

TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

TINCGR02 — Computer Graphics

dr. Wouter Bergmann Tiest

Hogeschool Rotterdam

W.M.Bergmann.Tiest@hr.nl

TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

Displays

Displays

TINCGR02 —

Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

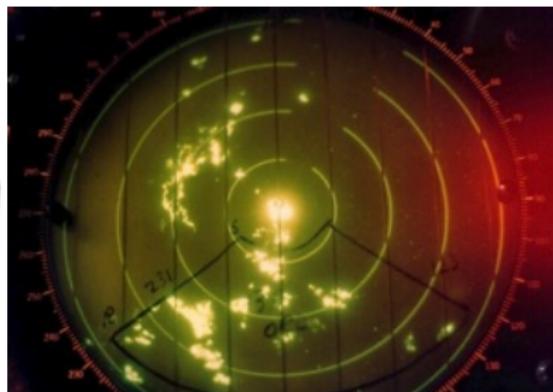
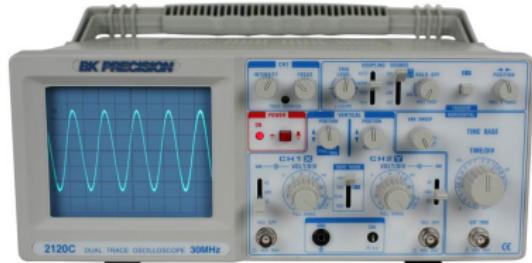
Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

Afbeelden

- Tegenwoordig: altijd rasterschermen (matrix van puntjes).
- Vroeger: ook vectorschermen: oscilloscoop, radarscherm, grafische terminal.



Vereisten

- Afmeting
- Resolutie (dpi)
- Contrast
- Helderheid
- Kleur
- Verversingssnelheid
- Kijkhoek
- Energieverbruik
- Prijs
- Robuustheid (mechanisch/temperatuur/straling)
- Speciale eigenschappen (3D, touch, swipe)

Displays

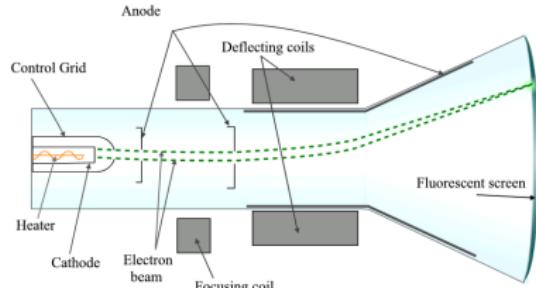
TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

Displays

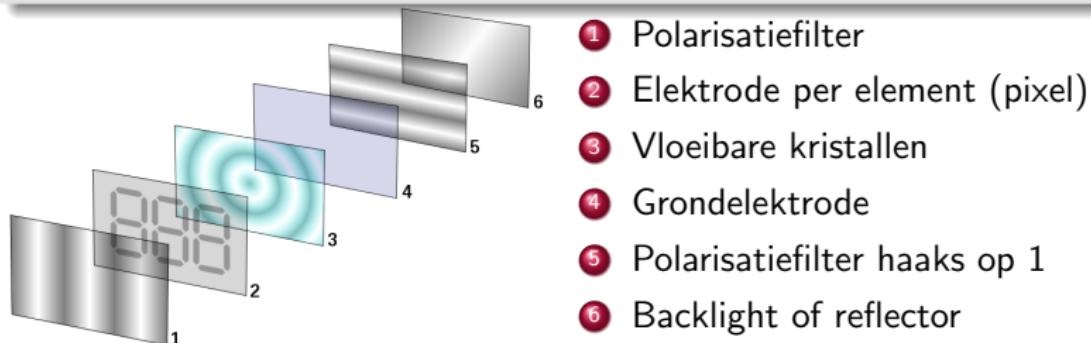
Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden



(Backlit) Liquid Crystal Display (LCD)

- Draait de polarisatie van het licht dat valt door twee haaks op elkaar gepolariseerde platen.
- Backlight: LED met diffuser.
- Redelijk energieverbruik.
- Beperkte kijkhoek.
- Beperkte snelheid.



