

studio



# KLEUREN ZIEN, VERWERKEN EN REPRODUCEREN

DEEL I

VAARDIGHEDEN EN GRENZEN VAN  
DE VISUELE WAARNEMING

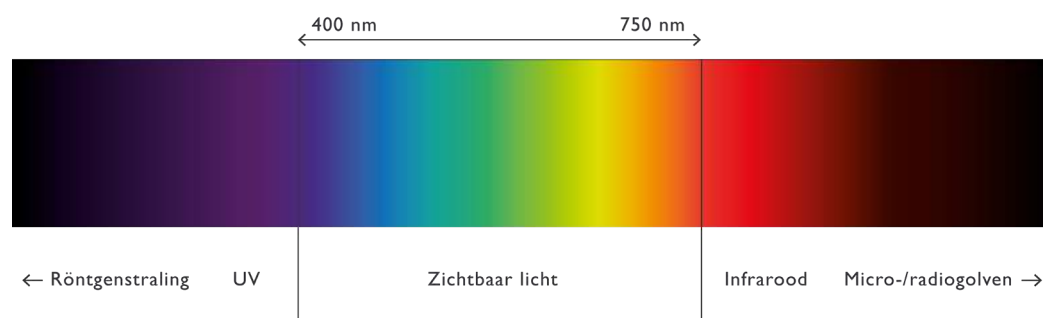


# Licht als basis voor het menselijke gezichtsvermogen

## VERWERKING VAN ELEKTROMAGNETISCHE STRALING DOOR HET NETVLIES

Het menselijk oog is fysiek in staat om elektromagnetische straling in de vorm van licht met een golflengte van ongeveer 400 tot 700 nanometer waar te nemen. Dat is de basis voor onze perceptie van kleur. De mens ziet straling van deze golflengte dankzij receptoren op het netvlies, waarvan de pigmenten door licht chemisch veranderen. Het grootste deel van de zonnestraling die het aardoppervlak bereikt, valt binnen het voor mensen zichtbare bereik. Zo heeft ons systeem om kleuren te zien zich in de loop van de evolutie optimaal aangepast aan onze omgevingsomstandigheden.

De soort kleurinformatie die wij ontvangen, wordt bepaald door twee belangrijke factoren: het golflengtebereik (spectrale verdeling) van de lichtbron en de door de oppervlakken van voorwerpen gereflecteerde informatie (reflectiegraad). Slechts een deel van het op een voorwerp vallend licht wordt gereflecteerd, de rest wordt geabsorbeerd en meestal in de vorm van warmte weer afgegeven. Zodoende is het licht dat het oog bereikt het resultaat van verlichting en reflectiegraad. Als we een wit blad papier zien, dat rood wordt verlicht (of omgekeerd: een rood blad, dat wit wordt verlicht), dan is onze kleurperceptie in beide gevallen hetzelfde: we zien rood. Hoewel beide varianten fysiek tot dezelfde golflengteverdeling zorgen, trekt ons visuele systeem conclusies uit de reflectiegraad van de voorwerpen. Dit vermogen van ons optische waarnemingsvermogen wordt "kleurconstantie" genoemd. We zullen dit later uitgebreider behandelen.



