

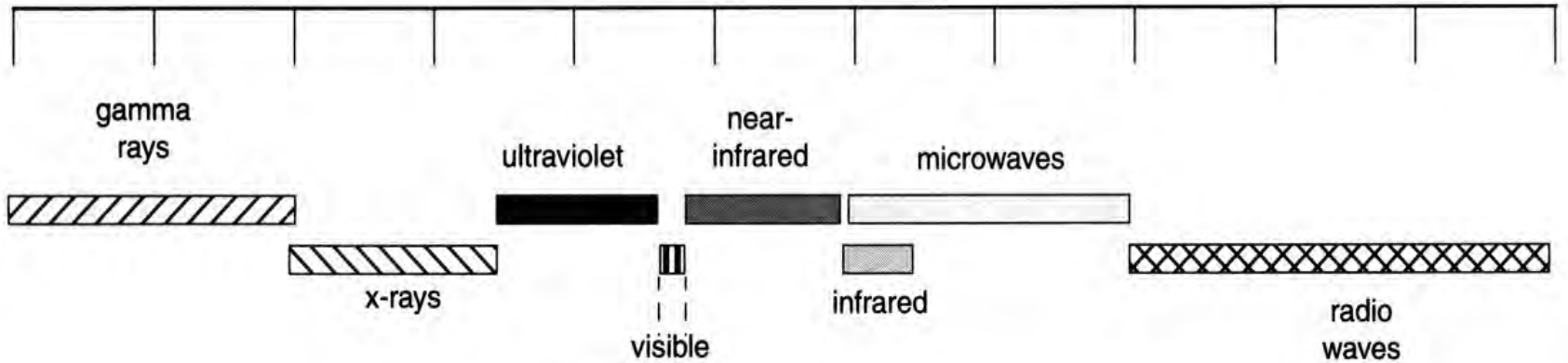
Bildverarbeitung und Algorithmen

Prof. Dr. Wolfgang Konen

**Grundlagen der
visuellen Wahrnehmung
und der Bildentstehung**

Frequency, cycles/second Frequenz [Zyklen/Sekunde]

10^{24} 10^{22} 10^{20} 10^{18} 10^{16} 10^{14} 10^{12} 10^{10} 10^8 10^6 10^4 10^2



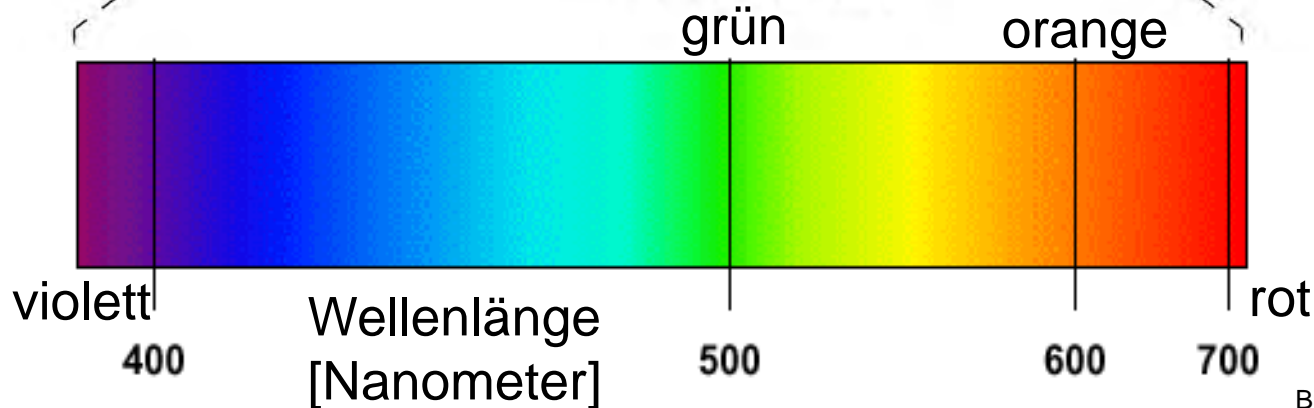
Das elektromagnetische Spektrum

Sichtbares Licht

10^{-16} 10^{-14} 10^{-12} 10^{-10} 10^{-8} 10^{-6} 10^{-4} 10^{-2} 1 10^2 10^4 10^6