Displays

TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

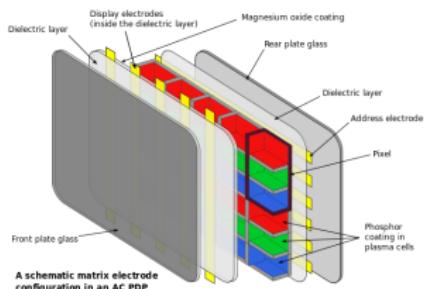
Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

Plasma

- Cellen gevuld met geïoniseerd gas (plasma), vgl. TL-buis.
- Zeer hoog contrast, diep zwart.
- Goede kleurweergave.
- Snel.
- Betere kijkhoek dan LCD.
- Energieverbruik vergelijkbaar met CRT.
- Gevoelig voor inbranden en veroudering.



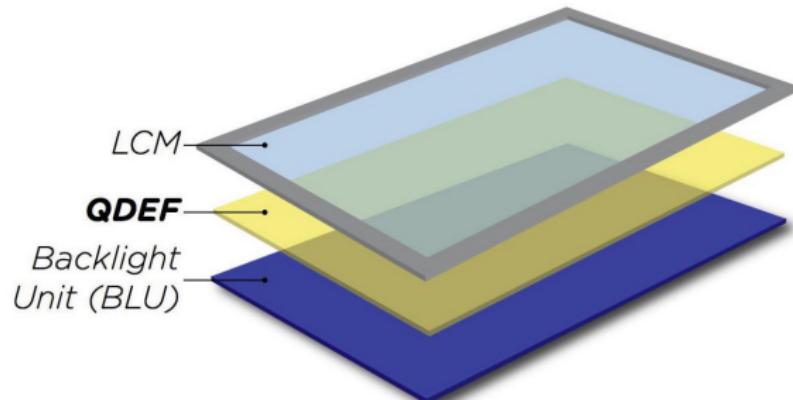
OLED

- Organische LEDs: geen puntlichtbron maar oppervlakje
- Geen backlight nodig.
- Zeer hoog contrast, diep zwart.
- Goede kleurweergave.
- Relatief energiezuinig.
- Goede kijkhoek.
- Mogelijkheid voor flexibel scherm.



QLED

- Quantum Dot Enhancement Film (QDEF) produceert rood en groen licht als er met blauw licht op geschenen wordt.
- Nog steeds gewone Liquid Crystal Module (LCM) nodig.
- Helderder backlight → helderder kleuren.
- Niet echt diep zwart.
- Kijkhoek beperkt.



Displays

TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

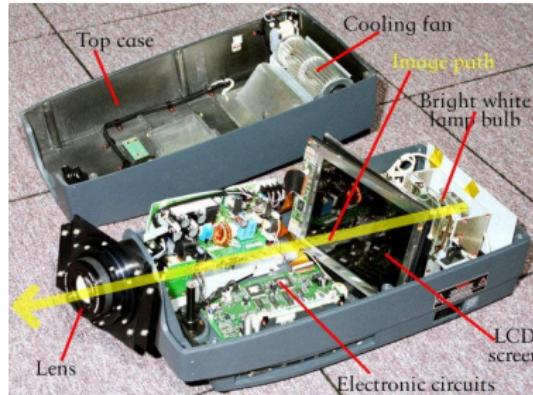
Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

Video projector (“beamer”)

- LCD met lamp erachter en lens ervoor.
- Thuisbioscoop, Smartboard, presentaties.
- Lawaaig door koelventilator lamp.
- Met LED-lamp minder koeling nodig.
- In opkomst in bioscopen.



Displays

TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

LED matrix

- Groot.
- Duur.
- Hoog energieverbruik.
- Met daglicht goed zichtbaar.
- Commercieel interessant voor voetbalstadions, billboards.



Displays

TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

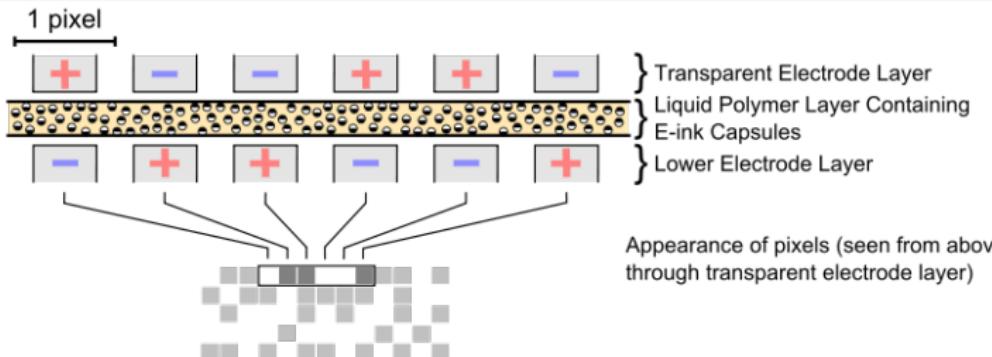
Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

Electronic paper

- Geen backlight nodig.
- Hoog contrast.
- Met daglicht goed zichtbaar.
- Zeer laag energieverbruik.
- Mogelijkheid voor flexibel scherm.
- Zeer langzaam



Displays

TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

3D displays: anaglyph

- Door kleurfilters verschillende beelden in de twee ogen.
- Geen speciale apparatuur nodig.
- Goedkoop brilletje.
- Geen/onnatuurlijke kleur.