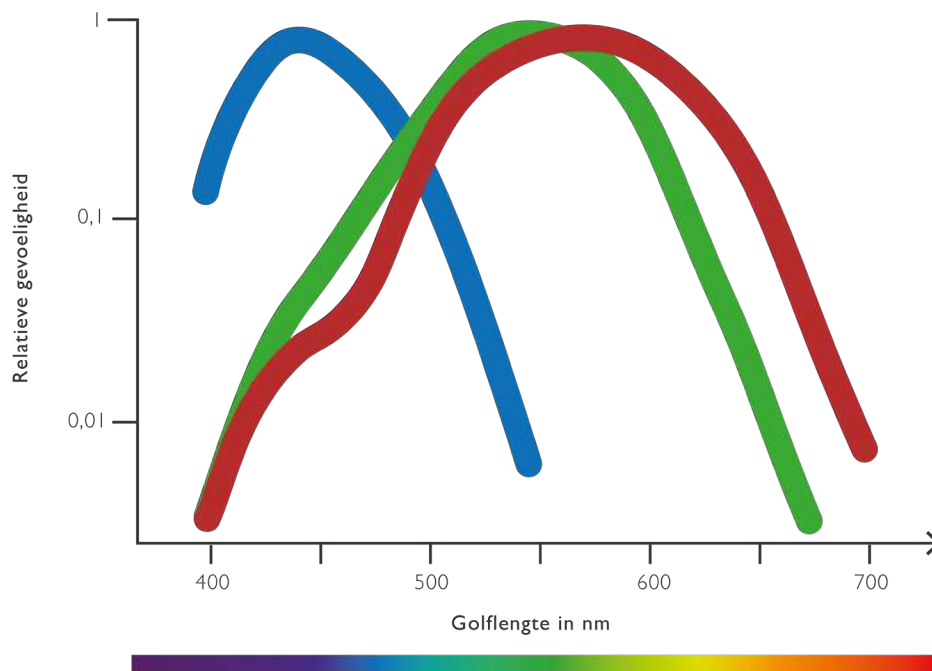
Afb. 1: Kleurenspectrum – zichtbaar licht

## ADDITIEVE KLEURMENGING

In het oog wordt het licht door twee verschillende fotoreceptoren geabsorbeerd: de kegeltjes en de staafjes. De staafjes zijn bijzonder lichtgevoelig en zorgen ervoor dat we in het donker kunnen zien. Ze absorberen echter het licht allemaal even sterk, waardoor ze geen onderscheid kunnen maken tussen golflengte en intensiteit - en daarmee ook niet tussen kleuren. Bij daglicht blijven de staafjes daarom nagenoeg inactief, ze verwerken bijna geen informatie en laten de minder lichtgevoelige kegeltjes het werk doen.

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen drie verschillende soorten kegeltjes. Uitgaand van hun spectrale bereik met de hoogste gevoeligheid zijn ze ontvankelijk voor lange, middellange en korte golflengten – ook wel rode, groene en blauwe kegeltjes genoemd. De afbeelding toont de absorptiespectra van de drie soorten kegeltjes. Hier is duidelijk te zien dat alle drie soorten kegeltjes licht over een grote golflengte absorberen.

Bij de additieve kleurmenging wordt dus lichtenergie uit verschillende spectrale bereiken bij elkaar opgeteld. Door de optelsom van de drie spectrale bereiken rood, groen en blauw ontstaat het volledige zichtbare spectrum in de vorm van wit licht. De additieve kleurmenging is dan ook de basis voor onze display- en kalibratietechniek voor professionele – en dus gegarandeerd kleurechte – toepassingen en voor thuisgebruik.



Afb. 2: Relatieve gevoeligheid van de fotoreceptoren

# Het menselijk oog

## FYSIEK ZIEN

Er is een goede reden voor het vergelijken van digitale camera's met het menselijk oog. De lens en iris hebben dezelfde functie als het objectief, en het netvlies, waarop de beeldinformatie gereflecteerd wordt, is het biologische equivalent van de CCD-chip in een digitale camera. Tot hier gaat de vergelijking op, maar in het menselijk oog komt een bijzonderheid voor die ook bij de allereerste modellen van de camera obscura optrad.

