

1. Vorlesung Mikroskopische Bildverarbeitung

Wahlpflichtmodul 9521: EI-M im 1. und 3. Fachsemester

1. Organisatorisches

Ulf-Dietrich Braumann, Prof. Dr.-Ing.

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
Hochschule für Wirtschaft, Technik und Kultur Leipzig
Wächterstraße 13
04107 Leipzig
Zimmer 111.1
Tel. 3076-1251
braumann@htwk-leipzig.de

und

Interdisziplinäres Zentrum für Bioinformatik, Universität Leipzig
Härtelstraße 16-18
04107 Leipzig
Zimmer 440.1
Tel. 97-16656
braumann@uni-leipzig.de

und

Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie
Fachgruppe "Zell-funktionale Bildanalyse"
Perlickstraße 1

04103 Leipzig
Tel. 35536-5403
ulf-dietrich.braumann@izi.fraunhofer.de

Studentinnen und Studenten

14EI/AT-M; 14EI/MET-M; 14EI/EET-M; 14EI/KTB-M; 14EI(A)/AT-M; 14EI(A)/EET-M;
15EI/AT-M; 15EI/MET-M; 15EI/EET-M; 15EI/KTB-M;

Bitte um Ergänzung der Namensliste mit Email-Adressen

Vorlesungen - Seminarraum W107

KW 43: Freitag, 23. Oktober 2015, 7:30-11:00: 1. Vorlesung - Einführung, Grundbegriffe, Licht, Farbe, Entropie, mikroskop. Modalitäten

KW 45: Freitag, 6. November 2015, 7:30-11:00: 2. Vorlesung - Digitale Bildrepräsentation

⇒ angefragt bei Guido Vollbeding ([libjpeg](#)-Maintainer, Institut für Angewandte Informatik - InfAi, Univ.

Leipzig)

KW 47: Freitag, 20. November 2015, 7:30-11:00: 3. Vorlesung - Histogramme, Histogrammausgleich, lineare/nichtlineare Filter

KW 49: Freitag, 4. Dezember 2015, 7.30-11:00: 4. Vorlesung - Texturelle Eigenschaften, Binarisierung & Segmentierung

KW 51: Freitag, 18. Dezember 2015, 7:30-11:00: 5. Vorlesung - Bildverbesserung & Merkmalsextraktion für Zellen & Gewebe

KW 2: Freitag, 15. Januar 2016, 7:30-11:00: 6. Vorlesung - Quantifizierung v. Zellen (z.B. Astrozyten) & Geweben (Prostata-Ca)

KW 4: Freitag, 29. Januar 2016, 7.30-11:00: 7. Vorlesung - 3D-Rekonstruktion aus Serienschnitten (z.B. Zervix-Ca)

Übungen (Praktika) - PC-Pool W303 und Nachbarraum

KW 42: Freitag, 16. Oktober 2015, 7.30 - 11.00: 1. Übung - Einführung in *Mathematica*

KW 44: Freitag, 30. Oktober 2015, 7.30 - 11.00: 2. Übung - t.b.a.
 KW 46: Freitag, 13. November 2015, 7.30 - 11.00: 2. Übung - t.b.a.
 KW 48: Freitag, 27. November 2015, 7.30 - 11.00: 3. Übung - t.b.a.
 KW 50: Freitag, 11. Dezember 2015, 7.30 - 11.00: 4. Übung - t.b.a.
 KW 1: Freitag, 8. Januar 2016, 7.30 - 11.00: 5. Übung - t.b.a.
 KW 3: Freitag, 22. Januar 2016, 7.30 - 11.00: 6. Übung - t.b.a.

Belegarbeiten

KW 45: ab Freitag, 6. November 2015: Themenausgabe in der Vorlesung
 KW 3: Freitag, 22. Januar 2016: Frist zur Abgabe und Demonstration

Prüfungsart

Prüfung 30min mündlich (u.a. Vorstellung der Belegarbeit)

Aufwand und Umfang

5 ECTS-Punkte, 60h für Präsenzstudium, je 30h für Selbststudium und Belegbearbeitung

Website für Skripte, Übungsaufgaben und evtl. Literatur

```
In[19]= website
        website // Last
```

```
Out[19]= Web-Server Mikroskopische Bildgebung im WS 2015/16
```

```
Out[20]= http://izbifs.izbi.uni-leipzig.de/~braumann/HTWK/Mikroskopische_Bildverarbeitung/
```

Initialisierung

2. Übersicht

Worum geht es - Gegenstand der digitalen Bildverarbeitung und Grundbegriffe

Digitalbilder

Ursprünge: seit den 1920ern transatlantische Bildübertragungen, wenige Intensitätsstufen, spezielle Druckzeichen oder Einsatz von Filmbelichtern.

Aber: keine Verarbeitung im eigentlichen Sinne.

Was zeichnet Digitalbilder aus?

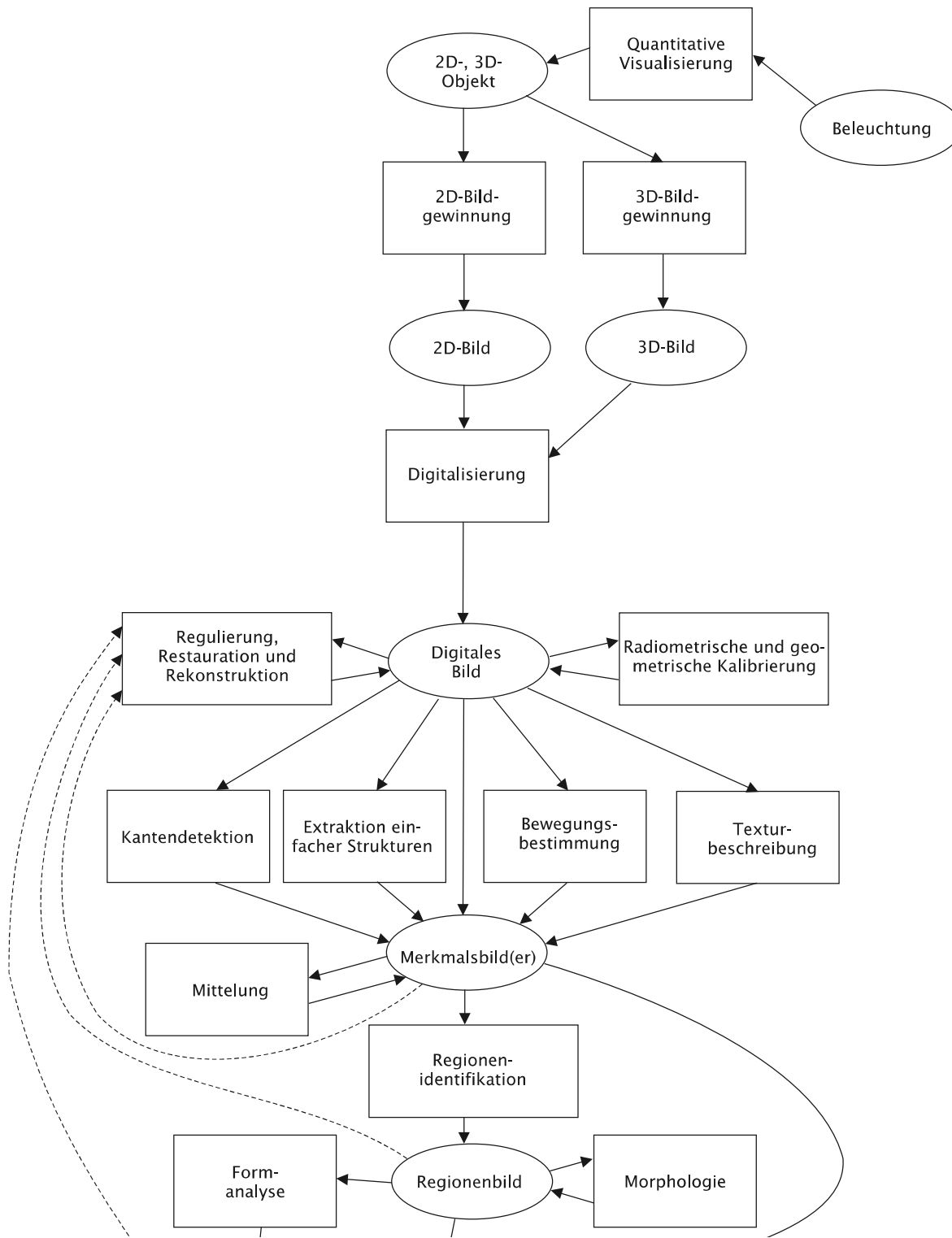
Darstellung zweidimensionaler Funktionen $f(x,y)$ in orts-diskretisierter und intensitäts-quantisierter Form. Es wird zudem ein zulässiger Wertebereich definiert. Es wird von Bildelementen (Pixel) gesprochen, die auf einem regulären Raster angeordnet sind.

Was ist mit Verarbeitung gemeint?

Es gibt keine scharfe Abgrenzung, wo Bildverarbeitung anfängt und aufhört, d.h. gehört eine Mittelwertbildung bereits dazu, oder gehört Bildanalyse bereits zu einer anderen Disziplin? Jedenfalls brauchen wir dafür Digitalrechner, die seit etwa 50 Jahren überhaupt leistungsfähig genug sind.

Es soll uns gehen um Prozesse,

- deren Eingabe und Ausgabe aus Digitalbildern bestehen oder
 - die aus Digitalbildern Attribute extrahieren.
-



Wir werden uns befassen mit

- Bildaufnahme und Darstellung von Bildern im Rechner
- typischen Modalitäten der Mikroskopie
- Bildverbesserung
- Bildinterpretation
- Merkmalsextraktion
- Bildmodifikation

Verwandte Gebiete, die wir höchstens streifen

- Bildbearbeitung
- Mustererkennung
- Computergraphik
- Algorithmische Geometrie

Was ist das besondere am Sehen?

Es fallen erhebliche Datenmengen an - der informationsreichste der fünf Sinne:

- Sehen: 2...10Mbit/s
- Hören: 20...1000kbit/s
- Tasten: 2...200kbit/s
- Schmecken: 10...100bit/s
- Riechen: 10...13bit/s

Digitalkameras weisen heute sensorseitig Rastergrößen bis zu 80Mpx auf.

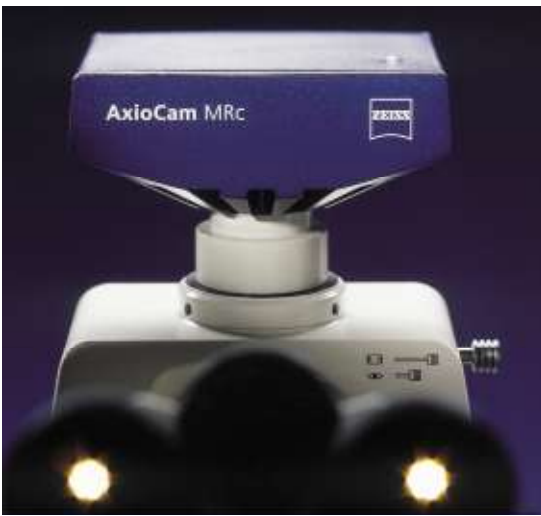
Aber auch schon alte elektronische Analogkameras (plus Framegrabber zur externen Digitalisierung) lieferten bei 25Bildern/s eine Menge Daten: ca. 31.6MByte/s



VC – C1 (Canon, ca. 1996), 1 / 3 – Zoll – CCD, S – Video, Framegrabber 768 x 576 px, RGB 8 bit

Digitalkameras (für Einzelbilder oder Bildfolgen) sind mittlerweile als Bildquellen allgegenwärtig. Angesichts ausgereifter Digitalrechner sind Entwicklung und Einsatz von Bildverarbeitungslösungen auf einer Vielzahl von Gebieten nur logische Folge:

- Militär
- Raumfahrttechnik
- Fernerkundung
- Astronomie
- Industrie
- Biomedizin :-)
- Multimedia
- Biometrie
- Sicherheitstechnik
- Archivwesen
- ...



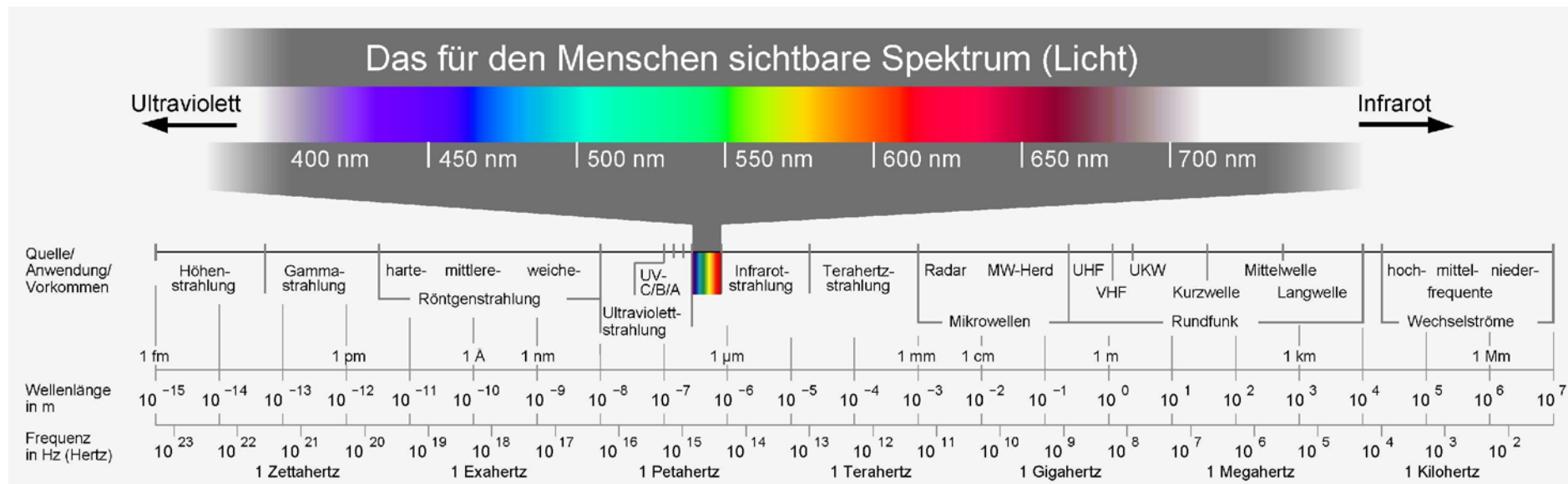
AxioCam MRc (Zeiss, ca. 2002), 2/3-Zoll-CCD, interne Digitalisierung 1300 x 1030 px, RGB 12bit

Literaturvorschläge

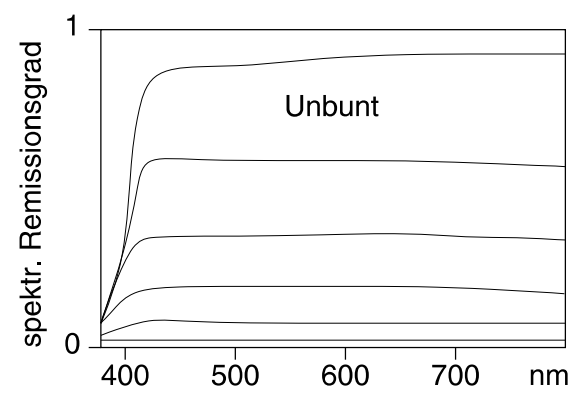
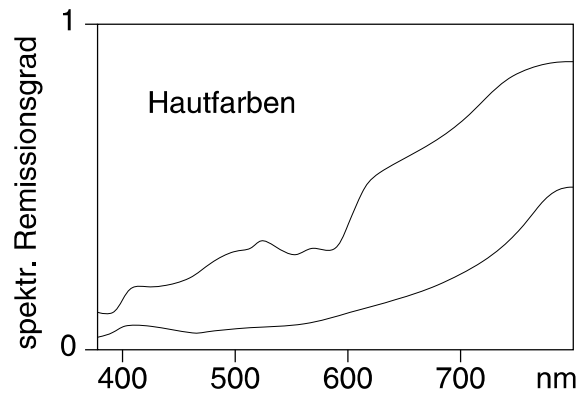
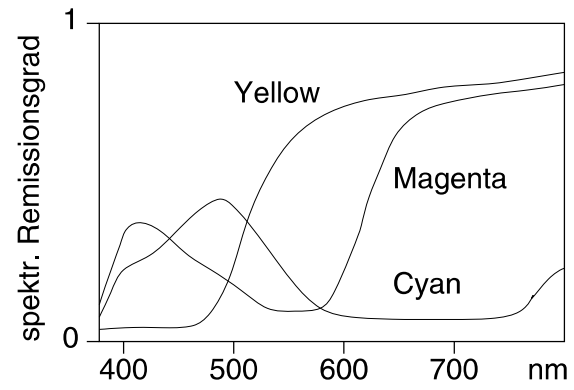
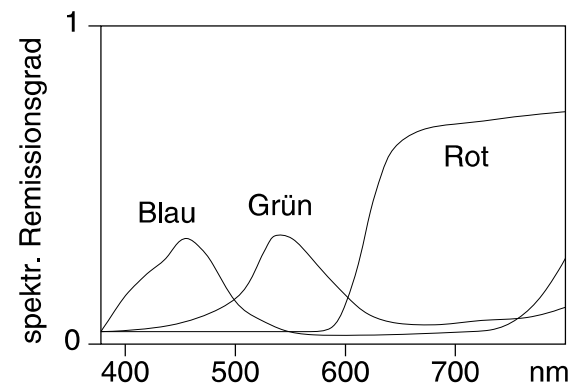
- Bernd Jähne: Digitale Bildverarbeitung, Springer
- Klaus Tönnies: Grundlagen der Bildverarbeitung. Pearson
- Heinz Handels: Medizinische Bildverarbeitung, Vieweg+Teubner
- Rafael C. Gonzales, Richard E. Woods: Digital Image Processing, Pearson
- Qiang Wu, Fatima A. Merchant, Kenneth R. Castleman: Microscope Image Processing, Academic Press

