

FOTOGRAFIE deel II

Praattafel W.O.W. 343

Inleiding	2
Hoe we kleuren waarnemen	2
Van waarneming naar film	2
Over Licht gesproken: Het golf dilemma	2
Wat wij doen met de golven	3
Wat we wel zien	3
Kleur is er niet zomaar in ons oog	4
De kleurenfotografie - ouder dan men denkt	4
De broers Lumiere!	6
De Bempohl drie kleuren camera	6
Op naar nieuwe technieken!	7
Het chromogene principe	7
Van Dia naar papier	8
Naar de Oorlog: Een nieuwe situatie	8
Nog nieuws?	9
Nieuwe technologie - elektronica	9
LINKS	11

Inleiding

We hebben nu al in twee afleveringen gehoord over de kleurenfotografie en over pioniers van deze tak. Maar de vraag stelt zich nog steeds, hoe zijn we zover geraakt en op welke manier werkt dit alles? Waar komt de kleur vandaan en hoe kunnen wij dat nu zien? Dat zijn alles vragen die we vandaag willen stellen en waar we ook een antwoord op hebben. Dus laat ons afdalen in de geschiedenis van de fotografie, naar het begin van de kleurenfotografie.

Hoe we kleuren waarnemen

Hier zullen we straks nog meer over te horen krijgen, dus voor nu alleen maar dat. Ons oog bevat drie soorten kegeltjes die gevoelig zijn voor verschillende golflengtes van licht: rood, groen en blauw. Ons brein combineert deze drie signalen om het volledige kleurenspectrum waar te nemen. Dit principe heet **trichromatisch zien**.

Van waarneming naar film

Om kleur vast te leggen op film moet je dit drievoudige systeem nabootsen. Alle moderne kleurenfilms doen dit door **drie afzonderlijke emulsielagen** te gebruiken, elk gevoelig voor één primaire kleur:

- Een **blauw-gevoelige laag** (bovenste)
- Een **groen-gevoelige laag** (middelste)
- Een **rood-gevoelige laag** (onderste)

Tussen de blauwe en groene laag zit een **geel filter**, omdat filmemulsie van nature ook gevoelig is voor blauw licht - dit filter voorkomt dat blauw licht de groen- en rood-gevoelige lagen bereikt.

Wanneer licht de film raakt, wordt in elke laag een latent beeld gevormd, afhankelijk van hoeveel van die specifieke kleur aanwezig was in het originele tafereel.

Over Licht gesproken: Het golf dilemma

De Golf-deeltje dualiteit

Licht is **beide tegelijk** - het is noch uitsluitend golf, noch uitsluitend deeltje. Dit heet **golf-deeltje dualiteit** en geldt trouwens voor alle kwantumdeeltjes, niet alleen licht.

Als golf: Licht vertoont interferentie, diffractie, en heeft eigenschappen zoals golflengte en frequentie. De golflengte bepaalt de kleur die we waarnemen.

Als deeltje (foton): Licht komt in discrete energiepakketjes. De energie van één foton hangt af van de frequentie: $E = h \times f$ (waarbij h de constante van Planck is). Een blauw foton heeft meer energie dan een rood foton.

Hoe krijgen we dit “onder elkaar”?

Het antwoord is: **ze zijn niet “onder elkaar” te krijgen** in klassieke zin. Licht gedraagt zich als golf of als deeltje **afhankelijk van hoe je ernaar kijkt** - naar hoe je het meet. Dit is geen

tekortkoming van onze kennis, maar de fundamentele natuur van de werkelijkheid op kwantumniveau.

Voor fotografie is vooral de golflengte relevant: die bepaalt welke laag in de film wordt blootgesteld. Maar het **foton als deeltje** verklaart waarom licht discrete energie overdraagt aan de zilverhalide-kristallen in de emulsie - één foton kan één zilveratoom reduceren.