## OP HET NETVLIES STAAT DE WERELD OP ZIJN KOP

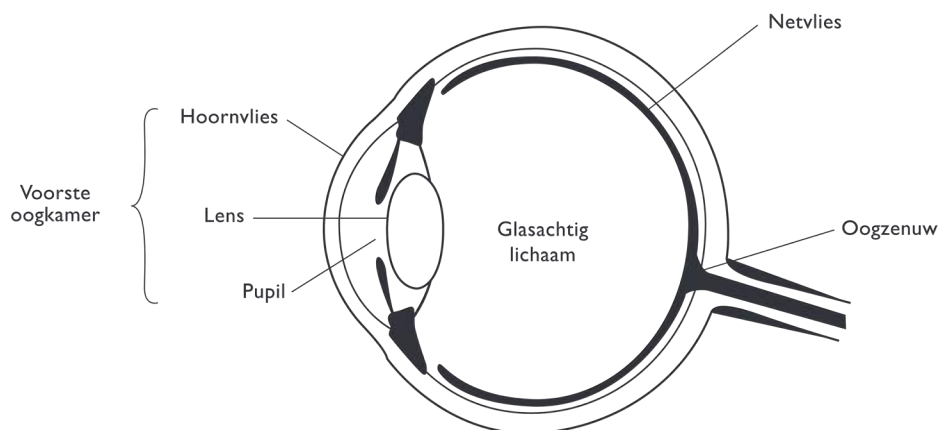
Als wij zien, dan raakt het licht als eerste het hoornvlies van het oog, dat als beschermingslaag voor dit kwetsbare orgaan fungeert. Als deze laag is gepasseerd, komt het licht in de voorste oogkamer en vervolgens door de pupil, een opening met variabele opening die afhankelijk van de lichtverhoudingen groter of kleiner wordt.

Daarna komt het licht op de lens, waarachter zich een transparante viskeuze vloeistof bevindt, het zogeheten glasachtig lichaam. Het glasachtig lichaam vult de tussenruimtes tussen het voorste deel van het oog en het netvlies op. Op de weg door het hele oog ontstaat zo een volledig beeld uit de ruwe lichtinformatie.

## HET NETVLIES ALS VERBINDING TUSSEN OGEN EN HERSENEN

Er kan een volledig beeld ontstaan uit ruwe lichtinformatie doordat niet een enkele, maar ontelbare lichtstralen ons oog bereiken. Deze lichtstralen worden door het oog gebundeld en als totaalplaatje (zichtinformatie) op het netvlies geprojecteerd, op vergelijkbare wijze als bij een cameraopname. En hier komt de eerder genoemde tweede parallel tot uiting:

lens en glasachtig lichaam draaien het beeld in eerste instantie ondersteboven. Hier heeft het oog zijn functie vervuld. De zichtinformatie wordt daarna via het uit veel zenuwbanen bestaande visuele systeem naar de hersenen getransporteerd, waar deze informatie volledig en correct omgedraaid wordt samengesteld en verwerkt.



Afb. 3: Anatomie van het oog

## GEDETAILLEERDE KLEUREN ZIEN, IN TEGENSTELLING TOT STORINGSGEVOELIG ZIEN VAN LICHT

Ons oog heeft drie in verschillende mate gevoelige soorten kegeltjes, die ontvankelijk zijn voor de in het natuurlijke kleurspectrum gebundelde lichtkleuren rood, groen of blauw. De bijbehorende kleurinformatie wordt doorgegeven naar de hersenen. Daar wordt het, met de helderheidsinformatie van de staafjes, samengevoegd tot een totaalbeeld – we zien kleuren!

De staafjes reageren echter hetzelfde op alle kleurindrukken. Ze zijn dan ook alleen in staat om helderheidsinformatie of -verschillen waar te nemen en door te geven. Als we alleen met staafjes zouden kijken, dan zou onze wereld er zwart-wit uitzien. Als een foto met veel details op de monitor in een afbeelding met grijstinten wordt veranderd, geeft dat een goede indruk van de hoeveelheid belangrijke details die door de niet meer waarneembare kleurverschillen verdwijnt. Denk bijvoorbeeld aan de stoplichtkleuren rood en groen!

Bij voldoende daglicht zijn de kegeltjes en staafjes een prima team. Bij minder licht en tijdens de schemering wordt de zichtfunctie echter steeds meer door de staafjes de vervuld. In het donker zijn dan alleen de staafjes actief. Dat geeft ook aan hoe gevoelig onze ogen daadwerkelijk voor storingen zijn voor wat betreft het zuiver zien van licht.

