

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

# TINCGR01 — Computer Graphics

dr. Wouter Bergmann Tiest

Hogeschool Rotterdam

W.M.Bergmann.Tiest@hr.nl

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

# Displays

# Displays

TINCGR01 —

Computer  
Graphics

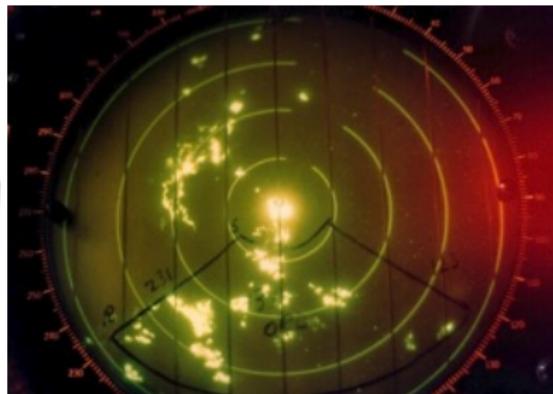
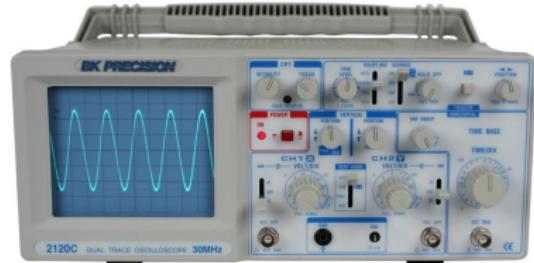
dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2



## Vereisten

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

# Displays

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

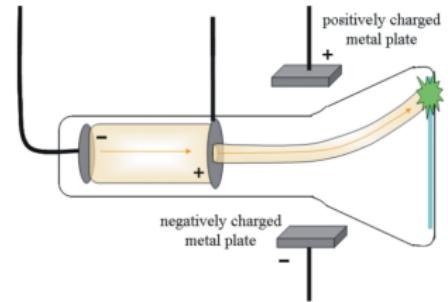
dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2



# Displays

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

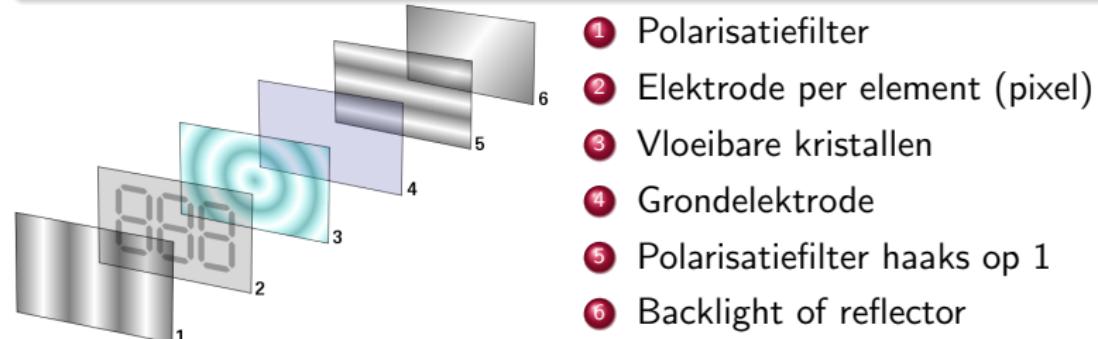
dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2



# Displays

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

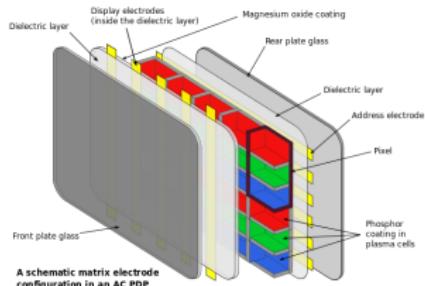
Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## 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.



