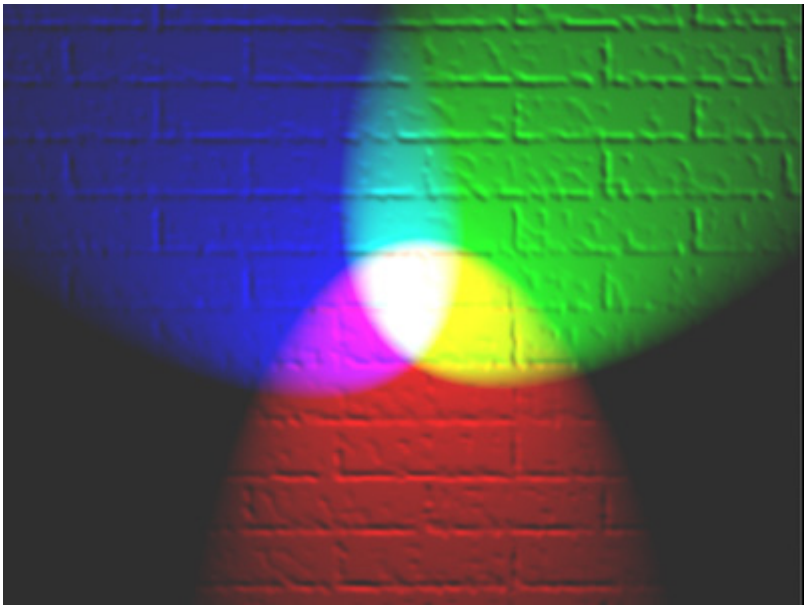
# Wat kleurt de wereld om ons heen?

**Als kind leren we kleur te herkennen als een eenvoudige eigenschap van dingen. Dit gras is groen, die vlinder is blauw. Toch is dat gek, omdat de atomen waar dingen uit zijn opgebouwd zelf geen intrinsieke kleur hebben. Als natuurkundige vraag je je dan af: waar komt die kleur toch vandaan?**

## Kleur is reflectie

Onze ogen zijn gevoelig voor elektromagnetische golven, oftewel: licht. Alles wat we zien is in principe de weerkaatsing of verstrooiing van licht door objecten om ons heen. We zien natuurlijk meer dan alleen de hoeveelheid (oftewel intensiteit) van het licht dat weerkaatst wordt. Onze ogen herkennen verschillende golflengtes van licht als verschillende kleuren. Een kleur kan ook opgebouwd zijn uit licht van meerdere golflengtes – zie afbeelding 1. Daglicht is in het algemeen redelijk wit van kleur, omdat daar alle golflengtes waar onze ogen gevoelig voor zijn in zitten. (Of omgekeerd, natuurlijk: onze ogen zijn gevoelig voor die golflengtes omdat juist die in het daglicht voorkomen. Zie ook ons eerdere artikel over licht.)



**Afbeelding 1. Kleuren.De combinatie van verschillende golflengtes van licht leidt tot een verandering van kleur. Afbeelding: Wikipedia**

Wanneer licht op een oppervlak van een object valt, wordt er een deel van geabsorbeerd, en een deel gereflecteerd. (We gaan er hier van uit dat er geen ingewikkeldere processen gaande zijn waardoor het object zelf ook licht uitzendt.) Afhankelijk van de eigenschappen van het object worden sommige golflengtes meer geabsorbeerd dan andere. Het licht dat niet geabsorbeerd wordt, wordt weerkaatst en kunnen wij zien met onze ogen. Wordt al het licht geabsorbeerd, dan ziet het object er zwart uit.

