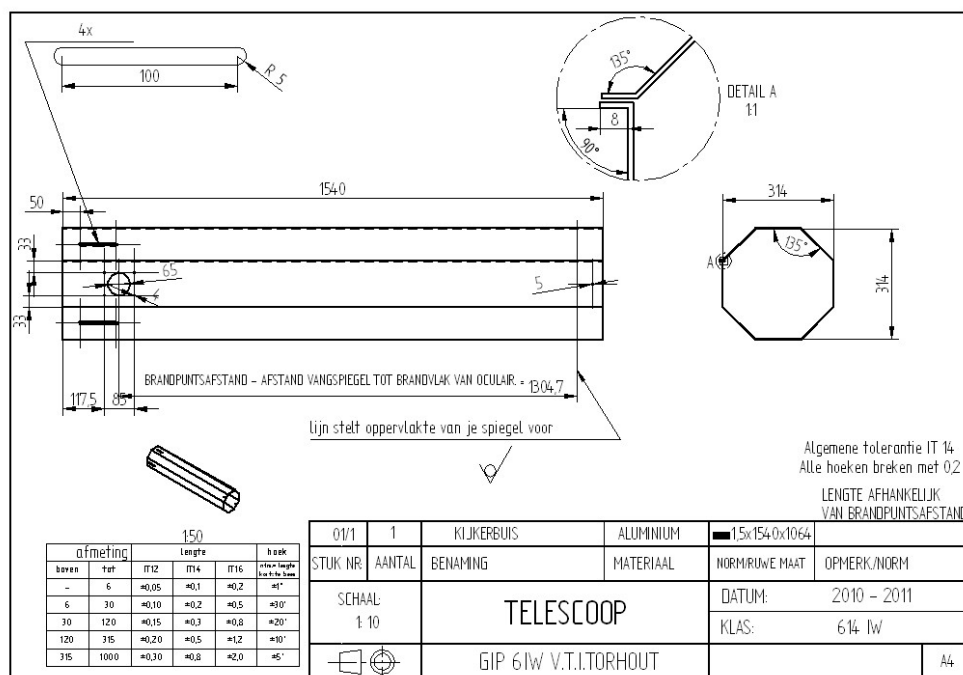
12 Bijlagen

12.1 Tekeningen van ons ontwerp

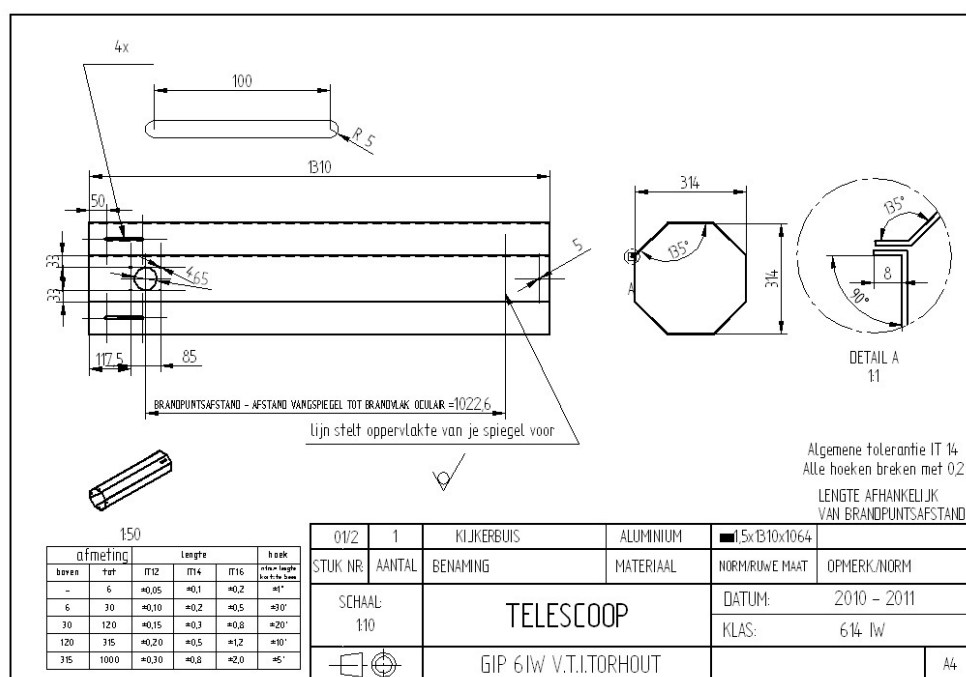
12.1.1 Kijker

12.1.1.1 Kijkerbuis

1. KIJKERBUIS LENGTE 1540

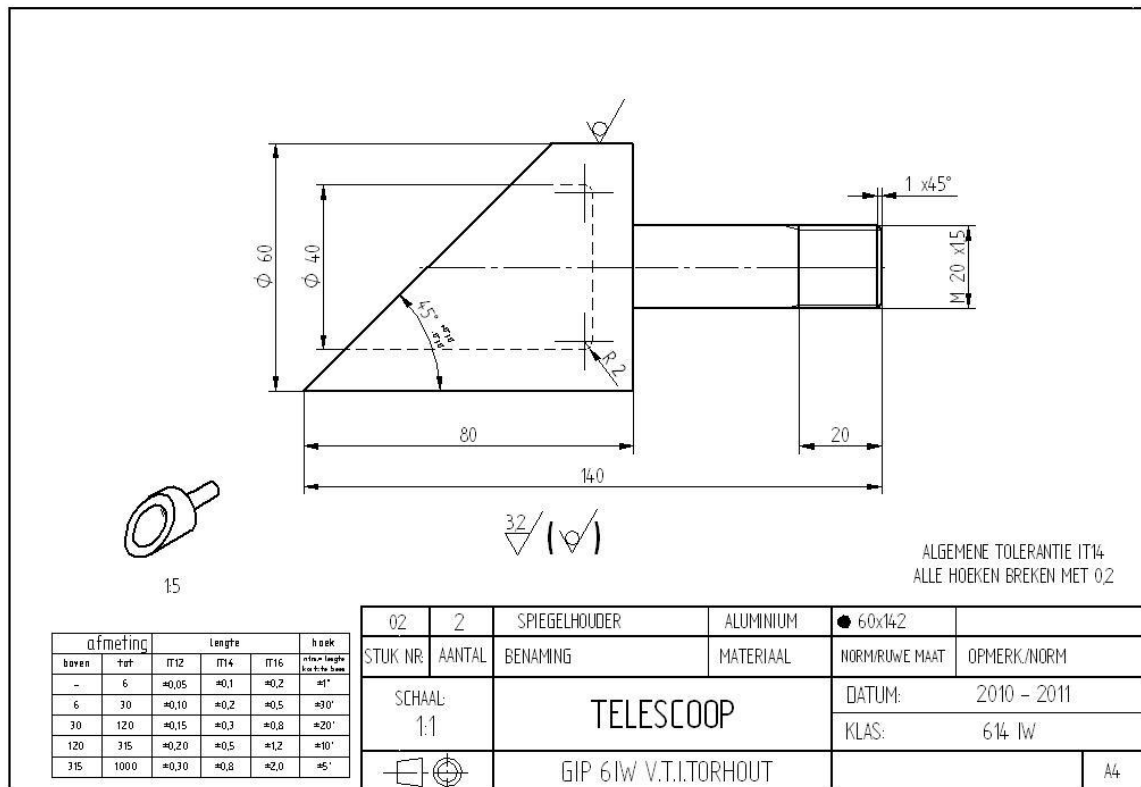


2. KIJKERBUIS LENGTE 1310

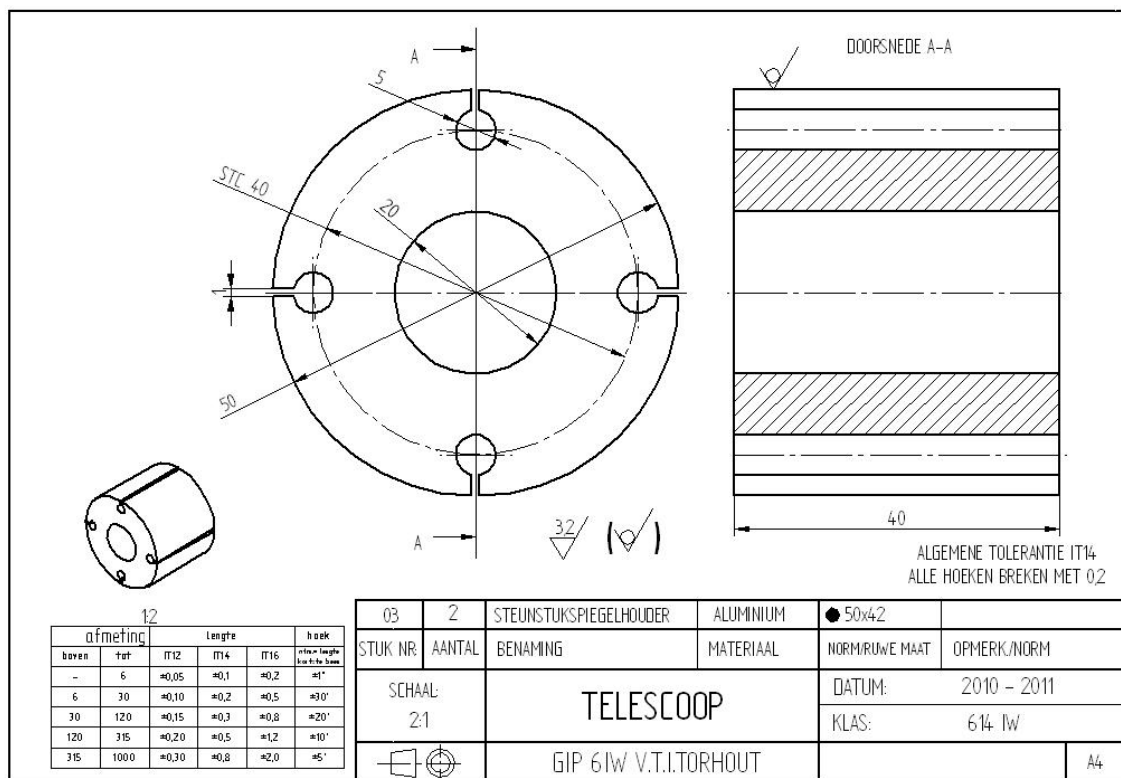


12.1.1.2 Spider onderdelen

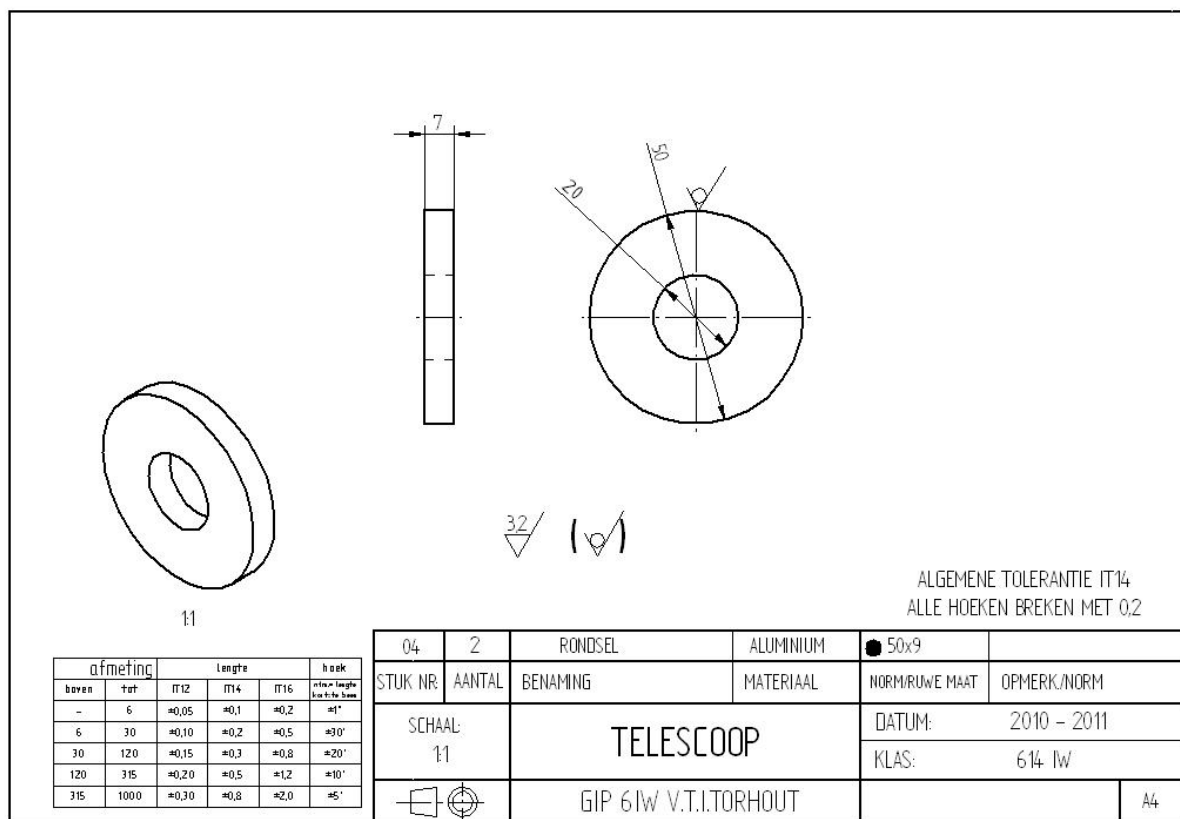
1. SPIEGELHOUDER



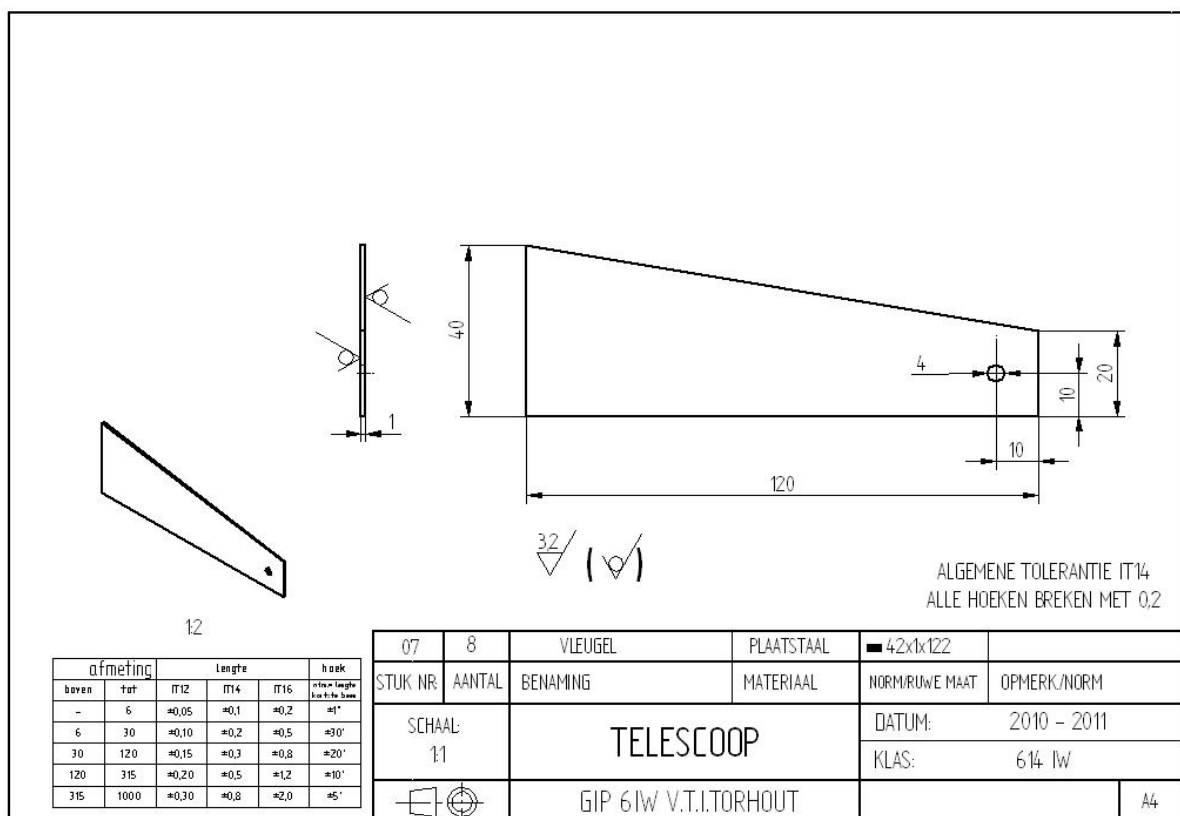
2. STEUNSTUKSPIEGELHOUDER



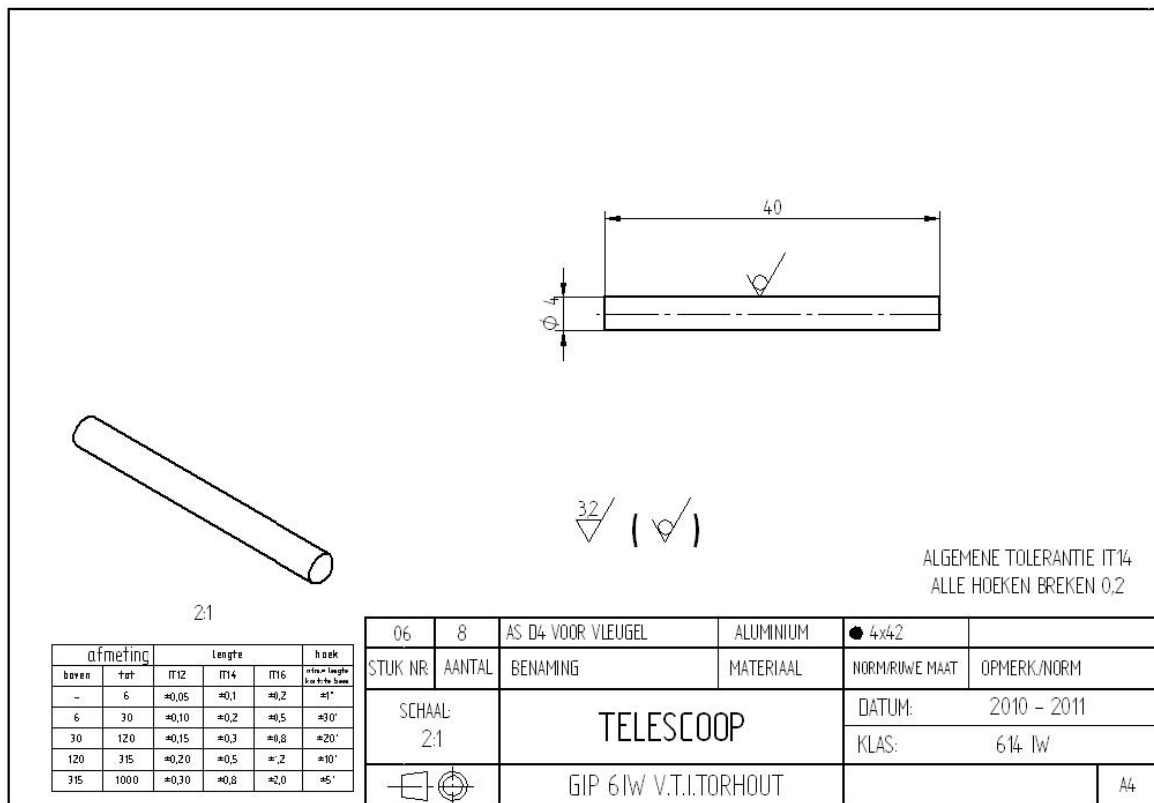
3. RONDSEL



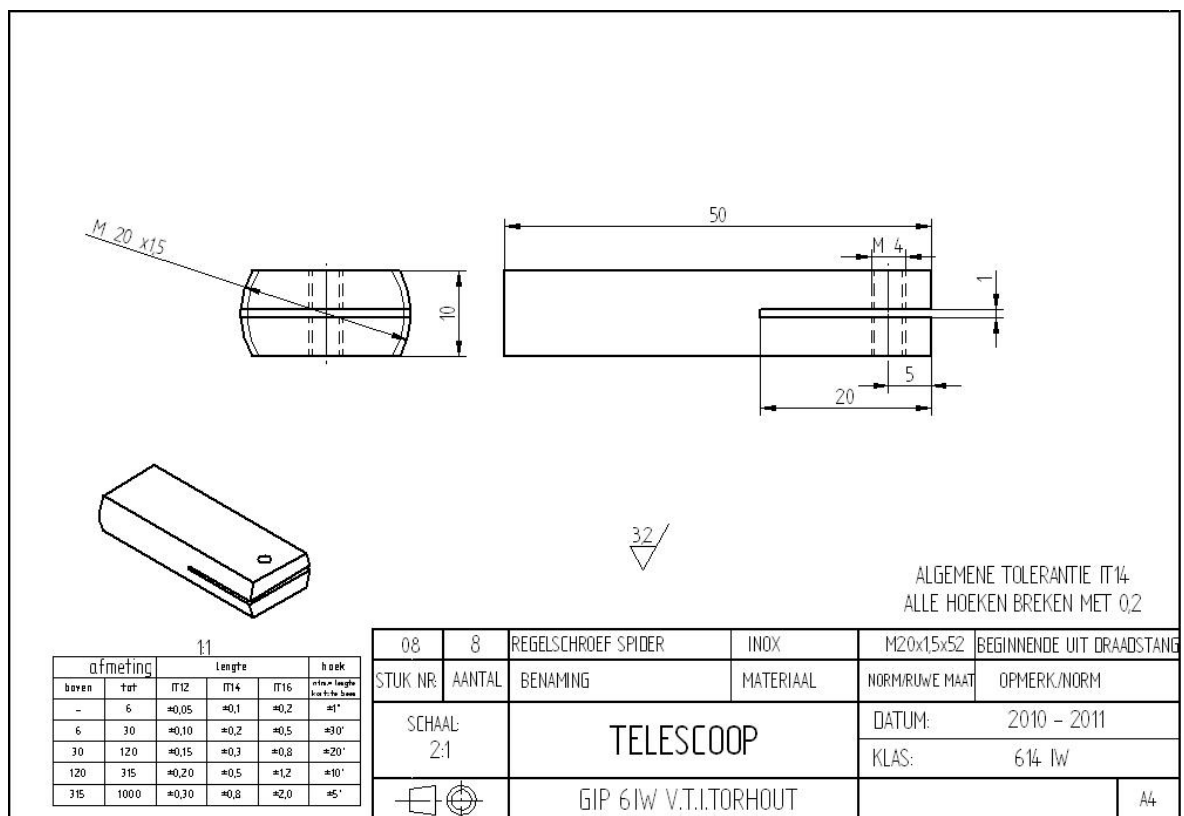
4. VLEUGEL



5. AS Ø4 VOOR VLEUGEL

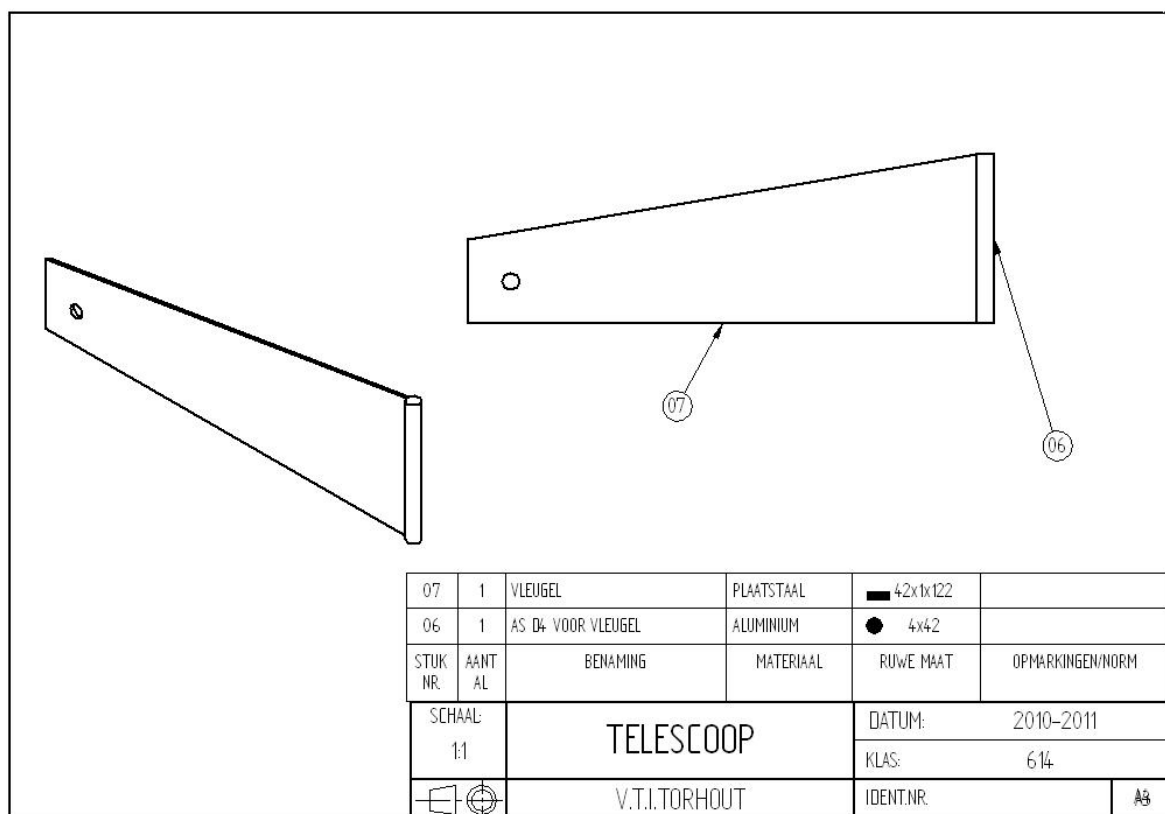


6. REGELSCHROEF SPIDER

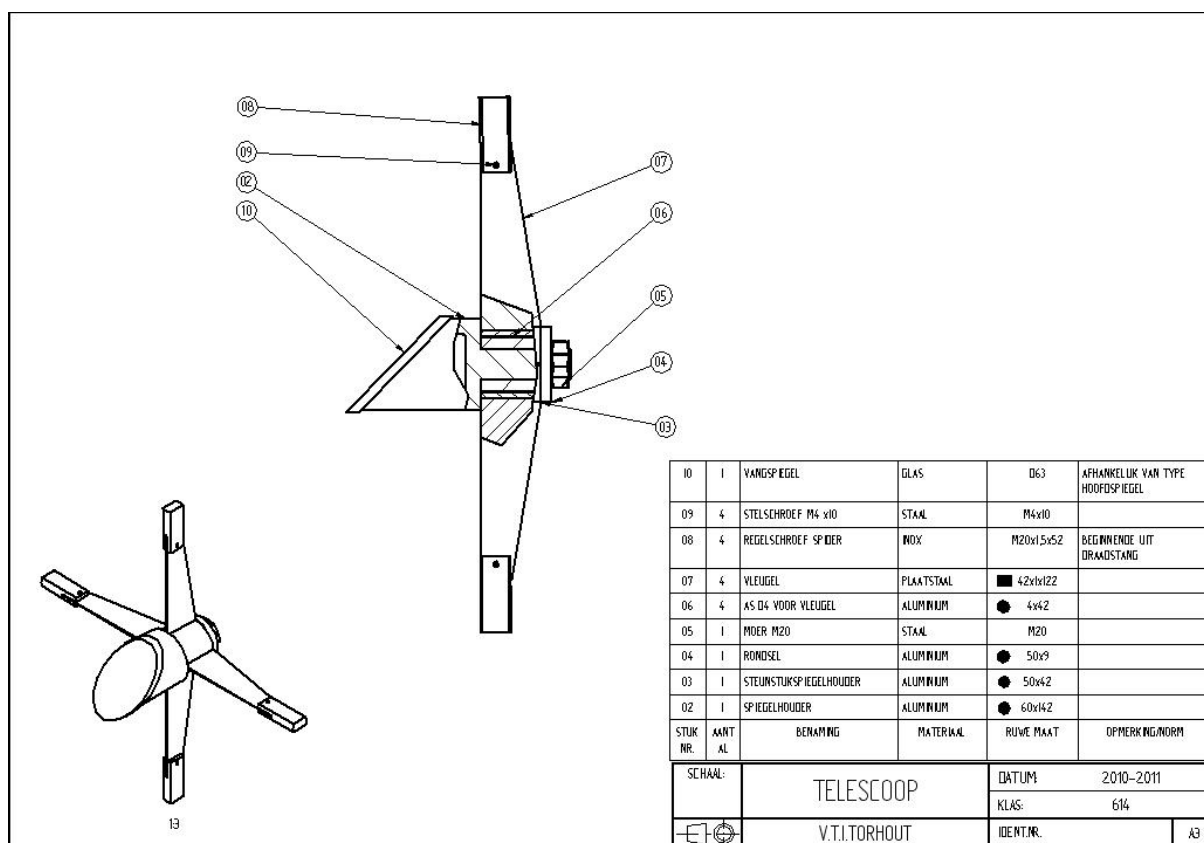


12.1.1.3 Spider samenstelling

1. VLEUGEL EN AS Ø4 VOOR VLEUGEL

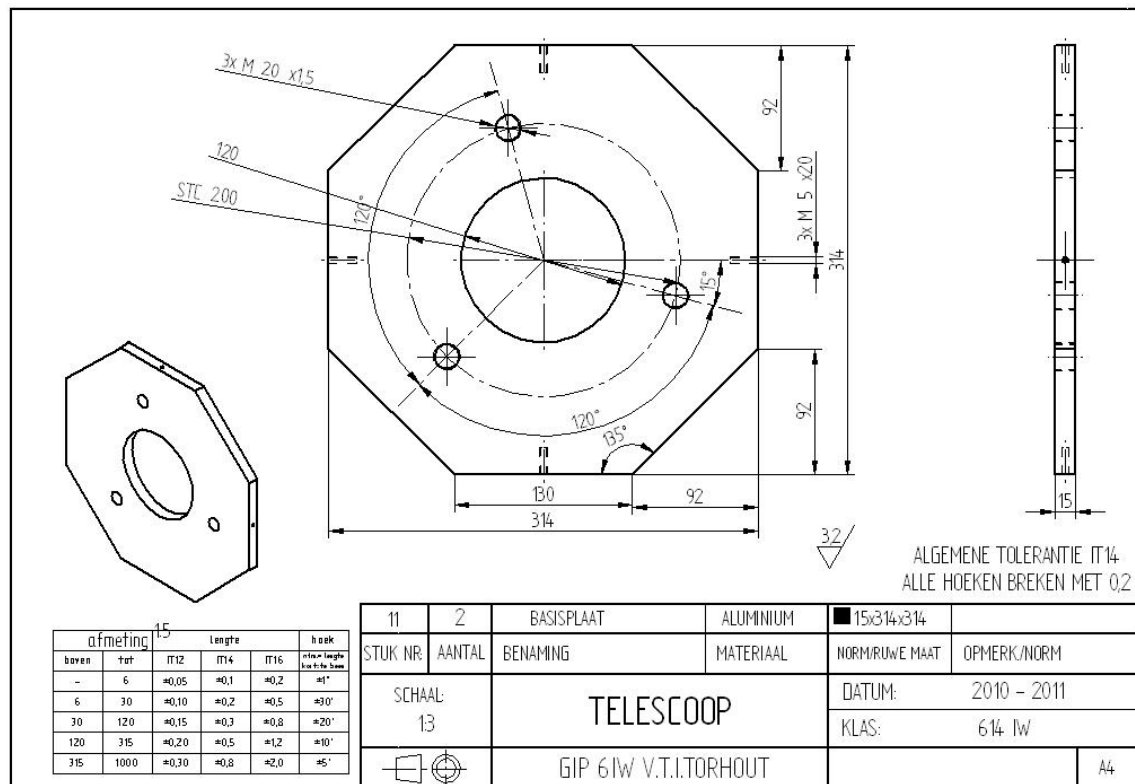


2. SPIDER