# Displays

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## OLED

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



# Displays

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

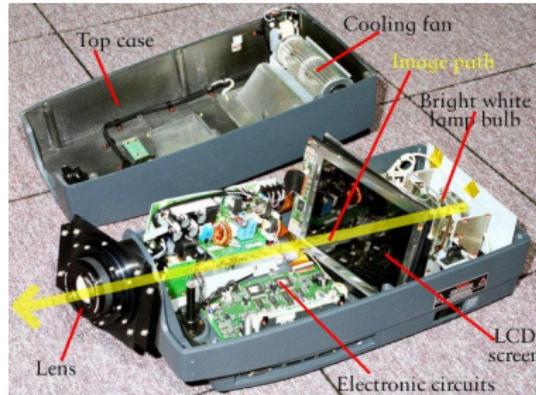
Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## 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

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

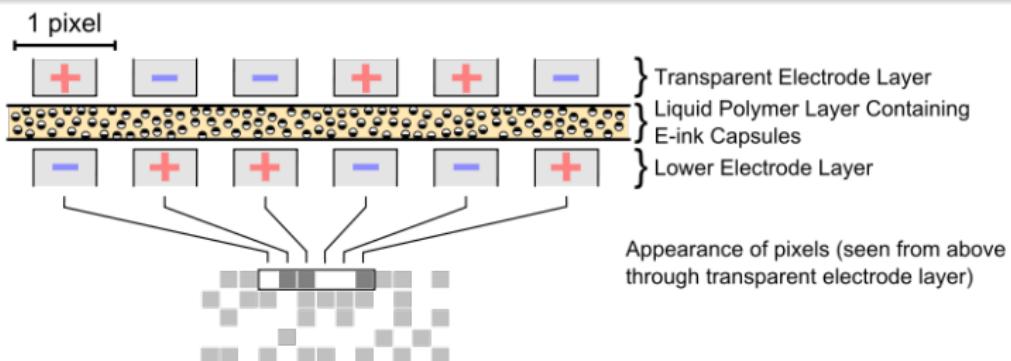
## LED matrix

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



## Electronic paper

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



# Displays

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

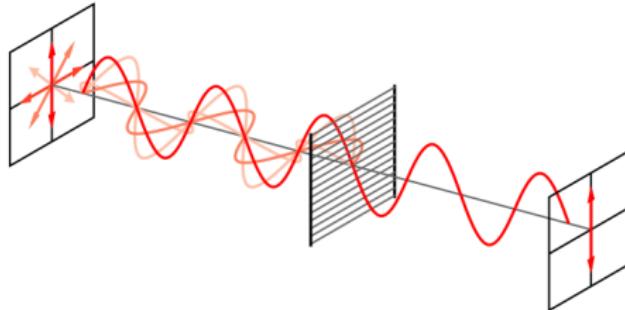
## 3D displays: anaglyph

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



## 3D displays: gepolariseerd

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



# Displays

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## 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

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

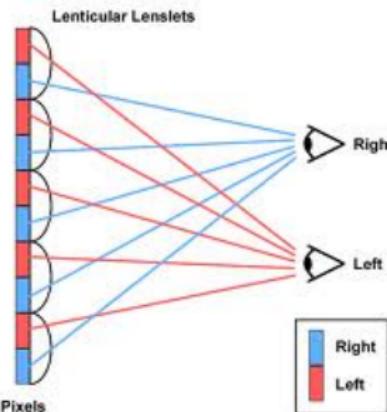
Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## 3D displays: auto-stereoscopisch

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



# Displays

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

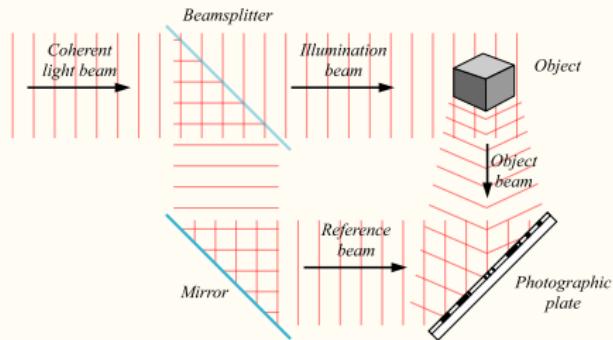
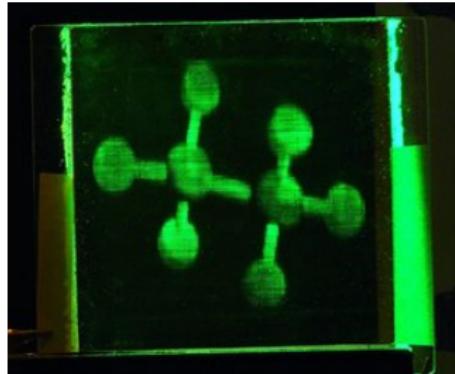
Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## 3D displays: holografie

