

# Visueel waarnemen: de zichtbaarheid van uitgebreide diepskyobjecten (door Jan van Gastel)

## 1. Inleiding

In het eerste artikel over de zichtbaarheid van diepskyobjecten hebben we vooral gesproken over de zichtbaarheid van puntbronnen en kwamen begrippen als achtergrondhelderheid, grensmagnitude, uittreepupil en vergroting aan de orde. In dit artikel gaan we het hebben over de zichtbaarheid van *uitgebreide* diepskyobjecten, zoals sterrenstelsels en planetaire en andere nevels. Het belangrijkste (en enige) mechanisme om met een bepaalde telescoop zwakkere sterren zichtbaar te maken was, zo hebben we in het vorige artikel gezien, door te vergroten het contrast tussen ster en achtergrondhelderheid te vergroten. Helaas werkt dit mechanisme niet bij uitgebreide objecten. In dit artikel gaan we na welke mechanismen we wel kunnen toepassen.

## 2. oppervlaktehelderheid

In het vorige artikel hebben we achtergrondhelderheid gedefinieerd als de ‘mate van donkerte’ waartegen we diepskyobjecten zien. Deze achtergrondhelderheid drukten we uit in magnitudes per vierkante boogseconden. Voor sterren, puntbronnen hanteerden we het bekende begrip magnitude: de totale hoeveelheid licht die de ster schijnbaar uitstraalt in de richting van de waarnemer. Ook voor uitgebreide diepskyobjecten wordt gewoonlijk de magnitude<sup>1</sup> vermeld, maar daar hebben we niet genoeg aan. Omdat een uitgebreid object in tegenstelling tot een ster vanaf de aarde gezien een bepaalde oppervlakte heeft is het licht, meer of minder gelijkmatig, uitgesmeerd over het gehele object. Om dit te beschrijven hebben we het begrip *oppervlaktehelderheid* nodig. De oppervlaktehelderheid van een diepskyobject kunnen we berekenen uit de magnitude en de oppervlakte van het object, in magnitudes per vierkante boogseconden, met formule 1. Wil men het in magnitudes per vierkante boogminuut, moet van de uitkomst  $2.5 \cdot \log(3600) = 8.9$  worden afgetrokken.

objecttype	naam	mag	grootte	opp. hld <sup>h</sup>
Gal	M31	4.3	3.1°x 1.0°	23.05
Gal	M33	6.3	66.1'x 39.8'	23.48
Gal	M 110	8.9	18.6'x 11.5'	23.35
Gal	M 74	10	10.5'x 9.5'	23.63
Pne	M76	12.2	1.1'	21.04

**Tabel 1: enkele diepskyobjecten met hun magnitude, afmetingen en oppervlaktehelderheid**

In tabel 1 is voor enkele bekende objecten de magnitude en de oppervlaktehelderheid gegeven. In deze tabel is te zien, dat *grote* objecten met een *lage* magnitude (dus veel licht), zoals M31 en M33 in vergelijking met *kleinere*, doch qua magnitude *lichtzwakkere* objecten als M110 en M74 een oppervlaktehelderheid hebben die in dezelfde orde van grootte ligt.

## 3. Zichtbaarheid: magnitude of oppervlakte helderheid?

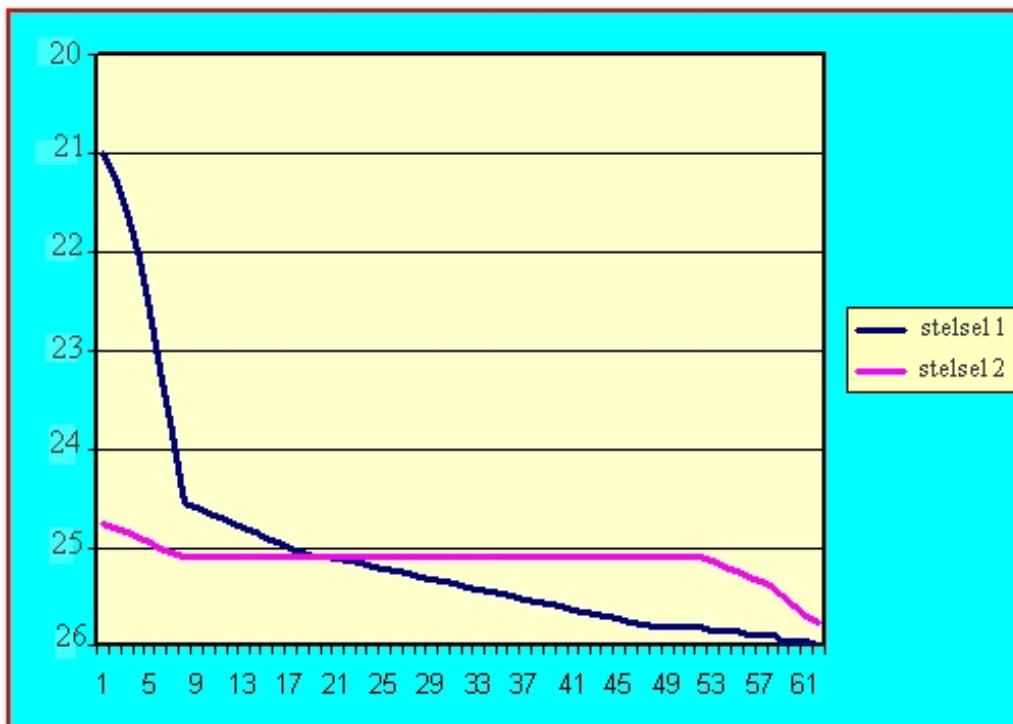
Wat bepaalt nu de zichtbaarheid van uitgebreide diepskyobject zoals de in tabel 1 genoemde objecten, de magnitude of de oppervlaktehelderheid? Eigenlijk beide. Als de magnitude van het object *hoger* is dan de grensmagnitude van de gebruikte telescoop zal het object, net als