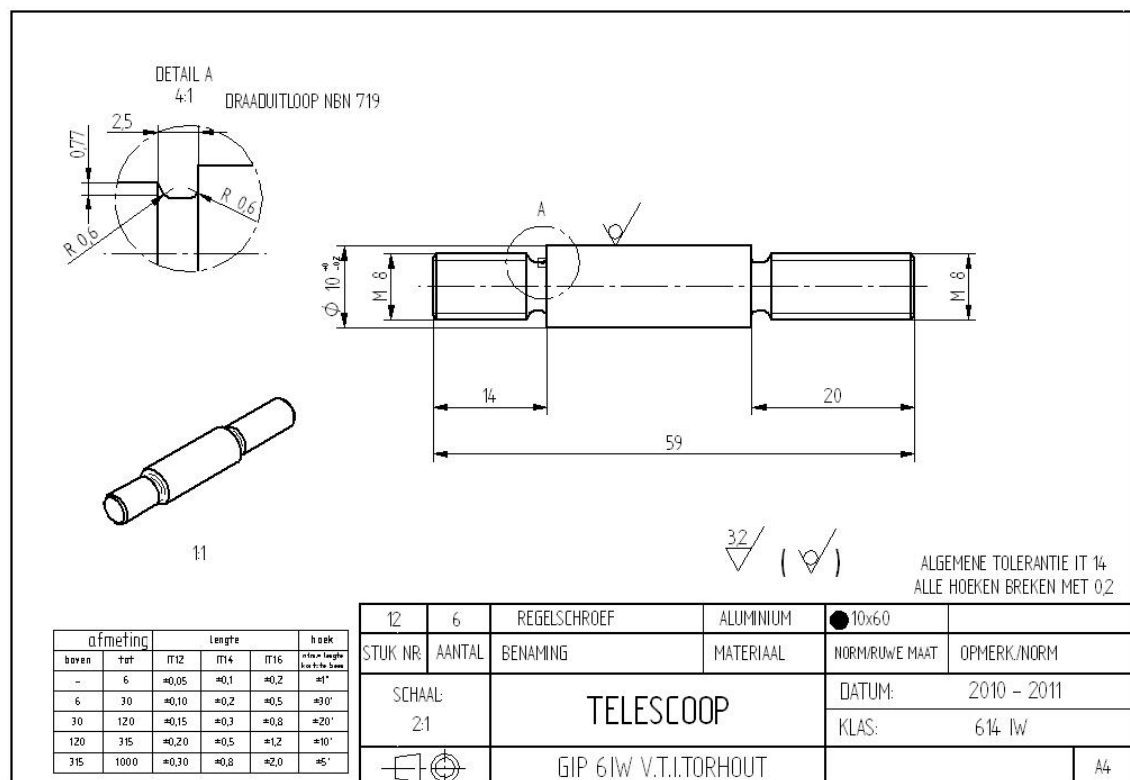


12.1.1.4 Spiegeldrager onderdelen

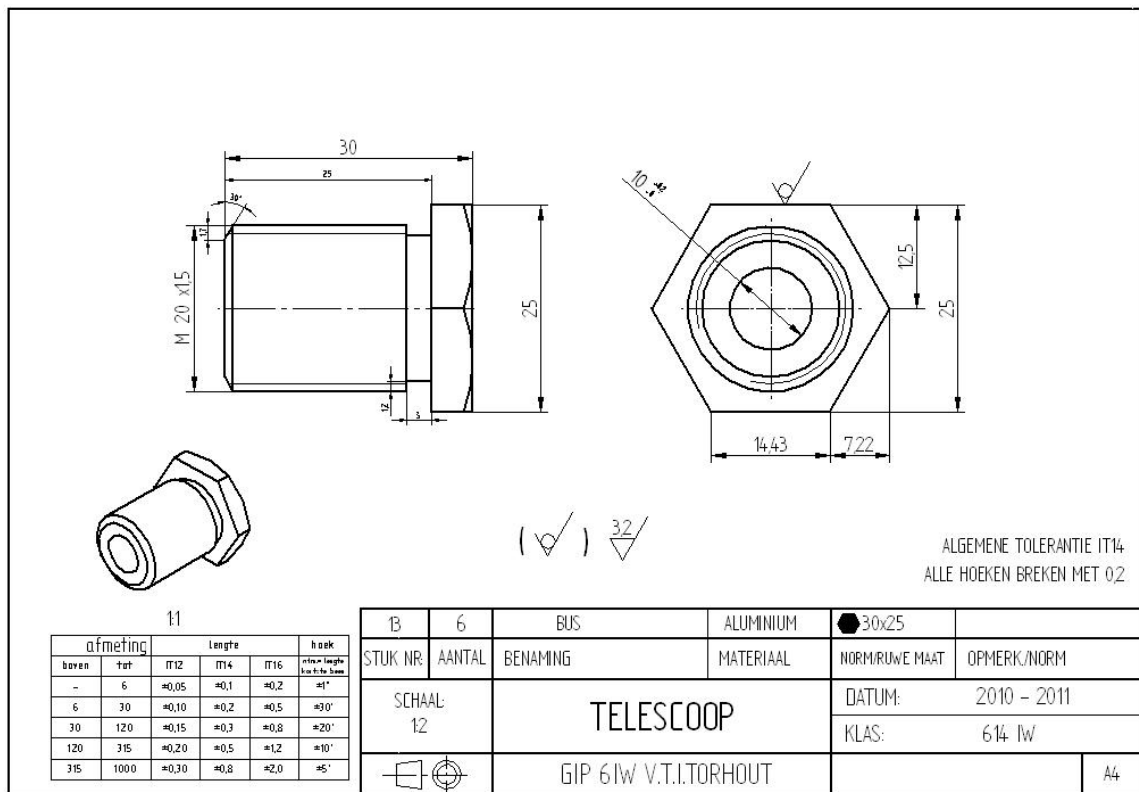
1. BASISPLAAT



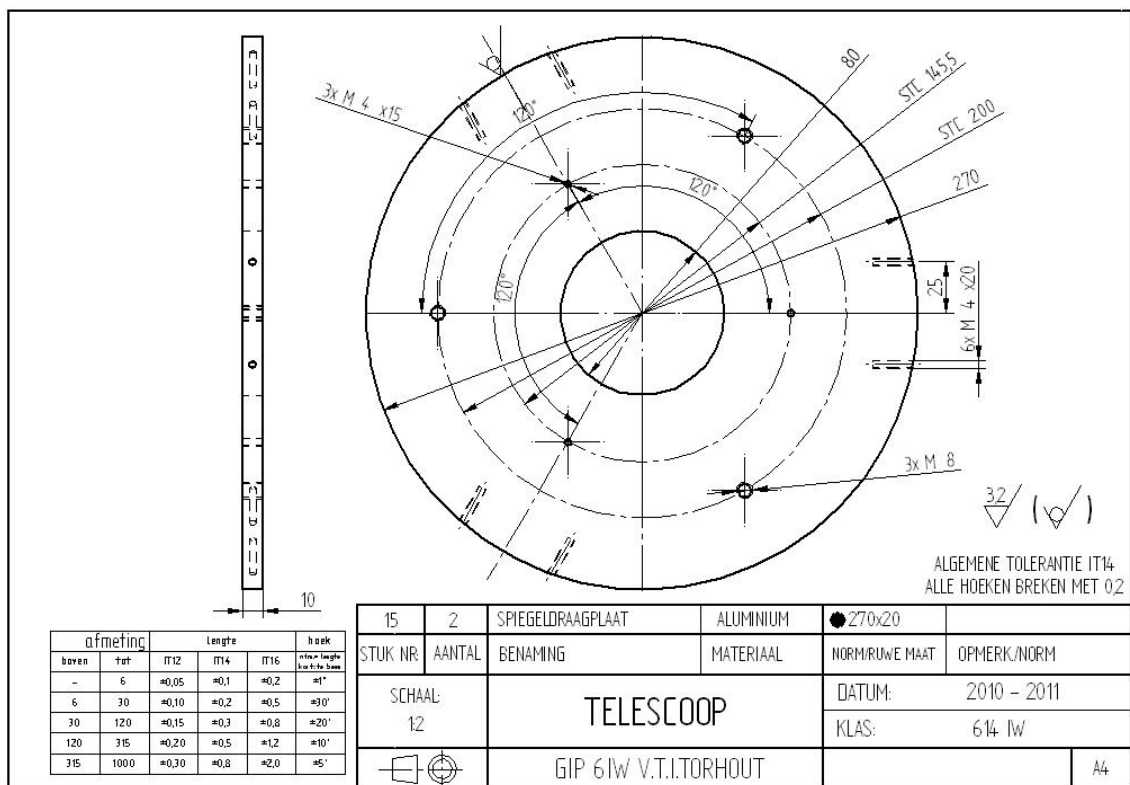
2. REGELSCHROEF



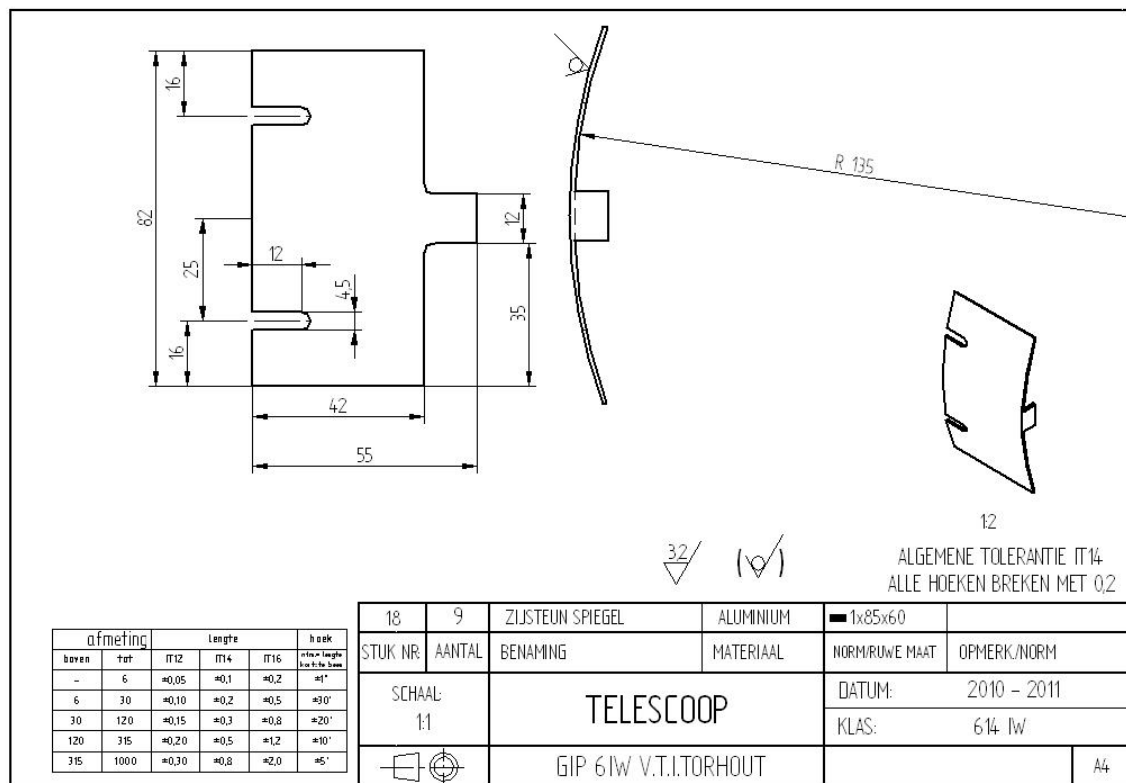
3. BUS



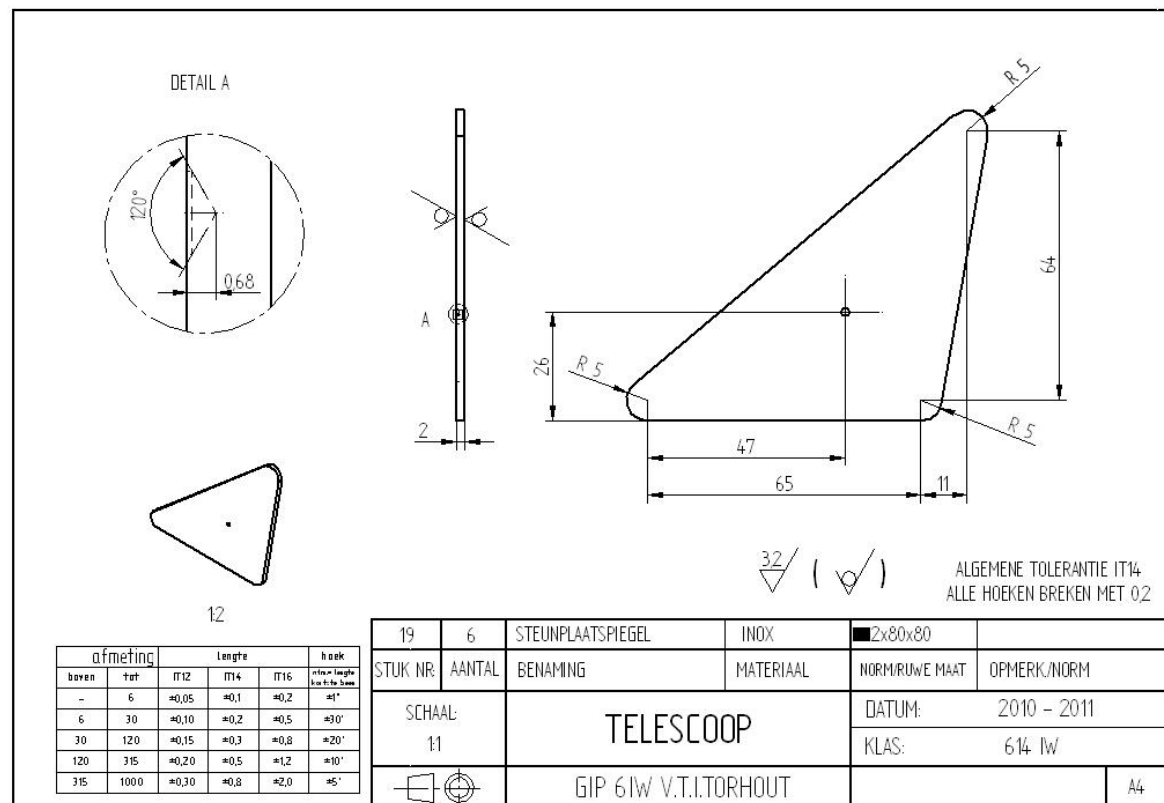
4. SPIEGELDRAAGPLAAT



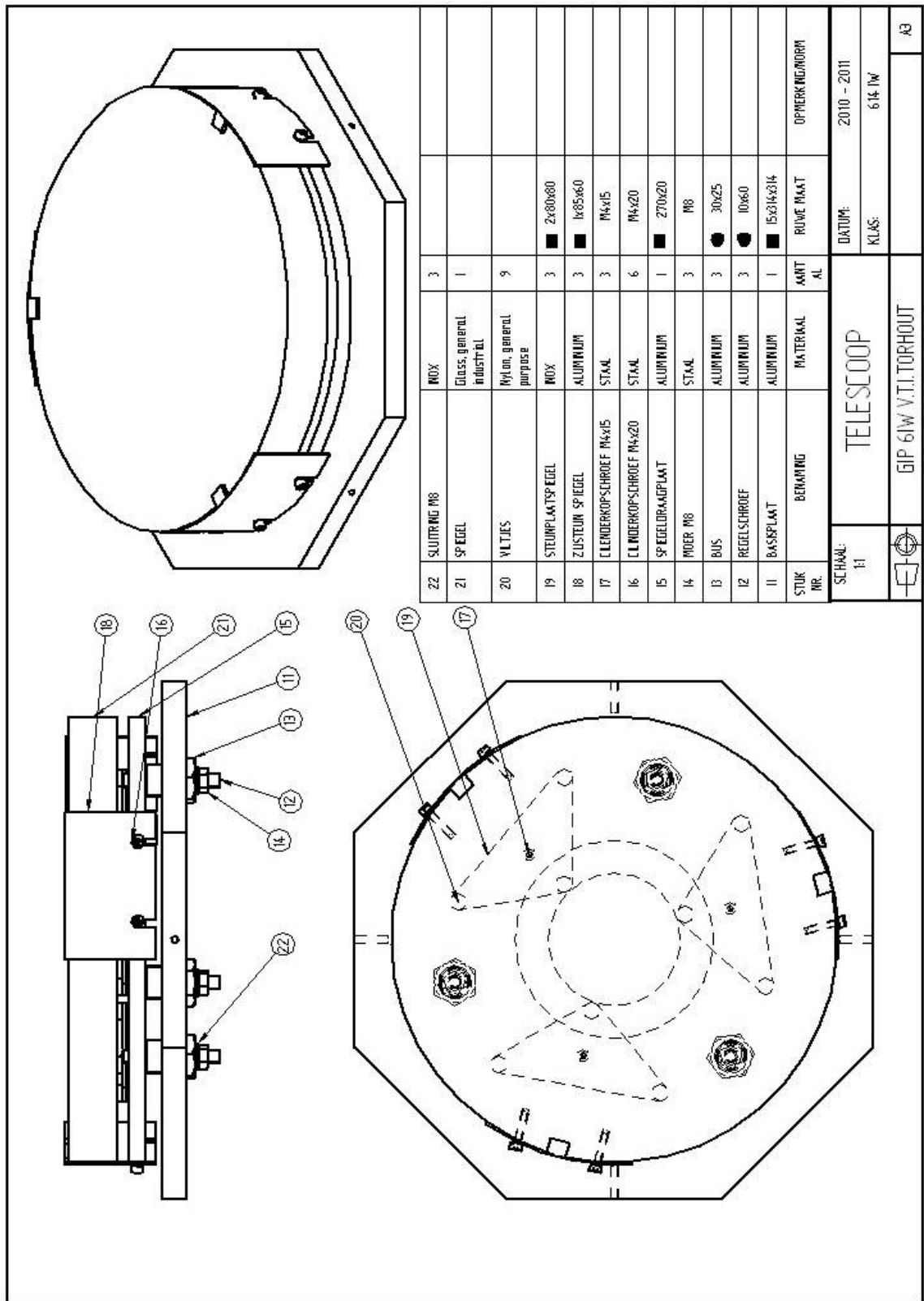
5. ZIJSTEUNSPIEGEL



6. STEUNPLAATSPIEGEL

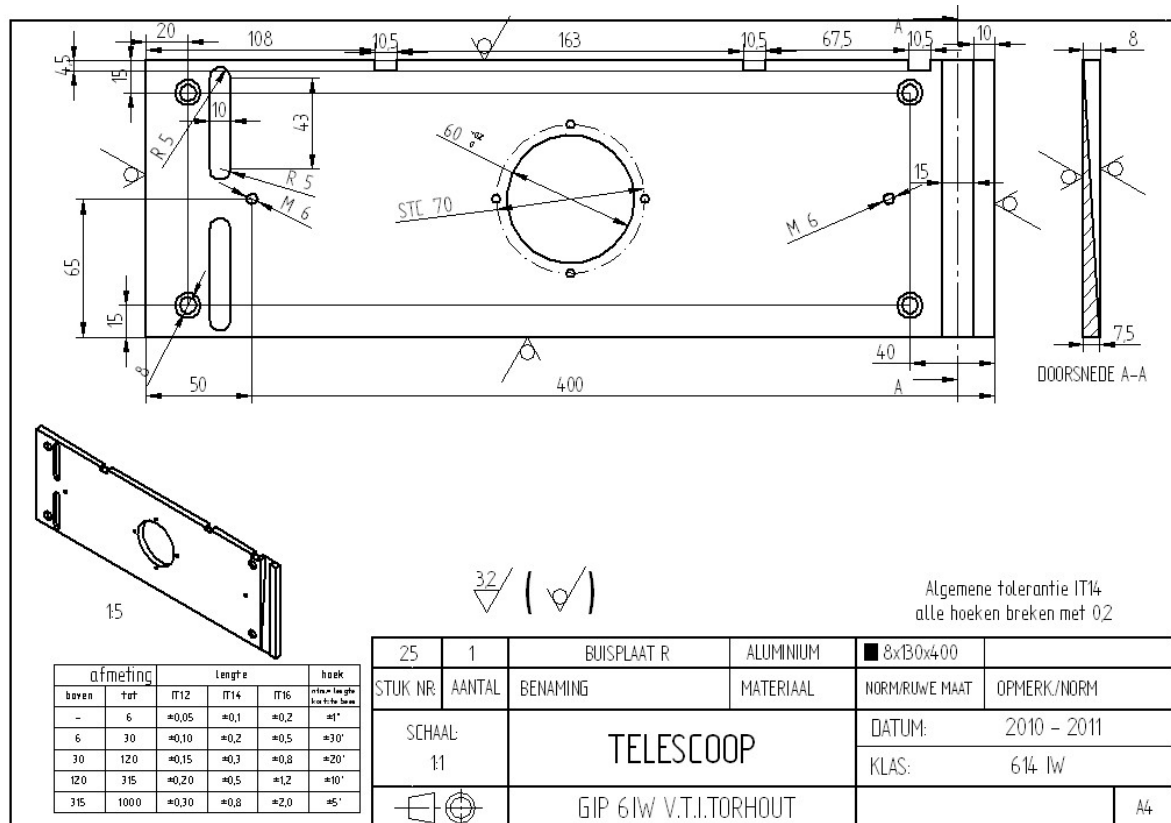


12.1.1.5 Spiegeldrager samenstelling

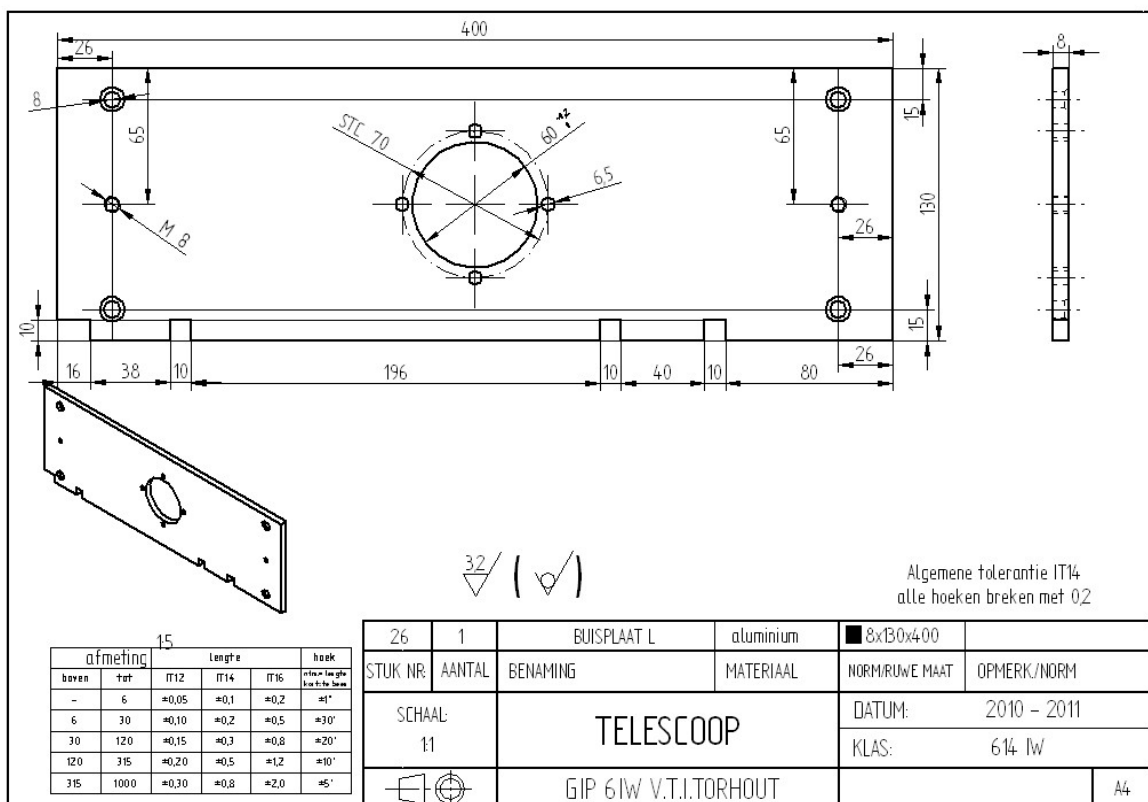


12.1.1.6 Bevestiging aan onderstel

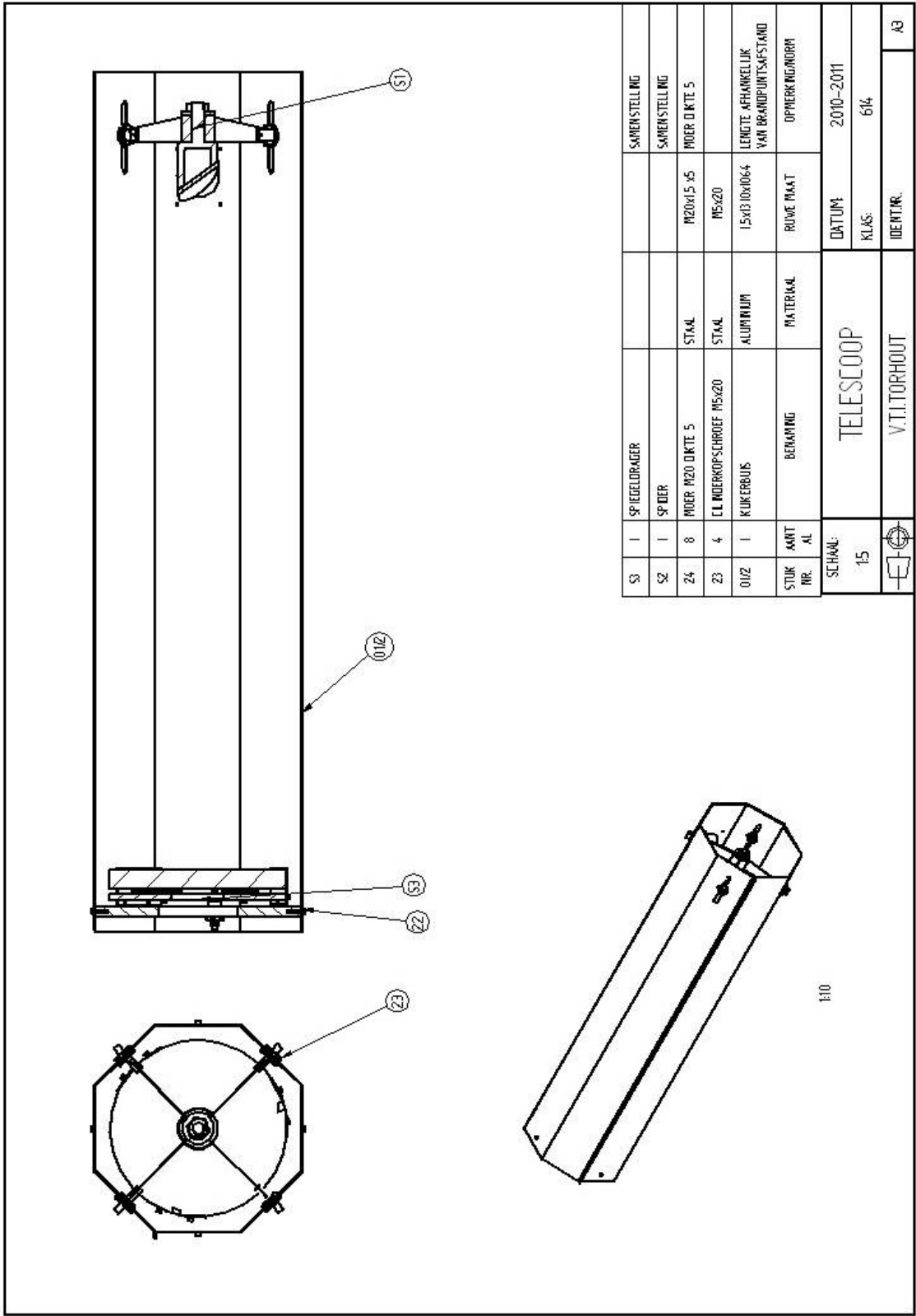
1. BUISPLAAT R



2. BUISPLAAT L



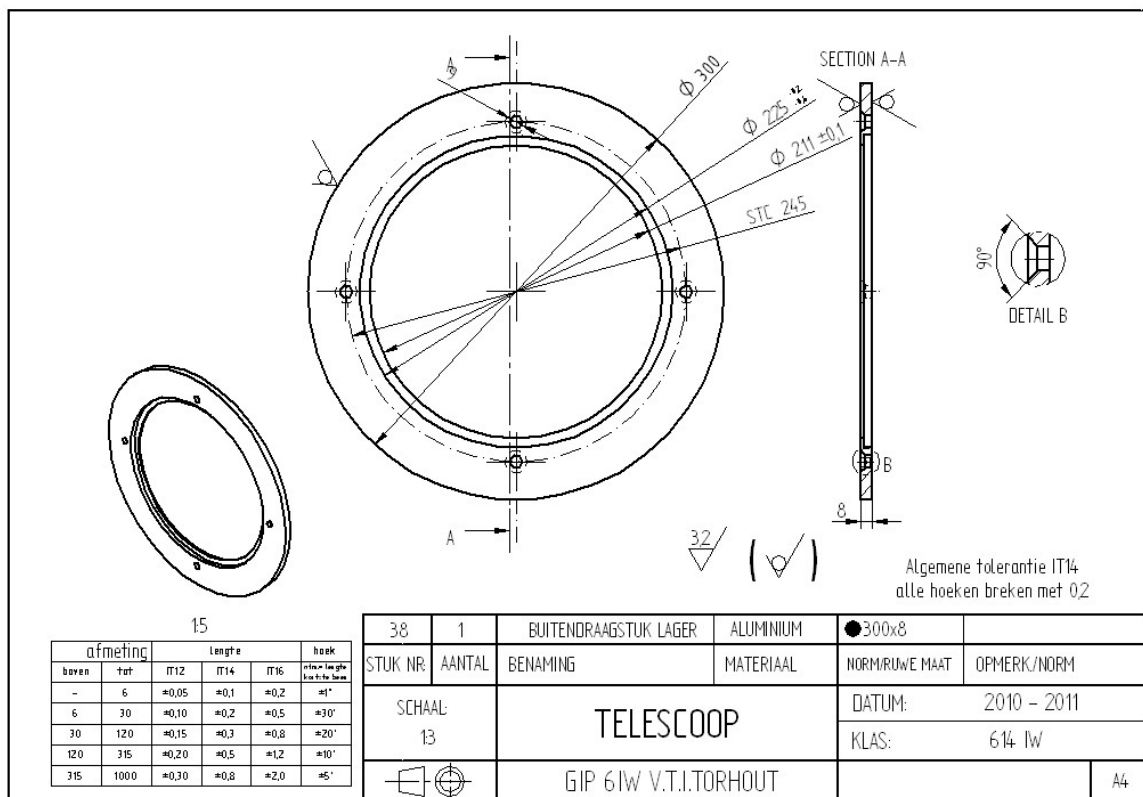
12.1.1.7 Kijker samenstelling



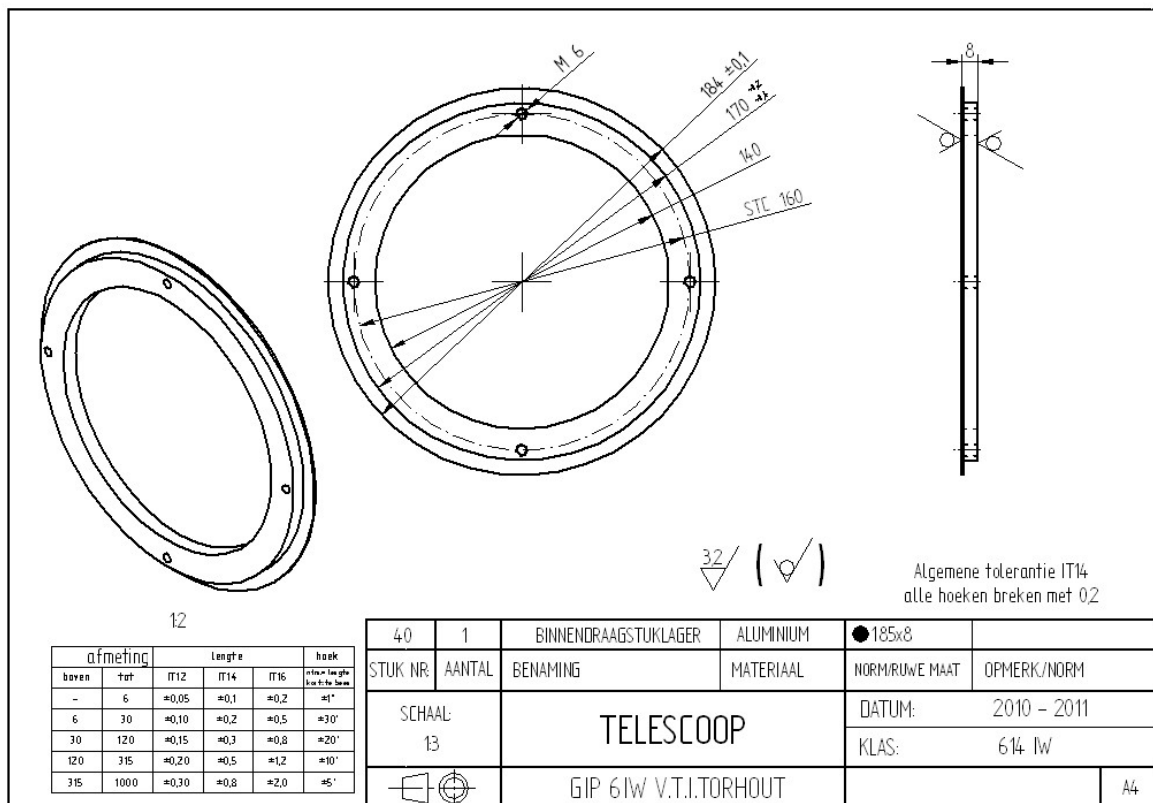
12.1.2 Onderstel

12.1.2.1 Onderdelen draaimechanisme

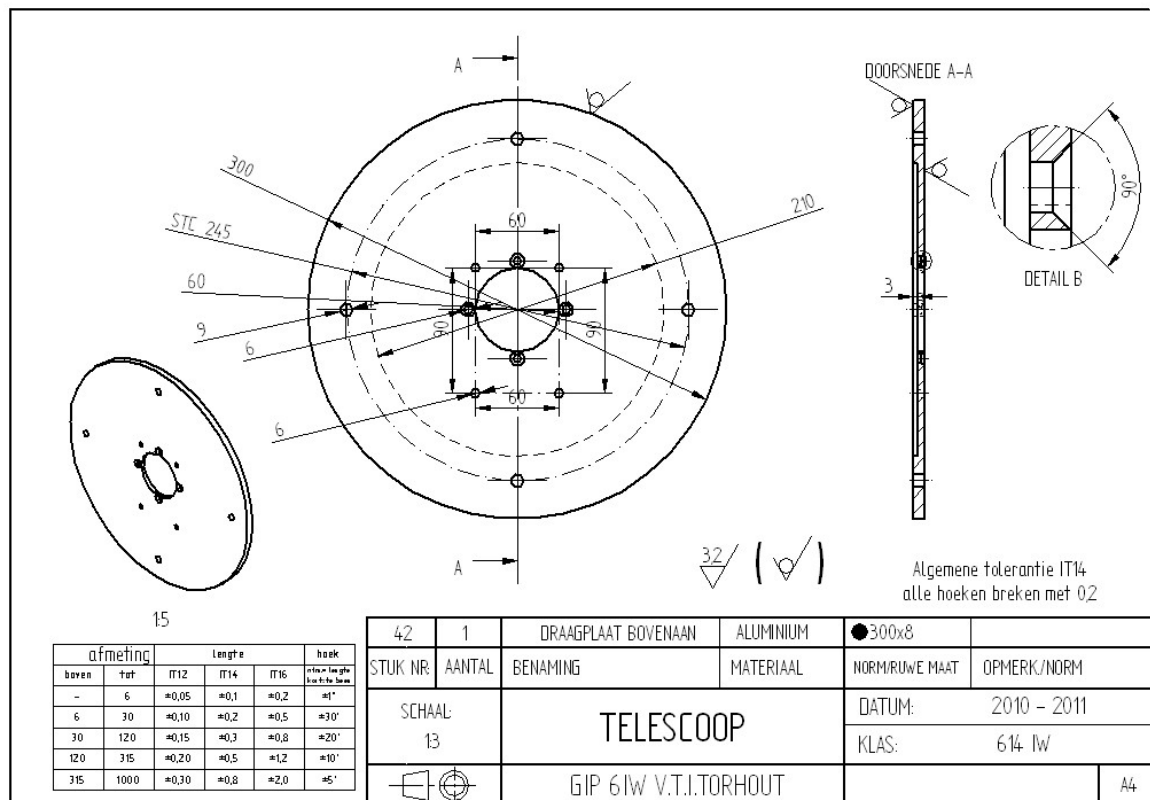