3. Licht, Beleuchtung und optische Abbildung

Spektrale Bereiche der Bildgebung



Typische spektrale Remissionskurven nach Beleuchtung mit weißem Licht



Abstandsquadratgesetz

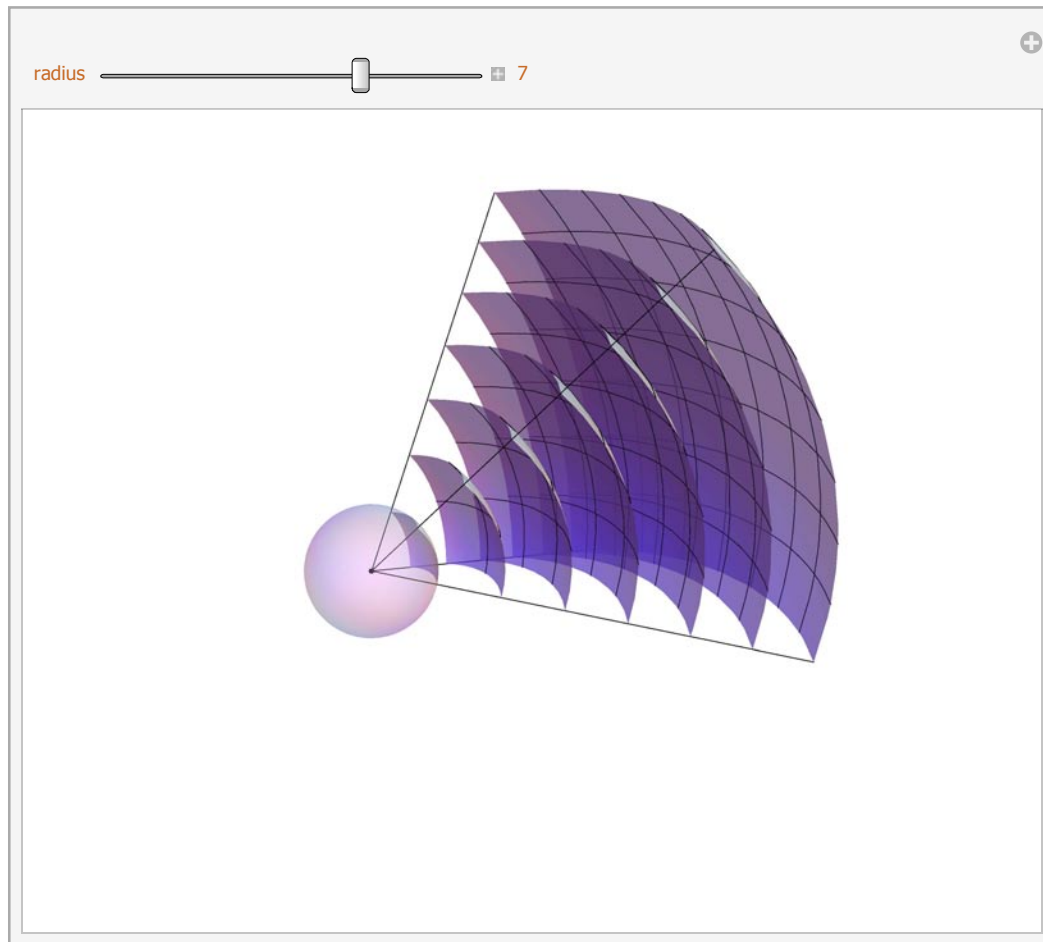
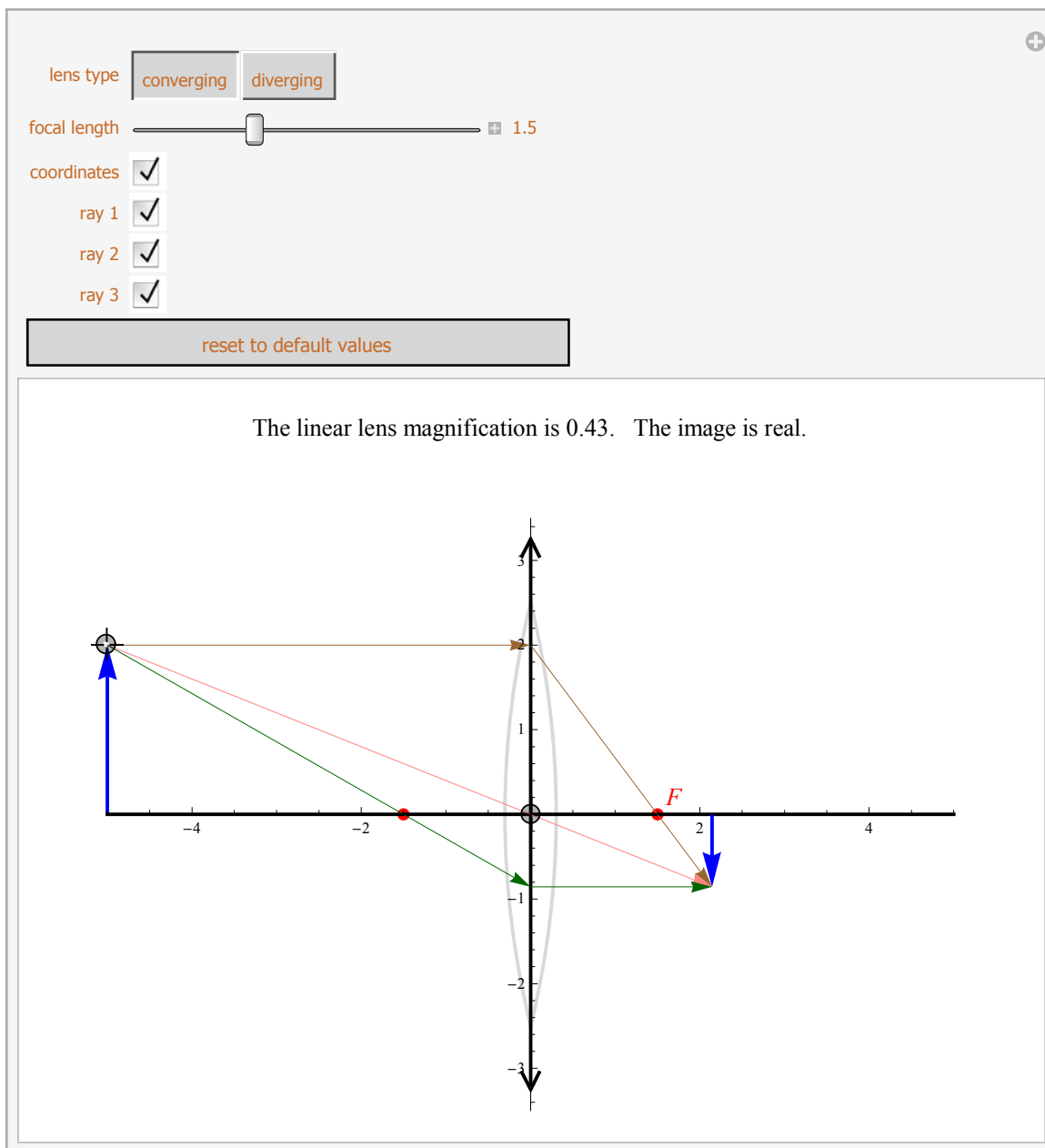


Abbildung dünner Linsen



Brennweite: F

Gegenstandsweite: G_W

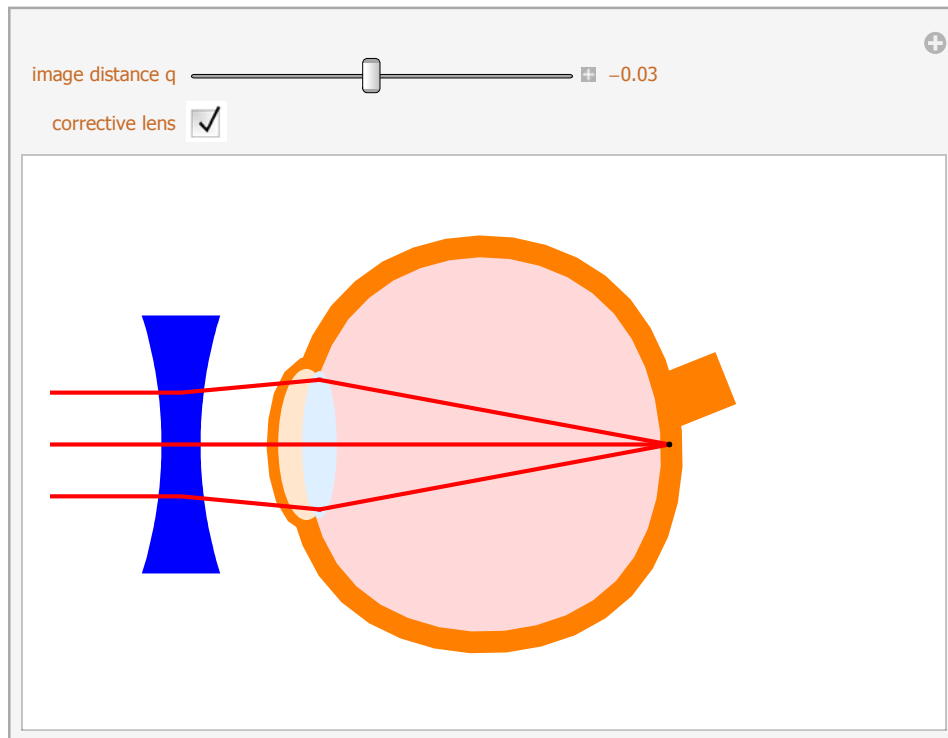
Bildweite: B_W

Gegenstandshöhe: G_H

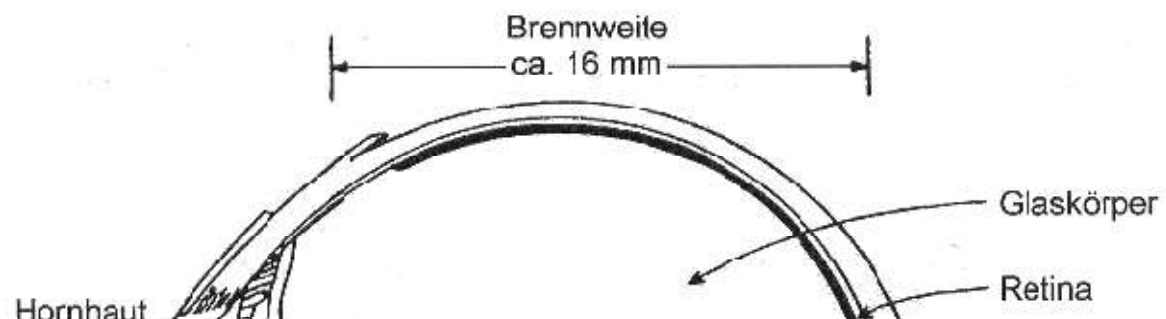
Bildhöhe: B_H

$$\frac{1}{B_W} + \frac{1}{G_W} = \frac{1}{F}, \text{ sowie } \frac{B_H}{G_H} = \frac{B_W}{G_W}$$

Exkurs: Korrektur von Nah- und Fernsichtigkeit



Exkurs : Aufbau des Auges

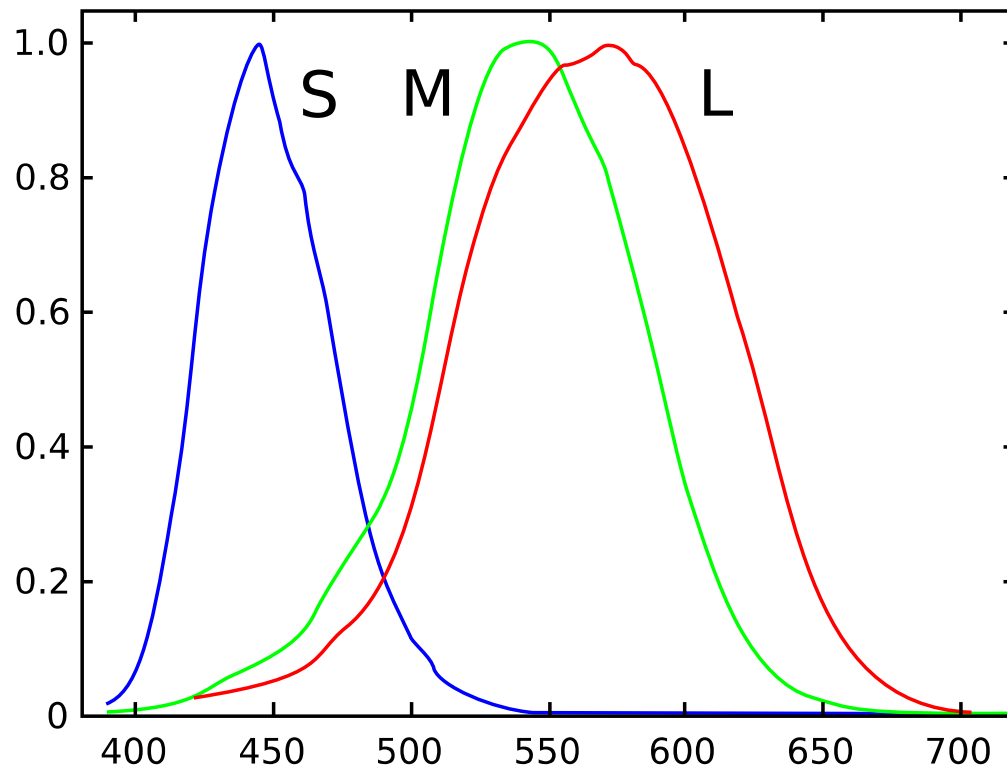


Die Netzhaut (Stärke 0.2 mm) stellt im Auge den primären Bildwandler dar

- sie weist eine uneinheitliche Verteilung von zwei Arten von Sinneszellen (Photorezeptoren) auf
- ~ 5 Millionen Zapfen sind beim Tagsehen (photopische Sehen) aktiv
- ~ 100 Millionen hochempf. Stäbchen beim Dämmerungssehen (mesopisches Sehen) und Dunkelsehen (skotopisches Sehen)
- ausschließlich Zapfen in Fovea Centralis (Ort des schärfsten Sehens im Zentrum des Gelben Flecks – macula lutea)
- in Berandung der Fovea weisen die Stäbchen ihre höchste Dichte auf
- Zapfen liegen mit drei verschiedenen spektralen Empfindlichkeitsbereichen (Trichromasie) vor : L M S (Zahlenverhältnis 6 : 6 : 1)
- Stäbchen hingegen mit nur einen (Monochromasie).

Exkurs:

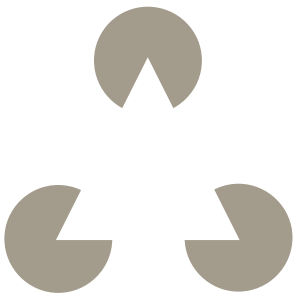
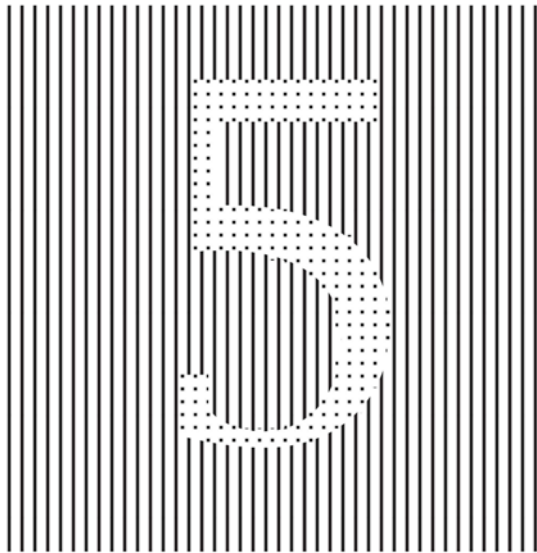
Relative spektrale Empfindlichkeiten der drei Typen von Zapfen



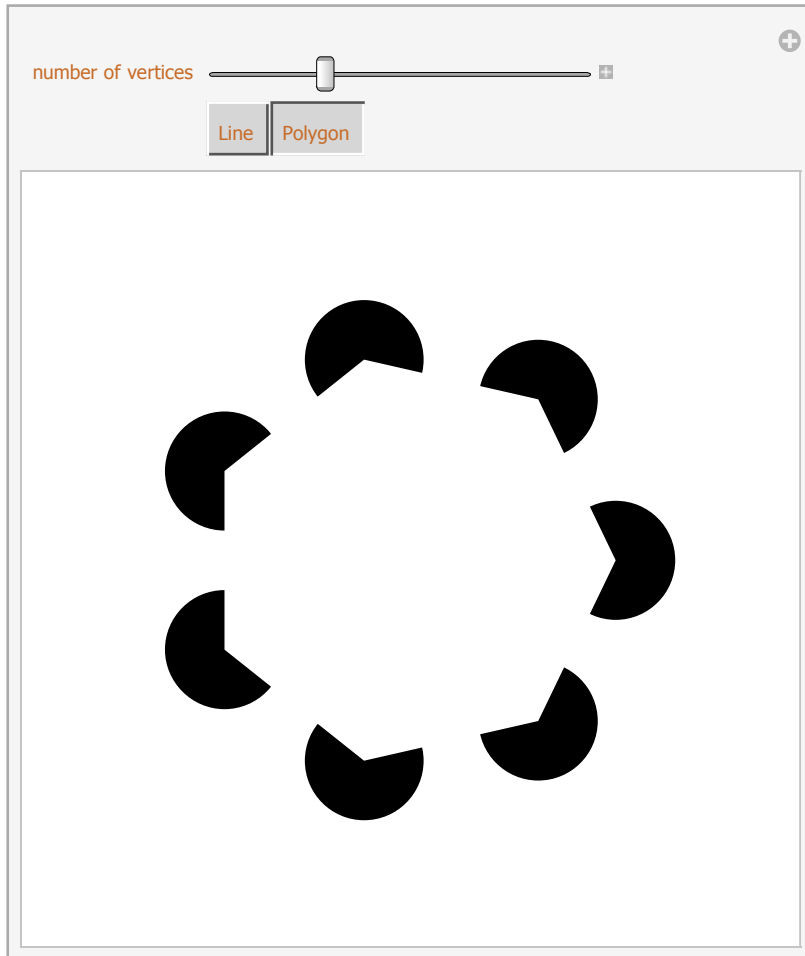
- Rot-Grün-Blindheit rührt vom Fehlen des M-Rezeptors her (der auf einem X-Teil des Geschlechtschromsoms kodiert ist).
- Hering (1905): im visuellen System gibt es opponente Aktivierungen **R****G**/**B****Y**/**W****S**.
- siehe auch “neurophysiologisch motivierter Farbraum” nach Pomierski (1996)

4. Verarbeitungsleistung des visuellen Systems

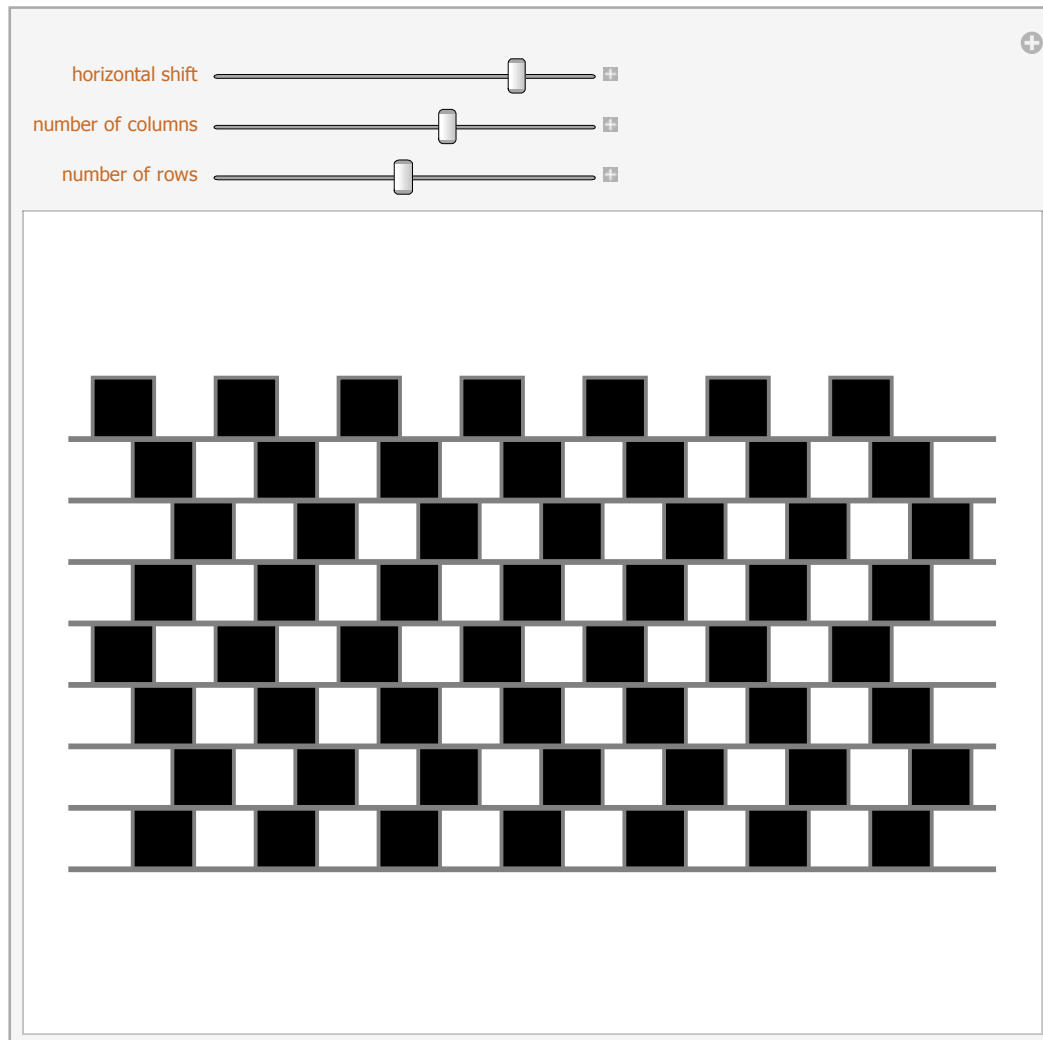
Zurück zum Thema: durch den Aufbau des Auges sowie die nachfolgenden neuronalen Verschaltungen der visuellen Verarbeitung, gibt es eine Reihe von Fähigkeiten, optischen Täuschungen bzw. Effekten.