## NABEELDEN EN KLEURFOUTEN

Andere voorbeelden voor de tussen staafjes en kegeltjes ongelijk verdeelde vaardigheden zijn de zogeheten optische illusies. Twee belangrijke voorbeelden daarvan zijn kleurfouten van de ogen en zgn. nabeelden. Wie wel eens een paar seconden recht in de felle zon heeft gekeken en daarna de ogen snel heeft gesloten, heeft vast ook de felle lichtvlek waargenomen die kort of iets langer zichtbaar is, hoewel de "eigenlijke lichtbron" al verdwenen is.

Deze nawerking wordt een positief nabeeld genoemd, omdat het een felle vlek achterlaat. Een tweede soort nabeeld zijn de negatieve nabeelden. Dat effect kunt u gemakkelijk direct zelf uitproberen: focusseer ongeveer 40 seconden op de onderstaande afbeeldingen kijk vervolgens naar het lege vlak rechts ernaast. "Buongiorno!" - nu kunt u een korte tijd de Italiaanse vlag zien!



Afb. 4: Vlag (Bron: Pcessna/Wikimedia Commons)

Negatieve nabeelden ontstaan door vermoeiing van afzonderlijke fotoreceptoren. Als deze langere tijd permanent dezelfde prikkel ontvangen, raakt hun potentiaal op en worden ze inactief. Kijkt u nu naar een wit vlak, dan werken de “nog fitte” receptoren normaal verder, maar de “vermoeide” receptoren sturen een inactief signaal naar de hersenen. Zo ontstaat een illusio- nair beeld in de complementaire kleuren van de oorspronkelijke afbeelding.

Het is niet helemaal bekend hoe positieve nabeelden ontstaan. Men vermoedt dat de fotore- ceptoren wennen aan de felle prikkel en dat daardoor de lichtwaarneming een tijdje voortduurt. Door dit effect zien we bijvoorbeeld de afzonderlijke beelden (frames) van bio- scoopfilms als samenhangende film.

## Fysieke grenzen van het menselijke zien

### KLEURCONSTANTIE EN KLEURVARIATIE

Kleurconstantie is de “waargenomen stabiliteit van een voorwerpkleur bij verschillende ver- lichtingsomgevingen”. We zien een citroen als geel, of we die nu bij daglicht, bij gloeilamplicht of bij TL-licht bekijken (Kandel et al., 1995). Zolang we niets over de omgeving van de citroen we- ten, zou deze eigenlijk vanwege het gereflecteerde licht of de golflengtesamenstelling daarvan, verschillende kleuren moeten aannemen. Bij zonlicht zou de citroen er dus witachtig uitzien, onder een gloeilamp roodachtig en bij TL-licht blauwachtig.



Afb. 5: Voorbeeld van kleurconstantie

Wij nemen aardbeien als rood waar, ongeacht of dat bij zonlicht (links: oorspronkelijke opna- me), bij het licht van een gloeilicht in plaats van eigenlijk oranje (midden: gesimuleerd door kleurfilter) of in het licht van een TL-lamp in plaats van eigenlijk violet (rechts: gesimuleerd door kleurfilter). De plastic bakjes dienen hierbij als vergelijkingsmateriaal.

Het is verbluffend dat een voorwerp normaal gesproken ongeveer dezelfde kleur houdt. Er treden immers flinke schommelingen in de spectrale verdeling van de omgevingsverlichting (zonlicht vs. gloeilamp) op. Deze schommelingen zorgen ervoor dat het voorwerp zelf ook heel verschillende golflengtes van het licht reflecteert. En toch lijkt de citroen voor ons geel gekleurd.

Deze kleurconstantie wordt doorgaans verklaard door het feit dat de hersenen de informatie die ze krijgen over de golflengtesamenstelling van het gereflecteerde licht op een voorwerp en de omgeving daarvan, afzonderlijk van het biochemische kijkproces verwerken.