1. BUITENDRAAGSTUK LAGER



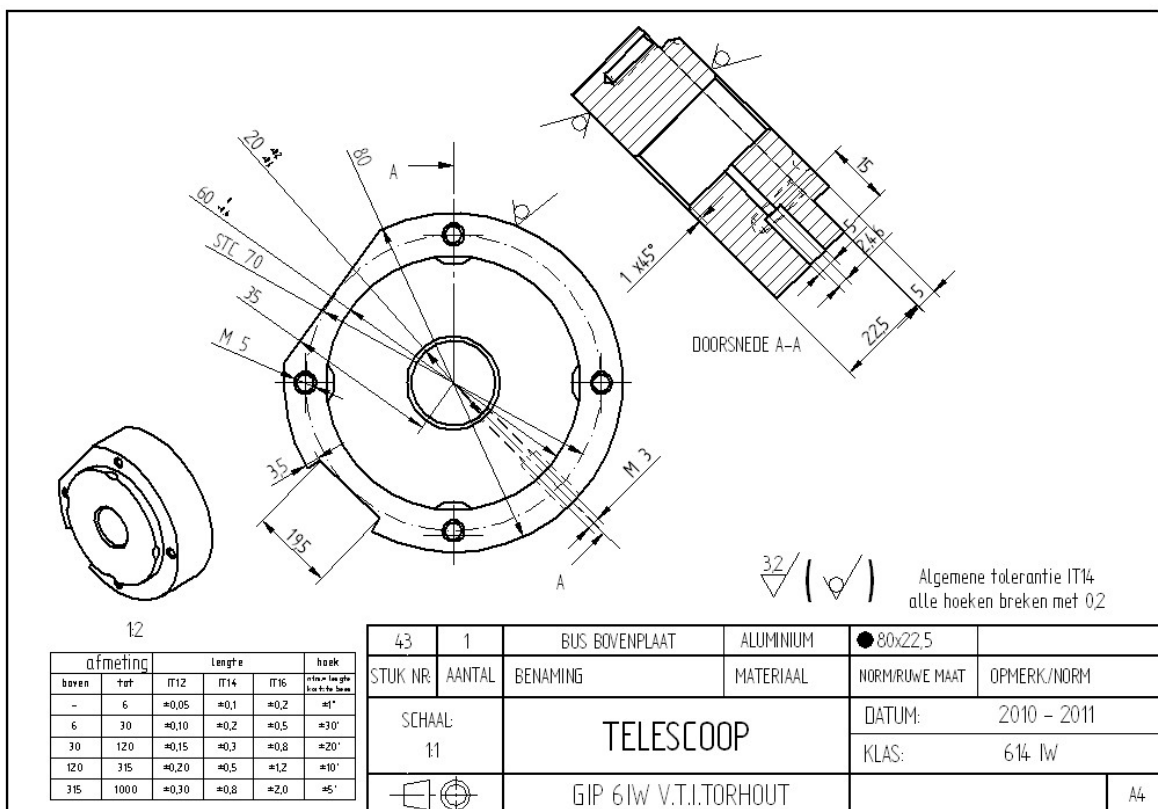
2. BINNENDRAAGSTUK LAGER



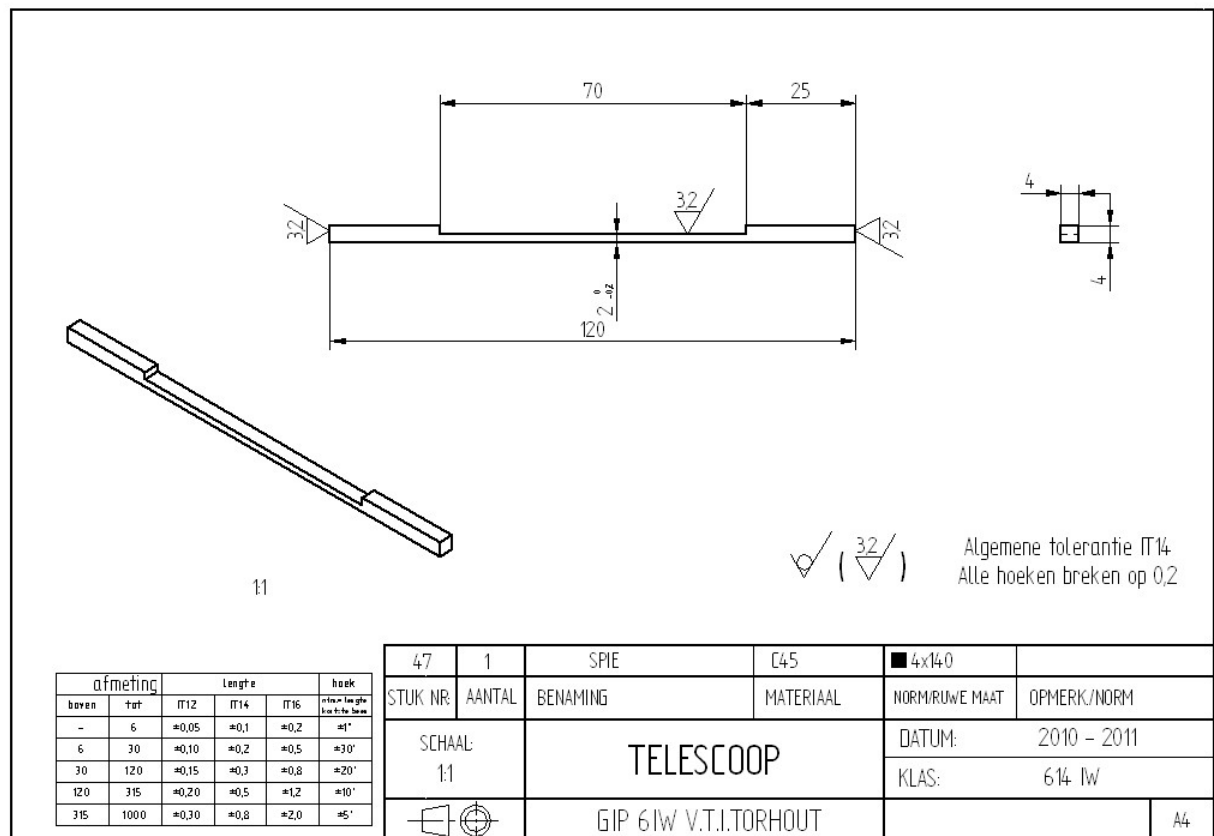
3. DRAAGPLAAT BOVEN



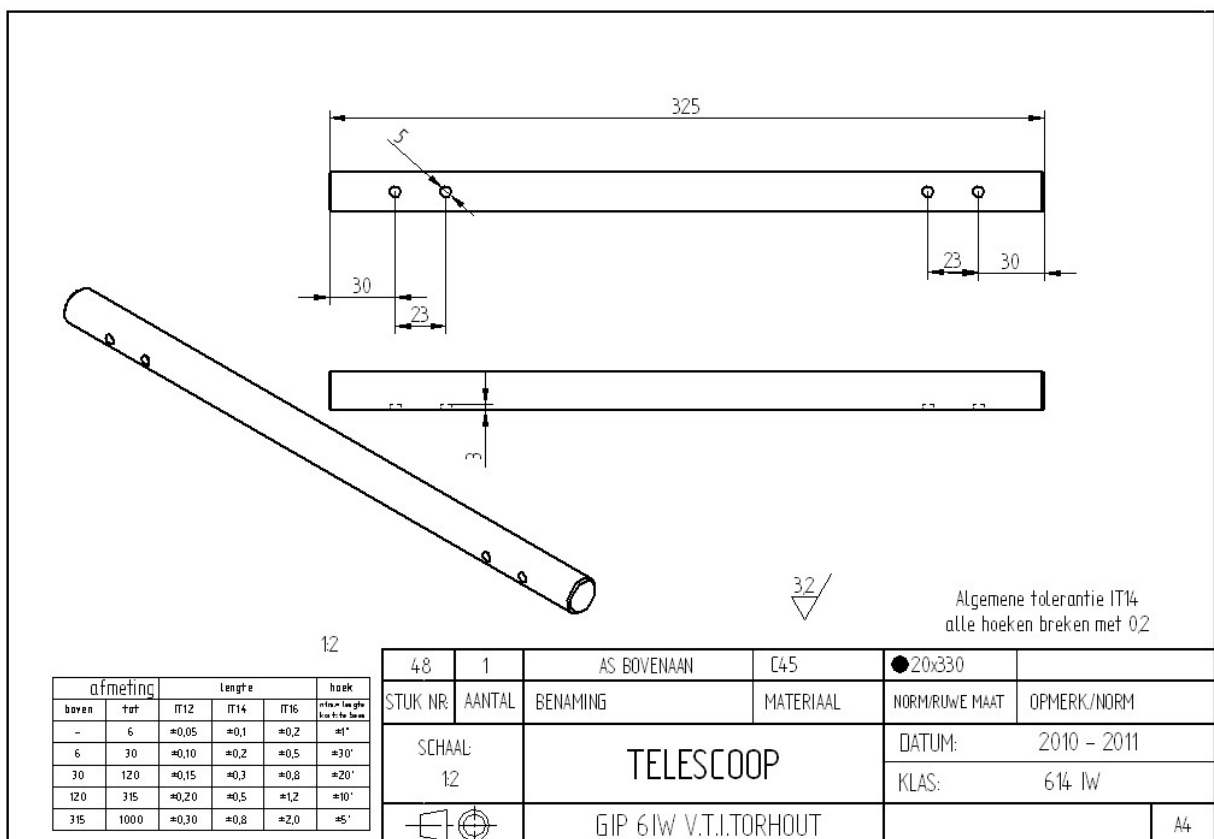
4. BUS BOVENPLAAT



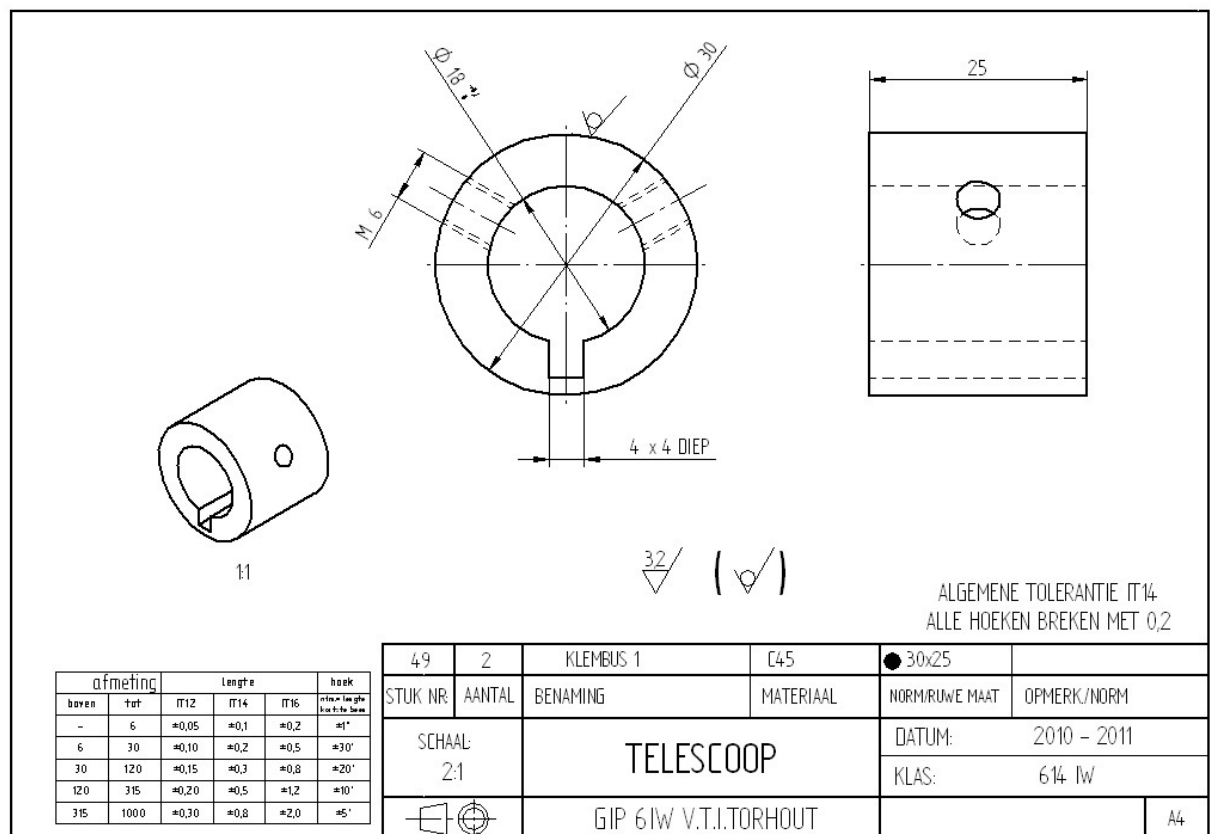
5. SPIE



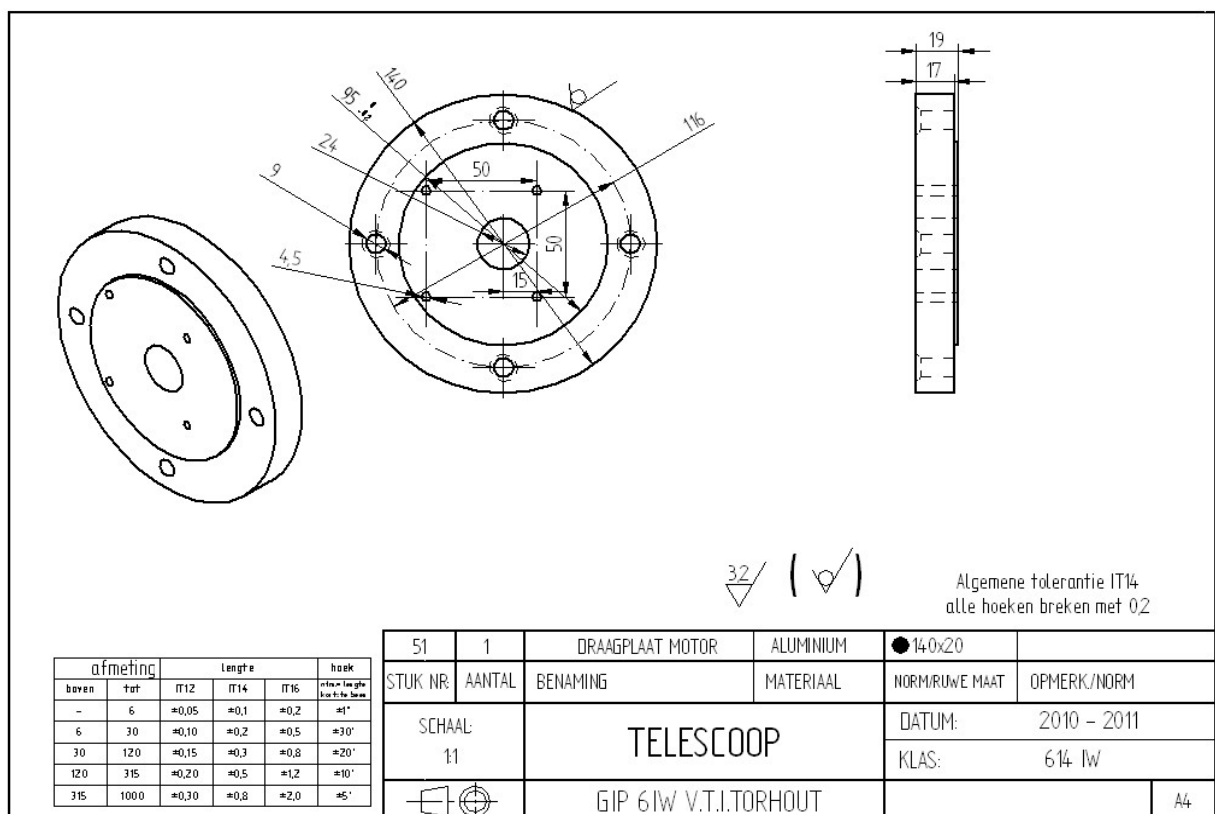
6. AS BOVENAAN



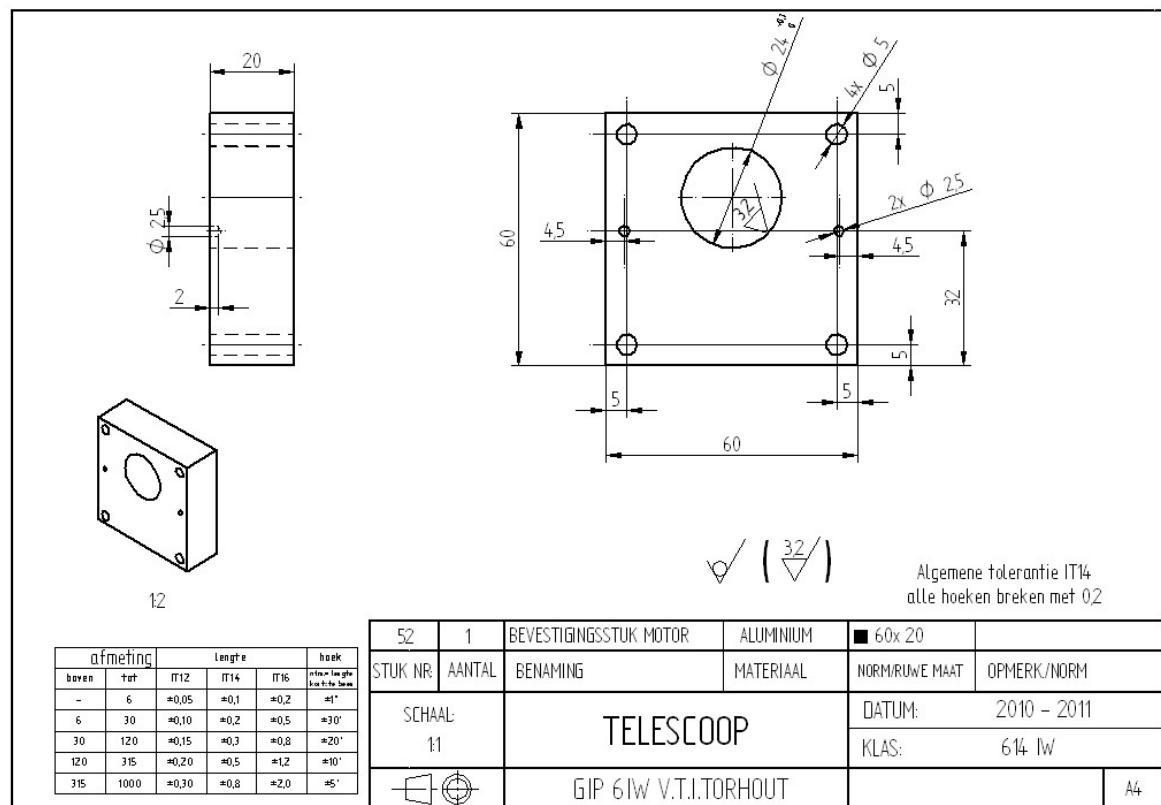
7. KLEMBUS 1



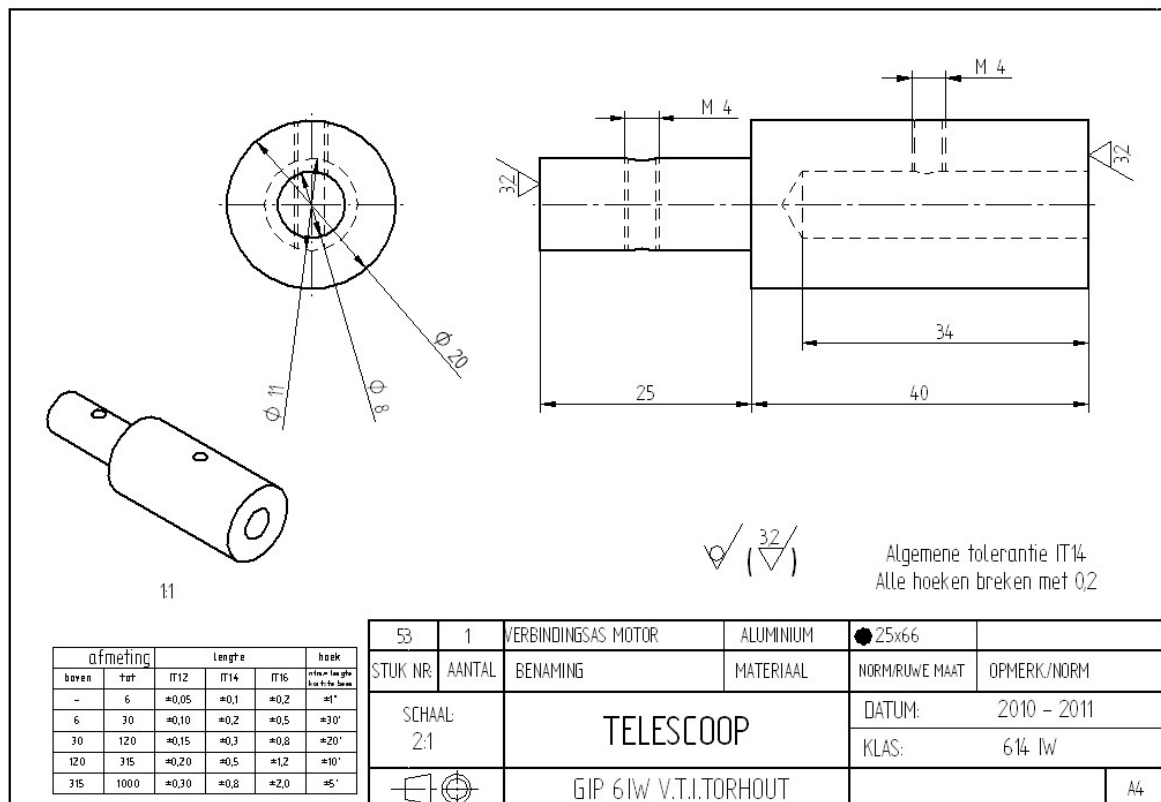
8. DRAAGPLAAT MOTOR



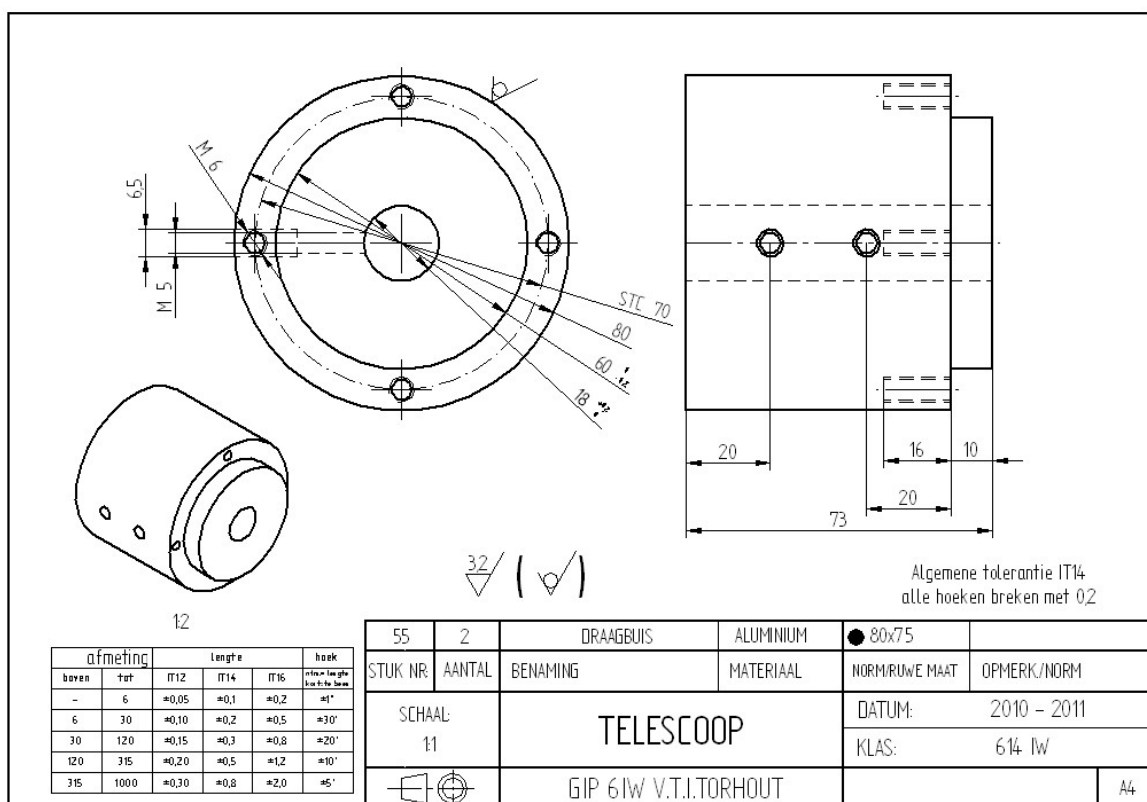
9. BEVESTIGINGSSTUK MOTOR



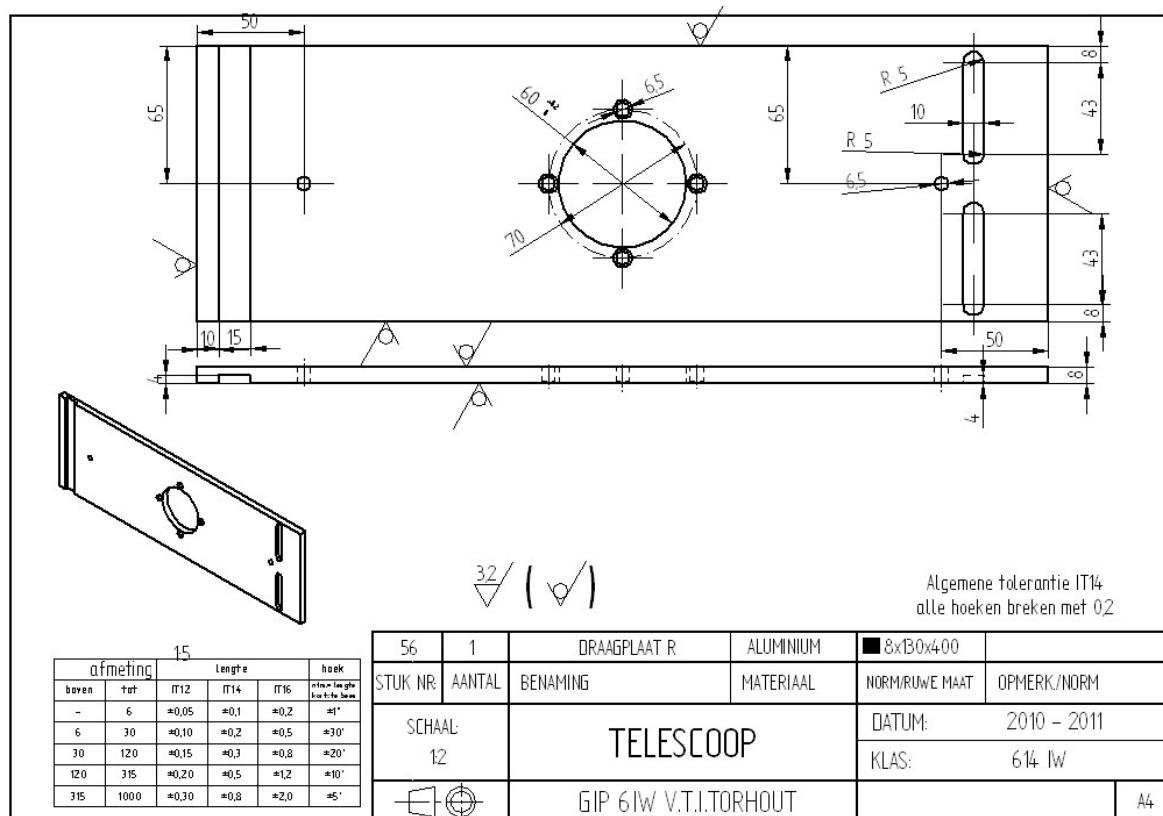
10. VERBINDINGS AS MOTOR



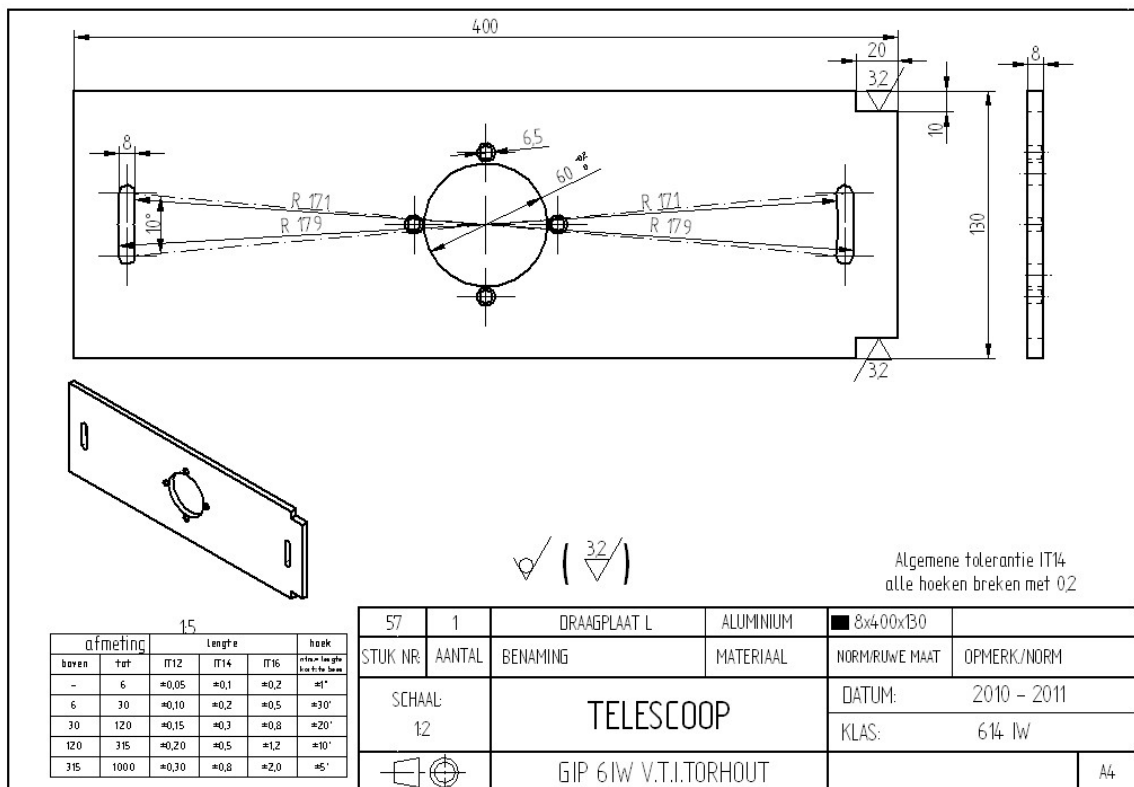
11. DRAAGBUIS



12. DRAAGPLAAT R



13. DRAAGPLAAT L

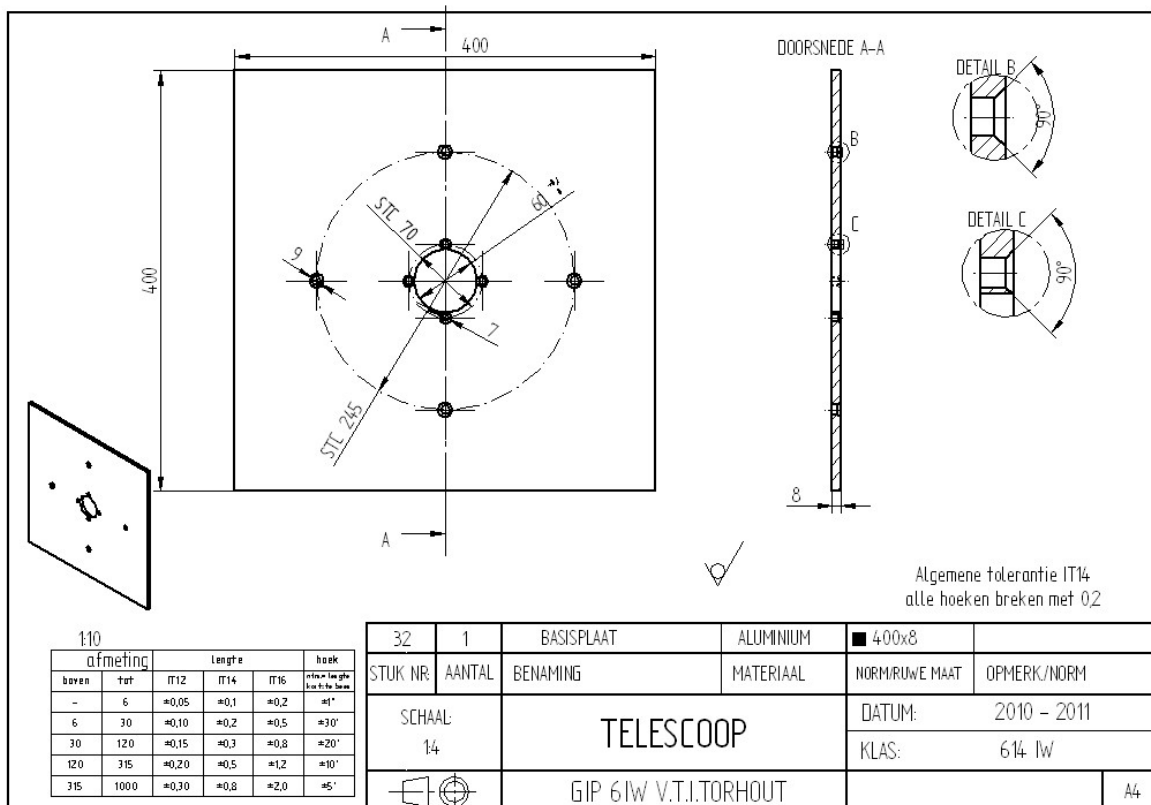


12.1.2.2 Samenstelling draaimechanisme

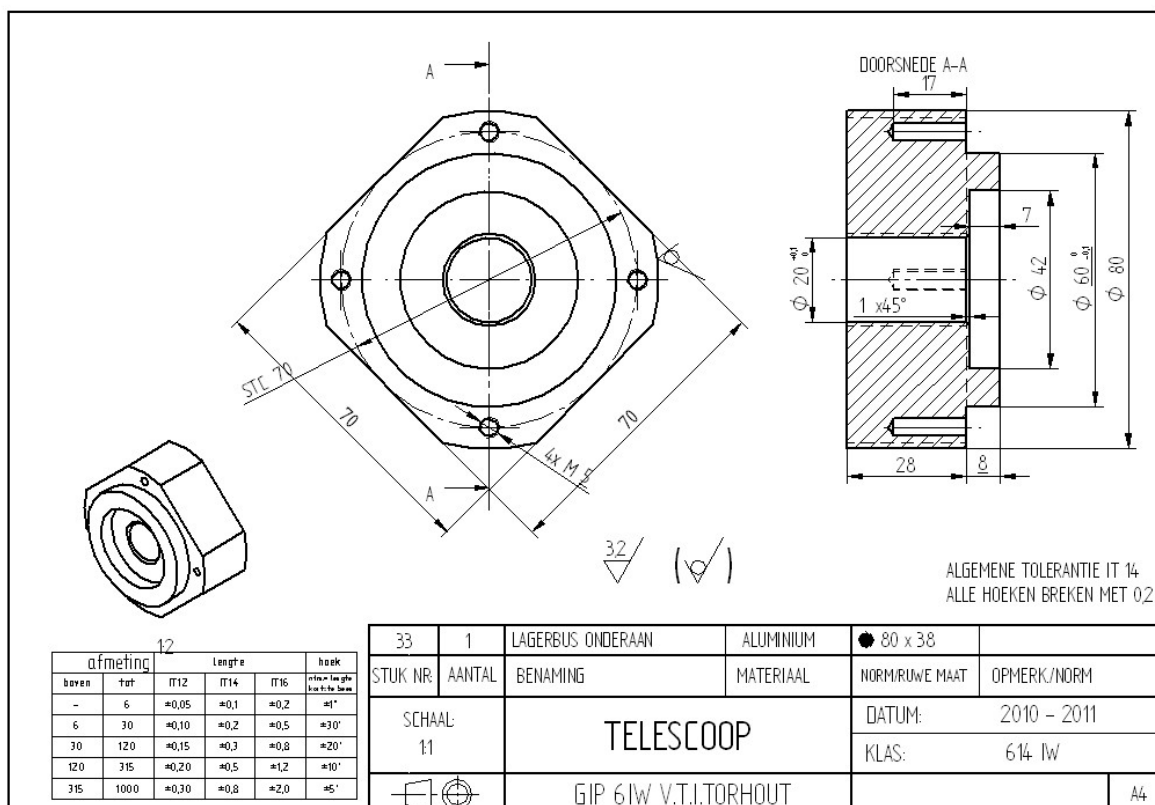
| | | | | | |