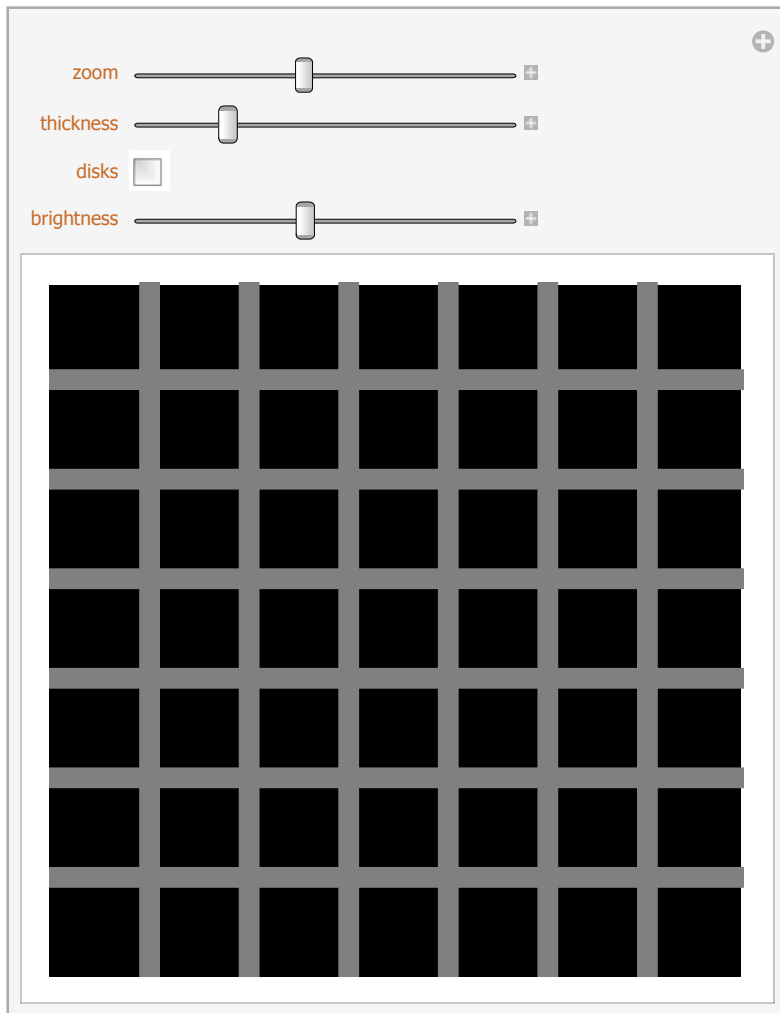
Kanizsa Polygon Illusion



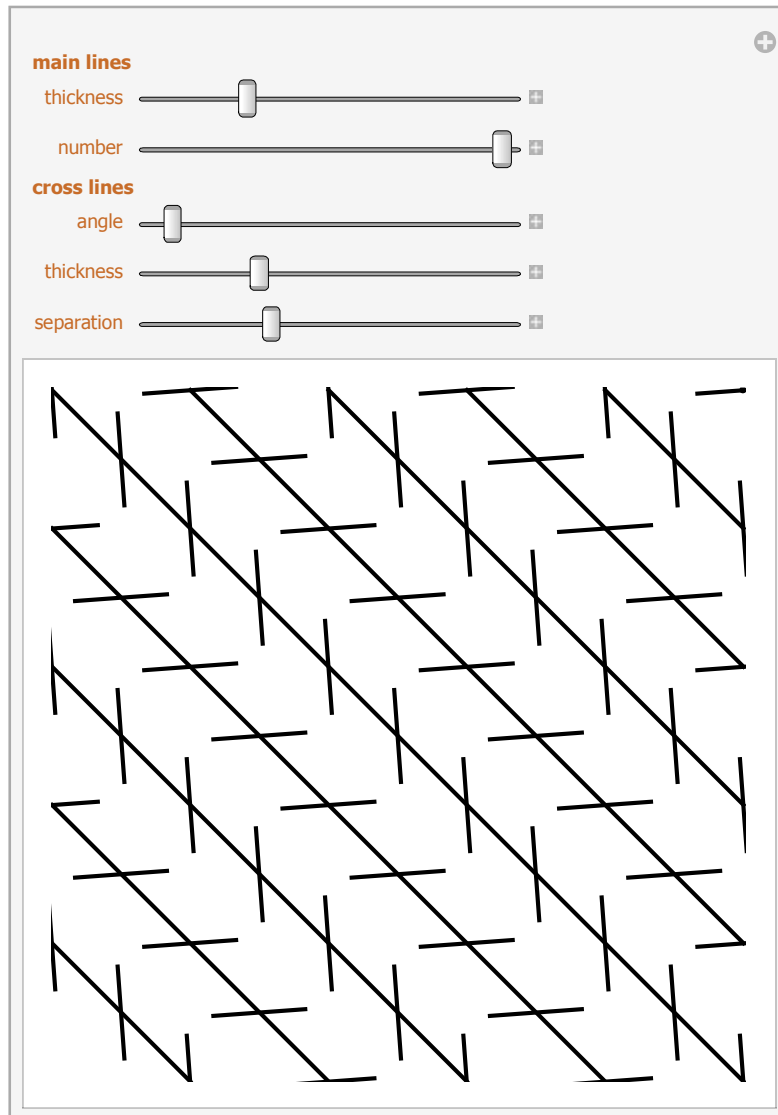
Parallel Lines Optical Illusion



Contrast Illusion



Are the Lines Parallel

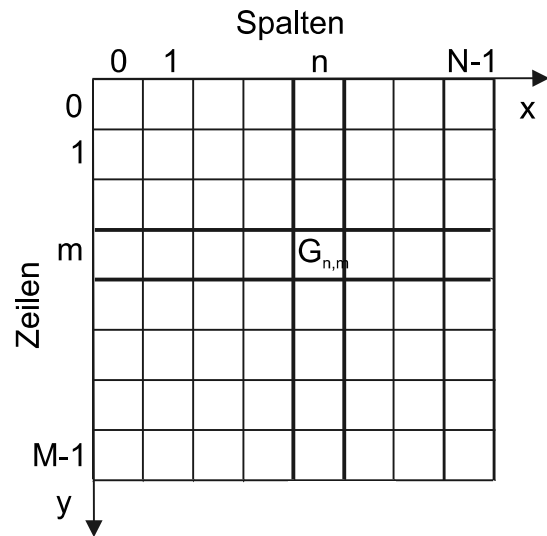


"All is Vanity" by Charles Allen Gilbert : Der Effekt der Änderung des Detailgrades

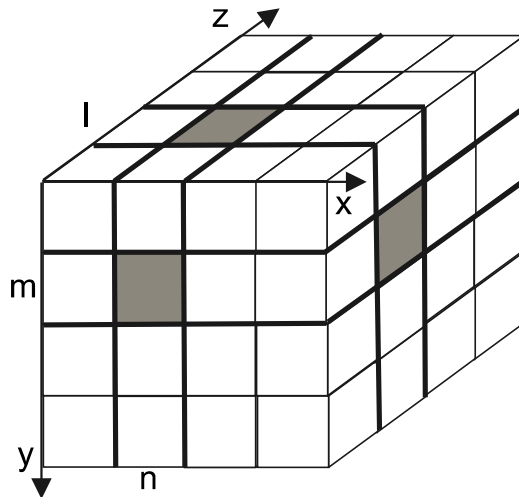


5. Bilderfassung: Abtastung

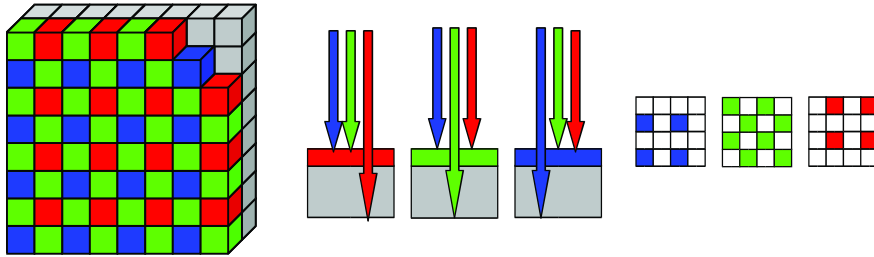
Diskretes Bildraster



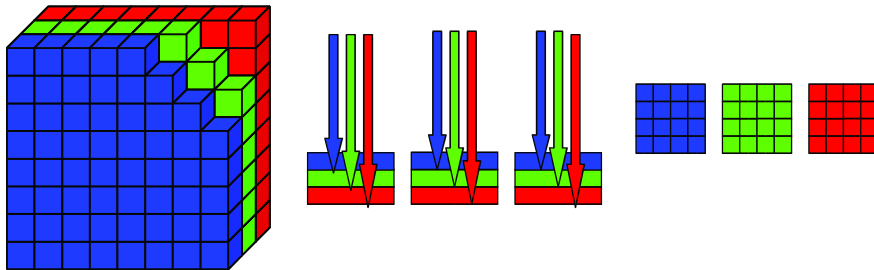
Diskretes Volumenraster



Bilderfassung mit Hilfe eines Feldes ladungsgekoppelter Schaltungen (CCD):



Foveon X3 Aufnahme



Sensor-Arrays mit Bayer-Mosaik erfordern eine Interpolation in einer lokalen Nachbarschaft

Für die Erzeugung von Grauwertbildern erfolgt eine Linearkombination aus Rot, Grün und Blau

Bildquantisierung

typisch: 8bit-Integer pro Kanal

speziell in der Biomedizin: 12bit-Integer

selten: 16-bit Gleitkomma (vernachlässigbare Quantisierung)

```
In[21]:= Manipulate[Show[Image[Round[Round[ImageData[knochenschliffy, "Byte"], 255 / (stufen - 1)]], "Byte"], ImageSize -> 512],  
  {{stufen, 8, "Stufen"}, 2, 255, 1, Appearance -> "Labeled"}, ContinuousAction -> False, SaveDefinitions -> True]
```

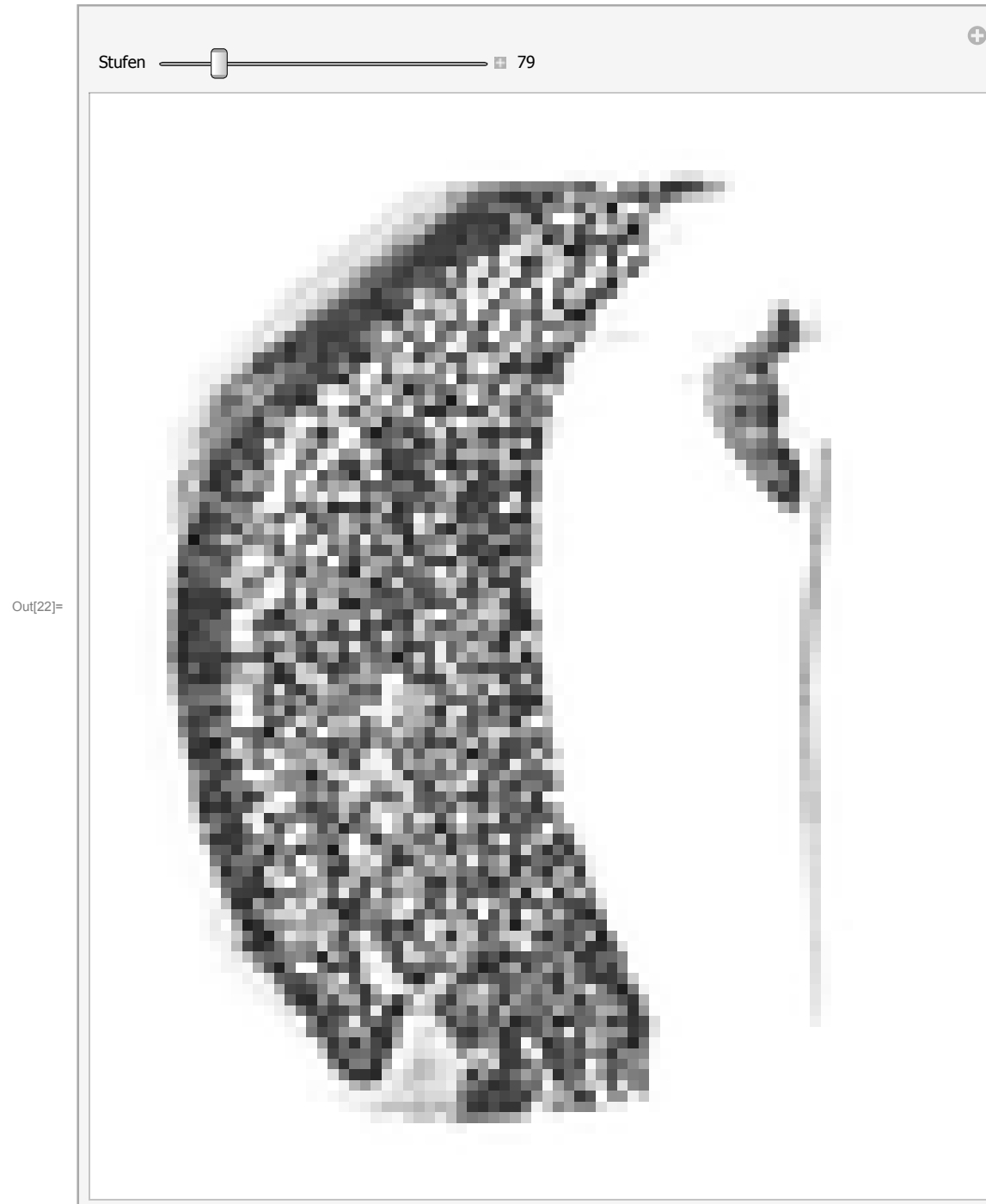
Stufen  7

Out[21]=

früher typisch: 2^k -fache Kantenlängen, z.B. 256

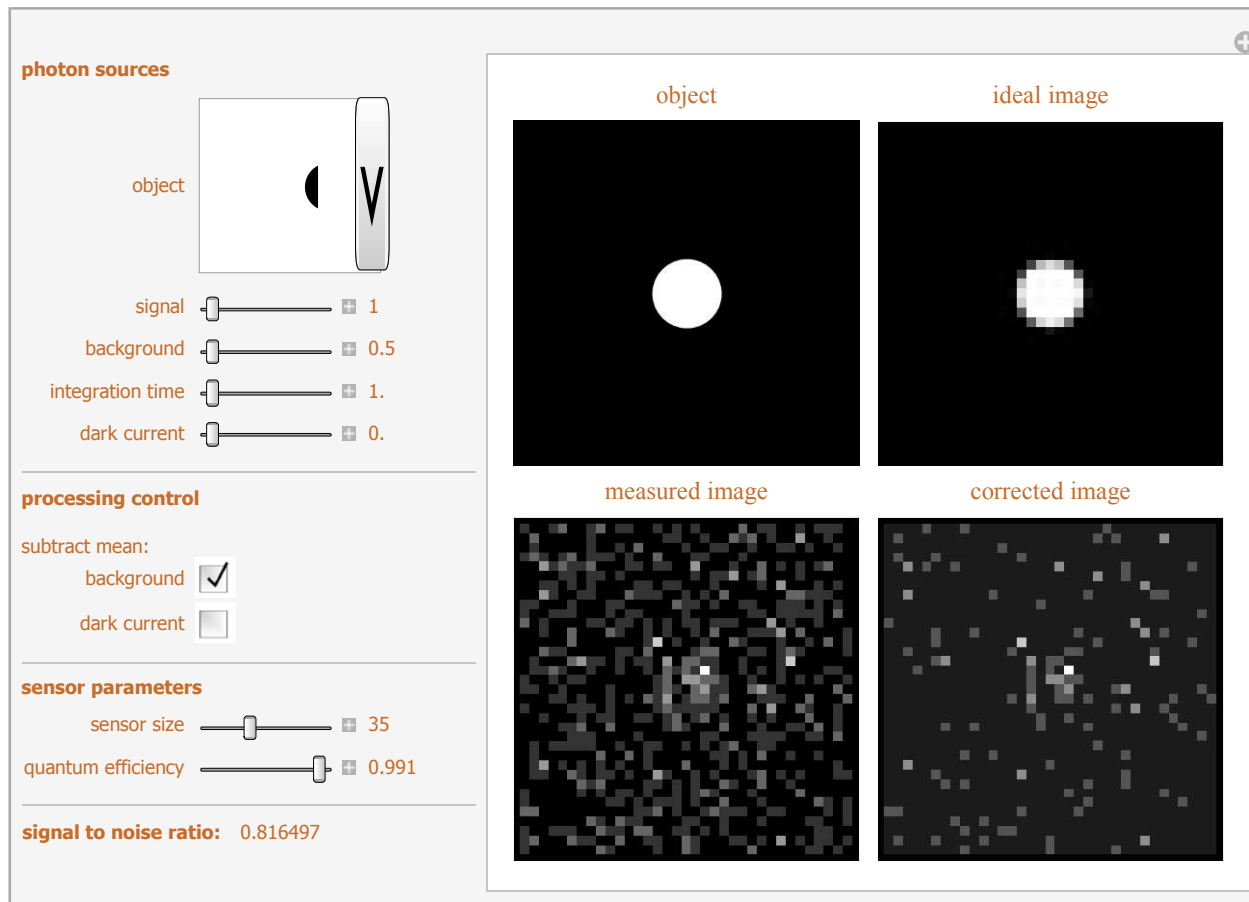
heute oft schon 10000 und mehr

```
In[22]:= Manipulate[Show[ImageResize[knochenschliffy, stufen], ImageSize → 512],  
  {{stufen, 16, "Stufen"}, 1, 512, 1, Appearance → "Labeled"}, ContinuousAction → False, SaveDefinitions → True]
```