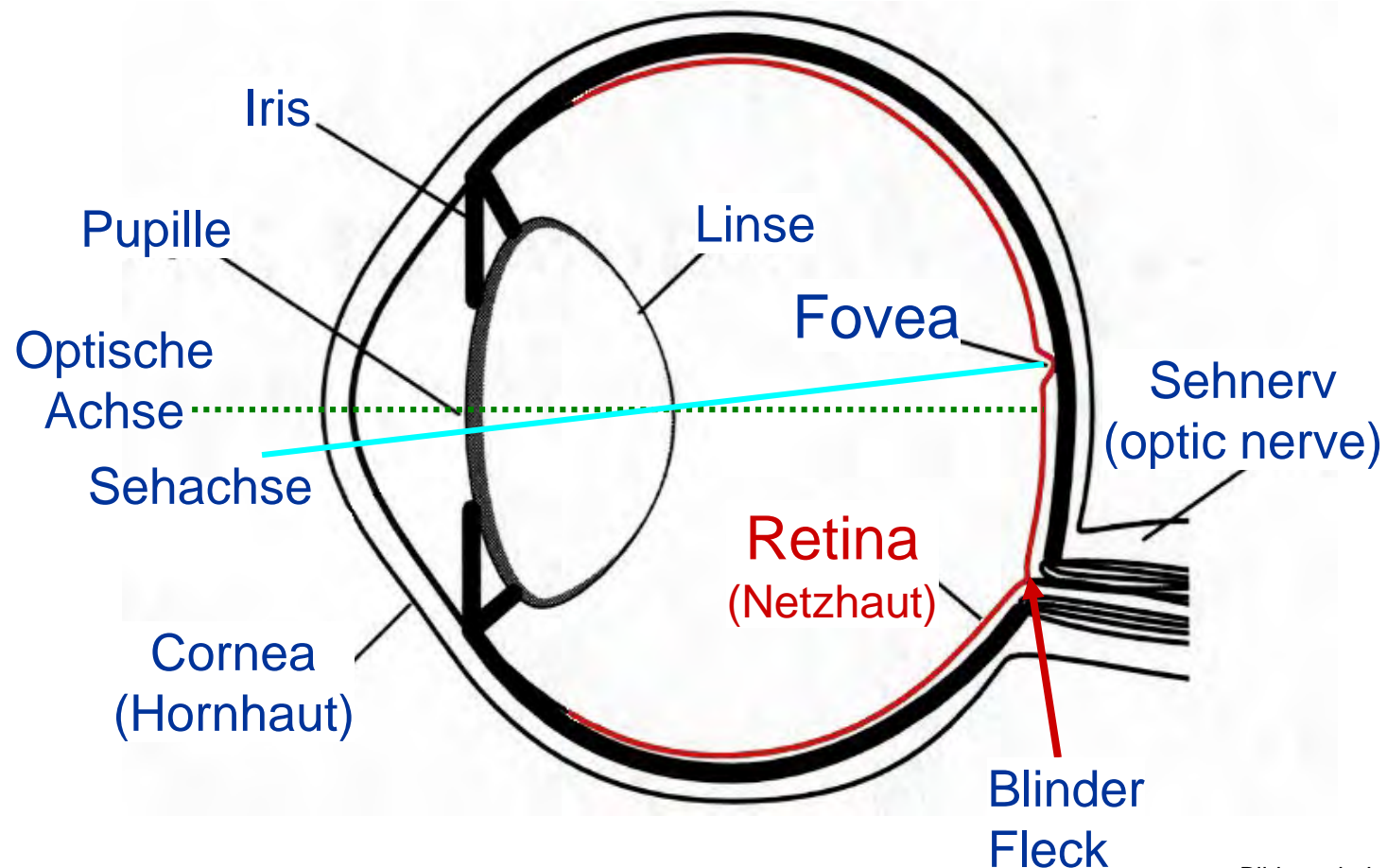
Wavelength, meters

Wellenlänge [Meter]