Wat wij doen met de golven

Wat we eigenlijk zien

Wanneer wit licht (dat alle golflengten bevat) op een object valt, gebeurt het volgende:

- Het object **absorbeert** bepaalde golflengten
- Het object **reflecteert** andere golflengten
- Alleen het **gereflecteerde licht** bereikt ons oog

Een rode appel is niet “inherent rood” - hij absorbeert de blauwe en groene golflengten en reflecteert voornamelijk rode golflengten. Al die geabsorbeerde energie wordt omgezet in warmte en is inderdaad “verloren” voor onze waarneming.

De implicaties

Dit betekent dat:

- “**Kleur**” is **geen eigenschap van het object zelf**, maar een interactie tussen licht, materie en ons oog
- In het donker heeft niets “kleur” - er is immers geen licht om gereflecteerd te worden
- Dezelfde appel ziet er anders uit onder verschillende lichtbronnen (gloeilamp vs daglicht vs TL-licht) omdat die lichtbronnen verschillende spectrumsamenstelling hebben

Voor film heeft dit grote consequenties: de film moet worden **gebalanceerd** voor een specifiek type licht (daglicht vs kunstlicht), anders krijg je kleurzwemen.

Wat we wel zien

Het is bijna schokkend hoe klein ons “venster” is!

Het elektromagnetische spectrum

Het volledige elektromagnetische spectrum strekt zich uit van radiogolven met golflengten van kilometers tot gammastraling met golflengten kleiner dan een atoom. En wij zien daarvan alleen:

Ongeveer 380 tot 750 nanometer - een bereik van nog geen factor 2!

Hoe klein is dit echt?

Als je het hele elektromagnetische spectrum zou uitstrekken over een voetbalveld van 100 meter, zou het zichtbare spectrum slechts **een paar millimeter** beslaan. Misschien zelfs minder, afhankelijk van hoe je het schaalt.

We zijn **compleet blind** voor:

- Radiogolven (meters tot kilometers)
- Microgolven (millimeters tot centimeters)
- Infrarood (net onder rood, voelen we als warmte)
- Ultraviolet (net boven violet)
- Röntgenstraling
- Gammastraling

Sommige dieren zien meer dan wij - bijen zien UV-licht, slangen detecteren infrarood. Het “gat” dat wij zien is evolutionair bepaald: dit is het spectrum waarin onze zon het meeste licht uitstraalt en dat goed door de atmosfeer komt.

Het is verbazingwekkend dat we uit deze smalle gleuf zo’n rijk kleurenuniversum construeren, nietwaar? En de uitdaging van film was om dit al even smalle bereik getrouw vast te leggen.

Kleur is er niet zomaar in ons oog

Het menselijk oog is het oorspronkelijke “drie-kleuren systeem”!
In het **netvlies** (retina) zitten twee soorten lichtgevoelige cellen:

Staafjes (rods) - voor zwart-wit zien bij weinig licht, niet kleurengevoelig

Kegeltjes (cones) - voor kleurenzien, en hier wordt het interessant!

We hebben **drie soorten kegeltjes**, elk met een ander fotopigment dat gevoelig is voor een bepaald golflengtegebied:

- **L-kegeltjes** (Long) - gevoelig voor **rood/geel licht** (circa 560-580 nm piekgevoeligheid), dus de lange golflengtes
- **M-kegeltjes** (Medium) - gevoelig voor **groen licht** (circa 530-540 nm)
- **S-kegeltjes** (Short) - gevoelig voor **blauw/violet licht** (circa 420-440 nm)

Deze drie sensoren zijn **niet** gevoelig voor alleen maar zuiver rood, groen en blauw - hun gevoeligheidscurves overlappen behoorlijk! Ons brein berekent de kleur door de **verhoudingen** tussen de signalen van deze drie kegeltjes te vergelijken.

Dit is precies waarom **trichromatische fotografie** werkt - omdat we kleuren opbouwen uit drie primaire signalen, net zoals ons oog doet!