|----------|---------|--------------------------|-----------|-----------|----------------|
| 59 | 4 | VERZONKENSCHROEF M8x25 | | | |
| 58 | 4 | STELSCHROEF M5x40 | | | |
| 57 | 1 | DRAAGPLAAT L | ALUMINIUM | 8x400x130 | |
| 56 | 1 | DRAAGPLAAT R | ALUMINIUM | 8x130x400 | |
| 55 | 2 | DRAAGBUIS | ALUMINIUM | 80x75 | |
| 54 | 1 | STELSCHROEF M4x15 | | | |
| 53 | 1 | VERBODINGSAS MOTOR | ALUMINIUM | 25x66 | |
| 52 | 1 | BEVESTIGINGSSTUK MOTOR | ALUMINIUM | 60x20 | |
| 51 | 1 | DRAAGPLAAT MOTOR | ALUMINIUM | 140x20 | |
| 50 | 4 | STELSCHROEF M6x20 | | | |
| 49 | 2 | KLEMBUS 1 | E45 | 30x25 | |
| 48 | 1 | AS BOVENKAAN | E45 | 20x330 | |
| 47 | 1 | SP E | E45 | 4x140 | |
| 46 | 4 | MIDDER M5 | STAAL | | |
| 45 | 8 | MIDDER M8 | STAAL | | |
| 44 | 1 | REDUCTIEKAST BOVENKAAN | ALUMINIUM | | |
| 43 | 1 | BUS BOVENPLAAT | ALUMINIUM | 80x22,5 | |