---

<sup>1</sup> Ter verduidelijking: hoe *lager* de magnitude, hoe *helderder* het object en hoe *hoger* de magnitude hoe *minder helder* het object. Bij oppervlaktehelderheid en achtergrondhelderheid is dat ook zo: hoe *hoger* het aantal magnituden/boogseconde<sup>2</sup> hoe *lager* de achtergrondhelderheid (ofwel hoe donkerder de achtergrond) of oppervlaktehelderheid (ofwel hoe minder helder het object) en omgekeerd.

een te zwakker ster, onzichtbaar blijven, hoe hoog (weinig magnitudes/boogseconde<sup>2</sup>) in verhouding ook de oppervlaktehelderheid. Ligt het object qua magnitude *wel* binnen het bereik van de telescoop, dan komt de oppervlaktehelderheid ook in beeld. Een groot object zal dan, vanwege een lage oppervlaktehelderheid (veel magnitudes/boogseconde<sup>2</sup>) niet of minder gemakkelijk zichtbaar zijn dan een klein object van dezelfde magnitude, waarvan het licht over een minder groot oppervlak is uitgesmeerd. Een voorbeeld van zo'n object is de planetaire nevel M76 in tabel 1, een object van magnitude 12 van 1.1 boogminuut diameter. De oppervlaktehelderheid in magnitudes/boogseconde<sup>2</sup> (21.1) is door de geringe grootte beduidend lager, dan die van de andere objecten.

Bij het berekenen van de oppervlaktehelderheid gaan we er impliciet van uit dat het licht gelijkmatig over het object is verdeeld. Dat is in de praktijk niet altijd waar. Vooral bij sterrenstelsels zit het meeste licht gewoonlijk in het centrum, om dan naar de rand toe meer of minder snel af te nemen. Daardoor is de oppervlaktehelderheid van het binnenste deel, bijvoorbeeld de binnenste 'cirkel' van 1 vierkante boogminuut, (veel) hoger dan van de buitendelen van het stelsel. Van zo'n stelsel is dan vaak met een bepaalde telescoop wel het heldere binnengebied zichtbaar, maar de buitengebieden niet. Als voorbeeld is in figuur 1 van twee verzonnen sterrenstelsels, met een in totaal gelijke hoeveelheid licht (dezelfde magnitude dus), het verloop vanaf het centrum naar de rand toe aangegeven.



**Figuur 1: lichtverloop in tweesterrenstelsels**

Op de y-as staat de oppervlaktehelderheid aangegeven in magnitudes/boogseconde<sup>2</sup>, op de x-as de straal van de stelsels in boogminuten. In een telescoop waarmee objecten kunnen worden gezien tot een oppervlaktehelderheid van 24.5 magnitudes/boogseconde<sup>2</sup>, is alleen het centrale deel van stelsel 1, met een diameter van ongeveer 16 boogminuten zichtbaar, terwijl stelsel 2 geheel onzichtbaar blijft. Een telescoop waarmee objecten tot 25 magnitudes/boogseconde<sup>2</sup> zichtbaar zijn, maakt nog net de binnenste 10 boogminuten van stelsel 2 zichtbaar. Pas met een telescoop die gaat tot bijna 26 magnitudes/boogseconde<sup>2</sup> worden beide stelsels geheel zichtbaar. De consequenties van de ongelijke lichtverdeling voor

het voorspellen van de zichtbaarheid van uitgebreide objecten zullen uitgebreid in een volgend artikel worden besproken.

#### **4. het contrast**

De zichtbaarheid van een diepskyobject wordt in hoge mate bepaald door de achtergrondhelderheid in relatie tot de oppervlaktehelderheid van het object, ofwel het *contrast* tussen achtergrond en object. Of beter gezegd: het contrast tussen de *gecombineerde helderheid van object en achtergrond* enerzijds en de *achtergrondhelderheid* anderzijds (zie onder meer Carlin, 1997). We zien immers als we naar een object kijken het door het object uitgezonden licht niet geïsoleerd, maar in combinatie met de achtergrondhelderheid<sup>2</sup>. Deze gecombineerde helderheid kan uit de achtergrondhelderheid en de oppervlaktehelderheid worden berekend met formule 3. Om zichtbaar te zijn moet het waar te nemen object voor ons oog ‘afsteken’ tegen de achtergrond, door een verschil in helderheid tussen achtergrond en object<sup>3</sup>. Het menselijk oog kan erg lage contrasten waarnemen, maar niet onder alle omstandigheden dezelfde. Voor ons als waarnemer van lichtzwakke, uitgebreide diepskyobjecten is van belang dat:

- naarmate de achtergrond *helderder* is, een *lager* contrast kan worden waargenomen;
- bij *gelijk* contrast, naarmate de achtergrond *donkerder* is, *grote* objecten (qua hoekgrootte) gemakkelijker kunnen worden waargenomen dan *kleine* objecten.