De kleurenfotografie - ouder dan men denkt

De droom van kleurenfotografie begon eigenlijk al voor de uitvinding van de fotografie!
Namen als Johann Thomas Seebeck uit Jena, John Herschel in 1840 en Alexandre Edmond Becquerel rond 1848 trekken aan ons voorbij.

De allereerste kleurenfoto - 1861

Verrassend genoeg maakte **James Clerk Maxwell** (ja, dezelfde van de elektromagnetische theorie!) in **1861** de eerste kleurenfoto. Dus slechts zo'n **20-25 jaar** na de officiële geboorte van de fotografie (Daguerre 1839, Talbot 1840).

Maxwells methode was briljant in zijn eenvoud:

- Hij fotografeerde een **Schotse tartan lint** drie keer
- Elke keer met een ander kleurfilter: rood, groen, blauw
- Deze drie zwart-wit negatieven projecteerde hij vervolgens **simultaan** met dezelfde gekleurde filters
- Waar de drie projecties overlaptten ontstond een kleurenfoto!

Dit was het **additieve kleurprincipe** in de praktijk. Ook was het eigenlijk helemaal toeval dat het lukte, had men toch alleen maar blauwgevoelig materiaal in deze tijd.

Bijna vergeten - Lippmann 1891

Gabriel Lippmann ontwikkelde in 1891 een nog wonderlijker methode gebaseerd op **interferentie** - hij legde kleur vast als staande golven in de emulsie zelf. Prachtige resultaten, maar totaal onpraktisch.

Louis Arthur Ducos de Hauron - De theoretische grondlegger

Ducos du Hauron publiceerde in **1869** (dus nog vóór Maxwell's demonstratie breed bekend was) zijn baanbrekende werk "**Les Couleurs en Photographie**". Hierin legde hij de **theoretische fundamente**n voor vrijwel alle latere kleurenfotografie.

Zijn belangrijkste bijdragen

Het subtractieve kleurprincipe: Terwijl Maxwell met additieve kleuren werkte (licht optellen), bedacht Ducos du Hauron het **subtractieve systeem** met cyaan, magenta en geel

- exact het principe dat later in **alle** kleurenfilms zou worden gebruikt, inclusief Kodachrome!

Meerdere praktische methoden:

- Hij ontwikkelde het **driekleurendrukproces**
- Hij experimenteerde met **meerdere emulsielagen** op één drager
- Hij werkte aan **rasterscreens** (kleine kleurfiltertjes)

Waarom zo belangrijk?

Ducos du Hauron zag als eerste dat je geen gekleurde lichtprojectie nodig had, maar dat je met **pigmenten** (inkt, kleurstoffen) die selectief licht absorberen een kleurenbeeld kon maken. Dit maakte **fotografische afdrukken** mogelijk in plaats van alleen projecties.

Zijn ideeën waren decennia vooruit - de technologie moest hem nog inhalen!

Het grote probleem

Al deze vroege methoden waren **niet bruikbaar** voor gewone mensen - ze vereisten projectie, meerdere opnames, of ingewikkelde apparatuur. De échte doorbraak kwam pas met...

De broers Lumiere!

Autochrome - 1907

Auguste en Louis Lumière lanceerden in **1907** het **Autochrome**-proces - de eerste **commercieel succesvolle** kleurenfilm die echt bruikbaar was voor gewone fotografen (nou ja, rijke gewone fotografen - het was duur!). Ook vonden ze het niet uit, deze eer komt een zekere James W. Mac Donough toe.

Het geniale maar bizarre principe van de Korrelrasterfilm

Het Autochrome werkte met een **rasterscreen** - en hier wordt het wonderlijk:

- Ze gebruikten **aardappelzetmeel** gekleurd in rood-oranje, groen en blauw-violet
- Deze minuscule gekleurde korreltjes (10-15 miljoen per vierkante inch!) werden willekeurig over een glasplaat gestrooid
- Daaroverheen kwam een panchromatische zwart-wit emulsie
- **Het licht moest eerst door de kleurfilters** voordat het de emulsie bereikte

Hoe werkte het?