Bij dit verwerkingsproces worden neuronen in de hersenen aangesproken, die als antwoord de subjectieve kleurwaarneming van een voorwerp geven en dus niet meer alleen de samenstelling van de golflengten van het door een voorwerp gereflecteerd licht weergeven. Hier worden al de eerste associatiepatronen in de hersenen opgeroepen.

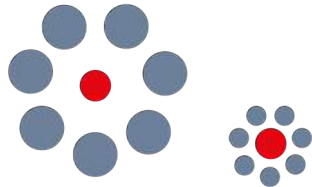
## OPTISCHE ILLUSIES – “WAT KAN HET OOG NIET?”

Zien betekent dus niet de “realiteit” één op één naar de hersenen over te brengen of te spiegelen. Zien is een effectief proces, waarbij het oog filtert, structuur aanbrengt en sorteert. Af en toe gaat daarbij informatie verloren, wordt deze veranderd of wordt er zelfs nieuwe informatie bij verzonnen. Dat is goed te illustreren met behulp van optische illusies.

Een visuele of optische illusie ontstaat doordat onze hersenen met behulp van eigen ervaringen probeert om een waargenomen beeld te herkennen of te duiden. Ze roepen associatiepatronen op! Wat eigenlijk heel nuttig lijkt, zorgt in sommige gevallen echter juist voor verwarring. Een tweedimensionaal beeld wordt driedimensionaal opgenomen, en we trekken verkeerde conclusies over voorwerpen die we zien.

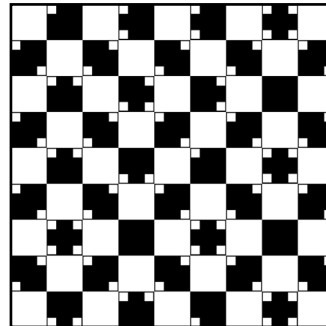
De hersenen proberen om een verbinding tussen de waargenomen voorwerpen te herkennen. Zo worden bijvoorbeeld rechte lijnen als scheef waargenomen of lijkt een figuur door perspectiefvertekening bijv. kleiner dan een ander figuur, terwijl ze even groot zijn. Ook kleuren worden verschillend geregistreerd. Afhankelijk van de achtergrond kunnen die lichter of donkerder overkomen. De hersenen doen dus alsof ze dingen zien die er helemaal niet zijn.

# Houd uw visuele systeem voor de gek!



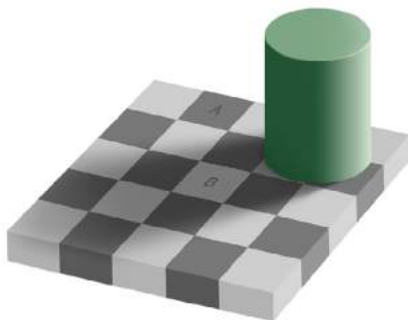
## WE BEOORDELEN VOORWERPEN IN SAMENHANG MET ANDERE VOORWERPEN

Beide rode ballen zijn even groot. Doordat de linker rode bal tussen grotere ballen ligt en de rechter tussen kleinere, lijkt de linker bal kleiner.



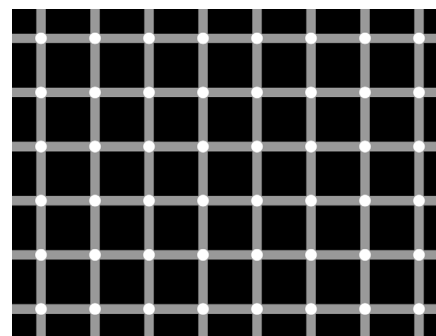
## STORING VAN HET TOTAALPLAATJE

De scheidingslijnen tussen de grote vierkanten lijken krom door de veel kleinere witte velden in de hoeken van de zwarte vierkanten.