Grote objecten worden gemakkelijker waargenomen omdat het licht ervan op meer lichtgevoelige receptoren in ons oog terechtkomt. Daarom is het vergroten van objecten belangrijk. De totale hoeveelheid licht die ons van een object bereikt verandert er niet door, maar het aanwezige licht wordt over een groter oppervlak uitgespreid, zodat het meer gevoelige receptoren in ons oog activeert. Daardoor zijn onze hersenen beter in staat om de waarneming van het object tot ons bewustzijn te laten doordringen. Als te weinig receptoren geprikkeld worden, negeert het brein als het ware de informatie (zie literatuur 6 voor een wat uitgebreidere uitleg).

Ter illustratie van het bovenstaande kijken we (volgende pagina) naar figuur 2 (uit Clark, 1990). Hoe verder naar rechts in de figuur, hoe donkerder de achtergrond. Hoe verder naar beneden, hoe lager het contrast. Het contrast is  $10^{(\log \text{contrast})}$ , dat van boven naar beneden dus gaat van 100000 tot 0.01.

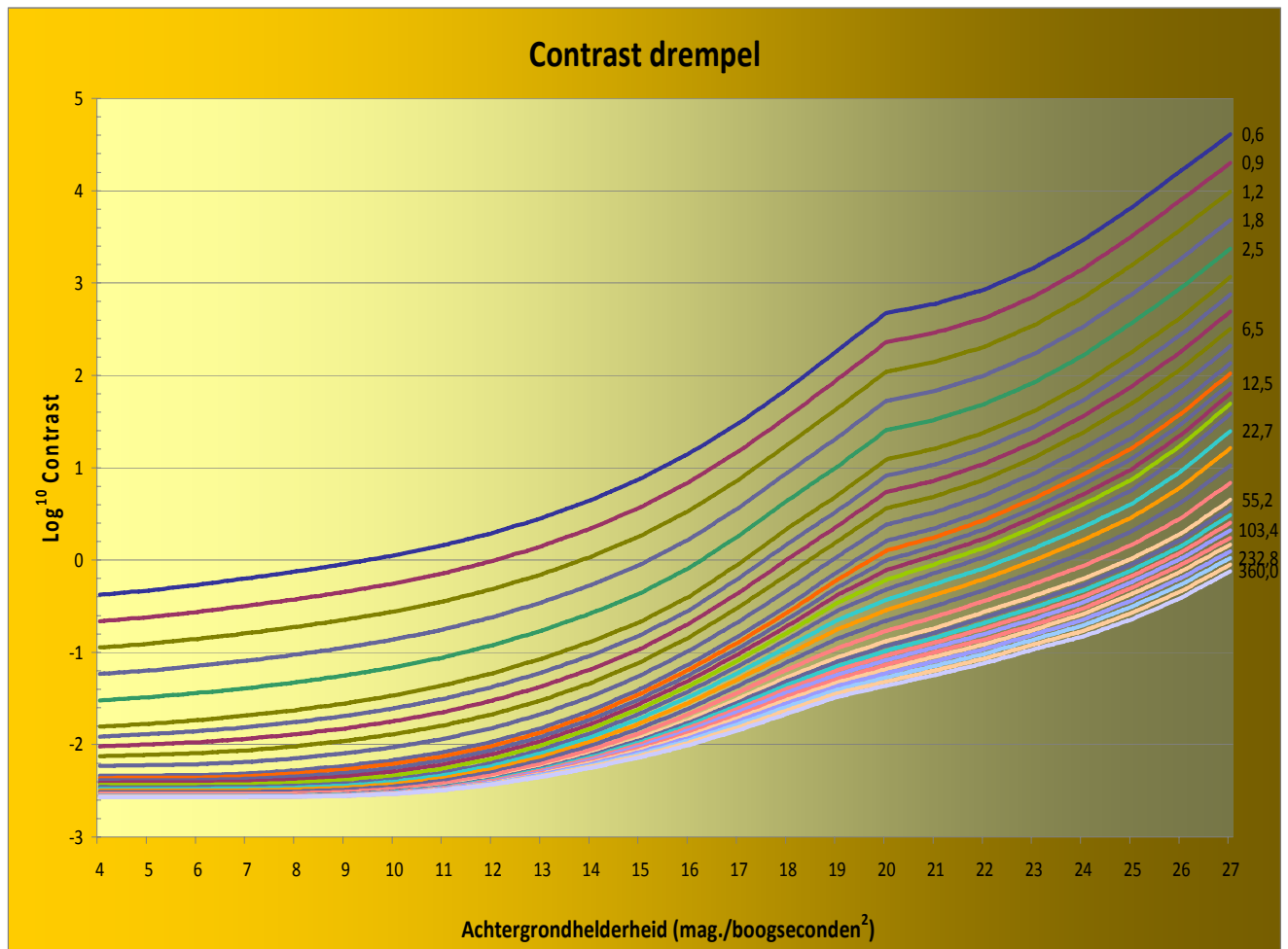
De lijnen in figuur 2 geven de relatie aan tussen de *hoekgrootte* van het object, het *contrast* object-achtergrond en de *achtergrondhelderheid*, als de zogenaamde drempelwaarde (we komen hierop later terug). We zien bijvoorbeeld, dat we om een object van 0.6 boogminuten doorsnee te kunnen waarnemen bij een achtergrondhelderheid van 18 magnitudes/boogseconde<sup>2</sup>, een contrast nodig hebben tussen achtergrond en object van 100 (log contrast = 2). Willen we hetzelfde object waarnemen bij een achtergrondhelderheid van 27 magnitudes/boogseconde<sup>2</sup> (we gaan nu horizontaal naar rechts in figuur 2), dan moeten we het vergroten tot een hoekgrootte van ongeveer 12.5 boogminuten. Willen we een object van 0.6 boogminuten waarnemen bij een achtergrondhelderheid van 27 magnitudes/boogseconde<sup>2</sup> dan kan dat, zo zien we in figuur 2 helemaal bovenin rechts, bij een log contrast van ongeveer 4.6 (een contrast van  $10^{4.6}$  = bijna 40000!). Bij de gegeven achtergrondhelderheid is dat een object met een oppervlaktehelderheid van 15.5 magnitudes/boogseconde<sup>2</sup>. ‘Contrast’ en ‘log