Bij belichting fungeerden de gekleurde korrels als **microscopisch kleine filters**. Na ontwikkeling kreeg je een **positief beeld** (dia) dat je tegen het licht of met een projector bekeek - het licht ging door dezelfde filters terug en je zag kleur!

De charme en beperkingen

Autochrome-foto's hebben een **dromerige, pointillistische kwaliteit** - je ziet bij vergroting de individuele korreltjes, als een Seurat-schilderij. Prachtig, maar:

- Zeer **lage lichtgevoeligheid** (lange belichtingen nodig)
- Zwaar (glas!)
- Duur
- Elk beeld was **uniek** - geen negatieven

Toch bleef het populair tot de jaren '30.

De Birmpohl drie kleuren camera

Rudolf Fischer en anderen ontwikkelden in de jaren '20 en '30 professionele systemen waarbij je **simultaan drie negatieven** maakte - één voor elke primaire kleur. Dit gebeurde met:

- **Speciale camera's met prisma's** die het licht splitsten
- Of camera's met **drie lenzen** met kleurfilters
- Drie afzonderlijke zwart-wit negatieven werden belicht: rood, groen, blauw

Dit was de standaard voor **professionele kleurenfotografie en drukwerk** - technisch uitstekend maar lomp en duur. Alleen studio's en grote uitgeverijen konden dit betalen.

Maar er waren ook glasplaten en films beschikbaar

Dufaycolor gebruikte bvb een **linienrasterfilm**:

- Hele fijne **lijntjes** in de drie kleuren rood, groen en blauw op de filmbase
- Deze lijntjes werkten als filters voor de drie kleuren
- Het licht werd gesplitst en op verschillende delen van de emulsie gefocust

Waarom belangrijk?

Dit was een stap tussen Autochrome (random korrels) en echte meerlagenfilm - verfijnder maar nog steeds een rasterprincipe.

Nog een manier

Een verdere manier om met kleur te fotograferen mogen wij u niet onthouden:

De Lensrasterfilm. Agfa lanceerde in 1933 een nieuwe film die in principe een zwart-wit film was met piepkleine lensjes op zijn oppervlakte. Je had als fotograaf speciale filters nodig, die strepen in de drie kleuren rood, groen en blauw toonden. Deze filter had je ook nodig voor de projectie. Dus, het was alleen maar een diafilm.

Op naar nieuwe technieken!

Wat we tot nu op de markt vonden:

Korrelrasterfilm (zoals Autochrome) - werkt met een willekeurig patroon van minuscule gekleurde korrels (aardappelzetmeel bij Autochrome) die als kleurenfilter fungeren.

Lijnrasterfilm (zoals Dufaycolor) - heeft een geometrisch raster van gekleurde lijntjes die over de hele film of plaat lopen. Het patroon is dus geordend in plaats van willekeurig.

Lensrasterfilm (AGFA, 1933) - hier zitten piepkleine lensjes over de film, de film zelf is zwart-wit, en de kleur komt door een apart filter met gekleurde strepen dat je voor de lens plaatst bij zowel opname als projectie. Dit principe kennen we inderdaad van de JOS-PE en Bermpohl camera's!

Het is fascinerend hoe deze lensraster aanpak eigenlijk het kleurprobleem splitst: de lens-microstructuur op de film zelf, maar het kleurfilter als apart element. Dat maakte het systeem natuurlijk wel afhankelijk van dat specifieke filter.