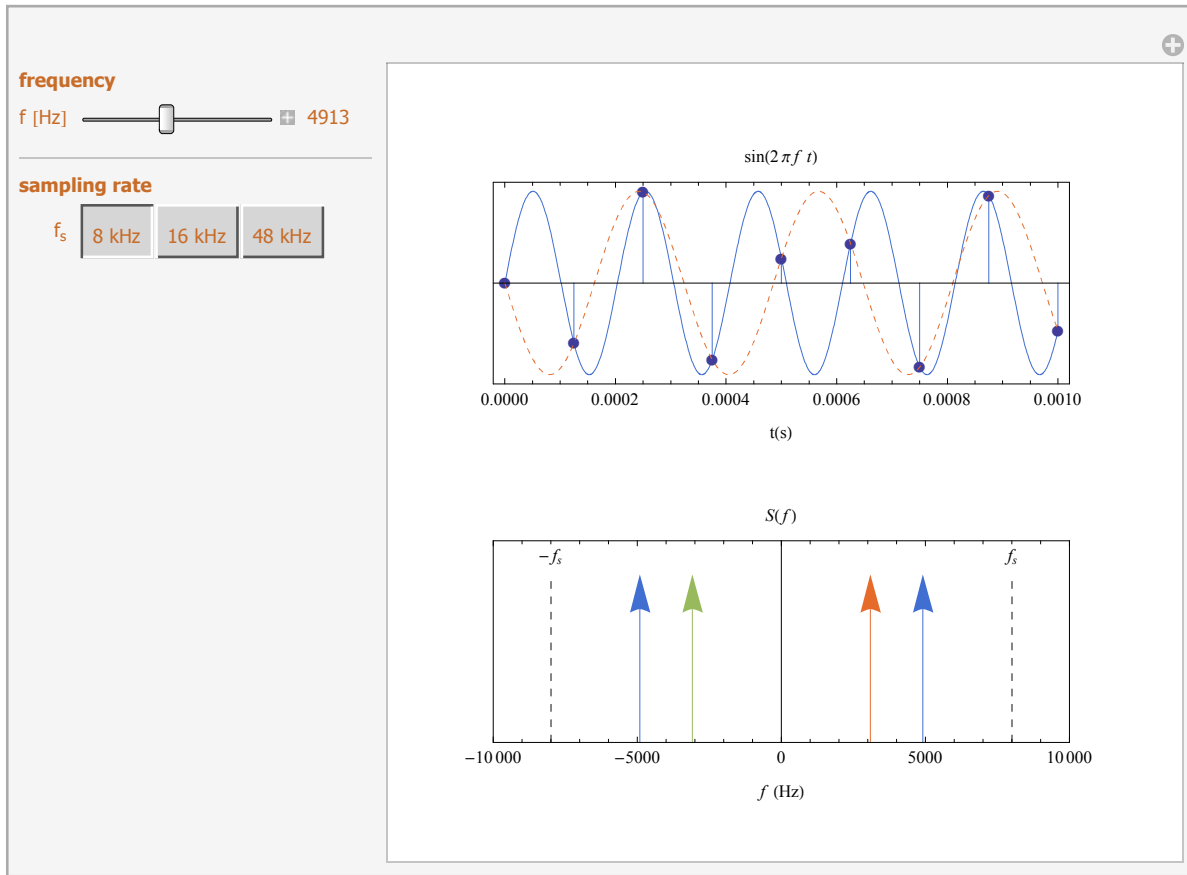
- muß auf eine Längen- bzw. Flächeneinheit des Objekts bezogen sein, z.B. Linienpaare pro Millimeter, oder Pixel pro Zoll
- alternativ über Angabe der Rasterung: nominelle Pixelgröße (bezogen auf die Objektgröße), also z.B. $4.2\mu\text{m} \times 4.2\mu\text{m}$.
- aussagekräftige Angabe des Auflösungsvermögens erfordert Meßphantome und die Anwendung von Auswerteverfahren

CCD – Kamera : Diskretisierung und Rauschen



Signal – Rausch – Abstand (SNR) des Kamerabildes : Verhältnis von Nutzsignal und Standardabweichung des Rauschens

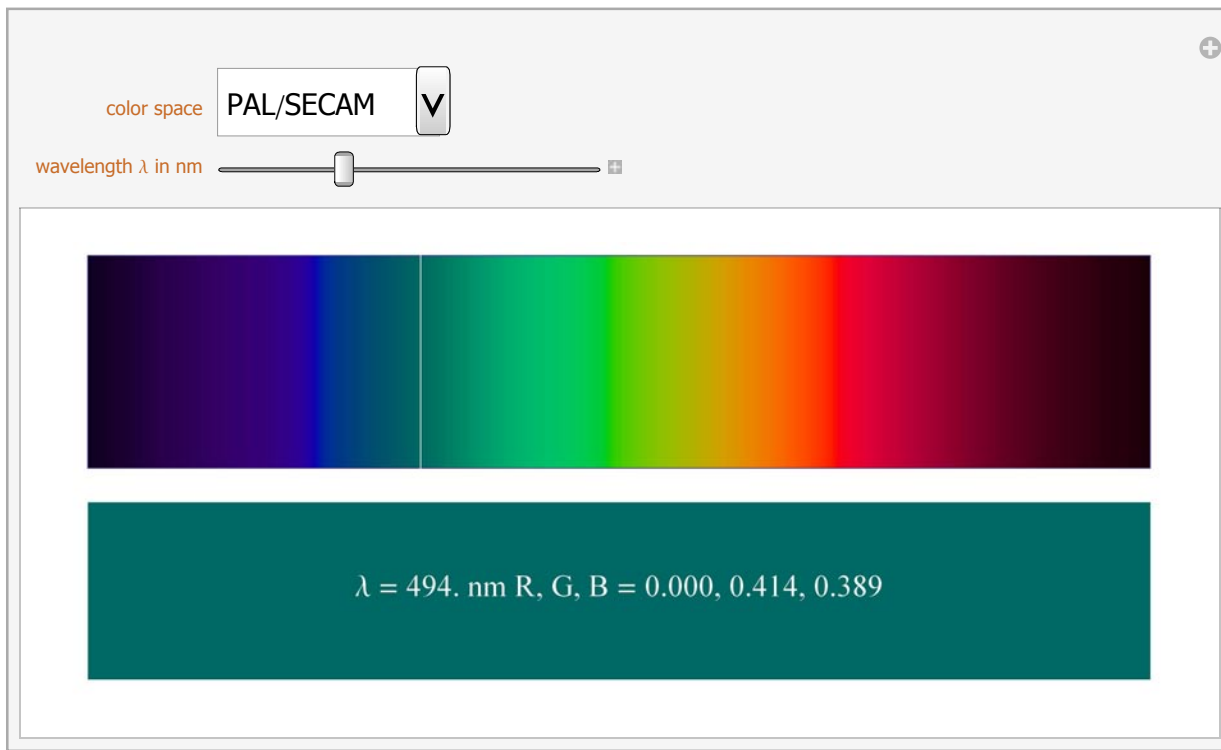
Abtastung eines kontinuierlichen Signals – Aliasing



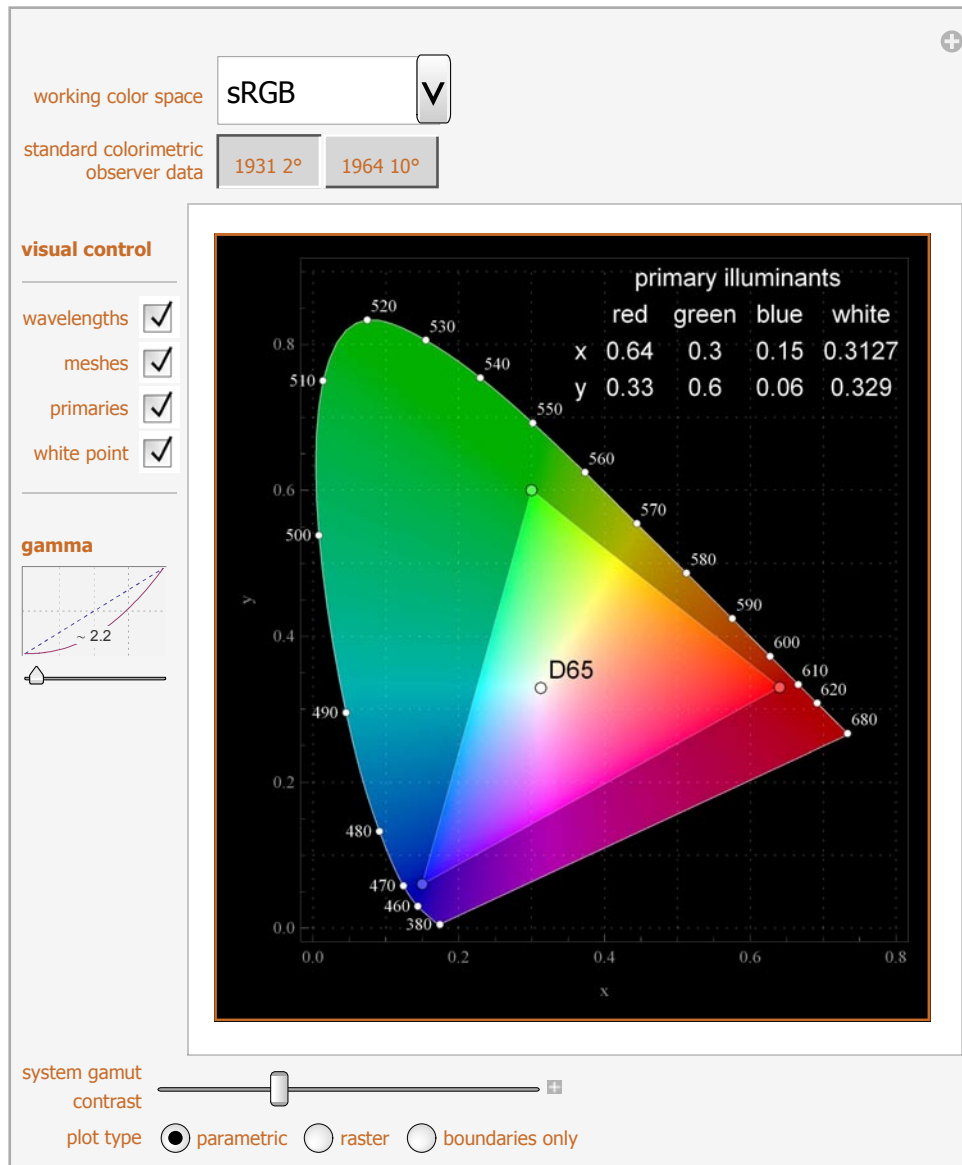
Die Abtastfrequenz ist immer so hoch zu wählen,
daß sie das Doppelte der Grenzfrequenz des abzutastenden bandbeschränkten Originalbildes erreicht,
damit das Originalsignal wiederhergestellt werden kann.

6. Farbe

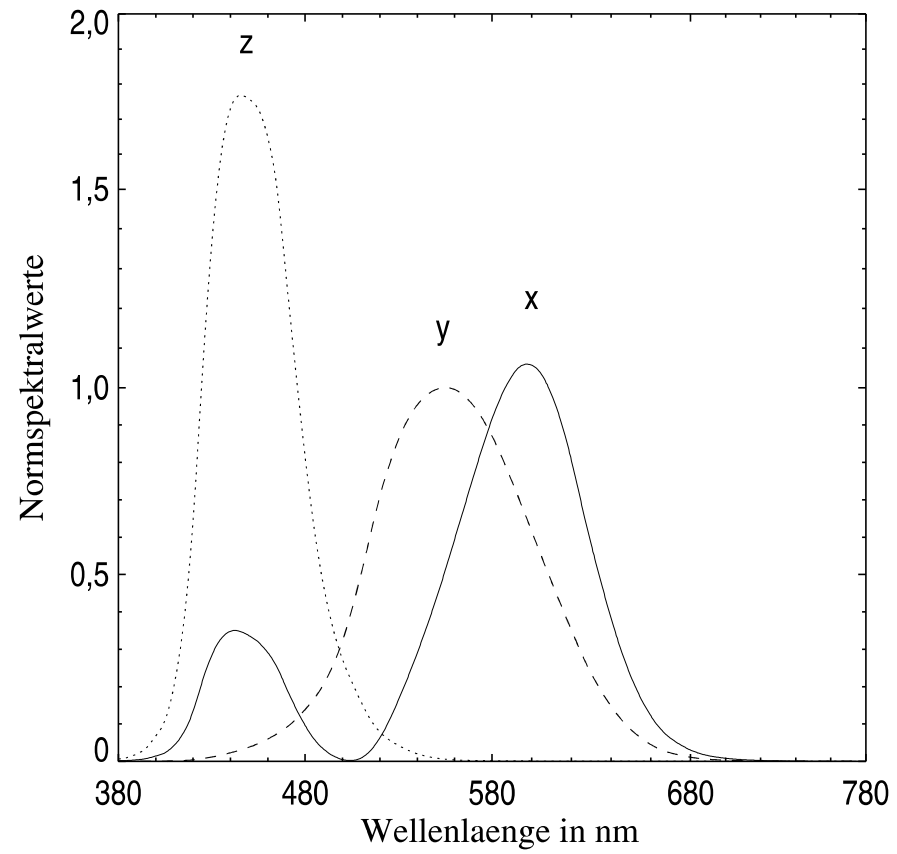
Farbraumabhängige Reproduktionsgüte der
Spektralfarben



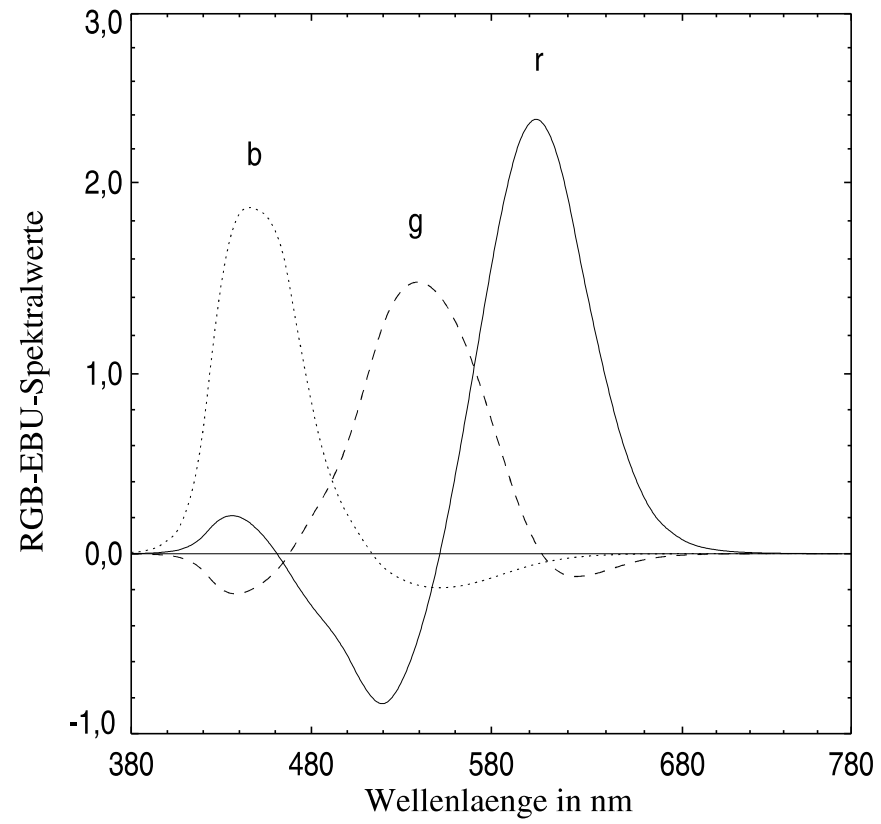
CIE – Normfarbtafel



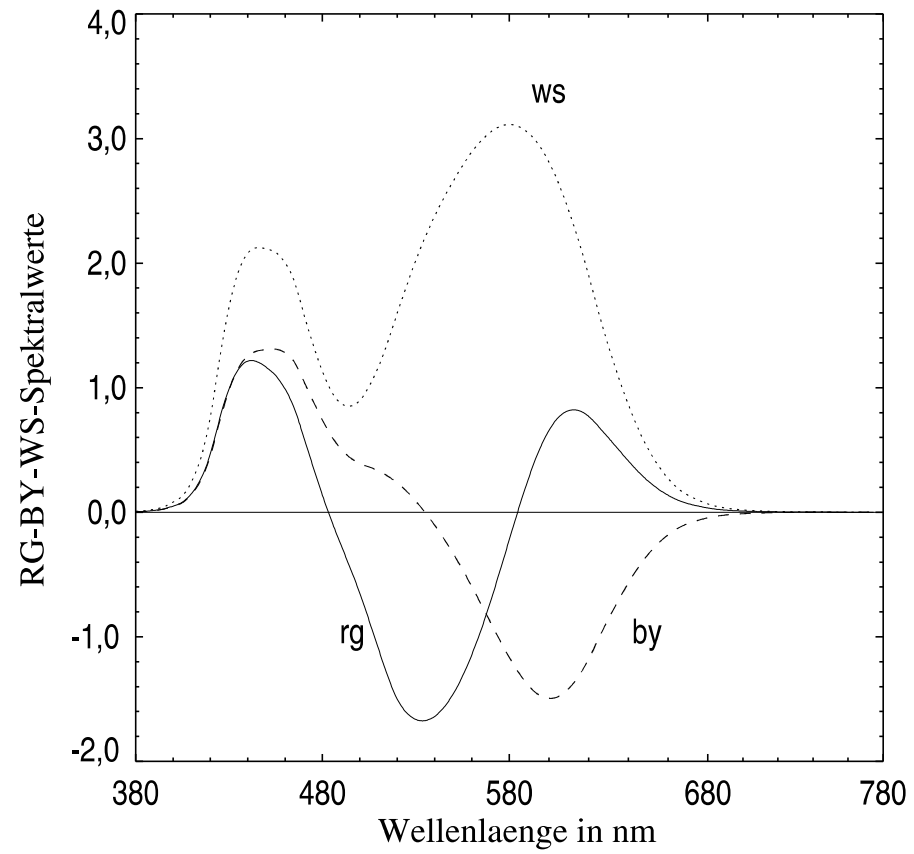
Spektralwertkurven nach CIE (Internationale Beleuchtungskommission)



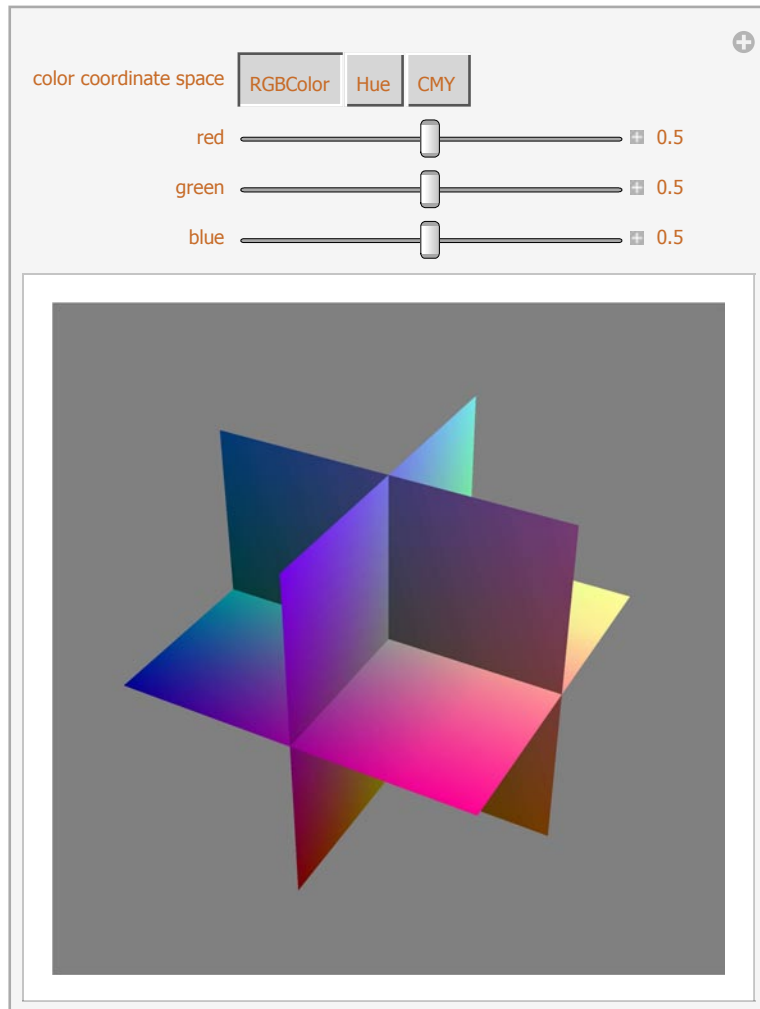
Spektralwerkurven nach EBU



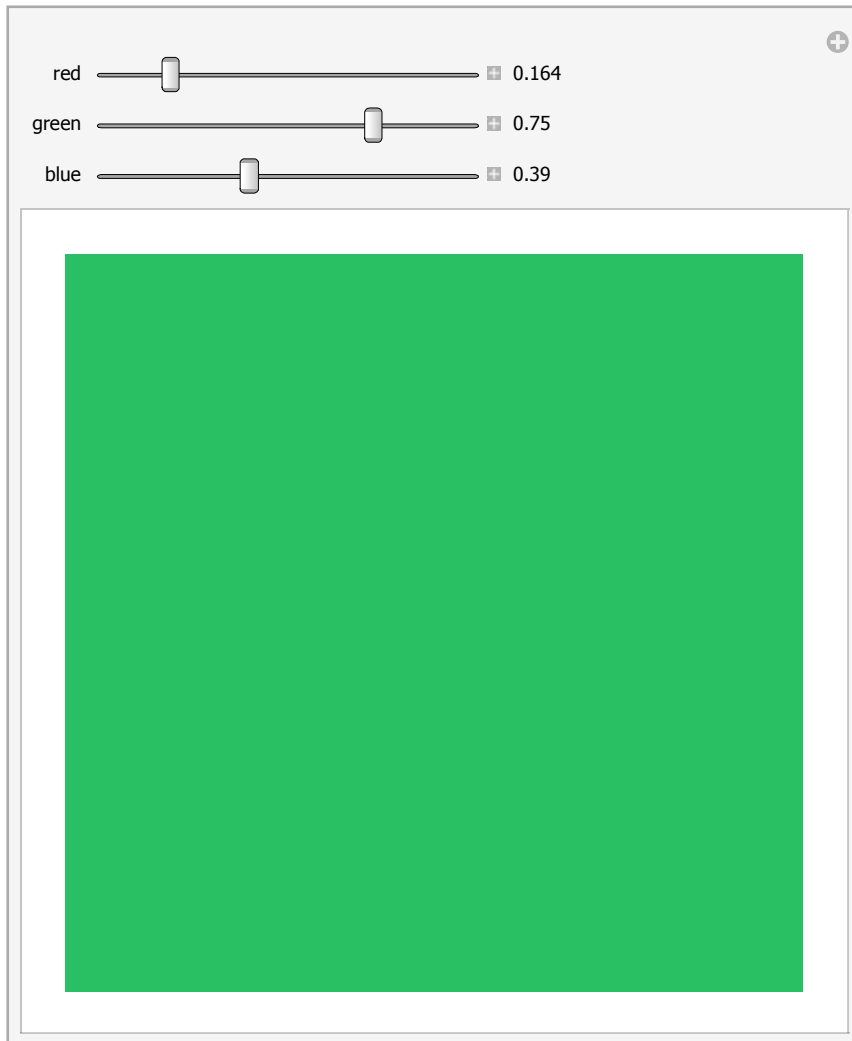
Die Kurven beschreiben die Spektralwerte des neurophys. Farbraumes nach Pomierski