Displays

TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

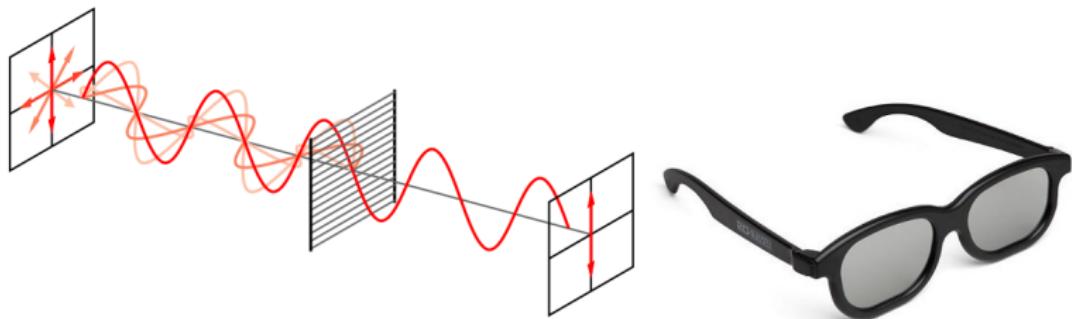
Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

3D displays: gepolariseerd

- Door polarisatiefilters verschillende beelden in de twee ogen.
- Speciale projector nodig.
- Duurder brilletje.
- Goede kleurweergave.



3D displays: shutterglasses

- Door afwisselend blinderen verschillende beelden in de twee ogen.
- Geen speciale projector nodig, wel hoge framerate.
- Duur brilletje, heeft verbinding met computer nodig.
- Goede kleurweergave.



Displays

TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

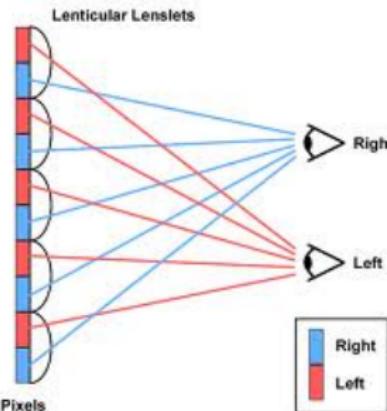
Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

3D displays: auto-stereoscopisch

- Door lensjes of tussenschotje verschillende beelden in de twee ogen.
- Geen brilletje nodig.
- Speciaal scherm, duur.
- Goede kleurweergave.



Displays

TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

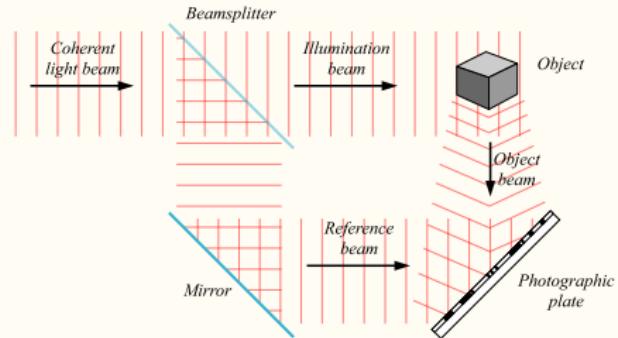
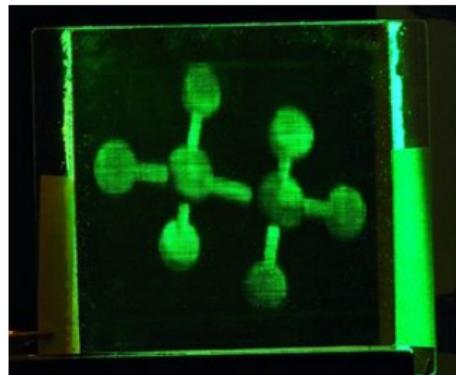
Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

3D displays: holografie

- Speciale fotografische techniek.
- Gebaseerd op interferentie van coherent licht.
- Bevat informatie van verschillende kijkhoeken.
- Nog geen bewegend beeld.
- Geen kleurweergave.



TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

Kleuren afbeelden

Kleuren afbeelden

TINCGR02 —

Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

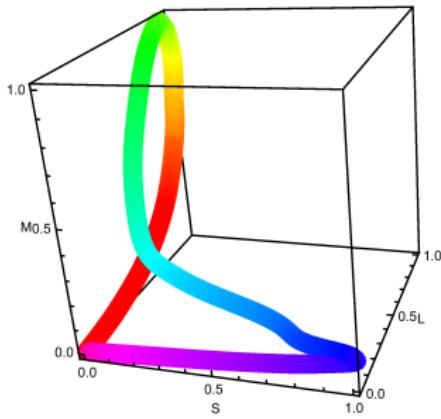
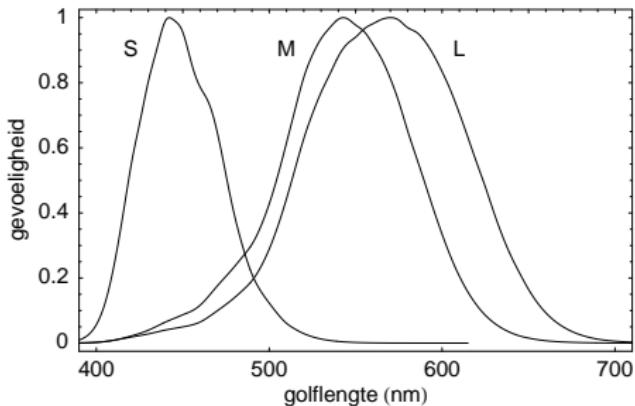
Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

Kleurruimtes

- Drie receptortypes: S, M en L.
- ⇒ Drie-dimensionale kleurruimte.
- Probleem: door overlap in golflengte niet mogelijk om ieder receptortype apart aan te spreken.



Kleuren afbeelden

TINCGR02 —

Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

Displays

Kleuren
afbeelden

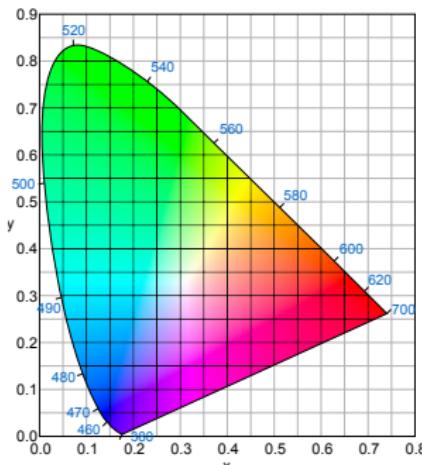
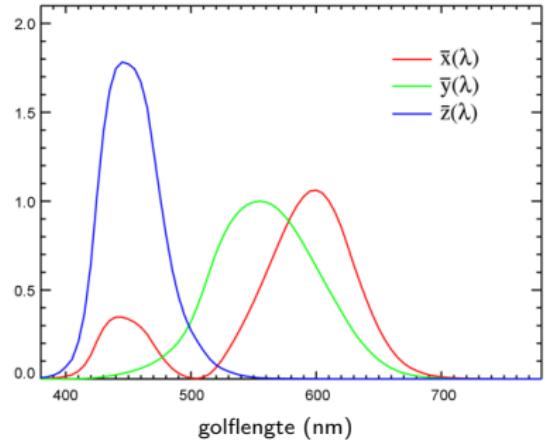
Helderheid
afbeelden

Kleurruimtes

- Oplossing: transformatie naar andere kleurruimte.
- Maar welke (oneindig veel mogelijkheden)?
- Kies er één waarbij:
 - Iedere mogelijke kleur te beschrijven is met 3 **positieve** getallen.
 - Eén van de drie getallen overeenkomt met helderheid, en de andere twee met de tint.
- ⇒ XYZ-kleurruimte, bedacht in 1931 door de Commission internationale de l'éclairage (CIE).
- Color Matching Functions $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ en $\bar{z}(\lambda)$ bepalen weging van lichtspectrum $L(\lambda)$ voor de 3 componenten X , Y en Z .

Kleurruimtes

- Getallen X , Y , en Z geven een locatie aan in de XYZ-kleurruimte: $X = \int L(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$.
 - Normaliseren naar waarde tussen 0 en 1: $x = \frac{X}{X+Y+Z}$.
 - Projectie op xy -vlak: *gamut* van waarneembare kleuren.