Het chromogene principe

In het jaar 1935 lanceerden de twee musici Leopold Mannes en Leopold Godowsky de eerste moderne kleurenfilm. **Kodachrome**. Je herinnert je aan het verhaal van Man en God. In het jaar 1936 kwam nog een andere kleurenfilm op de markt. **Agfacolor Neu**. Vanaf nu waren er twee verschillende manieren om kleur te fotograferen.

Het fundamentele verschil tussen **Kodachrome** en **Agfacolor Neu** zit in waar en hoe de kleurstofvorming plaatsvindt:

Kodachrome (1935):

- De film bevat alleen drie zwart-wit emulsielagen (gevoelig voor blauw, groen en rood licht)
- De kleurstofvormers (couplers) zitten **niet** in de film zelf
- Tijdens de ontwikkeling worden de kleurstofvormers van buitenaf toegevoegd in drie afzonderlijke ontwikkelbaden

- Dit maakte het ontwikkelproces zeer complex en gespecialiseerd - je kon Kodachrome niet thuis ontwikkelen
- Maar het gaf wel zeer stabiele, heldere kleuren

Agfacolor Neu (1936):

- De film heeft ook drie emulsielagen
- Het grote verschil: de kleurstofvormers zitten al **in de filmlagen zelf** verwerkt
- Dit maakte de ontwikkeling veel eenvoudiger - één chromogeen ontwikkelproces
- Dit principe werd de standaard voor vrijwel alle latere kleurenfilms (zoals Kodacolor, Fujicolor, Ektachrome)

Agfacolor Neu was dus eigenlijk de basis voor wat we nu kennen als het moderne kleurennegatief- en dia-filmproces.

Van Dia naar papier

De ontwikkeling van kleurennegatief:

Dr. Wilhelm **Schneider** was inderdaad de sleutelfiguur die bij Agfa werkte aan de ontwikkeling van kleurennegatief film. Agfa had rond 1939-1942 een werkend kleurennegatief systeem ontwikkeld, gebaseerd op het Agfacolor principe met ingebouwde kleurstof vormers. Maar zoals we het weten, door de oorlog die toen in de gang was, kon dit niet commercieel uitgebracht worden, en werd het voornamelijk gebruikt door militaire fotografen (de PK - Propaganda kompanie fotografen).

Kodak wilde enorm graag een systeem voor kleuren papier afdrukken ontwikkelen - het was een lange droom van **George Eastman** - veel toegankelijker voor de gewone consument dan dia's projecteren. Het probleem met negatief was complexer dan bij dia's: je moest niet alleen de kleuren vastleggen, maar ook een manier vinden om van een kleurennegatief (met complementaire kleuren) een correcte positieve afdruk op papier te maken.

Na de oorlog kwam de doorbraak: **Kodacolor** (1942 in de VS, maar breed beschikbaar vanaf 1945-1946) was Kodak's eerste consumentgerichte kleurennegatief film. En hier werd het interessant - want na de oorlog kregen de geallieerden toegang tot de Duitse Agfa-patenten...

Naar de Oorlog: Een nieuwe situatie

Toen Duitsland in 1945 capituleerde, werden de **Agfa-fabrieken en laboratoria** in Wolfen (in de buurt van Bitterfeld) door de geallieerden bezet. De Amerikanen, Britten en Russen kregen toegang tot alle technische documentatie, onderzoeksresultaten en patenten van Agfa.

Het belangrijkste was de technologie van de **kleurstofvormers in de emulsielagen** - dat Agfacolor Neu principe dat Schneider had doorontwikkeld tot een werkend negatiefproces. Deze patenten werden door de geallieerden als "oorlogsbuit" beschouwd en **vrijgegeven voor gebruik**.

Dit betekende dat:

- **Kodak** deze technologie kon gebruiken om hun Kodacolor te verbeteren en verder te ontwikkelen
- **Britse en Amerikaanse** bedrijven ineens toegang hadden tot kennis waar Agfa jaren aan had gewerkt

- Het principe van ingebouwde kleurstofvormers de wereldstandaard werd

Agfa zelf werd opgesplitst - een deel bleef in **Oost-Duitsland** (later Orwo - Original Wolfen), een deel ging door in Leverkusen, **West-Duitsland**, en moest eigenlijk opnieuw beginnen, terwijl hun concurrenten hun eigen technologie gebruikten.