---

<sup>2</sup> Voorbeeld: een object met een oppervlaktehelderheid van 1% van de achtergrondhelderheid nemen we waar alsof het een helderheid heeft van 101% van de achtergrondhelderheid.

<sup>3</sup> We bedoelen met de ‘oppervlaktehelderheid van het object’ voortaan de hierboven vermelde gecombineerde helderheid.

contrast' kunnen worden berekend uit de achtergrondhelderheid en de gecombineerde oppervlaktehelderheid/achtergrondhelderheid, met formule 4 en 5.



Figuur 2: relatie tussen contrast, achtergrondhelderheid en grootte van het object (gemaakt op basis van gegevens van Blackwell, door Martin Maters)

### 5. Objectiefdiameter en vergroting

Het cruciale verschil tussen zichtbaar maken van zwakke sterren en van uitgebreide diepskyobjecten door vergroting is, dat bij uitgebreide objecten niet alleen het achtergrondlicht uitgesmeerd wordt, maar ook het licht van het object zelf. En wel beide in dezelfde mate. In tegenstelling tot wat bij sterren het geval was, kunnen we door vergroting dus niet het contrast tussen object en de achtergrond vergroten. Wat we ook met een telescoop doen: het contrast blijft wat het is<sup>4</sup>. De enige manier om het contrast te vergroten is ons met de telescoop naar donkere oorden begeven, als we ons daar al niet bevinden.

Kunnen door een telescoop met een grotere spiegel of lens aan te schaffen de achtergrondhelderheid en de objecthelderheid wellicht vergroten? Nee, ook dat kan niet. Object en achtergrond worden *nooit* helderder dan met het blote oog, hoe groot ook de objectiefdiameter die we kiezen. We vangen ten opzichte van onze oogpupil (blote oog) weliswaar meer licht met een telescoop en wel meer naargelang de objectiefdiameter toeneemt, maar omdat we al dat licht weer binnen die zelfde oogpupil moeten bundelen, spreiden we het, door de vergroting die daarmee noodzakelijkerwijs gepaard gaat, weer

<sup>4</sup> We kunnen het contrast soms wel met filters vergroten, maar daar gaan we in dit artikel niet op in.

precies zoveel uit dat uiteindelijk dezelfde helderheid van object en achtergrond overblijft. Omdat er licht in de telescoop verloren gaat, houden we om precies te zijn zelfs nog wat minder licht van achtergrond en object over dan we met het blote oog waarnemen. Als we het contrast tussen object en achtergrond niet kunnen vergroten, wat kunnen we dan wel met een telescoop? Het enige wat we kunnen is vergroten en wel meer naargelang de objectiefdiameter toeneemt<sup>5</sup>. Vergroten heeft drie tegelijkertijd optredende effecten op uitgebreide objecten: (a) een grotere hoekgrootte van het object, (b) een donkerder achtergrond en (c) een in gelijke mate donkerder object. Deze effecten treden altijd op. We kunnen er niet voor kiezen er een of meer niet te laten optreden. Door het object te vergroten kunnen we gebruik maken van het feit dat onder *donkere* omstandigheden *grote* objecten beter zichtbaar zijn dan kleine, zolang we het niet zo donker maken dat we de drempelwaarde (zie onder) overschrijden.