Kleuren afbeelden

TINCGR02 —

Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

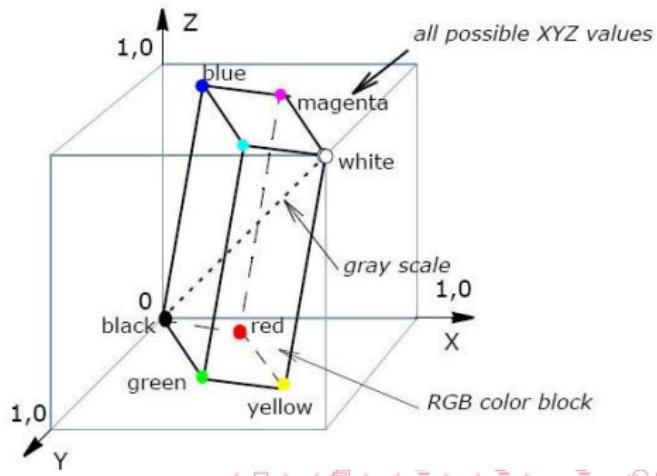
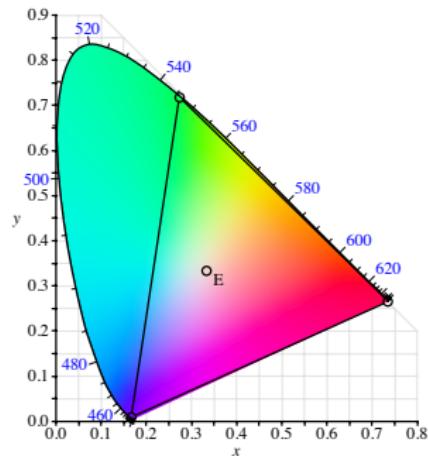
Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

Kleurruimtes

- Kies nu 3 golflengtes (R, G, en B) die een driehoek opspannen in het xy -vlak.
- Deze vormen de RGB-kleurruimte.
- Dit is een **deelruimte** van de XYZ/xyY-kleurruimte.



Kleuren afbeelden

TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

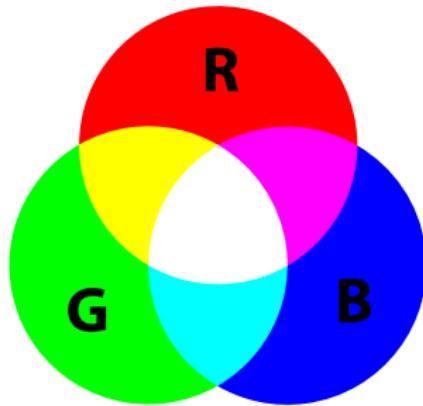
Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

Additieve kleurmenging

- Bundels **licht** met verschillende kleuren **tellen op**.
- Rood + Groen = Geel.
- Rood + Blauw = Paars.
- Groen + Blauw = Turkoois.
- Rood + Groen + Blauw = Wit.



Kleuren afbeelden

TINCGR02 —

Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

RGB-kleurenkubus

- Computer: meestal 1 byte per component \Rightarrow 24-bits kleur.
- Diagonaal = lightness (L).

Kleuren afbeelden

TINCGR02 —

Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

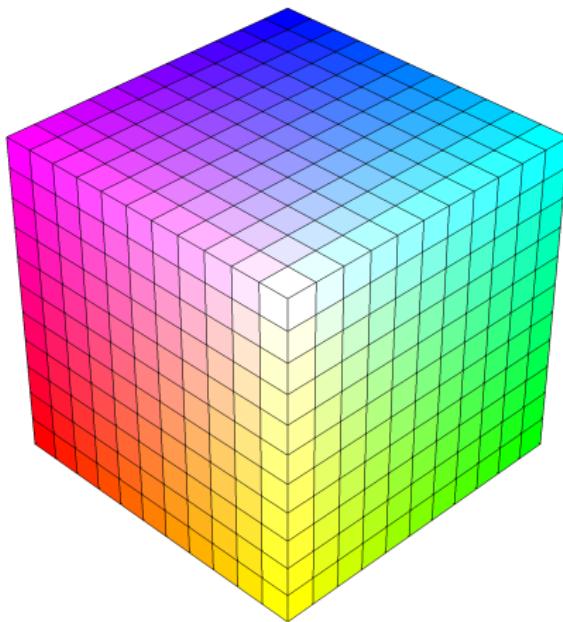
Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

HSL-kleurruimte

- Andere indeling van RGB-kleurruimte.
- Hue (H, 0...360°), saturation (S), lightness (L).