Eigenlijk heeft Agfa's oorlogs onderzoek de hele naoorlogse kleurenfotografie-industrie mogelijk gemaakt - maar Agfa zelf had er weinig profijt van. Zo'n beetje elke naoorlogse kleurenfilm die er uitkwam, baseerde zich op het principe van de Agfacolor film van 1936.

Nog nieuws?

Gaan we nu nog een stukje verder door de geschiedenis heen.

Vrijwel alle moderne kleurenfilms - of het nu Kodak, Fuji, Konica of andere merken zijn - baseren op dat Agfacolor Neu principe met ingebouwde kleurstofvormers.

En je hebt gelijk als je denkt dat het verhaal na de oorlog wat "vlakker" wordt - geen revolutionaire nieuwe principes meer, maar wel belangrijke **verfijningen**:

Jaren 50-60:

- Verbetering van kleurstabiliteit en scherpte
- Snellere films (hogere ISO/ASA waarden)
- Betere kleurseparatie tussen de lagen
- Kodak Ektachrome (1946) en latere varianten als concurrentie voor Kodachrome

Polaroid (Je herinner Edwin H. Land en zijn dochtertje dat de vraag stelde wanneer ze het beeld zou zien?)(1963 - Polacolor) was inderdaad een bijzondere uitzondering - direct-klaar kleurenfotografie! Maar het basisprincipe bleef hetzelfde, alleen het chemische proces zat in de film zelf.

Jaren 70:

- Kodak experimenteerde inderdaad nu al met elektronische beeldopname
- Maar ook: veel betere fijnkorrelige films, betere kleurweergave

De échte revolutie kwam natuurlijk pas veel later met de **digitale fotografie** in de jaren 90 en 2000, die het hele chemische proces overbodig maakte.

Dus eigenlijk was Agfacolor Neu/Schneiders negatief de laatste grote **chemische** innovatie, en daarna was het wachten op de elektronische revolutie.

Nieuwe technologie - elektronica

Nu gaan we naar een fundamenteel andere technologie - van chemie naar elektronica!

De basis: kleuren-tv

Hier begon het eigenlijk. In de jaren 50 ontwikkelden verschillende systemen voor kleuren-televisie (NTSC in de VS 1953, PAL in Europa jaren 60). Het principe: een **beeldbuis met drie elektronenkanonnen** (rood, groen, blauw) die een scherm met fosfor-stipjes in die drie kleuren aanstralen. Dus weer dat additieve RGB-principe!

Naar elektronische fotografie:

De eerste stappen waren bij **NASA** en militaire toepassingen in de jaren 60 - elektronische beeldsensoren voor ruimtevaart en verkenning.

Maar de échte doorbraak kwam bij **Bell Labs** (1969-1970): **Willard Boyle en George Smith** ontwikkelden de **CCD** (Charge-Coupled Device) - een chip die licht kon omzetten in elektrische signalen.

Kodak was ook hier een voorloper: **Steven Sasson** bouwde in **1975** de eerste digitale camera bij Kodak - 0.01 megapixel, opname duurde 23 seconden, en de beelden werden op cassettebandjes opgeslagen!

Maar hoe werkten die eerste sensoren met kleur? Want een CCD registreert alleen lichtintensiteit, niet kleur.

Hoe werkt het?

En hier komen we op iets terug, wat we al sinds het begin van de kleurenfotografie kennen. Het **drie-chip systeem** is inderdaad hetzelfde principe als die oude Jos-Pé en Bermpohl camera's - het licht wordt via een prisma gesplitst naar drie afzonderlijke sensoren, elk met een kleurfilter (rood, groen, blauw). Dat geeft de hoogste kwaliteit en wordt daarom nog steeds gebruikt in professionele videocamera's.