Wat hebben we aan een telescoop met een groot objectief als we ook met een kleinere telescoop kunnen vergroten? Het voordeel van een grote objectiefdiameter is, dat we gebruik kunnen maken van het hierboven reeds vermelde gegeven, dat we op een heldere achtergrond zwakkere contrasten kunnen waarnemen dan op een donkere achtergrond. Een helder object tegen een heldere achtergrond, is bij *gelijk contrast* tussen object en achtergrond dus beter te zien dan een even groot lichtzwak object tegen een donkere achtergrond. Neem bijvoorbeeld een vergroting van 100x, met een 100 mm telescoop en met een 400 mm telescoop. De 100 mm telescoop heeft dan een uittreepupil van 1 millimeter, de 400 mm telescoop van 4 millimeter doorsnee. De achtergrond en het object gezien door de 400 mm telescoop zijn dus - terwijl het contrast in beide gevallen gelijk is - maar liefst  $(400/100)^2 = 16x$  zo helder als door de 100 mm telescoop, wat neerkomt op een helderheidsverschil van  $2.5 * \log(16) = 3.01$  magnitudes/boogseconde<sup>2</sup>. Kijken we met beide telescopen bij gelijke vergroting naar hetzelfde lichtzwakke object, dan zal het dus in de 400 mm telescoop beter te zien zijn, mogelijk zelfs alleen door deze en niet door de 100 mm telescoop.

We kunnen dit ook in tabel 2 terugvinden. Bij een uittreepupil van 4 millimeter (te vinden in de linkerkolom) zien we in de meest rechterkolom een achtergrondhelderheid van 23.22. Voor een uittreepupil van 1 mm zien we in de rechterkolom een achtergrondhelderheid van 26.23

pupil ↓	Achtergrondhelderheid van veel lichtvervuiling (linkerkolom) tot geen lichtvervuiling								
7	18.00	18.50	19.00	19.50	20.00	20.80	21.00	21.60	22.00
6.5	18.16	18.66	19.16	19.66	20.16	20.96	21.16	21.76	22.16
6	18.33	18.83	19.33	19.83	20.33	21.13	21.33	21.93	22.33
5.5	18.52	19.02	19.52	20.02	20.52	21.32	21.52	22.12	22.52
5	18.73	19.23	19.73	20.23	20.73	21.53	21.73	22.33	22.73
4.5	18.96	19.46	19.96	20.46	20.96	21.76	21.96	22.56	22.96
4	19.22	19.72	20.22	20.72	21.22	22.02	22.22	22.82	23.22
3.5	19.51	20.01	20.51	21.01	21.51	22.31	22.51	23.11	23.51
3	19.84	20.34	20.84	21.34	21.84	22.64	22.84	23.44	23.84
2.5	20.24	20.74	21.24	21.74	22.24	23.04	23.24	23.84	24.24
2	20.72	21.22	21.72	22.22	22.72	23.52	23.72	24.32	24.72
1.5	21.35	21.85	22.35	22.85	23.35	24.15	24.35	24.95	25.35
1	22.23	22.73	23.23	23.73	24.23	25.03	25.23	25.83	26.23
0.5	23.73	24.23	24.73	25.23	25.73	26.53	26.73	27.33	27.73

Tabel 2: achtergrondhelderheid en lichtvervuiling

<sup>5</sup> Als we het tenminste bij in de waarneempraktijk zinvolle vergrotingen willen houden.

magnitudes/boogseconde<sup>2</sup>. Net als hierboven dus een verschil dus van 3.01 magnitudes/boogseconde<sup>2</sup>. Precies hetzelfde verschil van 3.01 magnitudes/boogseconde<sup>2</sup> vinden we in de andere kolommen ook terug als we kijken naar de bij dezelfde pupilgrootten horende achtergrondhelderheden. Het voordeel van een groot objectief is dus (behalve een hogere grensmagnitude) dat we bij *eenzelfde vergroting* met een *grotere uittreepupil* waarnemen, waardoor het beeld (zowel het object als de achtergrond) *helderder* is, waardoor we *lagere contrasten* kunnen waarnemen. Dit roept wellicht de gedachte op: waarom dan niet naar een wat meer lichtvervuilde omgeving, want daar is de achtergrond helderder. Dat klopt inderdaad, maar omdat het contrast tussen object en achtergrond daardoor lager is, zal het object niet beter, maar juist slechter zichtbaar zijn.

## 6. Drempelwaarde contrast

Bij een bepaalde grootte van een object en een bepaalde achtergrondhelderheid, hoort een contrast tussen object en achtergrond waarbij het object *nog net* zichtbaar is. Zou het contrast verder dalen, of zorgen we er door vergroten voor dat achtergrond en object donkerder worden, dan zien we het object niet meer. Dit contrast noemen we de *drempelwaarde* (Clark (1990)). Het contrast kan alleen veranderen als de achtergrondhelderheid in verhouding tot de oppervlaktehelderheid van het object verandert<sup>6</sup>, omdat de oppervlaktehelderheid van het object onder alle omstandigheden gelijk is. We kunnen met een telescoop niet de achtergrondhelderheid veranderen zonder de oppervlaktehelderheid van het object waar we naar kijken in gelijke mate te veranderen. We kunnen wel de *voorwaarden* veranderen waaronder een bepaald contrast nog net zichtbaar is. Dat kan door meer of minder te gaan vergroten. We hebben hier echter twee tegenstrijdige mechanismen die, zoals eerder vermeld, noodzakelijkerwijs gelijktijdig optreden:

- vergroten we *weinig* (om achtergrond en object niet te donker te maken), dan blijft misschien de hoekgrootte van het object te gering;
- vergroten we *veel* (om een optimale hoekgrootte te bereiken) dan wordt het beeld (achtergrond en object) te donker.