Farbräume



```
Manipulate[Graphics[{RGBColor[r, g, b], Rectangle[]}, ImageSize -> {400, 400}],  
  {{r, 0, "red"}, 0, 1, Appearance -> "Labeled"},  
  {{g, 0, "green"}, 0, 1, Appearance -> "Labeled"},  
  {{b, 0, "blue"}, 0, 1, Appearance -> "Labeled"}]
```



HSV-Farbraum (zylindrisch)

Hue (zyklischer Farbwert H), Saturation (Sättigungswert S), Brightness (Helligkeitswert V)

$$H = \begin{cases} 0 & B = G = R \\ \frac{\pi (G-B)}{3 (\text{Max}-\text{Min})} & \text{Max} = R \\ \frac{1}{3} \pi \left(\frac{B-R}{\text{Max}-\text{Min}} + 2 \right) & \text{Max} = G \\ \frac{1}{3} \pi \left(\frac{R-G}{\text{Max}-\text{Min}} + 4 \right) & \text{Max} = B \end{cases}$$

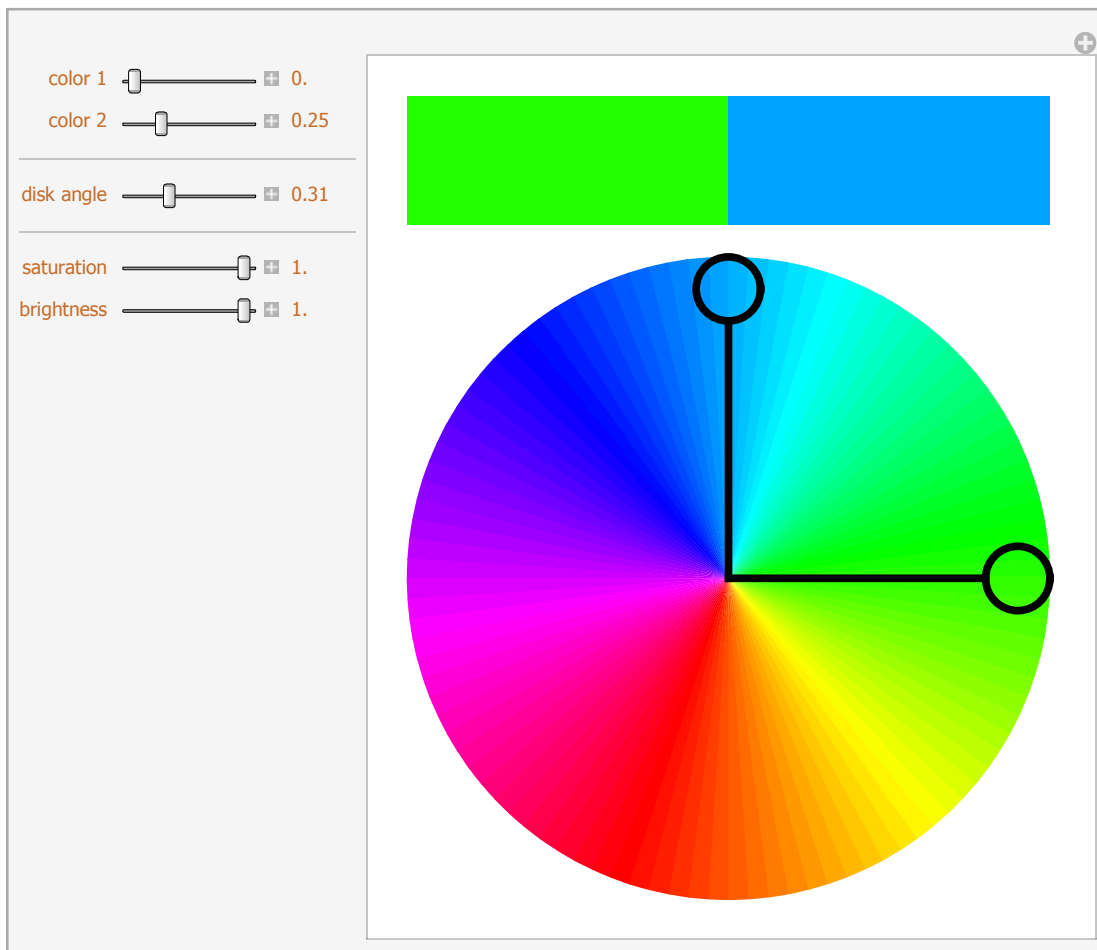
$$S = \begin{cases} 0 & B = G = R \\ \frac{\text{Max}-\text{Min}}{\text{Max}} & \text{sonst} \end{cases}$$

V=Max

mit

Max=Max(R,G,B)

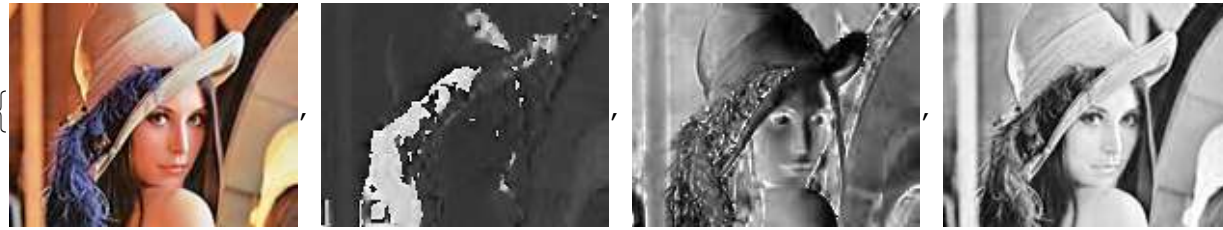
Min=Min(R,G,B)



```
Join[{#}, Map[Image[#] &, Transpose[Map[# &, ImageData[#], {2}], {2, 3, 1}]]] &[Import["ExampleData/lena.tif"]]
```

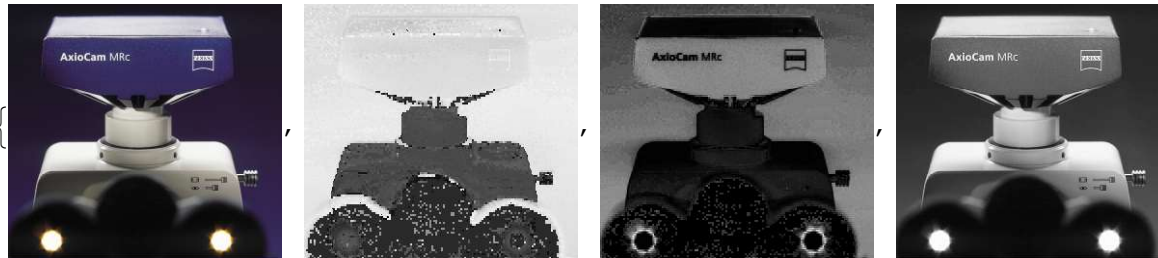


```
Join[{#}, Map[Image[#] &, Transpose[Map[({1.0471975511965976`, 0., 0.} + rgbtoHSV[#]) * {0.15915494309189535`, 1., 1.} &, ImageData[#], {2}], {2, 3, 1}]]] &[Import["ExampleData/lena.tif"]]
```



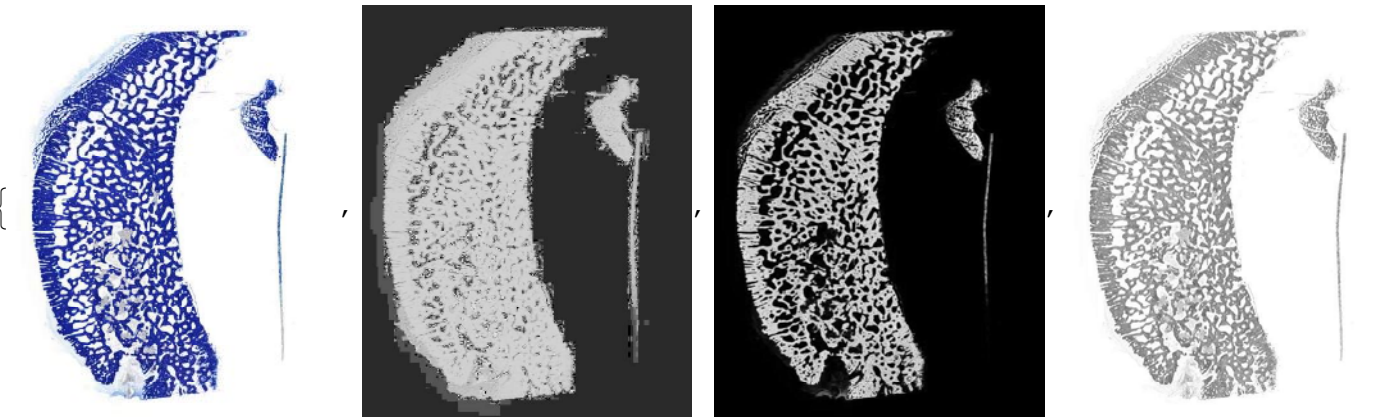
```
Join[{#}, Map[Image[#] &, Transpose[
```

```
Map[({1.0471975511965976`, 0., 0.} + rgbtoHSV[#]) * {0.15915494309189535`, 1., 1.} &, ImageData[#], {2}], {2, 3, 1}]]] &[
```



```
Join[{#}, Map[Image[#] &, Transpose[
```

```
Map[({1.0471975511965976`, 0., 0.} + rgbtoHSV[#]) * {0.15915494309189535`, 1., 1.} &, ImageData[#], {2}], {2, 3, 1}]]] &[knochenschliffrgb]
```



CMY-Farbraum

Cyan, Magenta, Yellow

$C=1-R$

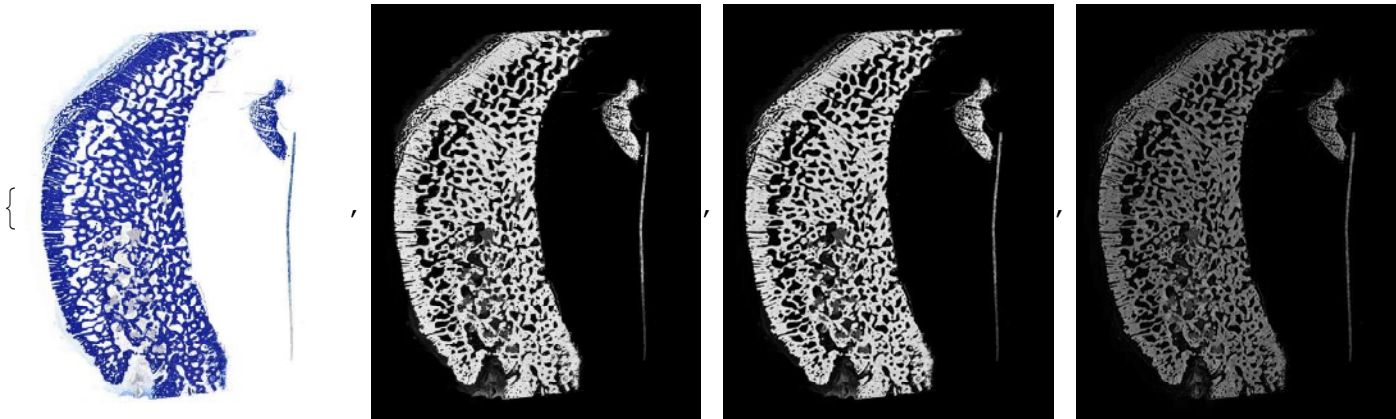
$M=1-G$

$Y=1-B$

```
ImageColorSpace[knochenschliffrgb]
```

```
RGB
```

```
Join[{#}, Image[1 - ImageData[#]] & /@ ColorSeparate[#]] & [knochenschliffrgb]
```

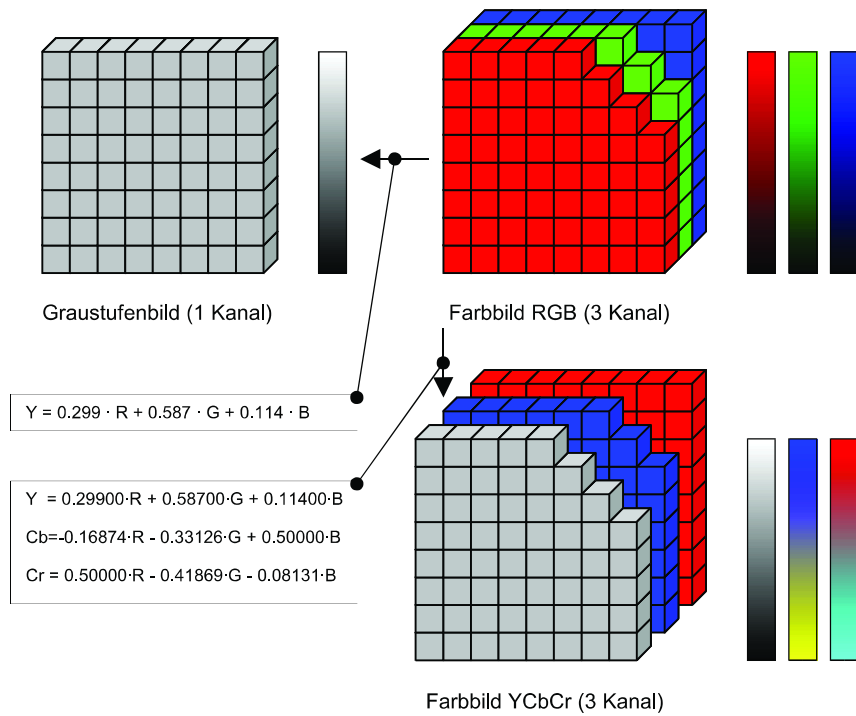


JPEG – Differenzfarben Y Cb Cr (aus linearen RGB)

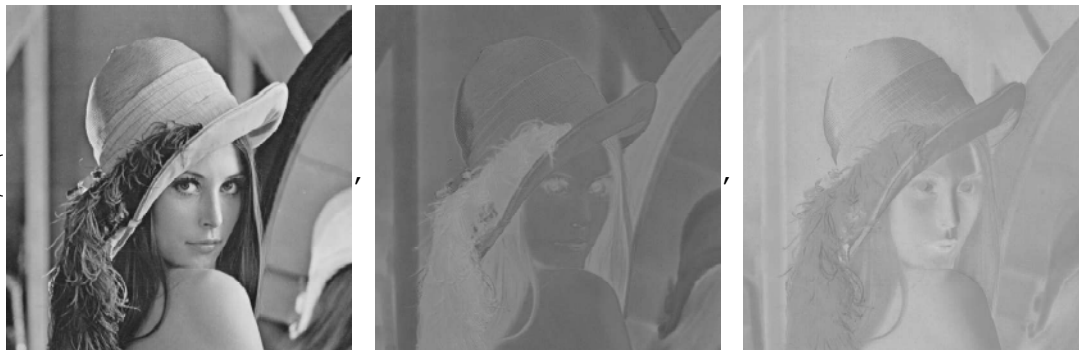
Y : Luminanz

Cb : Chrominanz Blau – Gelb

Cr : Chrominanz Rot – Grün



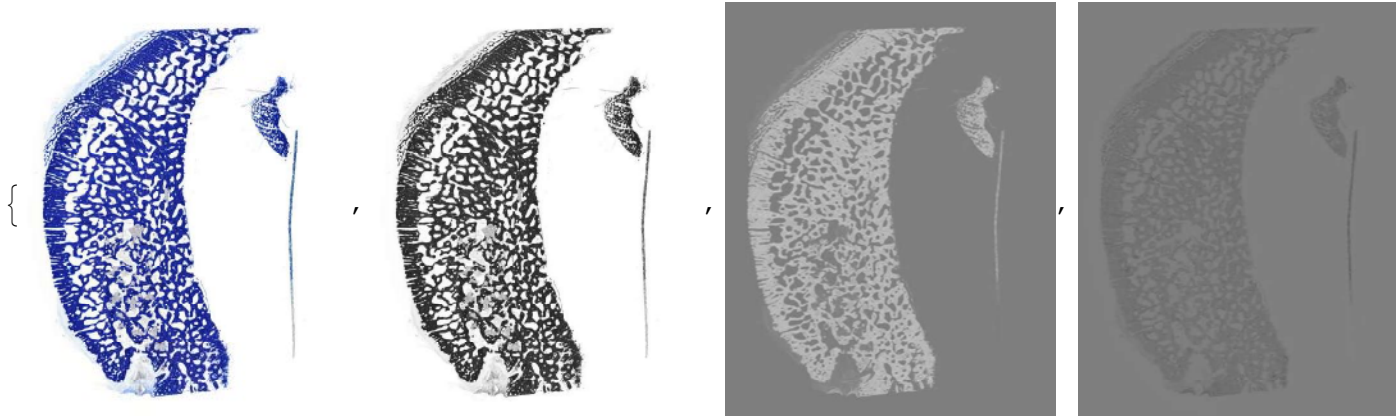
```
{rlen, glen, blen} = Flatten[ImageData[#]] & /@ ColorSeparate[lenargb];
cm = {{0.299, 0.587, 0.114}, {-0.16874, -0.33126, 0.5}, {0.5, -0.41869, -0.08131}};
{ylen, cblen, crlen} = cm.{rlen, glen, blen};
Image[Partition[#, First[ImageDimensions[lenargb]]]] & /@ {ylen, cblen + .5, crlen + .5}
```