Maar voor **consumenten camera's** was dat te duur en te groot - drie chips! Dus hoe losten ze dat op voor compacte camera's?

De oplossing kwam van **Bryce Bayer** bij Kodak in **1976**: het **Bayer-filter** (of Bayer-patroon). Hij plaatste een **mozaïek van minuscule kleurfilters** direct over de pixels van één enkele sensor - afwisselend rood, groen en blauw filterpixels. Omdat het menselijk oog het gevoeligst is voor groen, gebruikte hij dubbel zoveel groene pixels als rode of blauwe.

Het patroon ziet er zo uit:

...

G R G R G R

B G B G B G

G R G R G R

...

De camera moet dan de ontbrekende kleurinformatie per pixel "gissen" op basis van de omliggende pixels - dat heet **demosaicing** of **interpolatie**.

Dit werd de standaard voor vrijwel alle digitale camera's.

Waar kennen we dit nog van?

Dit lijkt een beetje op iets wat we al eerder gehoord hebben, toch? En je hebt helemaal gelijk - het Bayer-filter is inderdaad een soort **moderne synthese** van die oude rastertechnieken:

Van het **lijnraster** (Dufaycolor): het idee van een geometrisch, geordend patroon van kleurfilters over het beeldoppervlak.

Van het **lensraster** (Agfa): het principe dat je het optische element (de sensor/film) scheidt van het kleurfilter, en dat filter direct op of over het lichtgevoelige oppervlak plaatst.

Het verschil is natuurlijk dat bij het Bayer-filter:

- Het patroon veel fijner is (miljoenen minuscule pixels)
- De “missende” kleurinformatie elektronisch wordt berekend in plaats van optisch gemengd
- Alles op één chip zit in plaats van aparte filters

Maar het basisidee - een raster van kleurfilters om met één opname-oppervlak kleurinformatie te vangen - dat komt inderdaad rechtstreeks voort uit die pionierstechnieken van begin 1900!

De fotografie-geschiedenis is eigenlijk een prachtige lijn van Autochrome tot Bayer-sensor.

Nog een sensor - maar toch bekende techniek

De **Foveon-sensor** (ontwikkeld door Foveon Inc., later overgenomen door Sigma) is inderdaad **fundamenteel anders** dan het Bayer-systeem.

Het principe:

In plaats van kleurfilters naast elkaar (zoals Bayer), stapelt Foveon **drie lagen** boven elkaar, elk gevoelig voor een andere kleurdiepte. Dit maakt gebruik van het feit dat verschillende golflengten licht (rood, groen, blauw) op verschillende dieptes in silicium worden geabsorbeerd:

- **Blauwe** fotonen worden aan de oppervlakte geabsorbeerd
- **Groene** fotonen dringen dieper door
- **Rode** fotonen komen het diepst

Elk pixel registreert dus **alle drie de kleuren tegelijk** - geen interpolatie nodig!

De parallel met filmfotografie:

Dit is eigenlijk hetzelfde principe als **Agfacolor Neu en Kodachrome** - drie gestapelde emulsielagen! Terwijl het Bayer-filter meer lijkt op de oude rastertechnieken.

Voordelen:

- Scherpere details, geen kleur-artefacten
- Betere kleurweergave per pixel

Nadelen:

- Complexer en duurder te produceren
- Minder lichtgevoelig (vooral de onderste rode laag krijgt weinig licht)

Daarom heeft Bayer gewonnen in de massamarkt, terwijl Foveon een niche blijft (voornamelijk Sigma camera's).

Fascinerend toch, hoe de filmgeschiedenis zich herhaalt in digitaal?

LINKS

[445 Autochrome Stock Photos, High-Res Pictures, and Images](#)