We zullen dus naar een *optimale vergroting* moeten zoeken, waardoor we een balans vinden tussen de donkerte en de hoekgrootte van het object. Clark (1990) noemt deze optimale hoekgrootte de Optimum Magnified Visual Angle (OMVA). Vergroten we nog meer, aldus Clark, dan wint het negatieve effect van de verdonkering het van het positieve effect van de vergroting en komen we onder de drempelwaarde terecht, waardoor het object niet meer zichtbaar is. De optimale vergroting voor een bepaald object, onder bepaalde omstandigheden, met een bepaalde telescoop noemt Clark 'Optimum Detection Magnification' (ODM). Let wel: bij OMVA en ODM gaat het om een optimum. Ook voor en na de optimale vergroting is het object wel te zien, maar minder goed naargelang we ons er verder van verwijderen. De range van vergrotingen waarbinnen het object zichtbaar is, is echter kleiner naarmate het object qua oppervlaktehelderheid de grens nadert van wat met een bepaalde telescoop nog zichtbaar is.

Carlin (1997) verschilt van mening over de ODM met Clark (zonder het met het principe oneens te zijn) en komt op basis van dezelfde data (ontleend aan Blackwell, 1946) tot enigszins andere resultaten, met name een wat lagere en wat minder duidelijke optimale hoekgrootte<sup>7</sup>. Volgens Carlin, levert het vergroten van een object tot (veel) meer dan een graad geen extra kans op zichtbaarheid van zwakke objecten op. Zijn advies ('rule of thumb') is om bij het kijken naar zeer zwakke objecten zover te vergroten tot het beeldveld zo donker

---

<sup>6</sup> Dat doen we door naar een lichter of donkerder omgeving te gaan.

<sup>7</sup> Er is meer kritiek op Clark, maar daar gaan we in een volgend artikel op in.

is, dat de fieldstop van het oculair nog maar moeilijk is te zien, of tot het object een hoekgrootte van ongeveer een graad heeft, welke van de twee zich het eerst voordoet.

### 7. Heeft een groter objectief ook zin onder lichtvervulde hemel?

Deze vraag wordt veel gesteld op mailinglists, in nieuwsgroepen en op bijeenkomsten over amateurastronomie. En even vaak dan ‘ja’, zoniet vaker, luidt het antwoord ‘nee’. Dit laatste is echter een fabel, die we in het vorige artikel al corrigeerden met betrekking tot de haalbare grensmagnitude en die we hier zullen ontzenuwen met betrekking tot uitgebreide objecten.

Het enige verschil tussen een lichtvervulde en een niet lichtvervulde hemel is de achtergrondhelderheid. De helderheid van het object is overal gelijk, dus het *contrast* tussen object en achtergrond is onder lichtvervulde omstandigheden kleiner. Verder werken onder alle omstandigheden precies dezelfde mechanismen en is het enige wat we met een telescoop kunnen doen een meer of minder hoge vergroting toepassen, die zoals we gezien hebben twee tegengesteld op de drempelwaarde werkende tendensen opleveren: vergroting (positief) en verdonkering van de achtergrond (negatief). Bij een lager contrast bereiken we eerder de drempelwaarde waardoor elke telescoop minder zal presteren. Het verschil tussen telescopen met verschillende objectiefdiameters blijft echter in dezelfde mate bestaan.

Objectiefdiameter telescoop	100 mm	200 mm	400 mm	100 mm
1. Oppervlaktehelderheid object	21.07	21.07	21.07	21.07
2. achtergrondhelderheid	19.50	19.50	19.50	20.80
3. Reductie helderheid door ODM	4.50	3.64	2.13	3.43
4. Achtergrondhelderheid bij ODM	24.00	23.14	21.63	24.23
5. Achtergrond+objecthelderheid bij ODM	23.77	22.91	21.40	23.60
6. Contrast	0.23	0.23	0.23	0.78
7. Log contrast	-0.63	-0.63	-0.63	-0.11
8. Log drempelwaarde contrast	-0.40	-0.68	-0.91	-0.15
9. Log contrast verschil	-0.22	0.05	0.28	0.04
10. Vergroting	111 x	121 x	54 x	55 x
Zichtbaar?	nee	ja	ja	ja

Tabel 3: invloed lichtvervuiling verschillende objectiefdiameters

Als voorbeeld vergelijken we<sup>8</sup> in tabel 3 drie kwalitatief gelijke telescopen met spiegels van 100, 200 en 400 mm doorsnee en plaatsten die naast elkaar onder een lichtvervulde hemel (achtergrondhelderheid 19.5 magnitudes/boogseconde<sup>2</sup>). We kijken ermee naar een object van magnitude 12 met afmetingen van 1' en 1.5' (korte en lange as) en gaan er, refererend aan hetgeen we in paragraaf 3 over de lichtverdeling over objecten hebben opgemerkt, van uit dat het licht gelijkmatig over het object verdeeld is. We lopen de tabel stapsgewijs door en laten de laatste kolom, waar we de 100 mm kijker onder een donkerder hemel bekijken, even buiten beschouwing tot het eind van de bespreking van de tabel.