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



TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

# Kleuren afbeelden

# Kleuren afbeelden

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

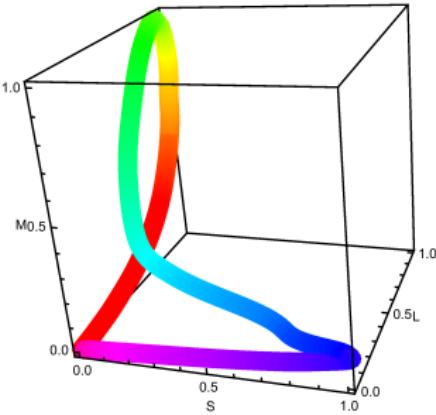
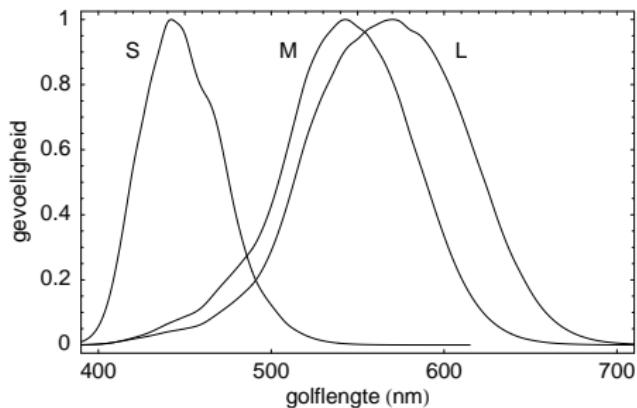
Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## 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

TINCGR01 —

Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## 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  $Z$ .

# Kleuren afbeelden

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

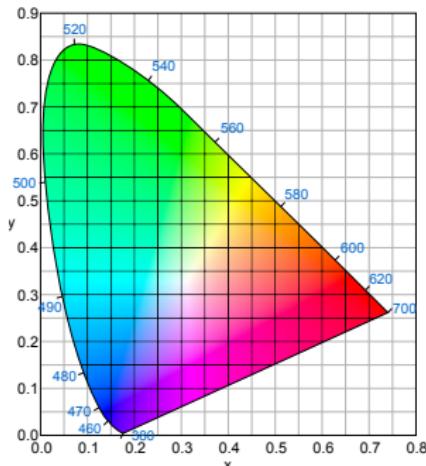
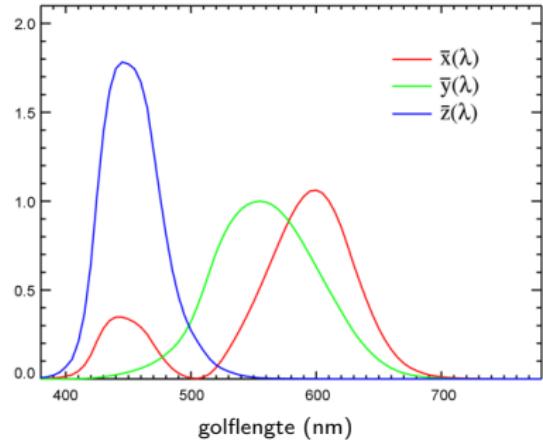
Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## 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

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

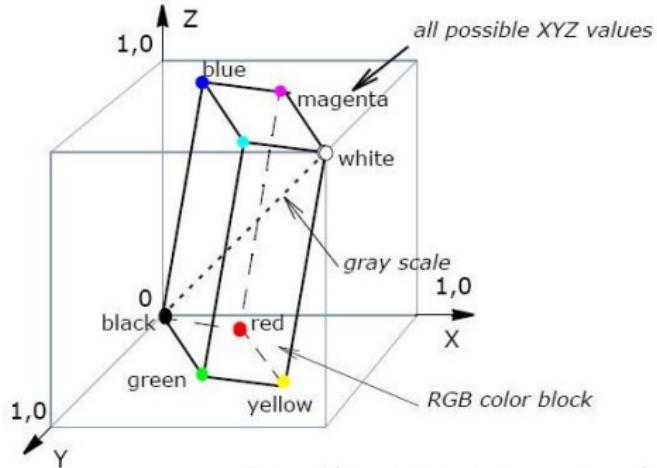
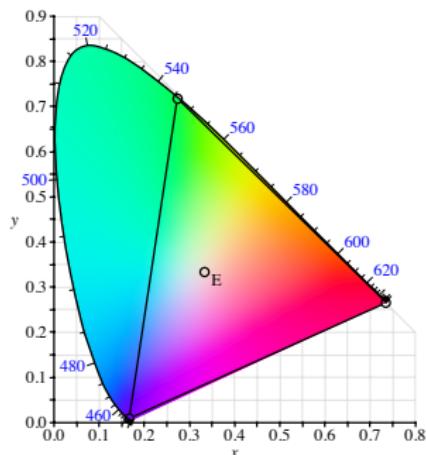
Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## 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