Kleuren afbeelden

TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

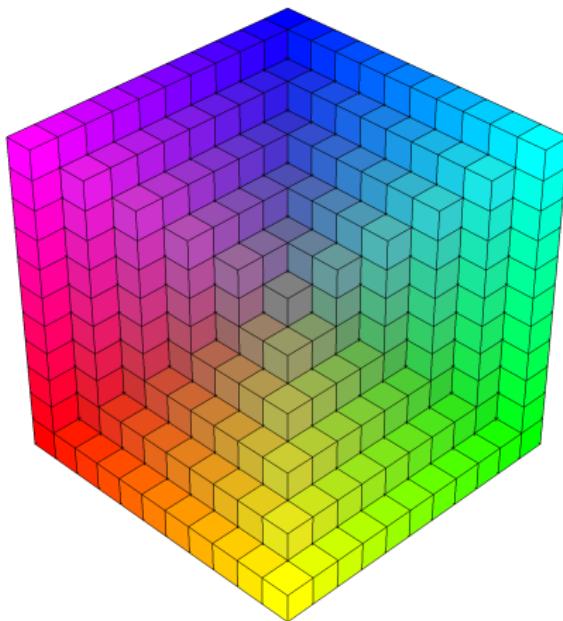
Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

HSL-kleurruimte

- Andere indeling van RGB-kleurruimte.
- Hue (H, 0...360°), saturation (S), lightness (L).



Kleuren afbeelden

TINCGR02 —

Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

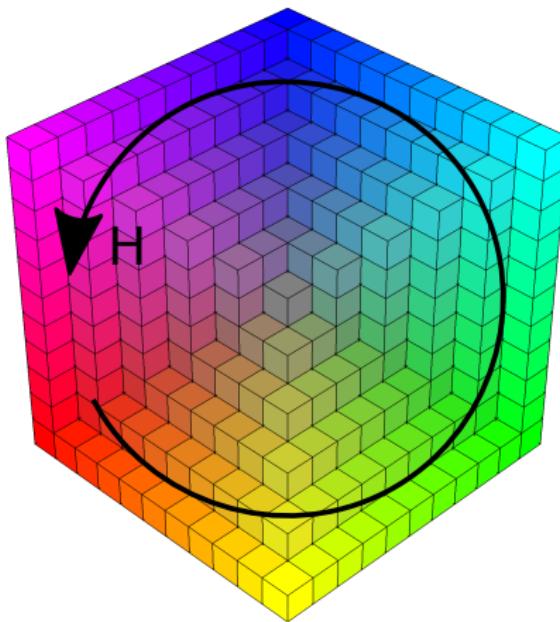
Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

HSL-kleurruimte

- Andere indeling van RGB-kleurruimte.
- Hue (H, 0...360°), saturation (S), lightness (L).



Kleuren afbeelden

TINCGR02 —

Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

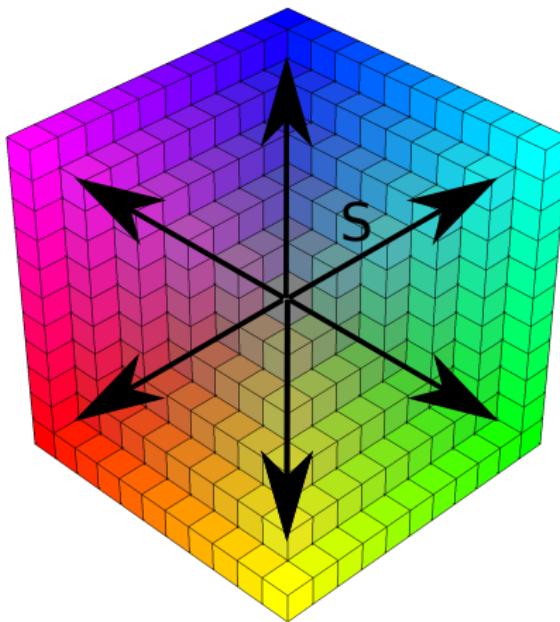
Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

HSL-kleurruimte

- Andere indeling van RGB-kleurruimte.
- Hue (H, 0...360°), saturation (S), lightness (L).