## IDENTIEKE KLEUREN LIJKEN LICHTER OF DONKERDER

Vlak A is veel donkerder dan vlak B? - dat is een optische illusie. Het lijkt alleen maar zo, omdat we ons oriënteren aan het schaakbordpatroon en het groene voorwerp een schaduw veroorzaakt. De vlakken hebben dezelfde kleur.



## DINGEN ZIEN, DIE ER HELEMAAL NIET ZIJN?

Versterking van contrasten: Op deze afbeelding lijken er grijze vlekken te zijn op de plekken waar de witte lijnen elkaar kruisen.



# Bibliografie

## 1.1 LICHT ALS BASIS VOOR HET MENSELIJKE GEZICHTSVERMOGEN

Gegenfurtner, Karl R.: Farbwahrnehmung

Afroepdatum: 01.03.2019 – 10:00h, door:

<http://www.allpsych.uni-giessen.de/karl/teach/farbe.html>

## 1.2. HET MENSELIJK OOG

Marlberger, Lara (2013): Wissenwert – Wie sehen wir eigentlich?

Afroepdatum: 01.03.2019 – 11:00h, door:

<http://www.pflichtlektuere.com/08/11/2013/wissenswert-wie-sehen-wir-eigentlich/>

Böhringer, Joachim / Bühler, Peter / Schleich, Patrik (2008): Kompendium der Mediengestaltung, 4. Auflage, Springer

## 1.3 FYSIEKE GRENZEN VAN HET MENSELIJKE ZIEN

Kandel, Eric et al. (1995): Neurowissenschaften, Eine Einführung, 1. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag

Günter, Daniel Rey / Beck, Fabian: Farbkonstanz

Afroepdatum: 04.03.2019 – 11:22h, door: <http://www.neuronalesnetz.de/farbkonstanz1.html>

Mißfeldt, Martin: Optische Täuschungen und Illusionen

Afroepdatum: 04.03.2019 – 11:30h, door:

<https://www.sehtestbilder.de/optische-taeschungen-illusionen/>

Pawlak, Britta (2017): Optische Täuschungen – verwirrte Sinne

Afroepdatum: 04.03.2019 – 12:00h, door:

<https://www.helles-koepfchen.de/optische-taeschungen.html>

# Lijst met cijfers

## 1.2. HET MENSELIJK OOG

Afb. 4: Negativ der italienischen Flagge  
Wikimedia Foundation Inc.  
Afroepdatum: 04.03.2019 – 12:00h, door: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ItalianFlagInverted.gif?uselang=de>

## 1.3. FYSIEKE GRENZEN VAN HET MENSELIJKE ZIEN

Afb. 5: Beispiel von Farbkonstanz  
Günter, Daniel Rey/ Beck, Fabian: Farbkonstanz  
Afroepdatum: 04.03.2019 – 11:22h, door: <http://www.neuronalesnetz.de/farbkonstanz1.html>

## HOUD UW VISUELE SYSTEEM VOOR DE GEK!

Storing van het Totaalplaatje  
Wikimedia Foundation Inc  
Afroepdatum: 04.03.2019 – 12:00h, door: [https://de.wikipedia.org/wiki/Optische\\_Täuschung](https://de.wikipedia.org/wiki/Optische_Täuschung)

Identieke kleuren lijken lichter of donkerder  
Wikimedia Foundation Inc  
Afroepdatum: 04.03.2019 – 12:00h, door: [https://de.wikipedia.org/wiki/Optische\\_Täuschung](https://de.wikipedia.org/wiki/Optische_Täuschung)

Dingen zien, die er helemaal niet zijn?  
Wikimedia Foundation Inc  
Afroepdatum: 04.03.2019 – 12:00h, door: [https://de.wikipedia.org/wiki/Optische\\_Täuschung](https://de.wikipedia.org/wiki/Optische_Täuschung)

# studio

Het platform voor foto-  
en grafische monitoren.

[studio.BenQ.com](https://studio.BenQ.com)