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

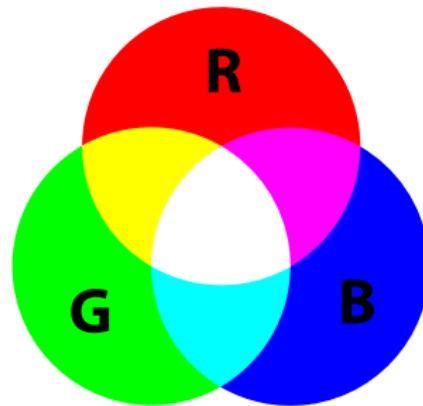
Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## Additieve kleurmenging

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



# Kleuren afbeelden

TINCGR01 —

Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## RGB-kleurenkubus

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

# Kleuren afbeelden

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

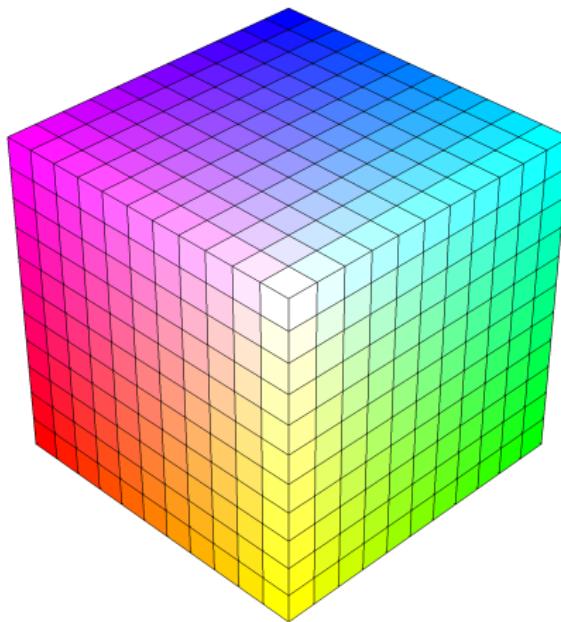
Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## HSL-kleurruimte

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



# Kleuren afbeelden

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

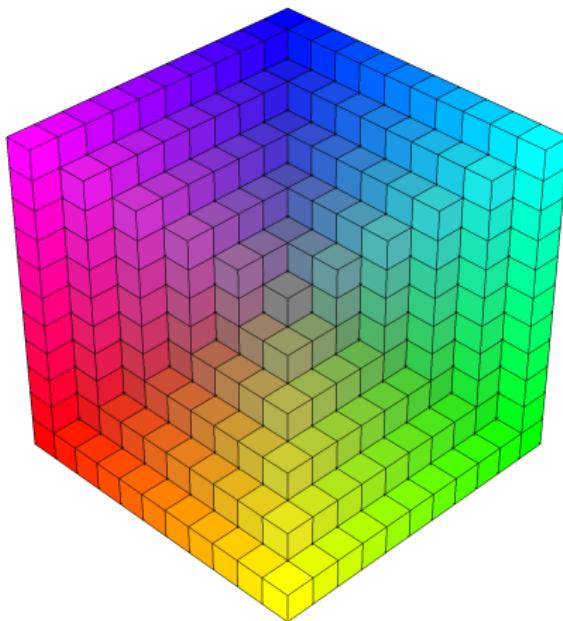
Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## HSL-kleurruimte

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



# Kleuren afbeelden

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

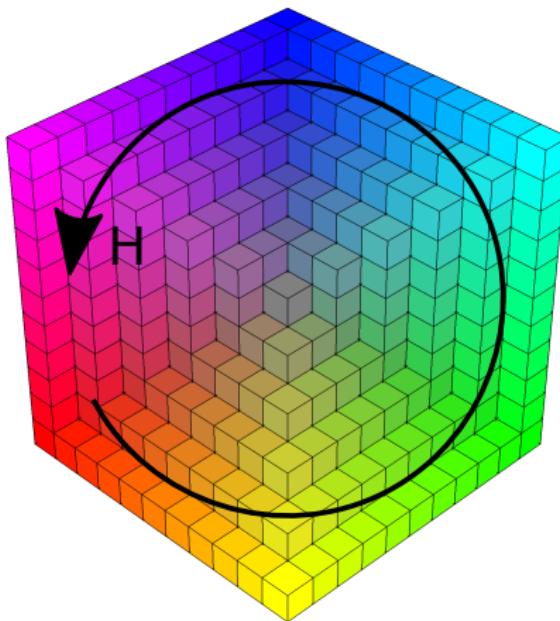
Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## HSL-kleurruimte