Kleuren afbeelden

TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

Transparantie

- Doorschijnende oppervlakken simuleren.
- Extra parameter: opaciteit $\alpha = 1 - \text{transparantie}$.
- \Rightarrow RGBA-kleurruimte (32 bits per pixel).
- $(R, G, B)_{\text{res}} = \alpha(R, G, B)_{\text{voor}} + (1 - \alpha)(R, G, B)_{\text{achter}}$.

$$(R, G, B) = (1, 0, 0)$$
$$\alpha = 0.5$$



$$(R, G, B) = (0, 1, 0)$$
$$\alpha = 1.0$$

Kleuren afbeelden

TINCGR02 —

Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

Palet

- 24 bits per pixel kost een hoop geheugen/schijfruimte.
- Niet elke kleur in ieder plaatje aanwezig.
- Kies de 256 meestvoorkomende kleuren in het plaatje en geef die een nummer.
- $\Rightarrow 8 \text{ bits per pixel} + 256 \times 24 \text{ bits} \Rightarrow 66\% \text{ besparing.}$



Kleuren afbeelden

TINCGR02 —

Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

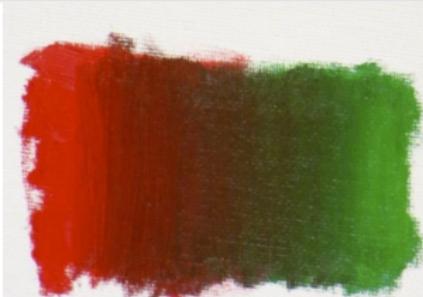
Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

Verf en inkt

- Hoe zit het met oppervlakken die zelf geen licht uitzenden; alleen reflecteren?
- Een rood geverfd oppervlak weerkaatst rood licht, een groen oppervlak groen licht.
- Een oppervlak geverfd met een mengsel van rood en groen weerkaatst dus geel licht? **NEE!**
- Rode verf absorbeert de meeste andere kleuren, dus ook groen. Groene verf absorbeert o.a. rood. ⇒ vies bruin.



Kleuren afbeelden

TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

Verf en inkt

- Nodig om alle andere kleuren te mengen: verf die 2 van de 3 primaire kleuren weerkaatst, en 1 absorbeert.
- Bijv. voor rood oppervlak: verf die rood en groen weerkaatst (en blauw absorbeert) mengen met verf die rood en blauw weerkaatst (en groen absorbeert).
- Verf die **blauw** absorbeert ziet er **geel** uit.
- Verf die **rood** absorbeert ziet er **turkoois** uit.
- Verf die **groen** absorbeert ziet er **paars** uit.



Kleuren afbeelden

TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

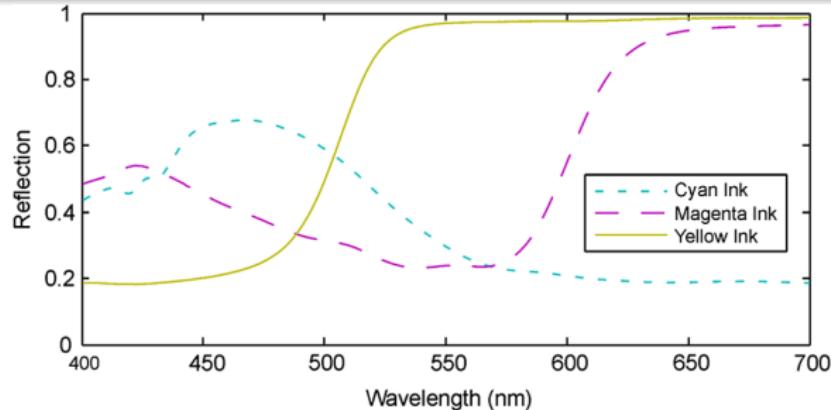
Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

Subtractieve kleurmenging

- Iedere basiskleur **verf/inkt onttrekt** een kleur aan het weerkaatste licht.
- Drukkers noemen paars “magenta” en turkoois “cyaan” \Rightarrow CMY-kleurruimte.
- Extra inkt: zwart (key, K) omdat het lastig is om 3 inktten precies over elkaar te drukken \Rightarrow CMYK-kleurruimte.