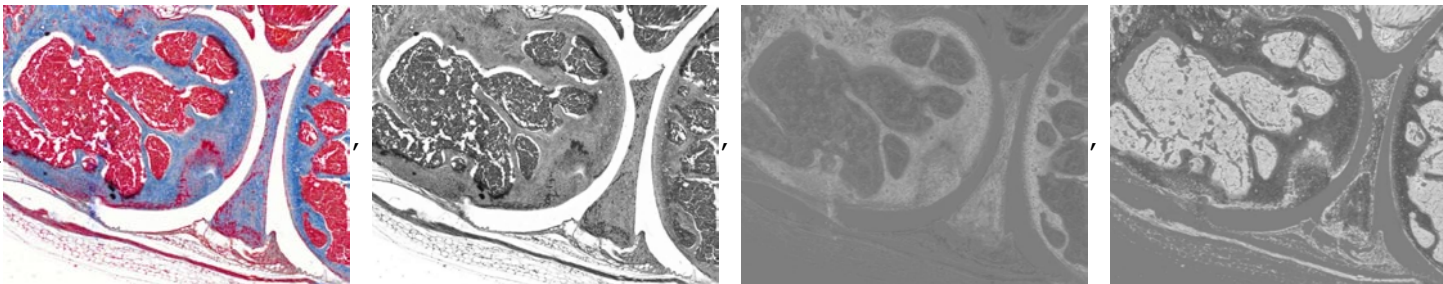
```
Join[{#}, Map[Image[#] &, Transpose[Map[{0., .5, .5} + {{0.299, 0.587, 0.114}, {-0.16874, -0.33126, 0.5}, {0.5, -0.41869, -0.08131}}.# &,
  ImageData[#], {2}], {2, 3, 1}]]] &[lenargb]
```



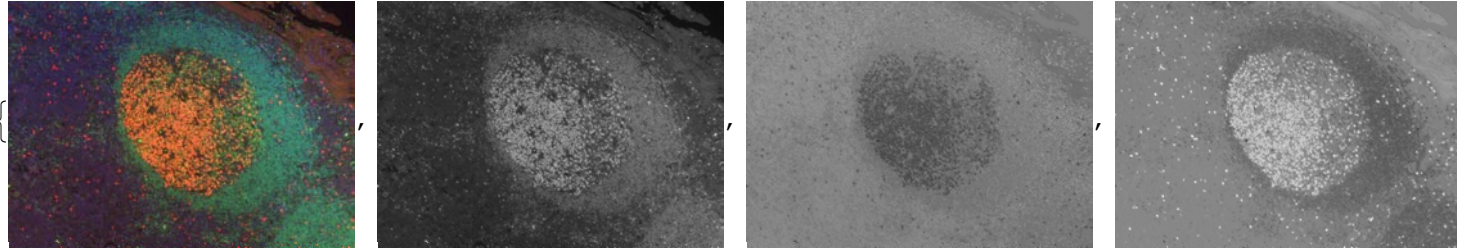
```
Join[{#}, Map[Image[#] &, Transpose[Map[{0., .5, .5} + {{0.299, 0.587, 0.114}, {-0.16874, -0.33126, 0.5}, {0.5, -0.41869, -0.08131}}.# &,
  ImageData[#], {2}], {2, 3, 1}]]] &[knochenschliffrgb]
```



```
Join[{#}, Map[Image[#] &, Transpose[Map[{0., .5, .5} + {{0.299, 0.587, 0.114}, {-0.16874, -0.33126, 0.5}, {0.5, -0.41869, -0.08131}}.# &,
  ImageData[#], {2}], {2, 3, 1}]]] &[mauskniergb]
```



```
Join[{#}, Map[Image[#] &, Transpose[Map[{0., .5, .5} + {{0.299, 0.587, 0.114}, {-0.16874, -0.33126, 0.5}, {0.5, -0.41869, -0.08131}}.# &,
  ImageData[#], {2}], {2, 3, 1}]]] &[lymphfollikelrgb]
```



Tonwertkurven (Intensitätstransformationen)

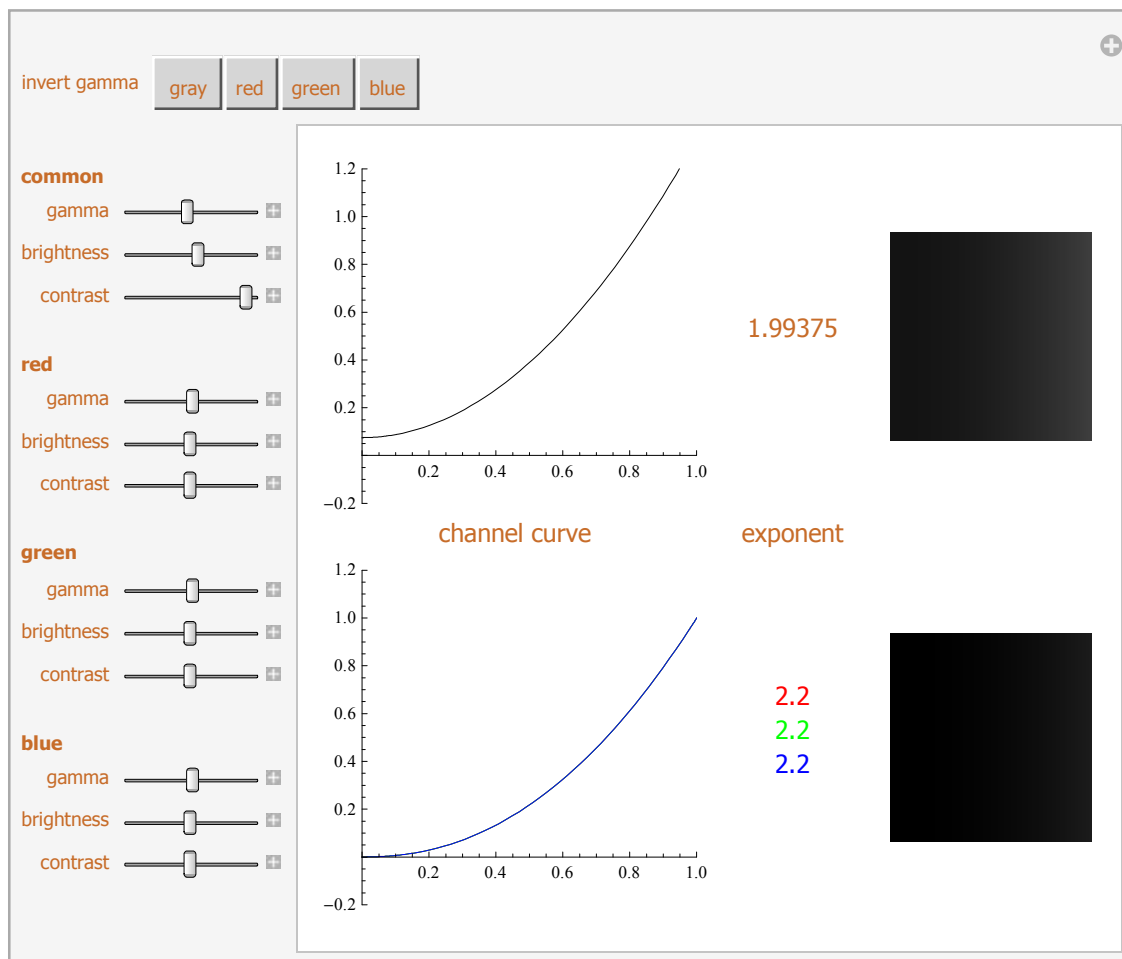
Kontrast c , Helligkeit b , Gamma γ

Linear-potentiell: $o=c(b+i^\gamma)$

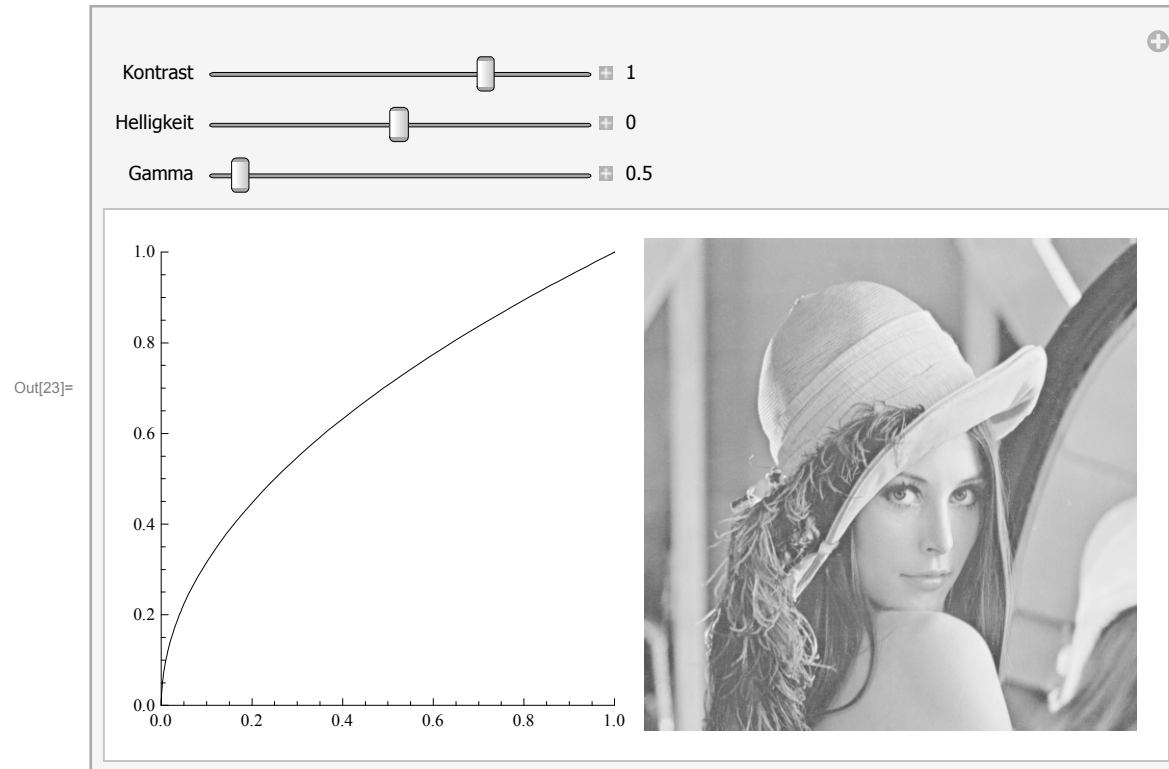
Gamma: potentielle Kennlinie eines Monitors (Kehrwert in Kameras)

Helligkeit: Offsetwert

Kontrast: lineare Verstärkung



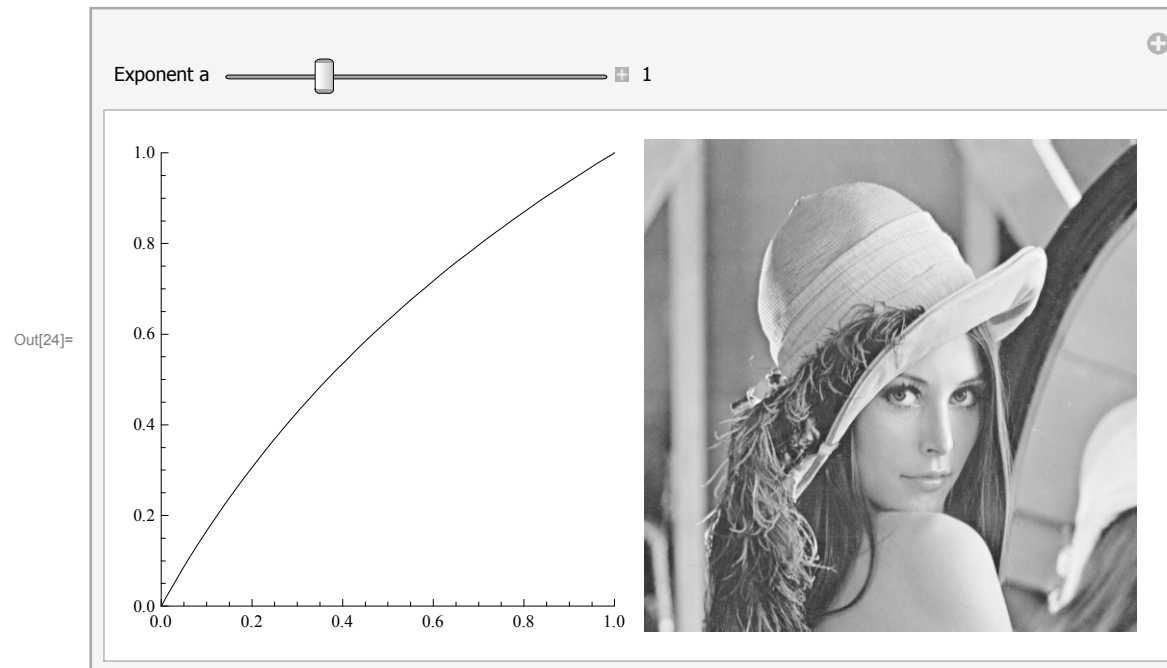
```
In[23]:= Manipulate[Grid[{{Plot[c * (b + i^γ), {i, 0, 1}, PlotRange → {{0, 1}, {0, 1}}, PlotStyle → {Black}, AspectRatio → 1, ImageSize → 256],
  Show[Image[c * (b + ImageData[lena, "Real"]^γ)], ImageSize → 256]}]},
  {{c, 1, "Kontrast"}, -2., 2., .1, Appearance → "Labeled"}, {{b, 0, "Helligkeit"}, -1., 1., .1, Appearance → "Labeled"},
  {{γ, .5, "Gamma"}, .1, 10, .1, Appearance → "Labeled"}, ContinuousAction → False, SaveDefinitions → True]
```



Logarithmisch: $o = \frac{\log(i b^a + 1)}{\log(b^a + 1)}$

hier: $b=2$

```
In[24]:= Manipulate[
  Grid[{{Plot[Log[1. + 2^a * i] / Log[1. + 2^a], {i, 0, 1}, PlotRange -> {{0, 1}, {0, 1}}, PlotStyle -> {Black}, AspectRatio -> 1, ImageSize -> 256],
    Show[Image[Log[1. + 2^a * ImageData[lena, "Real"] / Log[1. + 2^a]], ImageSize -> 256]}}],
  {{a, 1, "Exponent a"}, 1. / 16, 4., 1 / 16, Appearance -> "Labeled"}, ContinuousAction -> False, SaveDefinitions -> True]
```

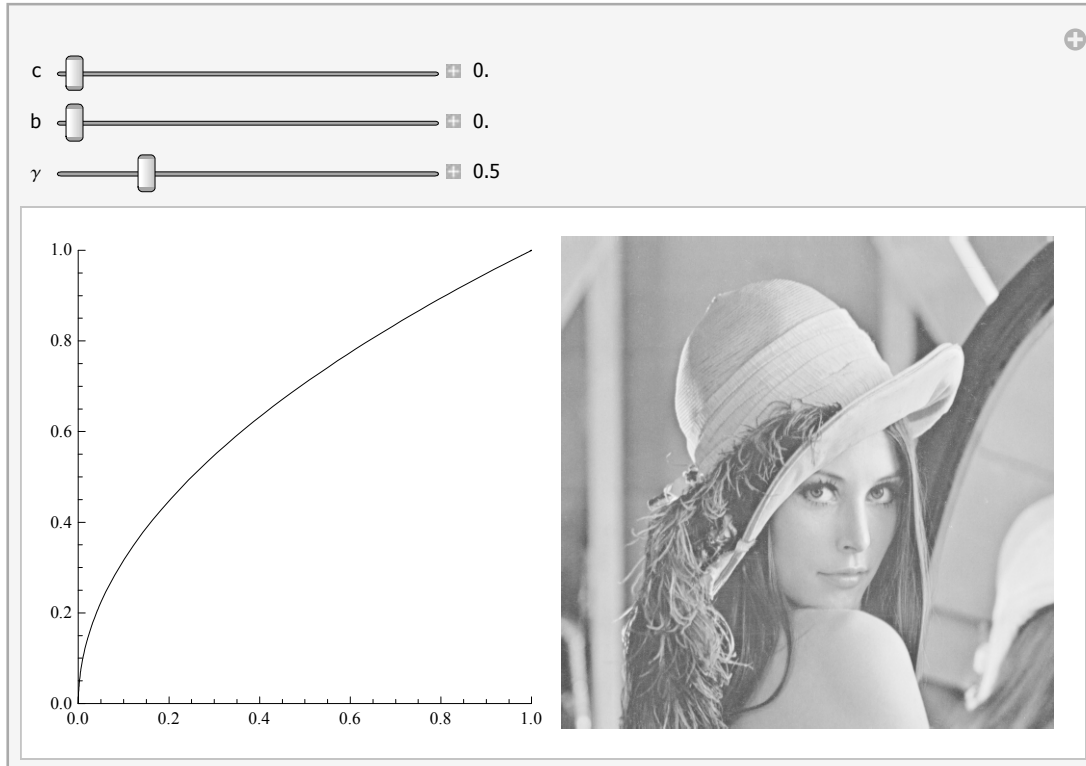


Tonwertkurve linear-potentiell (Variante 2): $o = (c + 1) \left((b + 1) i^\gamma - \frac{1}{2} \right) + \frac{1}{2}$

In[25]:= **Manipulate**[

```
Grid[{{Plot[Clip[(c + 1) ((b + 1) i^γ - 1/2) + 1/2, {0, 1}], {i, 0, 1}, PlotRange -> {{0, 1}, {0, 1}}, PlotStyle -> {Black}, AspectRatio -> 1,
  ImageSize -> 256], Show[Image[Clip[(c + 1) ((b + 1) ImageData[lena, "Real"]^γ - 1/2) + 1/2, {0, 1}]], ImageSize -> 256]}]},
{{c, 0., "c"}, 0., 10., .1, Appearance -> "Labeled"}, {{b, 0., "b"}, 0., 1., .1, Appearance -> "Labeled"},
{{γ, .5, "γ"}, .1, 2., .1, Appearance -> "Labeled"}, ContinuousAction -> False, SaveDefinitions -> True]
```