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



# Kleuren afbeelden

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

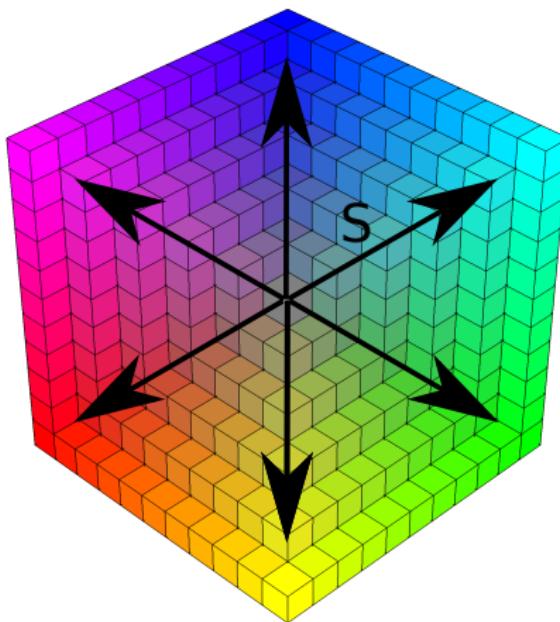
Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## HSL-kleurruimte

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



# Kleuren afbeelden

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## 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

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## 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

TINCGR01 —

Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

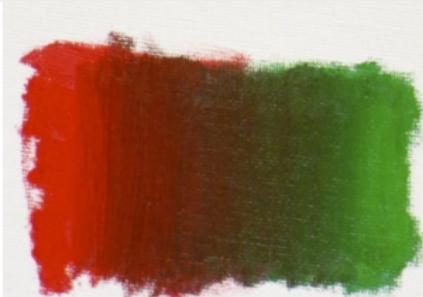
Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## 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

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## 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

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

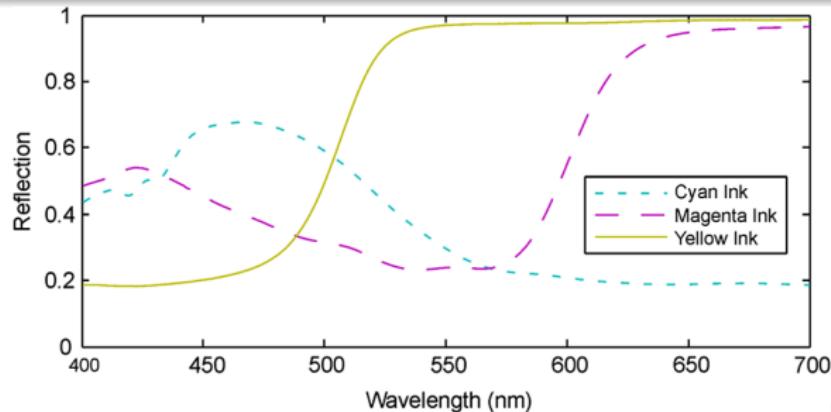
Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## 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.



TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

# Helderheid afbeelden

# Helderheid afbeelden

TINCGR01 —

Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

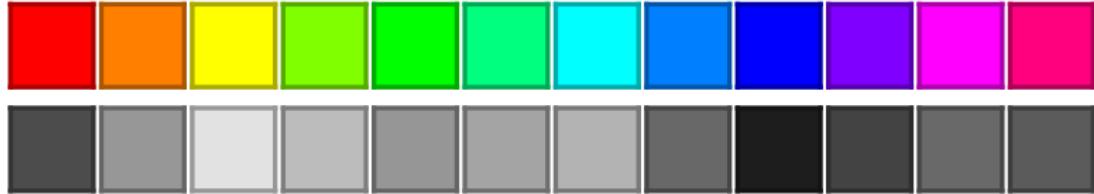
Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## 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

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

## 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:  $\gamma = 1.8$ .



TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 2

# Opdracht les 2

# Opdracht les 2

TINCGR01 —  
Computer  
Graphics

dr. Wouter  
Bergmann  
Tiest

Displays

Kleuren  
afbeelden

Helderheid  
afbeelden

Opdracht les 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  $\alpha$  lopen van 0–1,  $H$  van 0–360°.
- Formules voor HSL te vinden in document `HSL_kleurruimte.pdf` op N@tschool.
- Broncode voorzien van commentaar inleveren via N@tschool vóór begin volgende les.