| 42 | 1 | DRAAGPLAAT BOVENKAAN | ALUMINIUM | 300x68 | |
| 40 | 1 | BINNENDRAAGSTUKLAGER | ALUMINIUM | 185x68 | |
| 39 | 1 | GROEFKOGELLAGER | STAAL | | |
| 38 | 1 | BUITENDRAAGSTUKLAGER | ALUMINIUM | 300x68 | |
| 31 | 4 | VERZONKENSCHROEF M8x25 | | | |
| 29 | 16 | CLINDERKOP-SCHROEF M5x15 | | | |
| STUK NR. | AANT AL | BENAMING | MATERIAAL | RUWE MAAT | OPMERKING/NORM |
| SCHAAL: | | TELESCOOP | | DATUM: | 2010-2011 |
| 13 | | | | KLAS: | 614 |
| | | V.T.I.TORHOUT | | IDENT.NR. | A3 |

12.1.2.3 Onderdelen onderstel

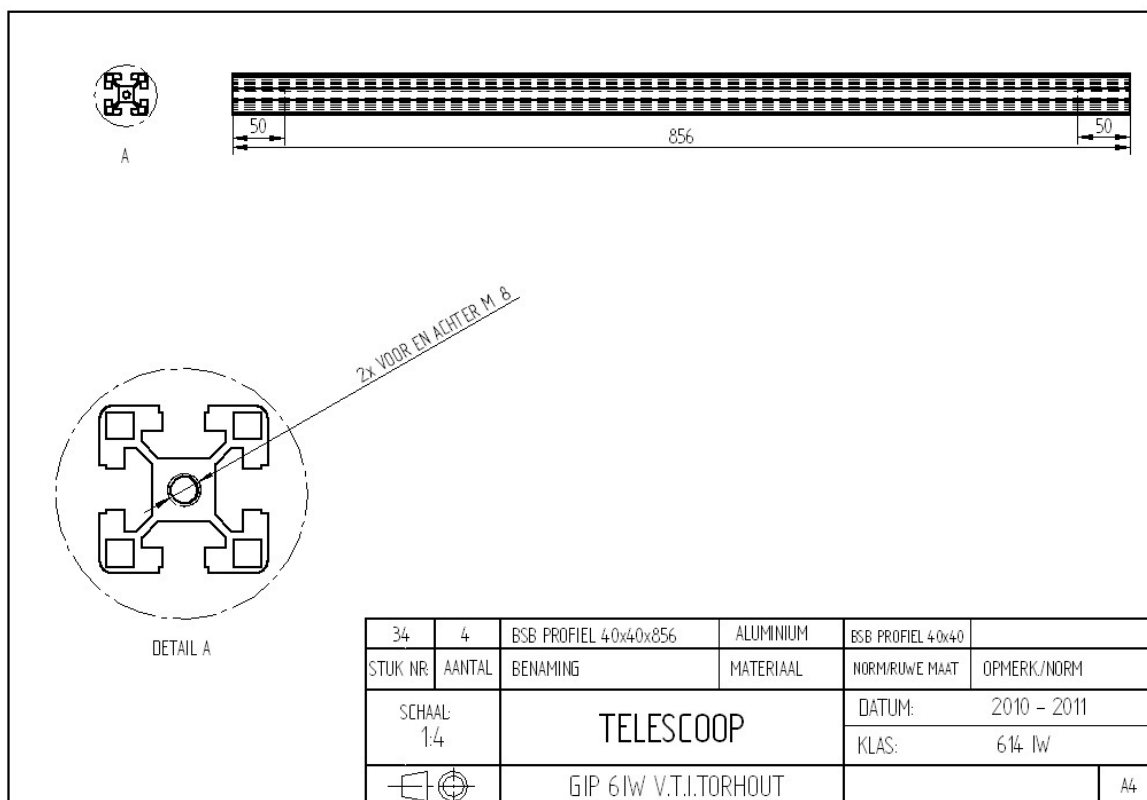
1. BASISPLAAT ONDERSTEL



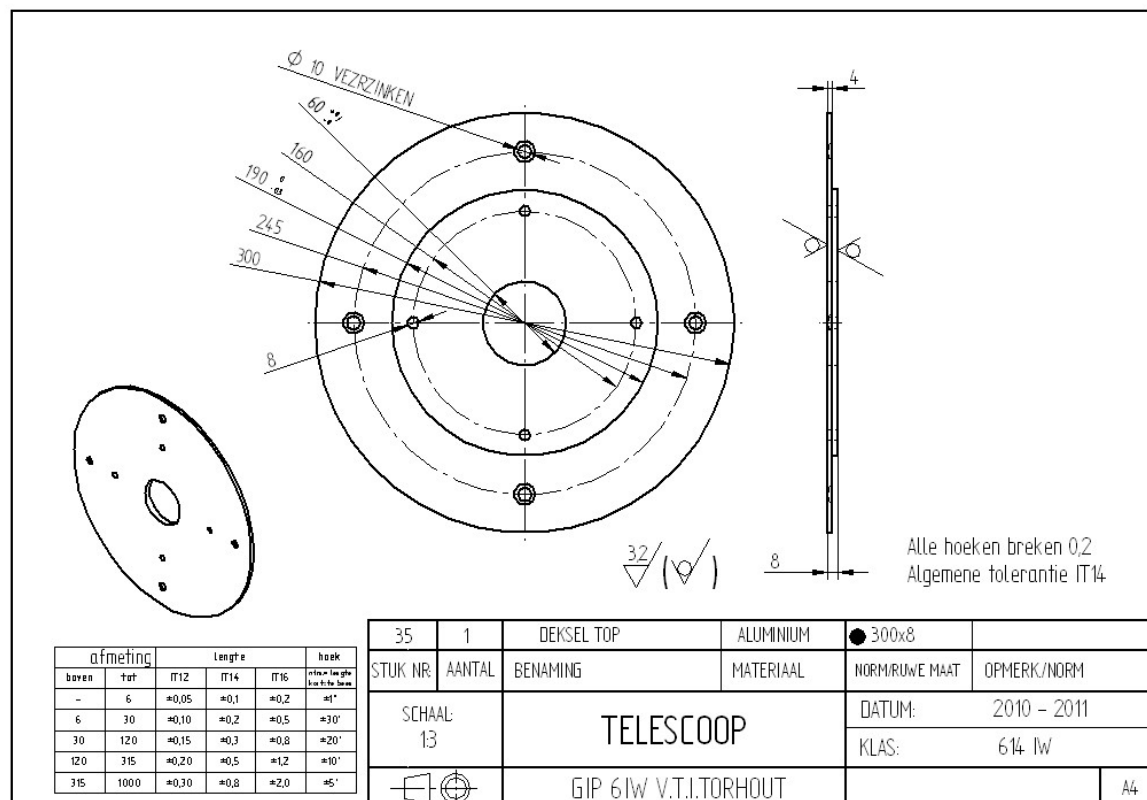
2. LAGERBUS ONDERAAN



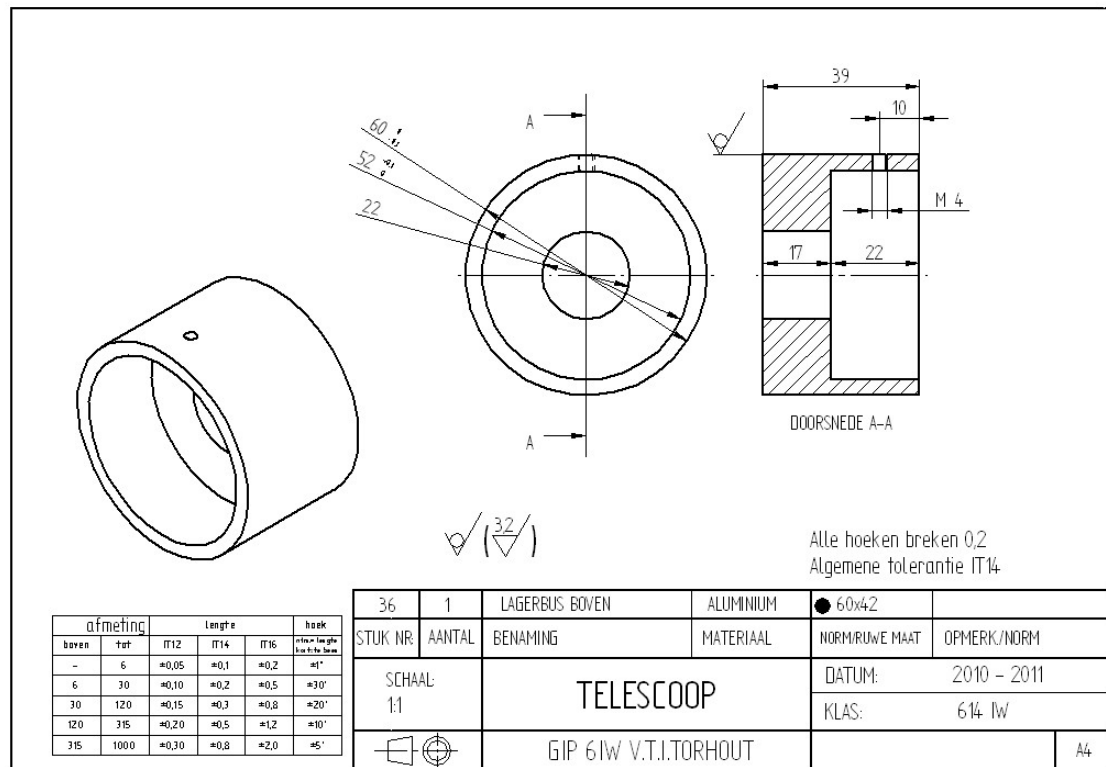
3. BSB PROFIEL 40x40x856



4. DEKSEL TOP



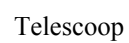
5. LAGERBUS BOVEN