Out[25]=

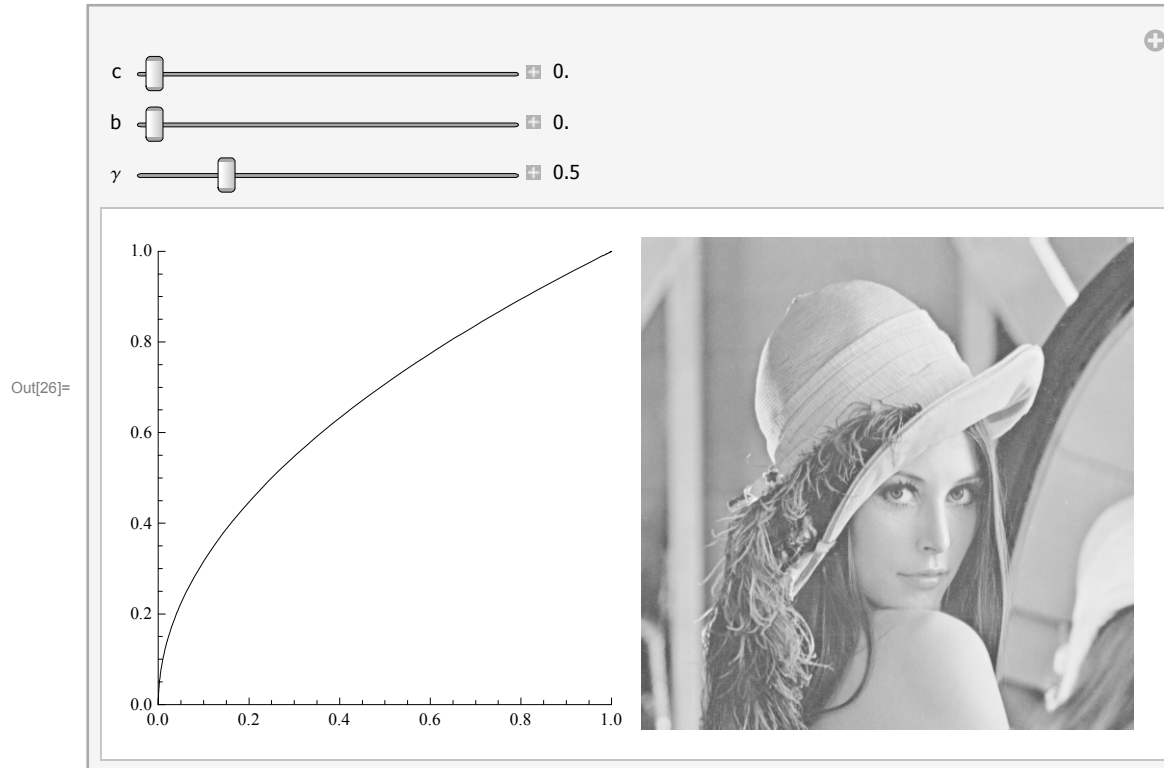


Variante 2 ist in ImageAdjust von *Mathematica* eingebaut:

```

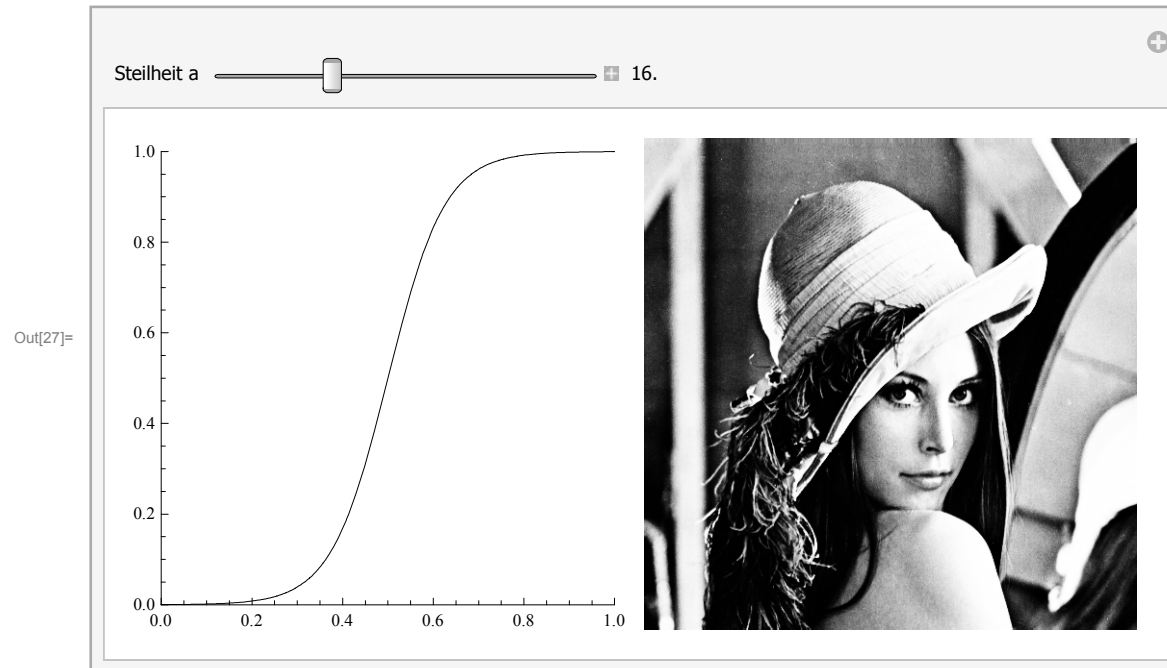
In[26]:= Manipulate[
  Grid[{{Plot[Clip[(c + 1) ((b + 1) i^ $\gamma$  - 1 / 2) + 1 / 2, {0, 1}], {i, 0, 1}, PlotRange -> {{0, 1}, {0, 1}}, PlotStyle -> {Black}, AspectRatio -> 1,
    ImageSize -> 256], Show[ImageAdjust[lena, {c, b,  $\gamma$ }], ImageSize -> 256]}}],
  {{c, 0., "c"}, 0., 10., .1, Appearance -> "Labeled"}, {{b, 0., "b"}, 0., 1., .1, Appearance -> "Labeled"},
  {{ $\gamma$ , .5, " $\gamma$ "}, .1, 2, .1, Appearance -> "Labeled"}, ContinuousAction -> False, SaveDefinitions -> True]

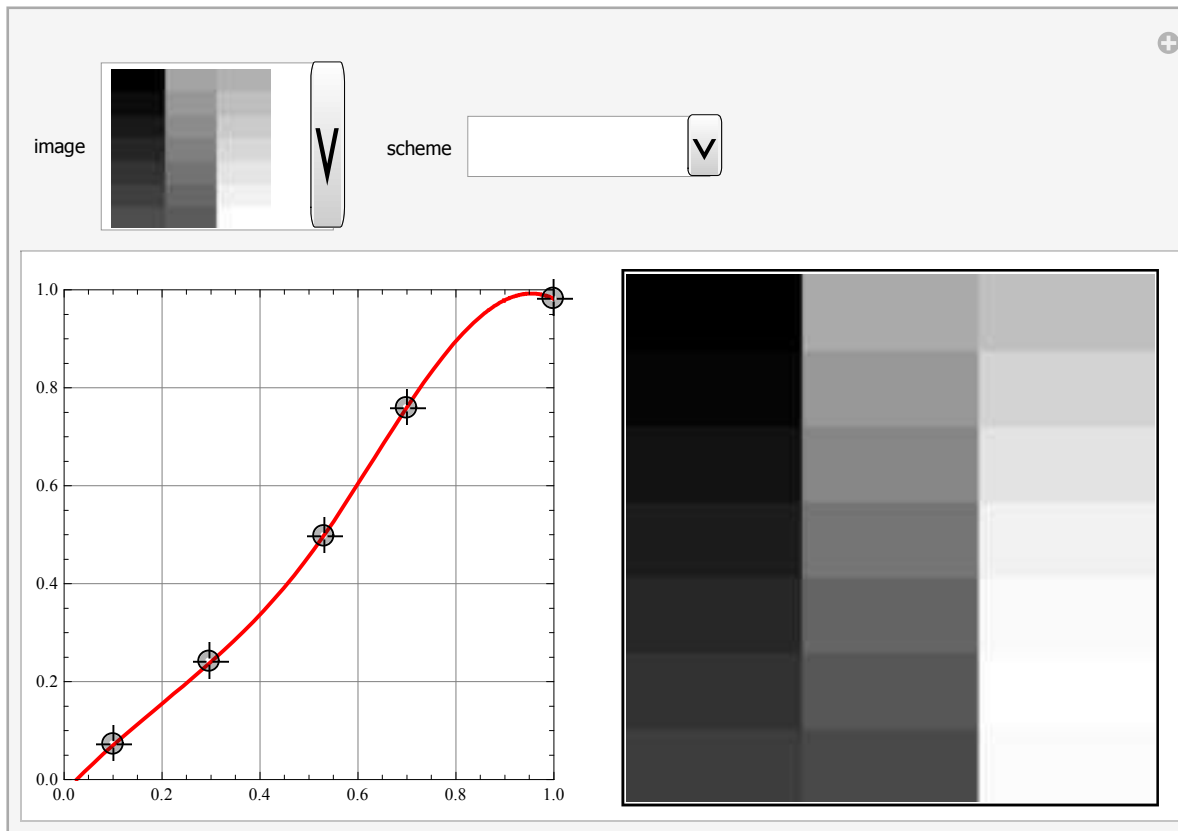
```



Logistisch: $\sigma = \frac{1}{e^{-a(i+\frac{1}{2})} + 1}$ (im Funktions- und Wertebereich 0...1)

```
In[27]:= Manipulate[Grid[{{Plot[1 / (1 + Exp[-a * (i - .5)]), {i, 0, 1}, PlotRange -> {{0, 1}, {0, 1}}, PlotStyle -> {Black}, AspectRatio -> 1, ImageSize -> 256],
  Show[Image[1 / (1 + Exp[-a * (ImageData[lenay, "Real"] - .5)])], ImageSize -> 256]}}],
  {{a, 5., "Steilheit a"}, 2., 50., 1., Appearance -> "Labeled"}, ContinuousAction -> False, SaveDefinitions -> True]
```





7. Entropie

Entropie als statistisches Maß in Digitalbildern

$$H = - \sum_{x=0}^{G_{\max}} \frac{p(x) \log(p(x))}{\log(2)}$$

mit $0 \log(0) = 0$ wg. $\lim_{x \rightarrow 0} x \log(x) = 0$

mit $p(x) = h(x)/M/N$

mit M und N als Bildabmaßen

H gibt untere Schranke dafür an, wieviele Bits im Durchschnitt zur Kodierung aller Bildwerte erforderlich sind (wenn ihre

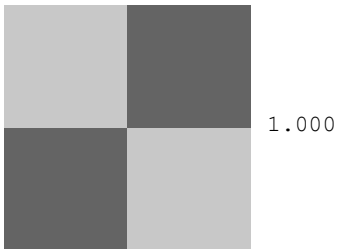
Häufigkeit gleich wäre)

```

Clear[entropie];
entropie[bild_Image] := Module[{bild1, p, h, ent},
  If[ImageChannels[bild] > 2,
    h = Tally[#[[1]] * 65536 + #[[2]] * 256 + #[[3]] & /@Flatten[ImageData[bild, "Byte"], 1]][[All, 2]]; (*abs. Häuf.*)
    p = h / (Times@@ ImageDimensions[bild]); (*rel. Häuf.*)
    ent = -Plus@@ (p * Log[2, p]);
    Print[Grid[{{Show[bild, ImageSize -> 128], N[ent, 4]}}, 2]];
    bild1 = ColorConvert[bild, "GrayScale"];
    h = Tally[Flatten[ImageData[bild1, "Byte"]]][[All, 2]]; (*abs. Häuf.*)
    p = h / (Times@@ ImageDimensions[bild]); (*rel. Häuf.*)
    ent = -Plus@@ (p * Log[2, p]);
    Print[Grid[{{Show[bild1, ImageSize -> 128], N[ent, 4]}}, 2]];
  ,
    h = Tally[Flatten[ImageData[bild, "Byte"]]][[All, 2]]; (*abs. Häuf.*)
    p = h / (Times@@ ImageDimensions[bild]); (*rel. Häuf.*)
    ent = -Plus@@ (p * Log[2, p]);
    Print[Grid[{{Show[bild, ImageSize -> 128], N[ent, 4]}}, 2]];
  ];
];

bild = Image[{{200, 100}, {100, 200}}, "Byte"];
entropie[bild];

```



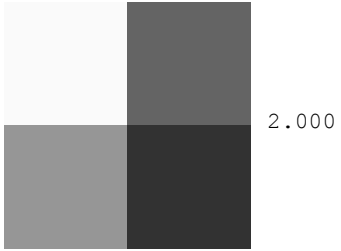
```

bild = Image[{{100, 100}, {100, 100}}, "Byte"];
entropie[bild];

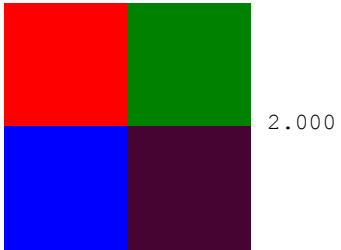
```



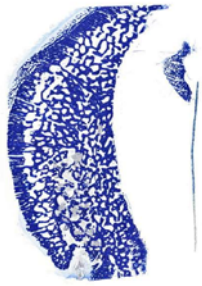
```
bild = Image[{{250, 100}, {150, 50}}, "Byte"];  
entropie[bild];
```



```
bild = Image[{{{255, 0, 0}, {0, 130, 0}}, {{0, 0, 255}, {70, 4, 50}}}, "Byte"];  
entropie[bild];
```



```
entropie[knochenschliffrgb];
```

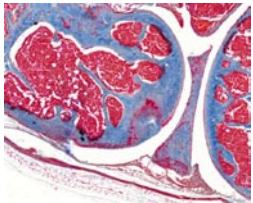


7.332

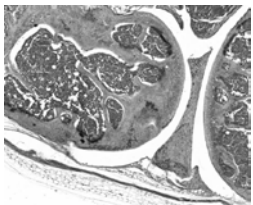


4.077

entropie[mausknierngb];

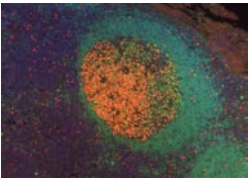


15.50

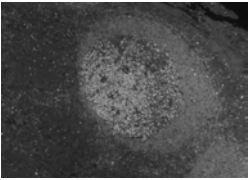


7.161

entropie[lymphfollikelrgb];

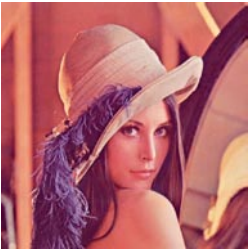


18.27



6.634

```
entropie[1enargb];
```

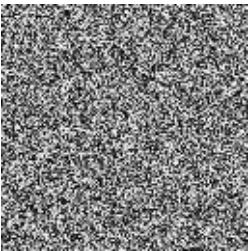


16.84



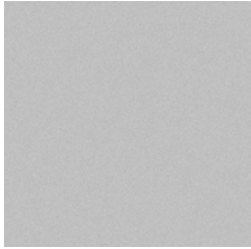
7.445

```
entropie[randombild];
```



7.986

```
entropie[rauschbild];
```



4.633

8. Wichtigste lichtmikroskopische Modalitäten

Hauptverfahren: Durchlichtmikroskopie



“Stativ 1”(1857, Carl Zeiss)



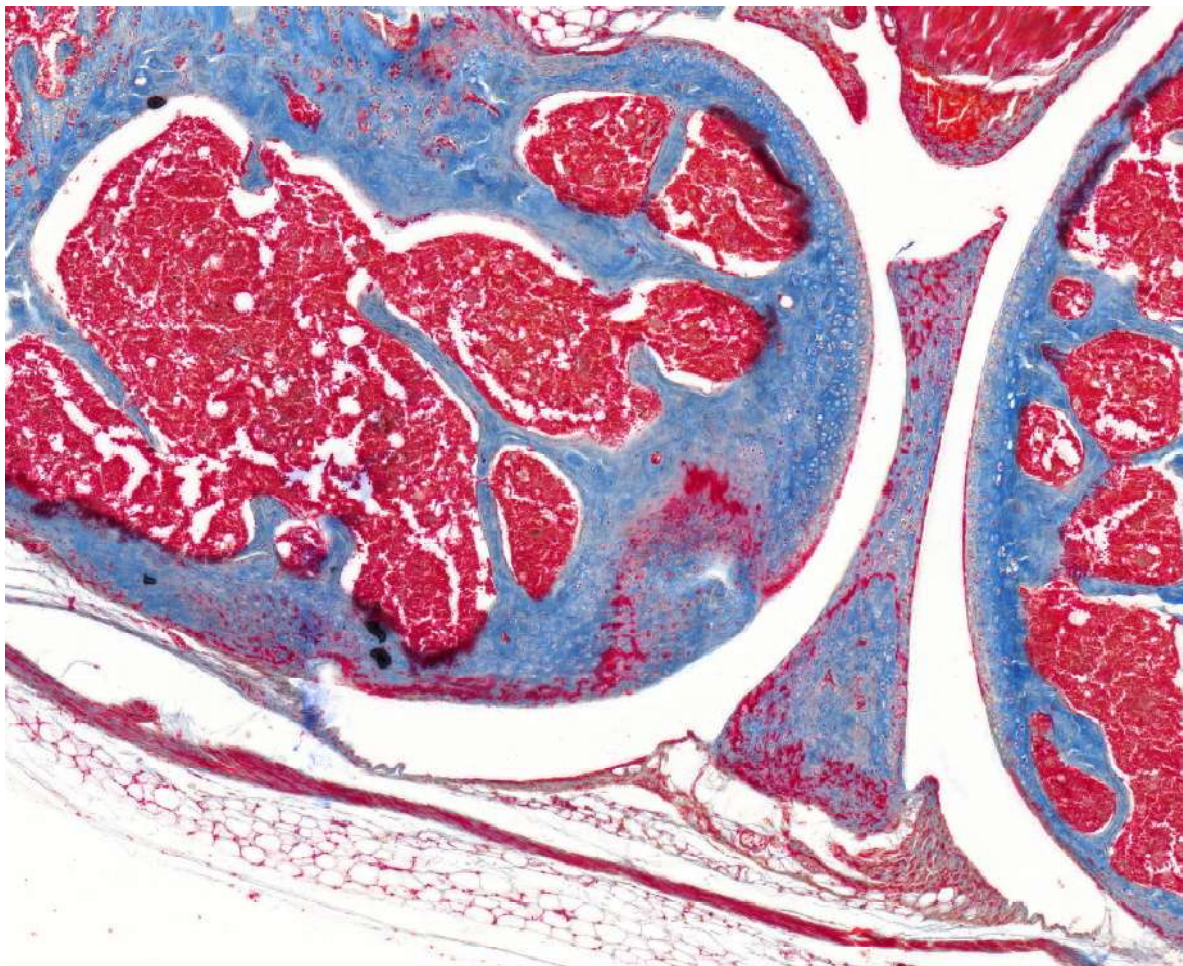
“Axioskop” (ab 1989, Carl Zeiss)



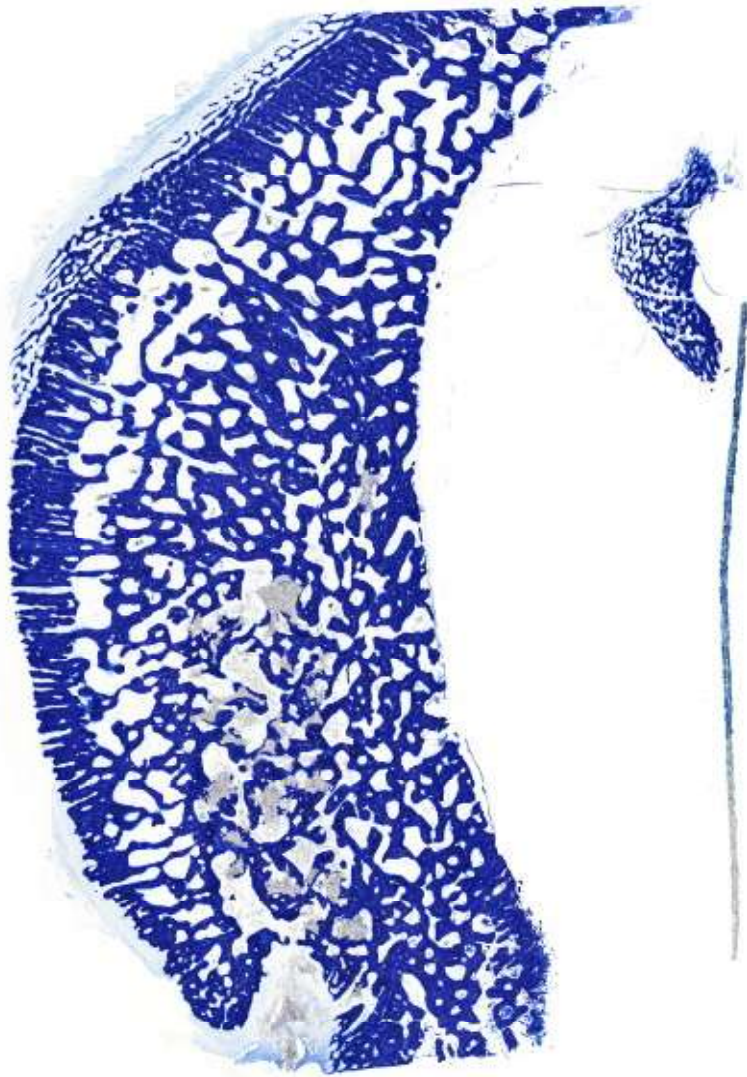
“Mirax Midi” (ab 2007,

3DHitech/Zeiss)