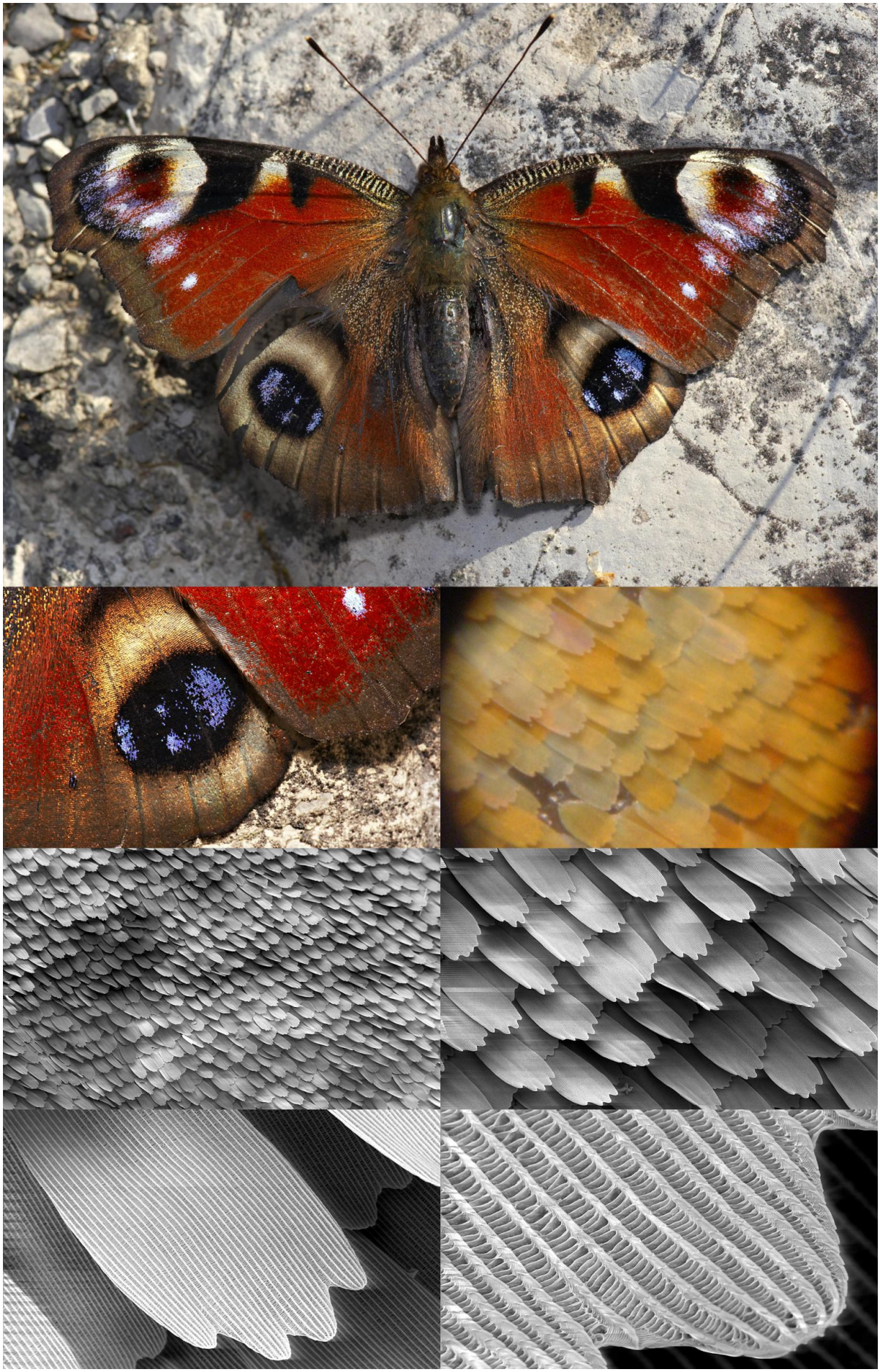
Met dit eenvoudige mechanisme kun je het merendeel van de kleuren in onze wereld verklaren. Gras en de meeste andere planten zien er bijvoorbeeld groen uit omdat ze een kleurstof bevatten die chlorophyl heet. Deze stof absorbeert veel blauw en rood licht, maar weerkaatst bijna al het groene licht. Als leuk experiment kan je ook kijken hoe de kleur van eenvoudige objecten lijkt te veranderen wanneer je gekleurd licht erop laat vallen in plaats van wit licht. Een groen boomblaadje zal er bijvoorbeeld (ongeveer) zwart uitzien wanneer je er alleen roodgekleurd licht op schijnt!