12.1.2.4 Samenstelling onderstel

| | | | | | | |
|----------|------|----------------------------|-----------|-----------|------------------|----|
| 55 | 1 | DRUKMECHANISME | | | | |
| 41 | 4 | CL. INDERKOP-SCHROEF M6x20 | STAAL | | | |
| 37 | 1 | ROLLAGER 6304 | STAAL | | | |
| 36 | 1 | LAGERBUS BOVEN | ALUMINIUM | ● 60x42 | | |
| 35 | 1 | DEKSEL TOP | ALUMINIUM | ● 300x68 | | |
| 34 | 4 | B50 PROFIEL 40x40x56 | ALUMINIUM | | | |
| 33 | 1 | LAGERBUS ONDERAAN | ALUMINIUM | ● 80x40 | | |
| 32 | 1 | BASPLAAT ONDERSTEL | ALUMINIUM | ■ 400x68 | | |
| 31 | 8 | VERZONKEN SCHROEF M6x25 | | | | |
| 30 | 4 | VERZONKEN SCHROEF M5x15 | | | | |
| STUK NR. | AANT | BENAMING | MATERIAAL | RUWE MAAT | OPMERKING/NOEM | |
| 16 | | TELESCOOP | | | DATUM: 2010-2011 | |
| | | | | | KLAS: 614 | |
| | | | | | IDENT.NR. | |
| | | V.T.I.TORHOUT | | | | A3 |