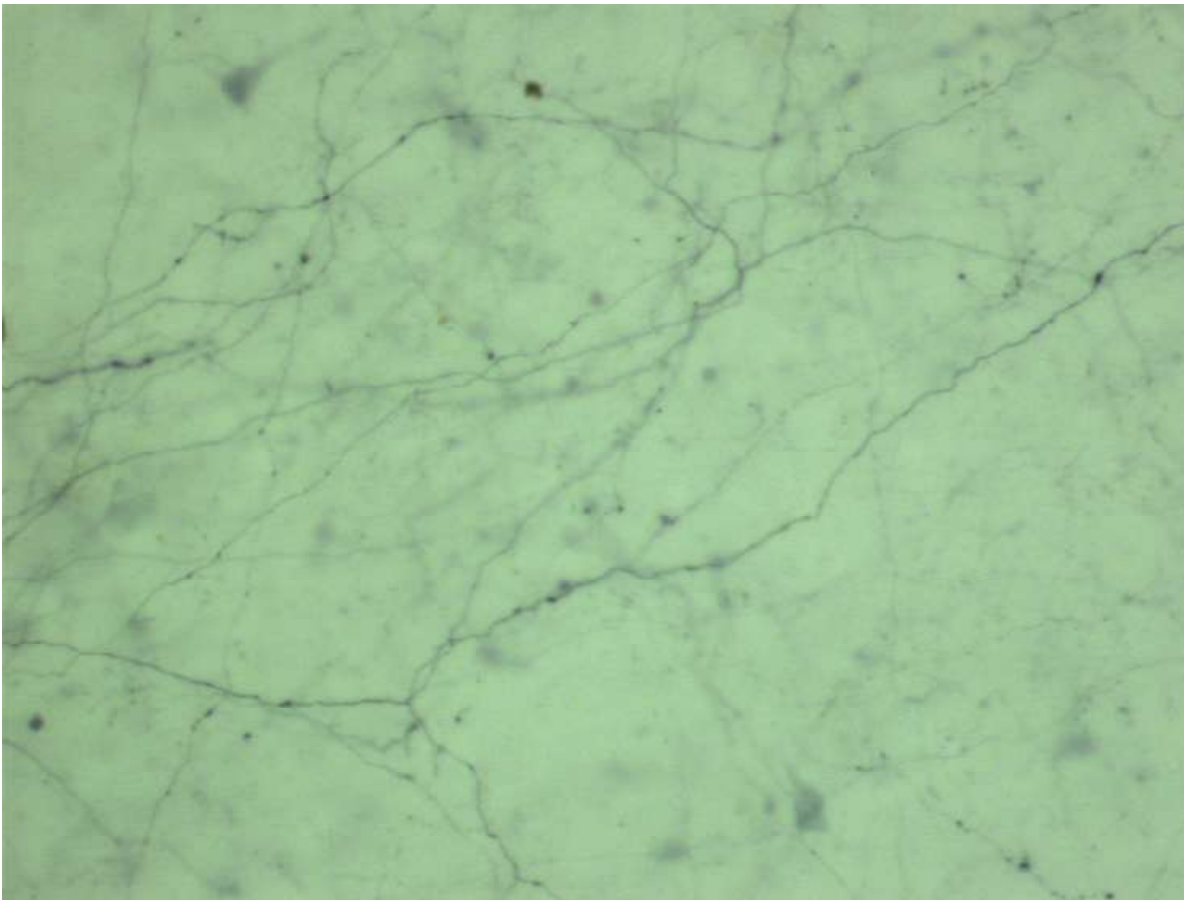
Gefärbte Gewebeschnitte



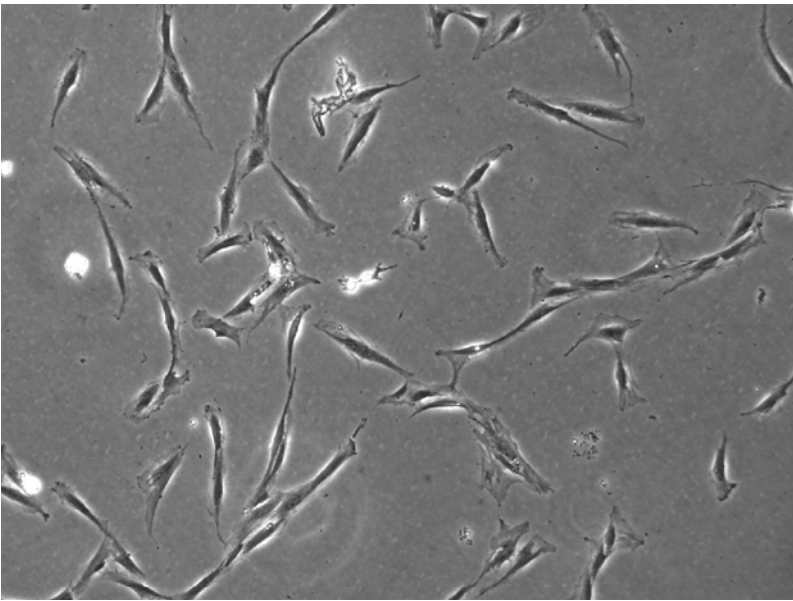
Spezialform: Gefärbter Knochenschliff



Nervenfasern in Zellkultur



Spezialverfahren Durchlichtmikroskopie



und Objektlicht)

Phasenkontrast (Interferenz von phasenverschobenem Hintergrund-

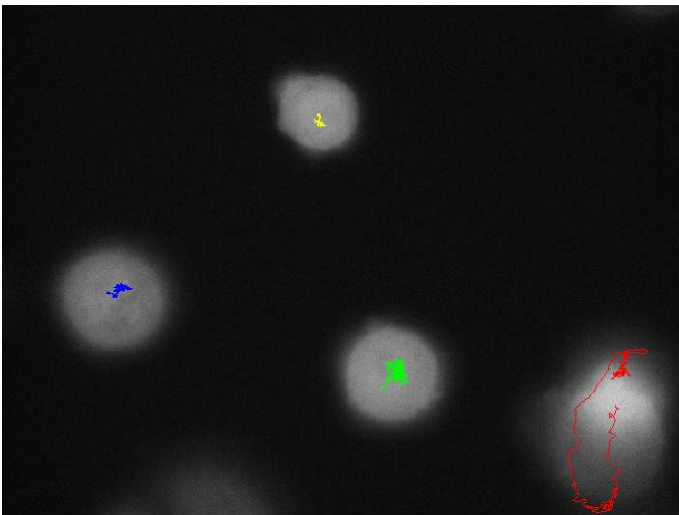


Polarisationskontrast (Objekt zwischen zwei orthog. Pol.-filtern)

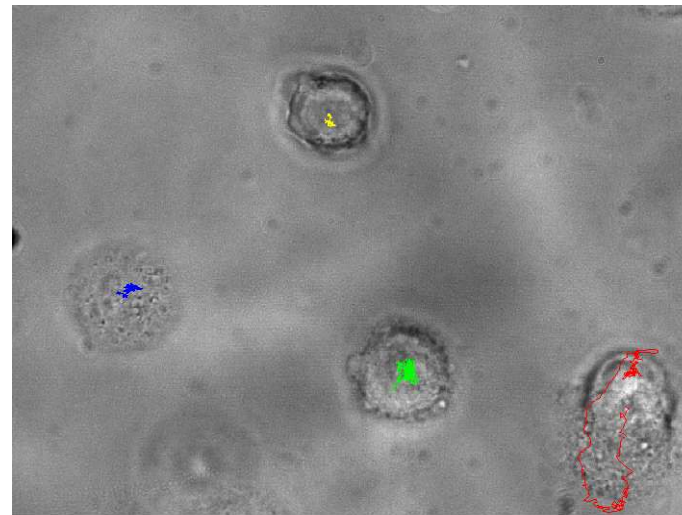


Hellfeld

Fluoreszenzmikroskopie



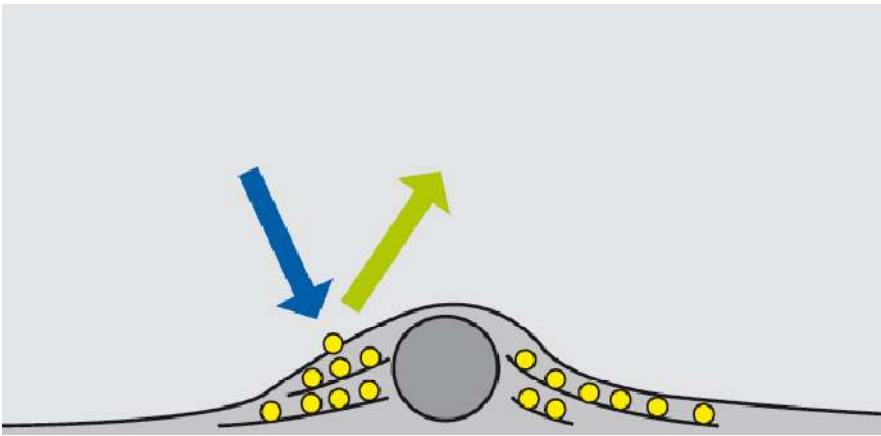
Fluoreszenz



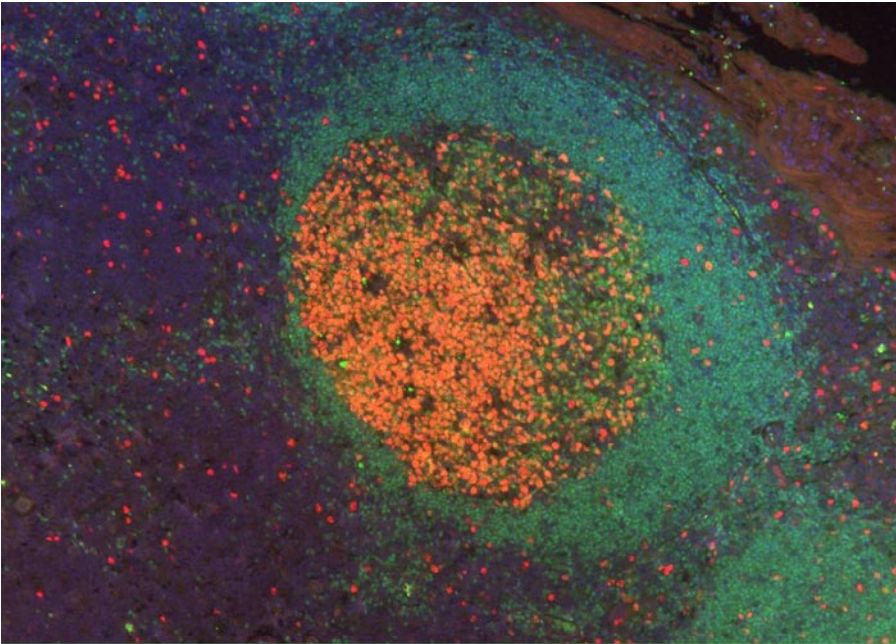
Hellfeld

(zwei Frames aus einer alternierenden Zeitrafferserie, in der Zellbewegung aufgezeichnet wurde)

Fluoreszenz bringt nicht in jedem Falle bunte Bilder! Es kommt u.a. auf die Kamera an.



Fluorochrome werden zum Leuchten angeregt, emittiertes Licht ist durch Stokesverschiebung langwelliger



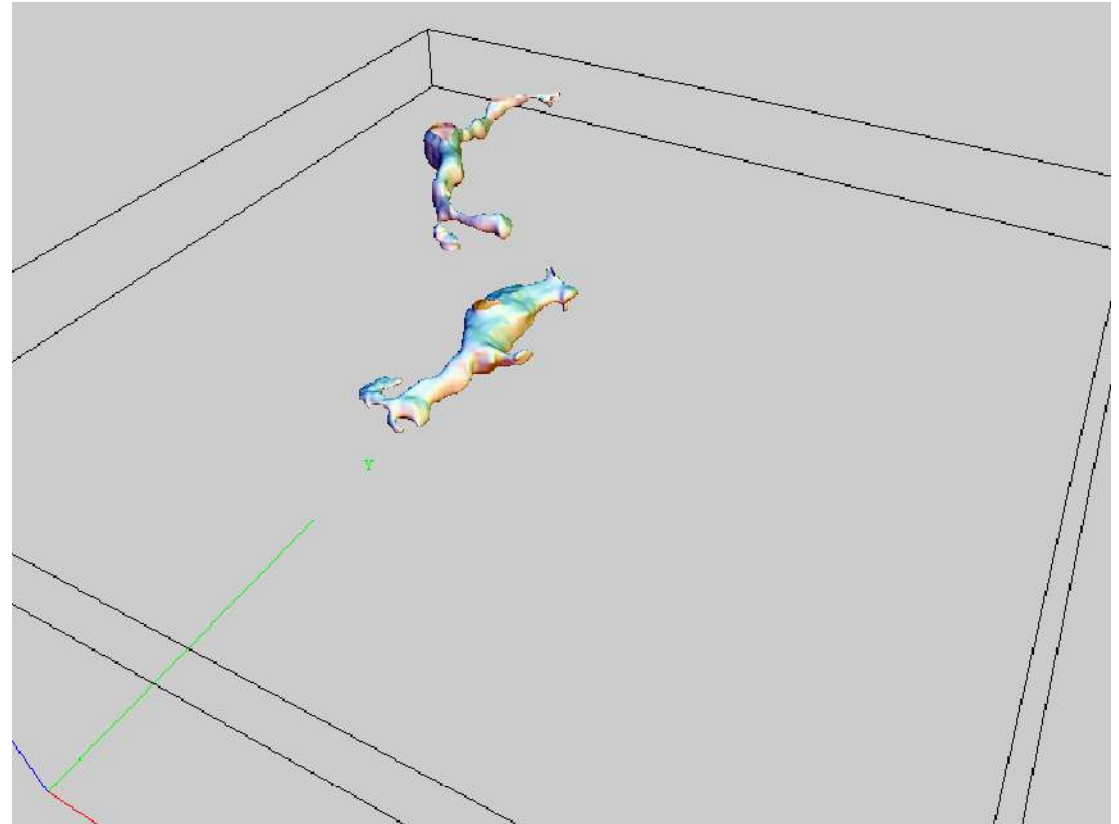
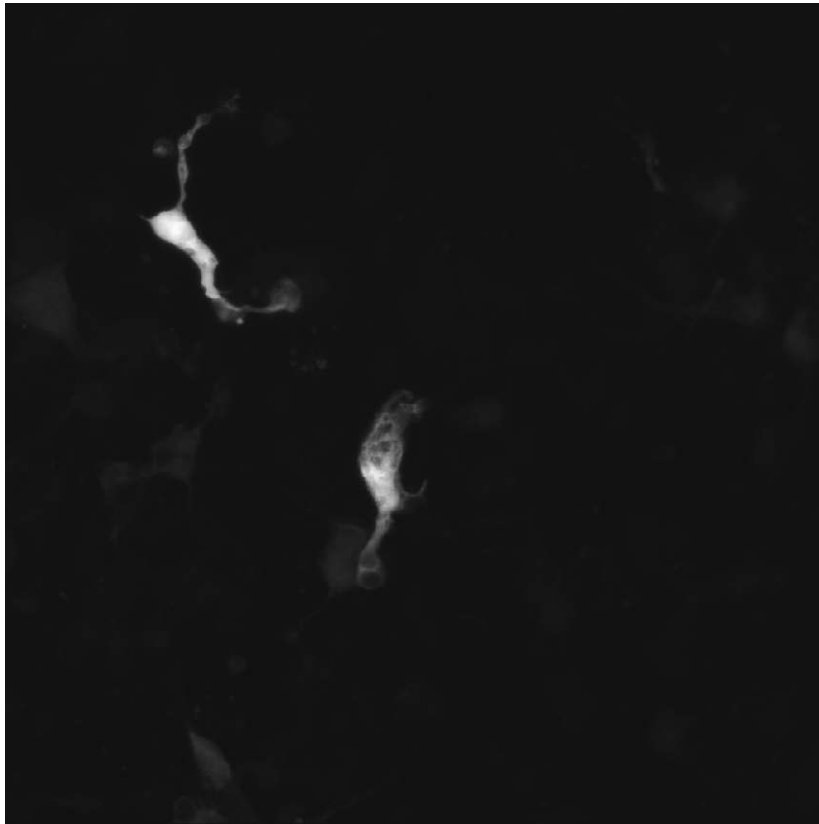
Lymphfollikel mit Zonen hoher und niedriger Proliferation (3

Fluoreszenzkanäle)

Konfokalmikroskopie

- punktförmige Lichtquelle (typischerweise Laserlicht), wird über eine Lochblende ausgelesen

- durch Abrastern Erfassung von 2D-Bildserien, die zum 3D-Datensatz zusammengefaßt werden



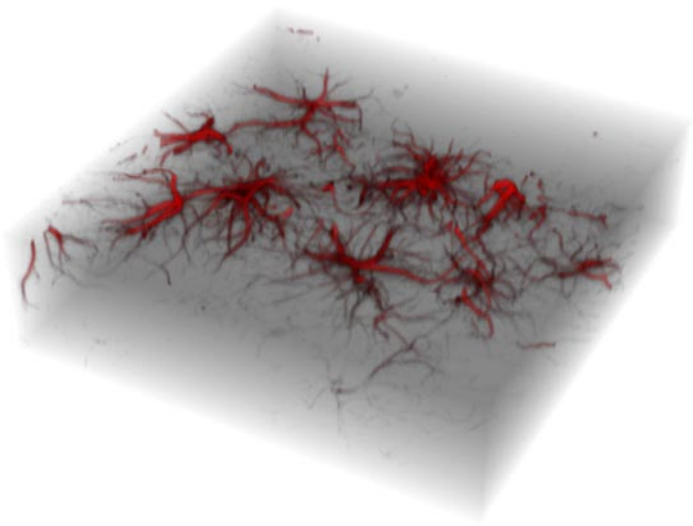


normals Fluoreszenzbild



dieselbe Probe mit konfokalem

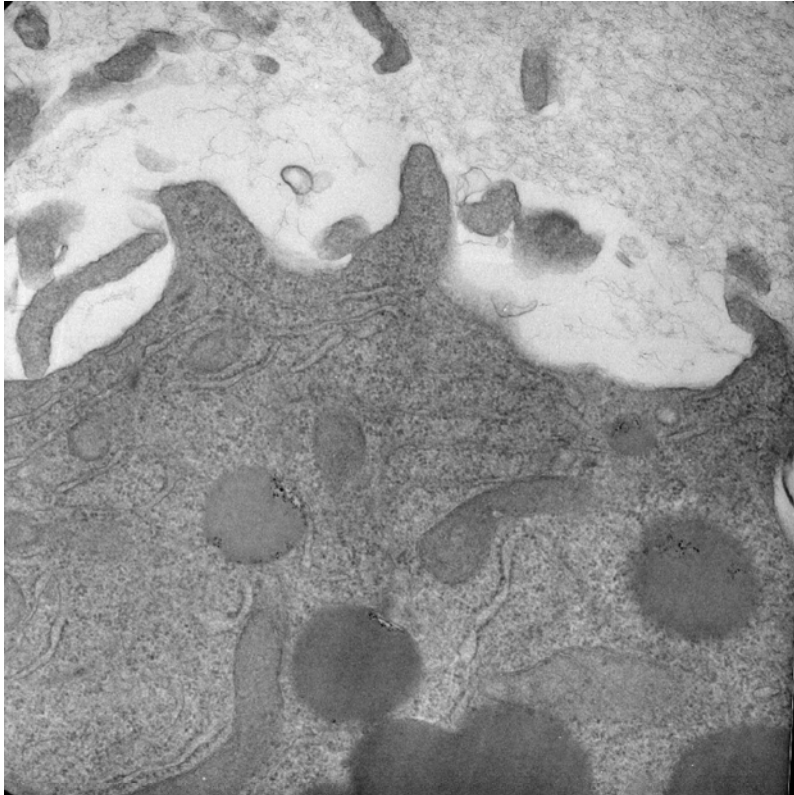
Laserscanning



Gliazellen im 3D-Daten aus konfokalem Laserscanning (für Darstellung koloriert)

Elektronenmikroskopie

hier: Transmissions-EM



Zelle in Alginat eingebettet

Weitere Modalitäten:

- Zwei-Photonen-Mikroskopie
- Röntgenmikroskopie
- Ultraschallmikroskopie
- Mikro-MRI
- IR-Mikrospektroskopie
- Raman-Mikroskopie
- Rasterkraftmikroskopie
- ...