1. In rij 1 en 2 staan de oppervlaktehelderheid van het object (berekend met formule 1) en de achtergrondhelderheid. Deze zijn onafhankelijk van de telescoop en voor alledrie de telescopen gelijk.
2. In rij 10 staat de optimale vergroting. Met de 100 mm telescoop is het object onzichtbaar. De 111x die voor die telescoop staat aangegeven is de plaats waar het programma is gestopt. Meer of minder vergroten leidt allemaal tot dezelfde conclusie ‘onzichtbaar’.

<sup>8</sup> Berekend met het programma ODM (optimum detection magnification) van Mel Bartels.



3. “Reductie helderheid bij ODM” in rij nummer 3 is de vermindering van de helderheid van de achtergrond door de vergroting die in rij 10 is aangegeven. We zien dat deze helderheidsvermindering *lager* is naarmate het objectief van de telescoop *groter* is. Dat is logisch, want een vergroting van 121x met een 200 mm telescoop geeft een grotere uittreepupil dan een vergroting van 111x met een 100 mm telescoop, namelijk  $100/121=1.65$  mm voor de 200 mm telescoop en  $100/111=0.9$  mm voor de 100 mm telescoop. Een vergroting van 54x met een 400 mm telescoop geeft een nog grotere uittreepupil,  $400/54=7.4$  mm..
4. Tellen we de ‘reductie helderheid’ uit rij 3 op bij de oorspronkelijke achtergrondhelderheid van 19.50, dat krijgen we de ‘achtergrondhelderheid bij ODM’, van rij 4.
5. In rij 5 is met formule 3 de gecombineerde helderheid van object en achtergrondhelderheid berekend<sup>9</sup>.
6. In rij 6 staat het contrast. Dat is voor alle drie telescopen uiteraard gelijk, want het gaat (a) om hetzelfde object, (b) onder dezelfde hemel en (c) zoals eerder uiteengezet verandert het contrast niet door vergroting.
7. Wel verschillend per telescoop is de ‘drempelwaarde contrast’ in rij 8. *Juist die drempelwaarde*, in wezen resultaat van eigenschappen van ons oog, is afhankelijk van de hoekgrootte van het object en de achtergrondhelderheid. Met de 200 mm telescoop wordt die drempelwaarde bijna bereikt. Het zal dan ook enige moeite kosten om het object met die telescoop te zien. Met de 400 mm telescoop zal het object goed te zien zijn. In de 100 mm telescoop is het verschil in ‘log contrast’ en ‘log drempelwaarde contrast’ negatief en is het object niet te zien.
8. Om aan te tonen dat het object onder betere omstandigheden met de 100 mm telescoop wel te zien is, kijken we naar de laatste kolom in tabel 3. De 100 mm telescoop staat nu onder een hemel met achtergrondhelderheid 20.8 magnitudes/boogseconde<sup>2</sup> en nu is het object in deze telescoop wel zichtbaar. De belangrijkste verschillen met dezelfde telescoop in kolom 2 zijn (a) de relatief lage vergroting (55 x) die nodig is om het object zichtbaar te maken en (b) het hogere contrast in vergelijking met de drie vorige kolommen, door de donkerder achtergrond.

Het antwoord op de oorspronkelijke vraag in de kop van deze paragraaf luidt dus, zo blijkt ook hier, dat de uitspraak ‘aperture wins’ ook opgaat onder lichtvervulde omstandigheden.

### **8. Het grote belang van contrast**

Wel is het natuurlijk zo dat, met alle drie de telescopen, onder goede omstandigheden veel meer zichtbaar is, omdat het contrast tussen object en achtergrond hoger is. Contrast is zo belangrijk dat het heel goed kan voorkomen, dat in de Franse Alpen met een 100 mm telescoop een object wel te zien is en in Nederland zelfs met een 500 mm telescoop niet. In tabel 4 hieronder staat een voorbeeld. Daarin wordt de zichtbaarheid berekend van een object van magnitude 12 met een diameter van 2 boogminuten, met een 100 en een 500 mm telescoop. De 100 mm telescoop staat onder een echt donkere hemel (achtergrondhelderheid 21.7 magnitudes/boogseconde<sup>2</sup>), zoals in de Alpen voorkomt. De 500 mm telescoop onder een lichtvervulde hemel (achtergrondhelderheid 19 magnitudes/boogseconde<sup>2</sup>) ergens in Nederland. Het object is met de 500 mm telescoop niet zichtbaar, met de 100 mm telescoop wel. Ik kan u uit ervaring verzekeren dat dit echt klopt.

---

<sup>9</sup> Omdat het gaat om de gecombineerde helderheid bij de optimale vergroting is bij het resultaat van formule 3 steeds de ‘reductie helderheid bij ODM’ opgeteld.