614 IW



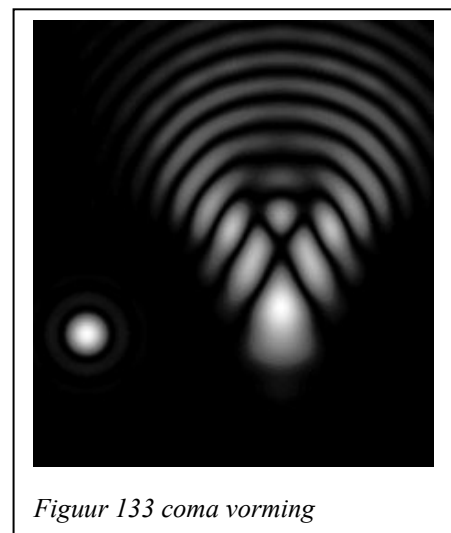
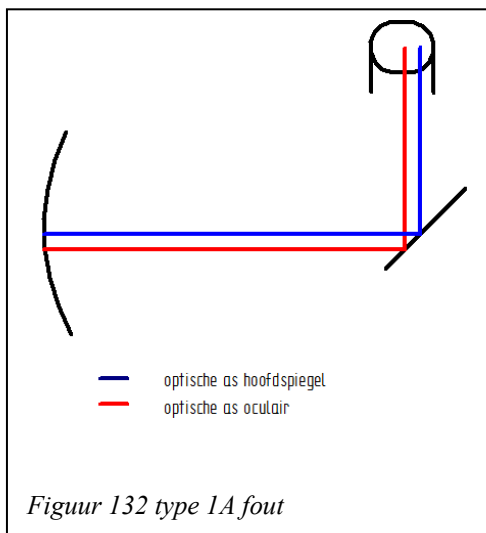
13 Collimeren

13.1 Wat is collimeren

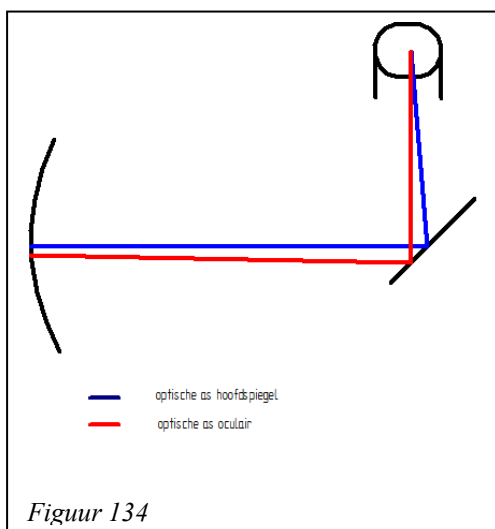
Collimeren is het accuraat uitlijnen van optische elementen van een telescoop om het beste beeld te verkrijgen: het ten opzichte van elkaar afstellen van de drie optische componenten (hoofdspiegel, vangspiegel en oculair) zodat de optische as van de hoofdspiegel en die van het oculair samenvallen en de vangspiegel de gehele lichtkegel symmetrisch omvat.

13.2 Type 1A fout (coma)

Het brandpunt van de hoofdspiegel ligt op een bepaalde afstand van het brandpunt van het oculair. Hoe verder de twee brandpuntafstanden van elkaar liggen verwijderd, hoe groter de coma is. Beeldpunten buiten de optische as van de hoofdspiegel worden eerder comavormig afgebeeld dan puntvormig. Coma leidt tot contrastverlies en verlies van resolutie.



13.3 Type 1B fout (gekanteld beeldveld)

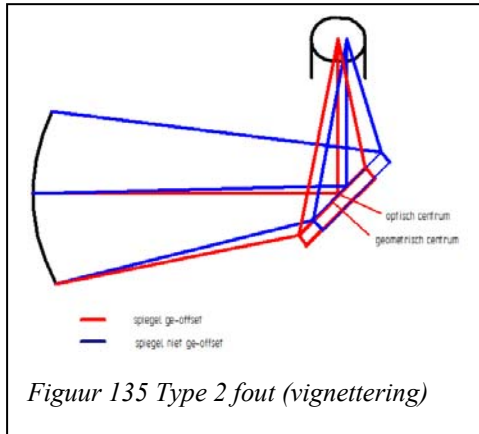


De optische as van de hoofdspiegel staat scheef ten opzichte van de optische as van het oculair. De optische assen zijn niet aan elkaar evenwijdig.

13.4 Type 2 fout (vignettering)

De vangspiegelrand die zich het dichtst bij de hoofdspiegel bevindt heeft een bredere lichtkegel (de lichtkegel is afkomstig van de hoofdspiegel) dan de vangspiegelrand die zich

het verst van de hoofdspiegel bevindt. De vangspiegel mag zich daardoor niet in het midden van de telescoopbuis bevinden, m.a.w. het geometrisch centrum van de vangspiegel mag niet geplaatst worden in het verlengde van de optische as van de hoofdspiegel. De vangspiegel moet dus verplaatst worden zodat de vangspiegel de gehele lichtkegel symmetrisch onderschept, hij moet ge-offset worden.

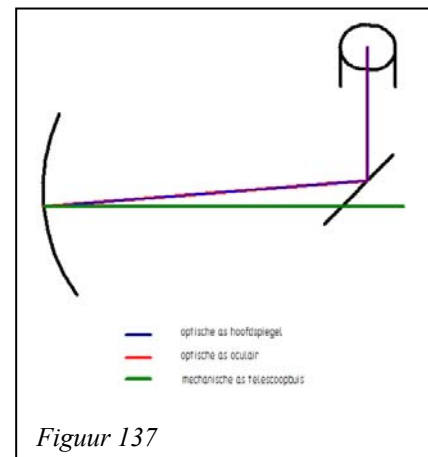
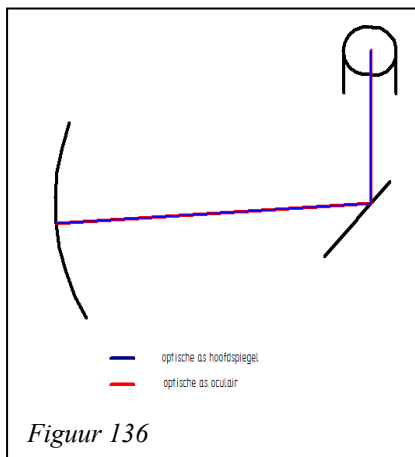


13.5 Type 3 fout (vignettering)

Als de vangspiegel niet onder een hoek 45° staat, dan buigt de vangspiegel de optische as van de hoofdspiegel niet onder een hoek 90° richting oculair af.

13.6 Type 4 fout (vignettering)

Als de optische as van de hoofdspiegel en van het oculair niet geconcentreerd liggen in de telescoopbuis, dan kan er vignettering optreden.



13.7 Hulpmiddelen bij het collimeren

13.7.1 De stip op de hoofdspiegel

Dit is een stip die bestaat uit verf of tape die al dan niet aangebracht is op de hoofdspiegel. Omdat het optisch centrum niet samenvalt met het geometrisch centrum, is het handig om een verplaatsbare stip te gebruiken. Zo'n stip kan je natuurlijk ook zelf aanbrengen door gebruik te maken van twee linealen en de rand en het centrum van de hoofdspiegel te markeren op de twee linealen. Als je de twee linealen verbindt in een kruis en in het gezamenlijk middelpunt een stukje tape bevestigt, dan moet je de randmarkeringen precies op de rand van de spiegel leggen. Daarna moet je enkel nog de tape vastduwen op de hoofdspiegel.

13.7.2 Kijkbuis

Dit is een buis die uit metaal of kunststof kan gemaakt worden. De kijkbuis heeft aan één kant een klein kijkgaatje. De lengte van de kijkbuis is niet zo belangrijk als je de vangspiegel wilt centreren. Om de hoofdspiegel te centreren is de lengte van de kijkbuis wel belangrijk, de lengte moet ongeveer gelijk zijn aan de f -waarde van de telescoop maal de inwendige diameter van de kijkbuis.

13.7.3 Lasercollimator

Veelal wordt er gebruik gemaakt van solid state laser geplaatst in een buisje dat kan gemonteerd worden in de focusser. De lasercollimator wordt veel gebruikt om te collimeren.

14 Website

14.1 Waarom

Net zoals vorig jaar kwam er vanuit de klas de vraag om opnieuw een website te maken. Ik (Pieter Develtere) had graag al eens een website gemaakt en het was dus een uitgelezen kans. Tom Hollevoet, de maker van de website van vorig jaar, kwam in de herfstvakantie uitleggen hoe hij vorig jaar de website gemaakt heeft. Hij raadde ook bepaalde zaken aan en af. Verder in de tekst zal er verwezen worden naar gelijkenissen met vorig jaar. De website heeft als doel om de buitenwereld te laten zien waarmee we bezig zijn. Ook heeft de website als doel om bezoekers en geïnteresseerden te informeren over hoe we nu precies de telescopen gebouwd hebben.

14.2 www.gip2010.be

De domeinnaam www.gip2010.be is gekozen door de klas. We wilden op hetzelfde elan verder gaan als vorig jaar, toen was de domeinnaam www.gip2009.be. Daarna was het aan mij om dit domein aan te laten maken bij een erkende server. Tom Hollevoet raadde me aan om de website op de server van one.com te plaatsen.



Figuur 138 www.gip2010.be

14.3 Server one.com

Waarom heb ik voor server one.com gekozen? Er bestaan vandaag de dag heel veel servers die websites van particulieren kunnen hosten, maar er bestaan hierin heel veel verschillen. Bij deze servers bestaan er verschillende pakketten, waaruit de particulier kan kiezen. Deze pakketten zijn afhankelijk van het doel van de website en hoe frequent deze website eventueel zou worden bezocht. Tom adviseerde mij de one.com server omdat one.com vandaag de beste prijs/kwaliteitsverhouding aanbiedt. Ook is de one.com server een heel stabiele server die weinig of geen problemen geeft. Vorig jaar was het lichtste pakket van de one.com server meer dan voldoende. Ik verwacht dat het dit jaar dan ook wel genoeg zal zijn.



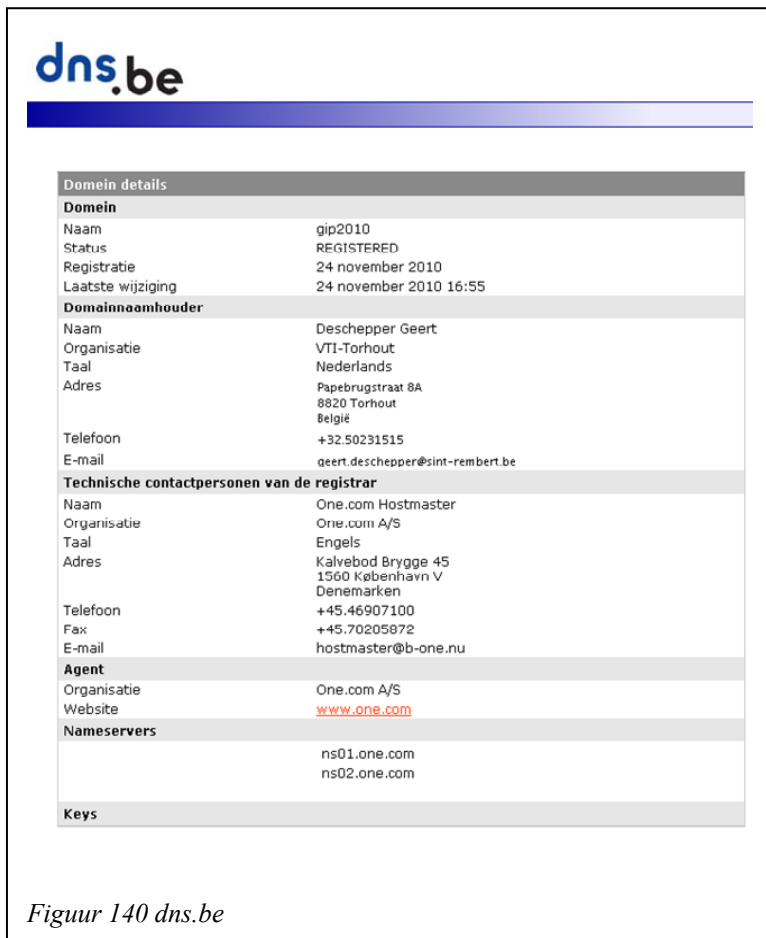
Figuur 139 Server one.com

Het pakket heeft de volgende kenmerken:

Ruimte opslag: 3Gb of 3000 Mb. Ongelimiteerd data-verkeer (dus er mag ongelimiteerd data worden uitgewisseld tussen bezoeker en server). Ook kan men ongelimiteerd aantal e-mailadressen aanmaken op het domein dat je gekozen hebt, daarover straks meer. De serverkosten bedragen bij one.com circa 32 euro voor het eerste jaar en 28 euro voor de daaropvolgende jaren, met de .be domeinnaam inbegrepen. In theorie betaal je apart voor de server en apart voor de .be domeinnaam.

One.com is een bedrijf uit Denemarken.

One.com is voor een groot gedeelte ontworpen door de bekende computerfabrikant HP.



The screenshot shows the dns.be website interface. At the top is the 'dns.be' logo. Below it is a blue horizontal bar. The main content area is titled 'Domein details' and contains several sections: 'Domein', 'Domainnaamhouder', 'Technische contactpersonen van de registrar', 'Agent', and 'Nameservers'. Each section contains key-value pairs of domain information.

| Domein details | |
|--|--|
| Domein | |
| Naam | gip2010 |
| Status | REGISTERED |
| Registratie | 24 november 2010 |
| Laatste wijziging | 24 november 2010 16:55 |
| Domainnaamhouder | |
| Naam | Deschepper Geert |
| Organisatie | VTI-Torhout |
| Taal | Nederlands |
| Adres | Papebrugstraat 8A 8820 Torhout België |
| Telefoon | +32.50231515 |
| E-mail | geert.deschepper@sint-rembert.be |
| Technische contactpersonen van de registrar | |
| Naam | One.com Hostmaster |
| Organisatie | One.com A/S |
| Taal | Engels |
| Adres | Kalvebod Brygge 45 1560 København V Denemarken |
| Telefoon | +45.46907100 |
| Fax | +45.70205872 |
| E-mail | hostmaster@b-one.nu |
| Agent | |
| Organisatie | One.com A/S |
| Website | www.one.com |
| Nameservers | |
| | ns01.one.com |
| | ns02.one.com |
| Keys | |

Figuur 140 dns.be

Deze heeft al jaren ervaring in het hosten van websites. Er zijn verschillende bedrijven van one.com opgericht in andere landen (o.a. in Nederland).

Maar de server waarop de websites geplaatst worden, blijft in Denemarken staan. Dit kan je ook zien als je een test doet op (dns.be). dns.be is de beheerder van alle Belgische domeinnamen (.be) hierop kan je zien wie de eigenaar van het domein is en wie de “registrar” is van het domein (dit is de eigenaar van de server waarop de website staat).

Op dns.be kan je elk Belgisch domein opzoeken

en daarvan de gegevens opvragen.

Verder kun je nog zien wanneer de website is opgericht en wie de licentienemer is van het domein, dit is de eigenaar.

Ook kan je nog enkele technische specificaties zien van de servers. Hier zie je ook de nameservers staan. Dit zijn de servers die een domeinnaam, dus bijvoorbeeld www.gip2010.be, omzetten in een IP-adres. Elke domeinnaam is immers aan een IP-adres verbonden. Elke website, computer of apparaat dat met het internet verbonden is, heeft een uniek IP-adres.

14.4 E-mailadressen

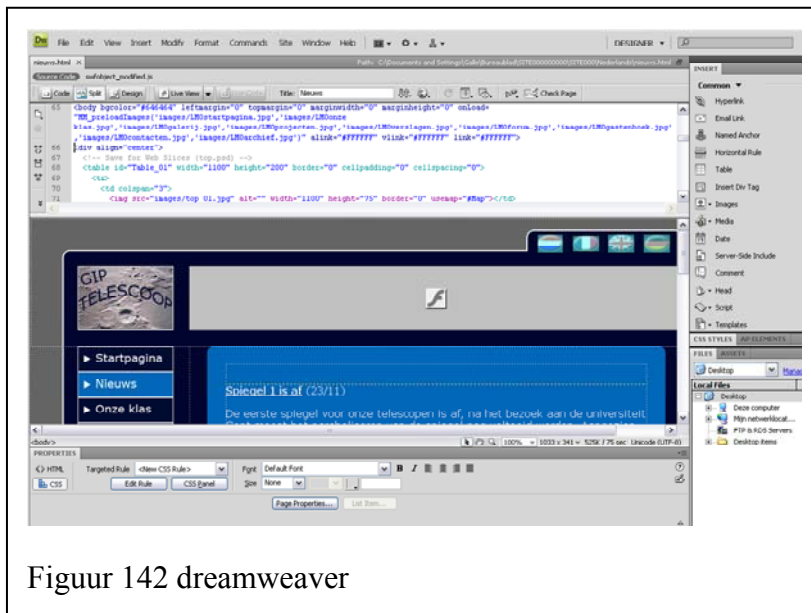
Op de server one.com is er ook de mogelijkheid tot het aanmaken van e-mailadressen. Bij ons eindigen alle e-mailadressen op @gip2010.be. Wij maken gebruik van aliasen. Een alias is een soort van e-mailadres, maar in plaats van dat de mail in een bepaalde mailbox op de server komt te staan, worden de mails automatisch doorgestuurd naar het e-mail adres van de persoon zelf. Ik geef een voorbeeld:

Als men een mail stuurt naar pieter@gip2010.be wordt de mail automatisch doorgestuurd naar mijn eigen e-mail adres.