## Structurele kleur

Toch zijn er genoeg voorbeelden van kleuren die niet op de bovenstaande manier verklaard kunnen worden. Een voorbeeld hiervan zijn de gekleurde vleugels van sommige vlinders, zoals de exotische felblauwe *Morpho*-vlinder en de groene *Teinopalpus imperialis*, maar ook de veelvoorkomende dagpauwoog (*Aglais io*). Hun vleugels bevatten geen kleurstoffen die hun felle kleuren kunnen verklaren. Sterker nog, ze bevatten voornamelijk de kleurstof melanine, die een bruine kleur heeft[1]! De vraag is dus: hoe maken deze vlinders hun kleuren zonder kleurstof?

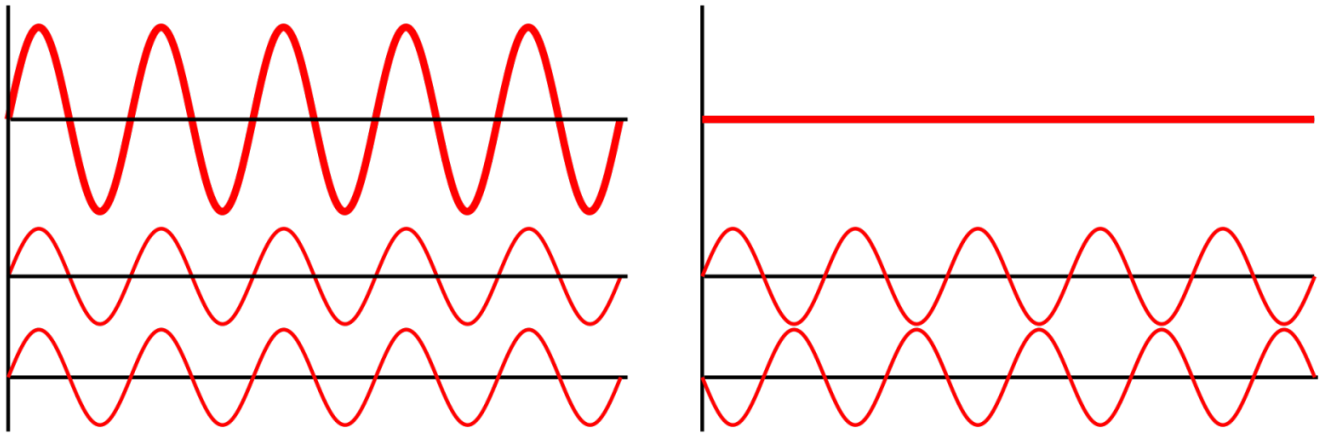
**Afbeelding 2. Twee felgekleurde vlinders.** Links: *Morpho didius* (foto van **Didier Descouens**). Rechts: *Teinopalpus imperialis* (foto van Anaxibia).

Om dit te begrijpen moeten we kijken naar de *structuur* van de vleugels. Vlinders en motten vallen in de orde *Lepidoptera*, een term die bestaat uit de Griekse woorden voor schub (‘lepidos’) en vleugel (‘pteron’). Ze heten niet voor niets zo: hun vleugels zijn bedekt met duizenden miniscule schubben. Sommige vlinders zijn extra speciaal, omdat hun schubben zelf ook nog eens een bijzondere microstructuur hebben. Dagpauwogen hebben bijvoorbeeld strepen bovenop hun schubben – zie afbeelding 3.