Kleuren afbeelden

TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

Opdracht 2: Rekenen met kleuren

- Schrijf (in Java, C/C++ of Python) functies die:
 - RGB omrekent in CMY: `RGBtoCMY(r, g, b)`.
 - CMY omrekent in RGB: `CMYtoRGB(c, m, y)`.
 - RGB omrekent in HSL: `RGBtoHSL(r, g, b)`.
 - HSL omrekent in RGB: `HSLtoRGB(h, s, l)`.
 - de RGB-kleur berekent van een vlak met
$$(R, G, B, \alpha) = (R_1, G_1, B_1, \alpha_1)$$
 dat bovenop een vlak ligt met
$$(R, G, B, \alpha) = (R_2, G_2, B_2, 1)$$
:
`transparency(r1, g1, b1, alpha1, r2, g2, b2)`.
- R, G, B, C, M, Y, S, L en α lopen van 0–1, H van 0–360°.
- Formules voor HSL te vinden in document `HSL_kleurruimte.pdf` op Teams.
- Broncode voorzien van commentaar binnen 1 week inleveren via Teams.

Beoordeling

- Het programma maakt geen gebruik van één van de voorgeschreven templates voor Python, Java, C of C++: 0 pnt, ook geen andere punten voor deze opdracht mogelijk.
- (compileert en) draait zonder foutmeldingen: 1 pnt
- RGBtoCMY() correct geïmplementeerd: +1 pnt
- CMYtoRGB() correct geïmplementeerd: +1 pnt
- RGBtoHSL() correct geïmplementeerd: +2 pnt
- HSLtoRGB() correct geïmplementeerd: +2 pnt
- transparency() correct geïmplementeerd: +1 pnt
- voorzien van informatief commentaar: +1 pnt
- Het programma is naar de mening van de docent zeer elegant of zit technisch zeer slim in elkaar: +1 pnt

TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

Helderheid afbeelden

Helderheid afbeelden

TINCGR02 —

Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

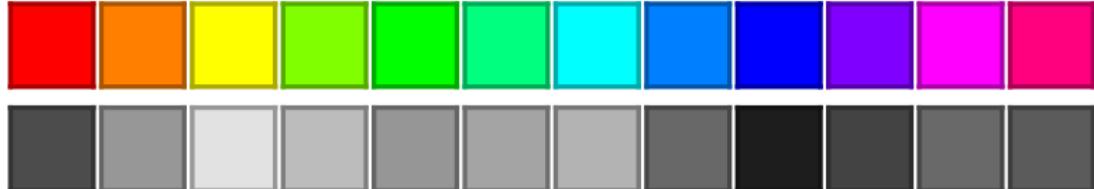
Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

Grayscale

- Grijswaarde als $R = G = B$.
- 8 bits per pixel.
- Conversie naar grijswaarde: gewogen gemiddelde:
$$\text{grijswaarde} = 0.2126R + 0.7152G + 0.0722B.$$
- Kleuren met dezelfde lightness hebben niet dezelfde grijswaarde.



Helderheid afbeelden

TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

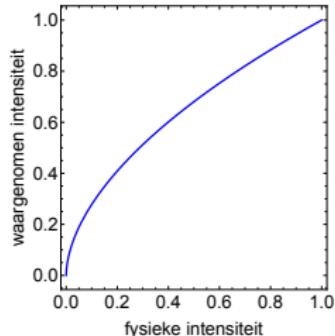
Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

Gamma-correctie

- Waarneming van helderheid is niet lineair.
- Fysiek $2 \times$ zo helder wordt $\sim 1.5 \times$ zo helder waargenomen.
- Hiervoor wordt gamma-correctie gebruikt in de monitor:
 $I = S^\gamma$.
- PC: $\gamma = 2.2$; Mac: $\gamma = 1.8$.



Helderheid afbeelden

TINCGR02 —
Computer
Graphics

dr. Wouter
Bergmann
Tiest

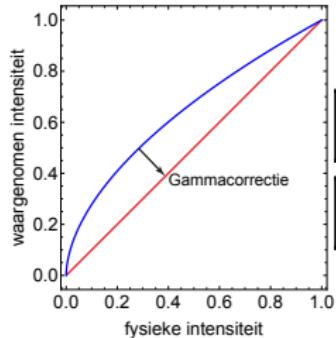
Displays

Kleuren
afbeelden

Helderheid
afbeelden

Gamma-correctie

- Waarneming van helderheid is niet lineair.
- Fysiek $2 \times$ zo helder wordt $\sim 1.5 \times$ zo helder waargenomen.
- Hiervoor wordt gamma-correctie gebruikt in de monitor:
 $I = S^\gamma$.
- PC: $\gamma = 2.2$; Mac: $\gamma = 1.8$.



Zonder gamma-correctie



Met gamma-correctie