Ik heb e-mail adressen aangemaakt voor alle leerlingen van onze klas, enkele leerkrachten die bij de gip betrokken waren en de belangrijkste contactpersonen. Ook zijn er verzamel adressen aangemaakt. Dit zijn adressen waarbij dan doorverwezen wordt naar verschillende personen. Bijvoorbeeld: als men een e-mail stuurt naar lln@gip2010.be dan wordt deze mail automatisch doorgestuurd naar alle leerlingen van de klas.

Dit is een handig systeem omdat men zo heel gemakkelijk en snel kan mailen naar andere klasgenoten.

14.5 Maken van de website



Figuur 142 dreamweaver

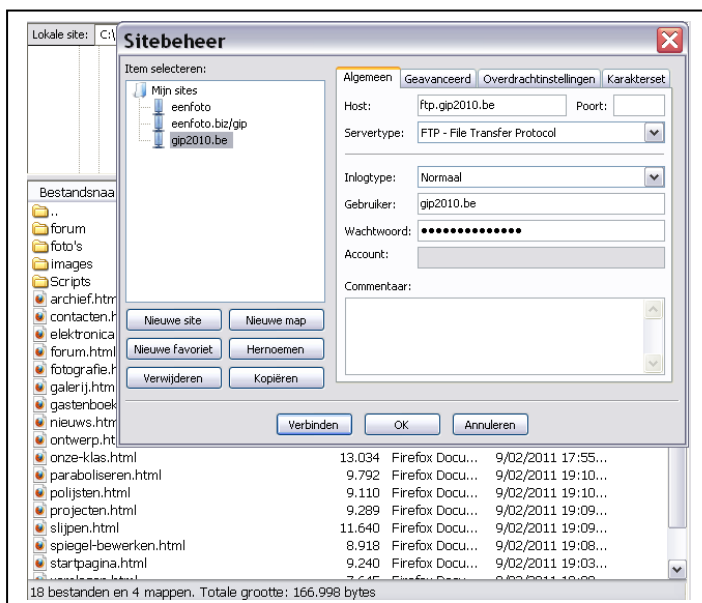
Voor mij was het de eerste keer dat ik een website maakte. In de herfstvakantie kreeg ik van Tom Hollevoet, de maker van de website van vorig jaar een snelcursus voor het maken van een website. Zo kon ik geleidelijk aan beginnen. Om de website te maken heb je verschillende computerprogramma's

nodig, onder ander dreamweaver, photoshop, filezilla, flash ... 11.5A In eerste instantie werd de website gemaakt met de website van vorig jaar als voorbeeld. Nadat ik wat

ervaring had opgebouwd, wilde ik de website wat zich meer laten onderscheiden van de website van vorig

jaar. Daarom ben ik opnieuw begonnen met de website. De website moest natuurlijk wel overzichtelijk en gestructureerd blijven.

Om de website online te krijgen moet je de website (alle bestanden) naar de one.com server sturen. Dit gebeurt met een programma. Bij mij is dit



programma FileZilla. Om de bestanden te kunnen doorsturen moet je eerst inloggen met je FTP-adres en je bijhorende paswoord. Daarna kan je je bestanden kopiëren naar de server. Als de bestanden zijn overgezet, is automatisch ook de website aangepast.

14.6 Taalkeuze

In eerste instantie hadden we er voor gekozen om een taalkeuzepagina in te voeren. Op die taalkeuzepagina stonden er 4 vlaggen waarop men op kon klikken, waarna je automatisch doorgestuurd werd naar de startpagina van de taal die je gekozen hebt. Maar bij nader inzien is een taalkeuzepagina niet zo goed, omwille van de slechte Google Ranking die een taalkeuzepagina produceert. Aangezien dat de meeste mensen de website nog niet kennen moeten de mensen de website vinden via Google en met een slechte Google Ranking sta je niet bij de eerste pagina's en zal je dan ook niet door de bezoeker gevonden worden.

Daarom heb ik gekozen voor een automatische doorverwijspagina. Dat is een pagina waarin er een code staat die zoekt in welke taal je browser (Internet Explorer, Firefox, Oracle, Safari, Google Chrome ...) staat. Is dit in een taal waarin we onze website gemaakt hebben (Nederlands, Frans, Engels of Duits) dan wordt je automatisch doorverwezen. Is het een andere taal dan wordt je automatisch doorverwezen naar de standaardtaal (Nederlands). Er bestaat echter wel de mogelijkheid om via elke pagina van de website over te schakelen naar een andere taal die men wenst.

14.7 Pagina's van de website

14.7.1 Startpagina

De startpagina is een pagina die dient om de bezoeker te verwelkomen. Op de startpagina laten we de bezoeker ook kennis maken met het onderwerp van onze gip. Ook laten we de bezoeker kennis maken met onze klas. Vanaf de startpagina kan de bezoeker navigeren naar elke pagina van de website hij maar wil.

14.7.2 Nieuws

De nieuwspagina, zoals de naam al zelf zegt, is een pagina waarop alle nieuwsfeiten staan. Op deze pagina staan alle belangrijke activiteiten die we gedaan hebben in chronologische volgorde, waarbij het laatste nieuwsfeit helemaal bovenaan de pagina staat. De pagina wordt zo snel mogelijk na elke belangrijke activiteit geupdatet.

14.7.3 Onze klas

Op de pagina “onze klas” kan de bezoeker verder kennismaken met onze klas, nadat de bezoeker op de startpagina al een kleine introductie kreeg.

De bezoeker kan van alle klasgenoten een foto zien en kan via onze website ook doorklikken naar de website van onze school.

14.7.4 Galerij



Figuur 143 fotoalbum

Op de webpagina “galerij” kan men doorklikken naar een fotoalbum. Op dit fotoalbum kan men dan alle foto's bekijken. Via de one.com server, de server waarop we onze website geplaatst hebben, konden we een fotoalbum aanmaken. Dit hebben we dan ook gedaan. Als je de foto's op de one.com server

plaatst, kan men een album aanmaken. Dit is dan een verzameling foto's die allemaal met elkaar te maken hebben.

14.7.5 Projecten

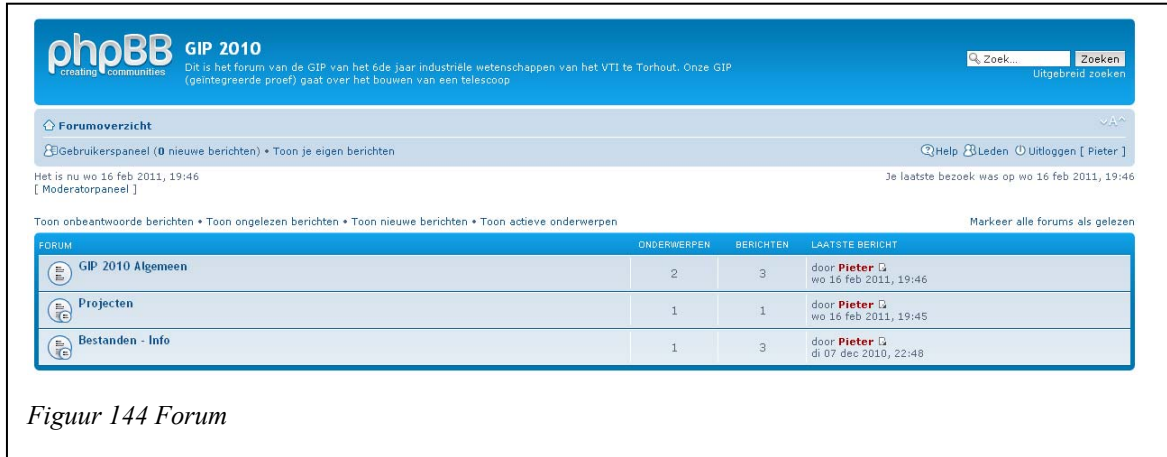
“Projecten”, op deze pagina staan de verschillende praktische onderwerpen waaronder we onze gip verdelen. Er zijn 5 hoofdonderdelen waarbij één onderdeel nog onderverdeeld is in 3 stukken. Op iedere pagina kan men een korte tekst vinden met de uitleg over het belang van dat onderdeel voor onze gip.

14.7.6 Verslagen

Hier kan de bezoeker de verslagen lezen die de klasgenoten gemaakt hebben na excursies, klasuitstappen of andere activiteiten.

14.7.7 Forum

Het forum is een plaats waar alle klasgenoten en enkele leerkrachten die iets met de gip te maken hebben iets kunnen posten. In deze berichten kunnen er ook bijlagen geplaatst worden van bijvoorbeeld tekeningen in Solid Edge. Elke klasgenoot en leerkracht kreeg



Figuur 144 Forum

een gebruikersnaam en een uniek wachtwoord. Hiermee kon men zich aanmelden op het forum van onze gip. Het forum werd ingedeeld in verschillende groepen waarin ook nog eens verschillende deelgroepen werden gemaakt. Dit alles om het forum overzichtelijk te houden.

Het forum is opgebouwd met een PHP forumcomponent gemaakt door <http://phpBB.nl>. Op deze website kun je een .rar bestand downloaden (een bestand met allemaal deelbestanden in), met installatiebestanden die men op de FTP-server van de website kon zetten. Eenmaal de bestanden op de server stonden, kon je het forum configureren en werd door PHP-server het forum volledig geïnstalleerd. Dit forum werd mij aangeraden door Tom Hollevoet, de maker van de website van vorig jaar.

14.7.8 Gastenboek

Het gastenboek is een webpagina waar de bezoekers van de website reacties kunnen plaatsen met wat de bezoekers over onze gip vinden of als er opmerkingen zijn.

De bezoekers kunnen, indien gewenst, hun e-mailadres en website achterlaten op het forum samen met een bericht.



Figuur 145 Gastenboek

Het gastenboek heeft een beveiliging. Enkel bezoeker moet ook nog een cijfercombinatie overtypen. Dit zorgt ervoor dat enkel reële mensen een bericht konden plaatsen op het gastenboek en dat spamrobots dit niet kunnen doen.

Ik heb gebruik gemaakt van de service van <http://youreon.nl/> die een heel goed gastenboekcomponent heeft. Om het gastenboek in de lay-out van de gip website te krijgen werd gebruikt gemaakt van een I-frame. Dit is een html code waarmee je de gewenste webpagina kan tonen in jouw website lay-out.

14.7.9 Contacten

Op de pagina “contacten” werden alle contacten die we tijdens de gip hebben gelegd verzameld en ook vermeld. Op deze pagina staan de belangrijkste mensen waarmee we in contact zijn gekomen en die ons gesteund hebben om deze gip te kunnen volbrengen.

14.7.10 Archief

Op deze pagina komen alle nieuwsfeiten die gedateerd zijn.

15 Bibliografie

1. Enkele begrippen uit de fysica

- Cursus Dhr. Verhaeghe van Fysica 2010-2011
- tekst: inleiding in de optica (II) (jaargang 26; nr. 4 juli/augustus 1986)
- www.nl.wikipedia.org/wiki/dispersie (26/1/11)
- www.nl.wikipedia.org/wiki/spectrum (23/1/11)
- www.nl.wikipedia.org/wiki/roodverschuiving (16/2/11)
- www.nl.wikipedia.org/wiki/abbe

2. Astronomie

Speurtocht door het heelal: sterrenkunde en ruimteonderzoek
(wetenschap in beweging Uitgeverij: Elsevier- Amsterdam/Brussel
Redactie: Robin Kerrod

Beweging van hemellichamen

- www.nl.wikipedia.org/wiki/nutatie
- [www.nl.wikipedia.org/wiki/oorde_\(planeet\)#Astronomische_eigenschappen](http://www.nl.wikipedia.org/wiki/oorde_(planeet)#Astronomische_eigenschappen)
- www.nl.wikipedia.org/wiki/precessie
- Cursus: de geboorte v/d astronomie: de hemelbol

Planisfeer

- www.nl.wikipedia.org/wiki/planisfeer
- Cursus: de geboorte van de astronomie: de positie van de sterren
- www.sterrenkunde.nl/index/encyclopedie/astrolabium.html

de dierenriem

- Cursus: de geboorte van de astronomie: de sterrenbeelden
- www.nl.wikipedia.org/wiki/dierenriem
- www.dezwerfkant.be/astro1.html

bepalen van de positie van de sterren/dwaalsterren

- Cursus: de geboorte van de astronomie: de positie van de sterren
- Cursus: de geboorte van de astronomie: de hemelbol

Sterrenkaart

- www.nl.wikipedia.org/wiki/sterrenbeelden

Cursus 5^{de} jaar aardrijkskunde

3. Glassoorten

- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Glas>
- <http://www.steinfort.nl/index.html?soortenglasptype.html>
- <http://www.glashandelvanaken.nl/Enkelglas.htm>
- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Amorf>

Bundel 'Inleiding in de optica': <http://www.nvpt.nl/files/86-4-007.pdf>

Natuur & Techniek, 63, 1 (1995). Bundel 'Nieuw Glas' (H.Verweij) Laboratorium voor Anorganische Materiaalkunde, Universiteit Twent.

4. Optica

- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Optica>
- [http://nl.wikipedia.org/wiki/Spiegel_\(optica\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Spiegel_(optica))
- <http://www.nvpt.nl/files/86-4-007.pdf>
- <http://www.nvpt.nl/files/86-5-010.pdf>
- http://nl.wikipedia.org/wiki/Sferische_aberratie
- http://www.physics.upenn.edu/balloon/gif/spherical_aberration.gif
- [http://nl.wikipedia.org/wiki/Astigmatisme_\(optica\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Astigmatisme_(optica))

Cursus fysica 6^e jaar (licht)

Cursus wiskunde 6^e jaar (parabool)

Cursus E. Craeynest (KHBO Oostende)

5. Slijpen – Polijsten – Paraboliseren

- <http://users.telenet.be/mollet.cornelis/telescoopbouw/page9.html>
- <http://users.telenet.be/telescoopbouw/slypnewt.htm>

cursus KHBO (HTI) Oostende E. De Cock (sferometer)

- <http://users.telenet.be/telescoopbouw/polijst%20met%20viltjes.htm>
- <http://gip-telescoopbouw.webs.com/>
- <http://users.telenet.be/mollet.cornelis/telescoopbouw/page23.html>
- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Polijsten>
- <http://users.telenet.be/telescoopbouw/fouctest.htm#Microrippel>
- www.google.be
- <http://users.telenet.be/telescoopbouw/images/parabool01.gif>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Foucault_knife-edge_test
- http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/8/8a/Foucault-Test_1.png
- http://en.wikipedia.org/wiki/Ronchi_test

6. Optische Coating

- “Optische coating” – Natuur en Techniek, 56, 1 (1988)
- Cursus fysica 6e jaar – Dhr. Verhaeghe
- Guy Wauters – Ugent, werkgroep kijkerbouw
- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Antireflectiecoating>
- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Newtonring>
- <http://www.azooptics.com/article.aspx?ArticleID=30&lang=nl>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Optical_coating

7. Beeldopname met CCD's

- Tekst: Werking van een CCD
- Tekst: webcam astrofotografie
 - Webcams
 - Verwerken van opname
- www.nl.wikipedia.org/wiki/CCD
- www.google.be/astrofotografie
- www.google.be/registax
- Programma: Registax; voor werking beter uit te leggen
- www.google.be/CCD-chip
- www.google.be/beeldverwerking
- http://nl.wikipedia.org/wiki/Digitale_beeldbewerking

Tijdschrift Natuur en Techniek, nummer 7 1995

8. Elektronica

Cursus elektronica 6^e jaar van de heer J. Boterberg

9. Verrekijker en 10. De telescoop

- Natuur & techniek 66,8 (1998) Hubble II
- Onderzoek: groot, groter astronomisch (uit kijk, maart 2001; artikel)
- <http://www.hubblesite.org/>
- http://nl.wikipedia.org/wiki/Ruimtetelescoop_Hubble
- <http://infobservador.blogspot.com/2011/02/la-expansion-del-universo.html> (foto)
- http://nl.wikipedia.org/wiki/Spitzer_Space_Telescope
- <http://paw.princeton.edu/issues/2010/09/22/pages/7948/index.xml> (foto)
- http://nl.wikipedia.org/wiki/Ruimtetelescoop_Herschel
- http://nl.wikipedia.org/wiki/James_Webb-ruimtetelescoop

Natuur & Techniek 66, 8 (1998) Hubble II

Kijk, september 2000, Bèta exact bekeken, Door Steven Bolt

11. Ontwerp van onze telescoop

- [http://nl.wikipedia.org/wiki/Montering_\(telescoop\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Montering_(telescoop))
- [http://nl.wikipedia.org/wiki/Montering_\(telescoop\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Montering_(telescoop))
- <http://www.astroforum.nl/astrowiki/index.php/Montering>
- <http://www.dekoepel.nl/sterrenkijker/montering.html>
- <http://www.astroforum.nl/astrowiki/index.php/Montering>
- <http://www.cynosura.nl/?p=163>
- <http://www.dekoepel.nl/sterrenkijker/montering.html>
- http://nl.wikipedia.org/wiki/Montering_%28telescoop%29
- http://en.wikipedia.org/wiki/Dobsonian_telescope
- <http://www.astroforum.nl/astrowiki/index.php/Montering>
- <http://www.cynosura.nl/?p=163>
- <http://www.dekoepel.nl/sterrenkijker/montering.html>
- http://nl.wikipedia.org/wiki/Montering_%28telescoop%29
- <http://members.ziggo.nl/jhm.vangastel/Astronomy/Poncet/poncet.htm>
- http://www.ganymedeshop.nl/epages/61805549.sf/nl_NL/?ObjectPath=/Shops/61805549/Products/%22SWDobson%20%22%22%22
- http://home.planet.nl/~asuyker/nvws/frames/zelfbouw_tel.htm
- http://wapedia.mobi/nl/Montering_%28telescoop%29
- <http://zenitvragen.blogspot.com/2005/01/parallactische-montering.html>
- http://www.inventionofthetelescope.eu/400y_telescope/content/view/79/1/lang.nl/
- http://nl.wikipedia.org/wiki/Telescoop_%28optica%29

- http://www.mesu-optics.nl/mount_nl.html
- http://www.astro-imaging.com/Equipment/Mesu_Mount_Nederlands.pdf
- http://www.inventionofthetelescope.eu/400y_telescope/content/view/31/33/lang,nl/
- http://www.inventionofthetelescope.eu/400y_telescope/content/view/32/33/lang,nl/
- http://www.inventionofthetelescope.eu/400y_telescope/content/view/33/33/lang,nl/
- http://www.inventionofthetelescope.eu/400y_telescope/content/view/52/33/lang,nl/
- http://www.inventionofthetelescope.eu/400y_telescope/content/view/81/33/lang,nl/
- http://www.inventionofthetelescope.eu/400y_telescope/content/blogsection/5/33/lang,nl/
- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Spiegeltelescoop>
- http://www.inventionofthetelescope.eu/400y_telescope/content/view/79/1/lang,nl/
- http://nl.wikipedia.org/wiki/Telescoop_%28optica%29

12. Bijlagen

13. Collimeren

14. Website