**Afbeelding 3. De structuur van de vleugels van de dagpauwoog.Van dichtbij hebben deze vlindervleugels een microstructuur die werkt als een diffractierooster. Afbeelding: SecretDisk**

Deze microstructuren werken als een soort *diffractierooster*. Licht dat op de schubben van een dagpauwoog valt wordt weerkaatst door de verschillende, gelijk verspreide strepen. Omdat de afstand tussen twee strepen van dezelfde orde van grootte is als de golflengte van zichtbaar licht, kan het licht dat op de vleugels valt met zichzelf interfereren. Hierdoor worden sommige kleuren van licht versterkt, terwijl andere juist wegvallen – zie afbeelding 4. De hoek waarmee licht op dit diffractie-rooster valt, verandert welke golflengtes worden versterkt. Dit is reden dat de kleur die je ziet kan veranderen en afhankelijk is van de oriëntatie van het rooster, een effect dat *iridiscentie* heet en dat je ook bijvoorbeeld in CD's en zeepbellen ziet. De iridiscentie geeft de dagpauwoog zijn glinsterende pauwogen – overigens: pauwenveren krijgen hun prachtige kleuren met hetzelfde effect!



**Afbeelding 4. Interferentie van golven.Twee golven kunnen elkaar versterken met constructieve interferentie (links), of opheffen met destructieve interferentie (rechts). Afbeelding: Wikipedia**

De microstructuur die tot deze *structurele kleur* leidt, hoeft niet een eenvoudig twee-dimensionaal patroon te zijn: *Morpho* vlinders hebben bijvoorbeeld schubben met daarbovenop een ingewikkeldere 'boomstructuur', en de vleugelschubben van de *Teinopalpus imperialis* hebben van binnen een driedimensionaal rooster van gaten. Licht dat vanaf verschillende dieptes in zo'n regelmatige structuur weerkaatst wordt, kan met zichzelf interfereren. Welke kleur je dan ziet, hangt af van de vorm van de gaten en de roosterafstand.

## Kleurmanipulatie

De natuur is dus zo kleurrijk door de combinatie van kleurstoffen en structurele kleur. Holbewoners wisten al hoe ze natuurlijk voorkomende kleurstoffen konden gebruiken om hun grotten te beschilderen, en we zijn in de loop der tijd fantastisch goed geworden in het maken van verfstoffen met alle mogelijke kleuren. De werking van structurele kleur hebben we pas veel later ontdekt: Hooke en Newton hadden er al ideeën over, maar het is pas de laatste paar decennia, sinds de komst van nieuwe technieken om microscopische (of eigenlijk *nano*scopische) structuren te zien, bijvoorbeeld met de elektron-microscoop, dat we echt kunnen zien hoe deze manier van kleurvorming werkt. En tegenwoordig kunnen we zulke structuren ook zelf maken, wat een hele nieuwe wereld van kleuren voor ons opent.

Het YouTube-kanaal Veritassium heeft twee mooie video's over het manipuleren van kleur gepubliceerd: de eerste over hoe wij van vlinders kunnen leren en structurele kleuren zelf kunnen maken (en gebruiken), en de tweede over hoe de kameleon pigmenten en structuurveranderingen gebruikt om van kleur te veranderen. Een plezier om te kijken, dus zie hieronder als je meer over dit fascinerende onderwerp wilt weten!

**Video 1. De werking van structurele kleur.Video van YouTube channel Veritasium.**

**Video 2. Hoe kameleons hun kleur veranderen met kleurstoffen en structuur.Video van YouTube channel Veritasium.**

---

[1] Melanine is dezelfde kleurstof die onze huid en ons haar kleur geeft. De stof speelt overigens een belangrijke rol in het beschermen tegen huidkanker: onze huid maakt meer melanine aan na blootstelling aan de zon, omdat deze stof zeer efficiënt is in het absorberen van UV-straling en het hiermee het DNA in onze celkernen beschermt tegen deze schadelijke straling. UV-straling, oftewel ultraviolet licht, is ook elektromagnetische straling, maar dan met een kortere golflengte dan onze ogen kunnen zien. Hier vind je een leuke video over hoe de wereld er uit zou zien in UV-licht.