Objectiefdiameter telescoop	100 mm	500 mm
Oppervlaktehelderheid object	22.13	22.13
achtergrondhelderheid	21.70	19.00
Reductie helderheid door ODM	2.25	0.40
Achtergrondhelderheid bij ODM	23.95	19.40
Achtergrond+objecthelderheid bij ODM	23.40	19.34
Contrast	0.66	0.06
Log contrast	-0.18	-1.25
Log drempelwaarde contrast	-0.27	-1.25
Log contrast verschil	0.10	0.00
Vergroting	32 x	83 x
Zichtbaar?	ja	nee

*Tabel 4: vergelijking 100 en 500 mm telescoop, onder respectievelijk een echt donkere en een lichtvervuilde hemel.*

Hoewel, zoals we hierboven hebben gezien, de uitspraak ‘aperture wins’ ook onder lichtvervuilde omstandigheden opgaat, gaat er dus niets boven een echt donkere hemel en is het in verhouding daarmee onder lichtvervuilde omstandigheden toch maar ‘behelpen’ met meer ‘aperture’, als het gaat om het waarnemen van zwakke deepskyobjecten of het waarnemen van subtiele details (helderheidsverschillen) in heldere deepskyobjecten. ‘Nothing beats contrast’. Toen ik enkele jaren geleden, net twee dagen terug uit de Alpen, met enkele andere waarnemers op een voor West-Nederland redelijk donkere plek stond op de dijk tussen Lelystad en Enkhuizen, vroeg iemand met een 30 cm Newton mij hoeveel hij moest vergroten om de donkere banen in de Andromedanevel te zien. Wat we ook probeerden: verder dan één donkere baan (en dan nog met enige moeite) kwamen we niet. Terwijl er enkele dagen daarvoor in de Alpen, ook met een 30 cm Newton, twee donkere banen, zelfs bij een snelle blik in het oculair, ‘uitknalden’ bij de laagste vergroting. Het beste advies voor iemand die in een lichtvervuilde omgeving woont en zwakke objecten wil waarnemen is, zonder afbreuk te willen doen aan hetgeen in de vorige paragraaf is uiteengezet, dan ook niet ‘koop een grotere telescoop’ maar ‘koop een auto om je telescoop naar een donkere, transparante omgeving te vervoeren’. Een combinatie van beide is natuurlijk nòg beter. Eén blik door mijn 50 cm telescoop op de Col D’Izoard in de Franse Alpen, op welk bekend deepskyobject dan ook, zal zelfs de meest verstokte ongelovige daar direct van overtuigen.

## Formules

1. Formule 1: berekenen van de oppervlaktehelderheid van een object uit de magnitude en de afmetingen van het object  
 $H = M + 2.5 \cdot \log(((L_a \cdot K_a \cdot \pi) / 4) \cdot 3600)$  magnitudes/ boogseconde<sup>2</sup>,  $H$ = oppervlaktehelderheid,  $M$ =magnitude,  $L_a$ = lange as van het object in boogminuten,  $K_a$ =korte as van het object in boogminuten. Laat men het getal '3600' weg uit de formule dan wordt de oppervlaktehelderheid in boogminuten berekend.
2. Formule 2: berekenen van de magnitude van een object uit de oppervlaktehelderheid en de afmetingen:  $M = H - 2.5 \log(((L_a \cdot K_a \cdot \pi) / 4) \cdot 3600)$ .
3. Formule 3: Berekening gecombineerde helderheid achtergrond en object:  
 $OA = -2.5 \cdot \log((10^{(-0.4H)} + (10^{(-0.4A)})))$ ,  $OA$ = gecombineerde helderheid achtergrond en object,  $A$ =achtergrondhelderheid.
4. Formule 4: berekening van het contrast tussen gecombineerde helderheid objecten achtergrond enerzijds en achtergrondhelderheid anderzijds:  $C = 10^{-0.4(OA-A)}$ ,  $C$  = contrast.
5. Formule 5: berekening log contrast (1)  $LC$  = de logaritme uit  $C$ , of rechtstreeks:  $LC = -0.4(OA-A)$ .

## Literatuur

1. Roger N. Clark (1990), Visual Astronomy of the Deep Sky, Sky Publishing Corporation & Cambridge University Press, Cambridge, Massachusetts, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney.
2. H. R. Blackwell (1946), Contrast thresholds of the human eye, J. Opt. Soc. Am. 36, 624-643.
3. R.N. Clark (2005), Optimum Magnified Visual Angle, Visual Astronomy of the Deep Sky, op: <http://clarkvision.com/visastro/omva1/index.html>
4. Nils Olof Carlin (1997), Another interpretation of the data from Blackwell, H.R. (1946): Contrast thresholds of the human eye, op: <http://web.telia.com/~u41105032/visual/blackwel.htm>
5. Mel Bartels, Visual Astronomy: an investigation into the visual optimum detection magnification, op: <http://www.bbastrodesigns.com/visual.html>
6. Alan M. MacRobert: Secrets of Deep-Sky Observing, op <http://skytonight.com/howto/basics/3304001.html?page=5&c=y>
7. Mel Bartels: ODM, programma voor het berekenen van de Optimum Detection Magnification (gebaseerd op Clark, 1990), te downloaden vanaf: <http://www.bbastrodesigns.com/dnld/odm.zip>
8. American Optometric Association: The eye and nightvision, op: <http://www.aoa.org/x5352.xml>