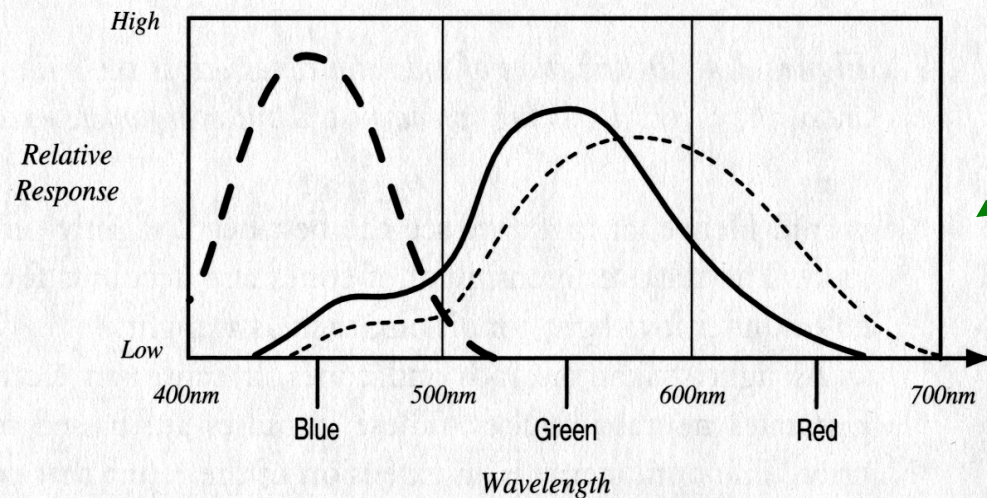
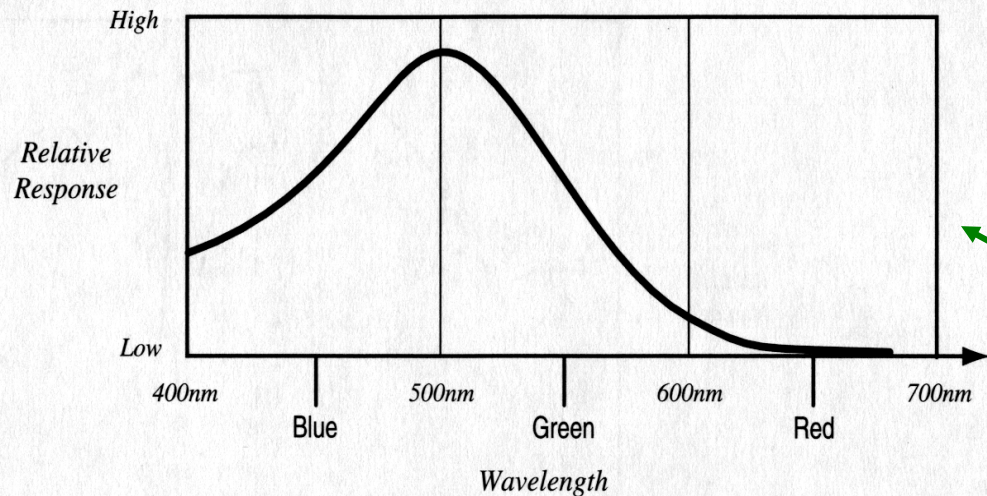
Physische Struktur des menschlichen Auges

(Halbschematischer Horizontalschnitt durch ein rechtes Auge)



Eigenschaften des menschlichen visuellen Systems (1)

Retina



□ Die Retina ist der Bilddetektor des Auges. Es gibt zwei Typen von Photorezeptoren:

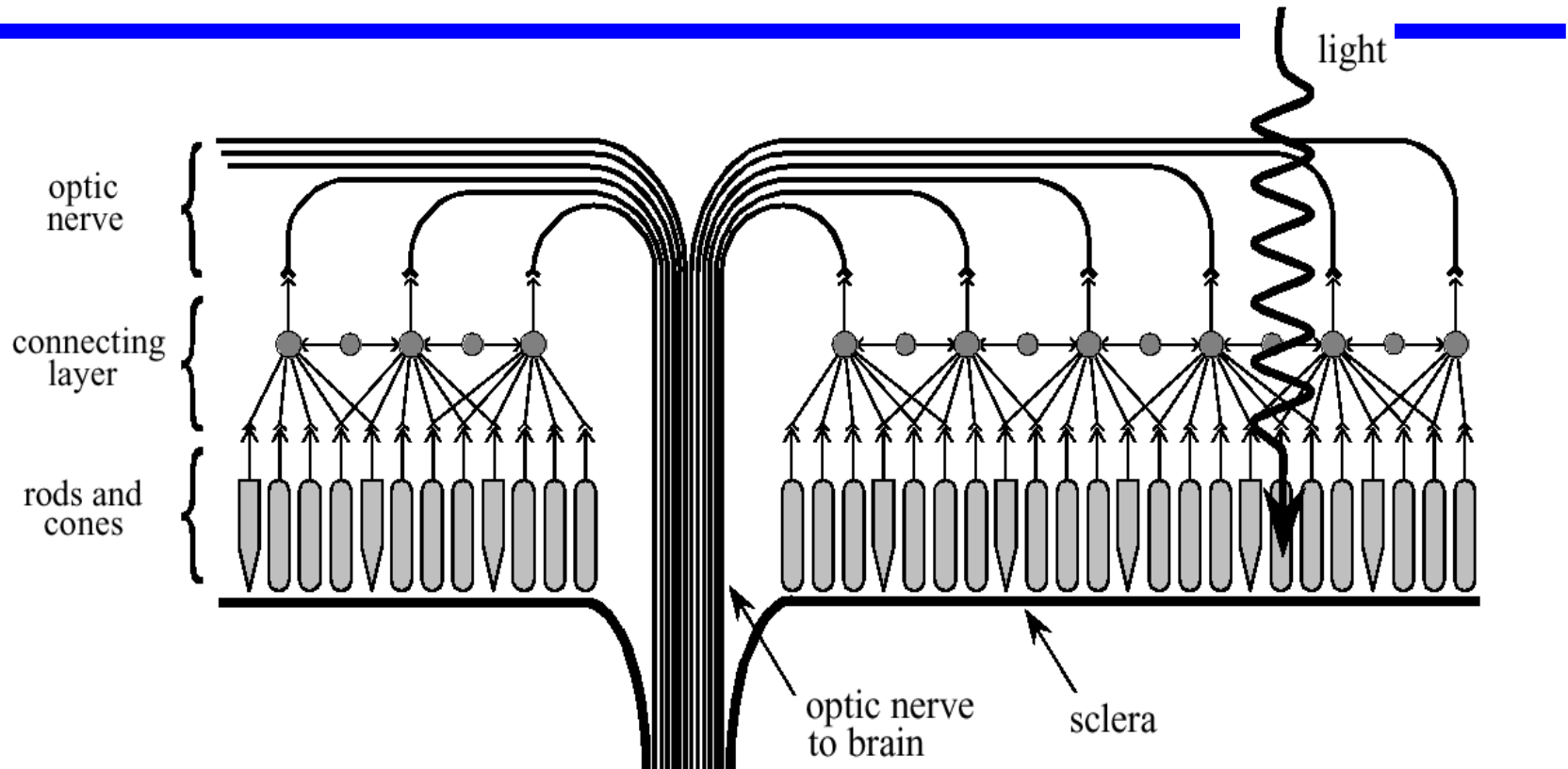
● Stäbchen (*rods*)

- Hohe Lichtempfindlichkeit
- Schmales Spektralband

● Zapfen (*cones*)

- Geringe Lichtempfindlichkeit
- Drei unterschiedliche Spektralbänder (ermöglicht Farbsehen)

Physische Struktur der Retina



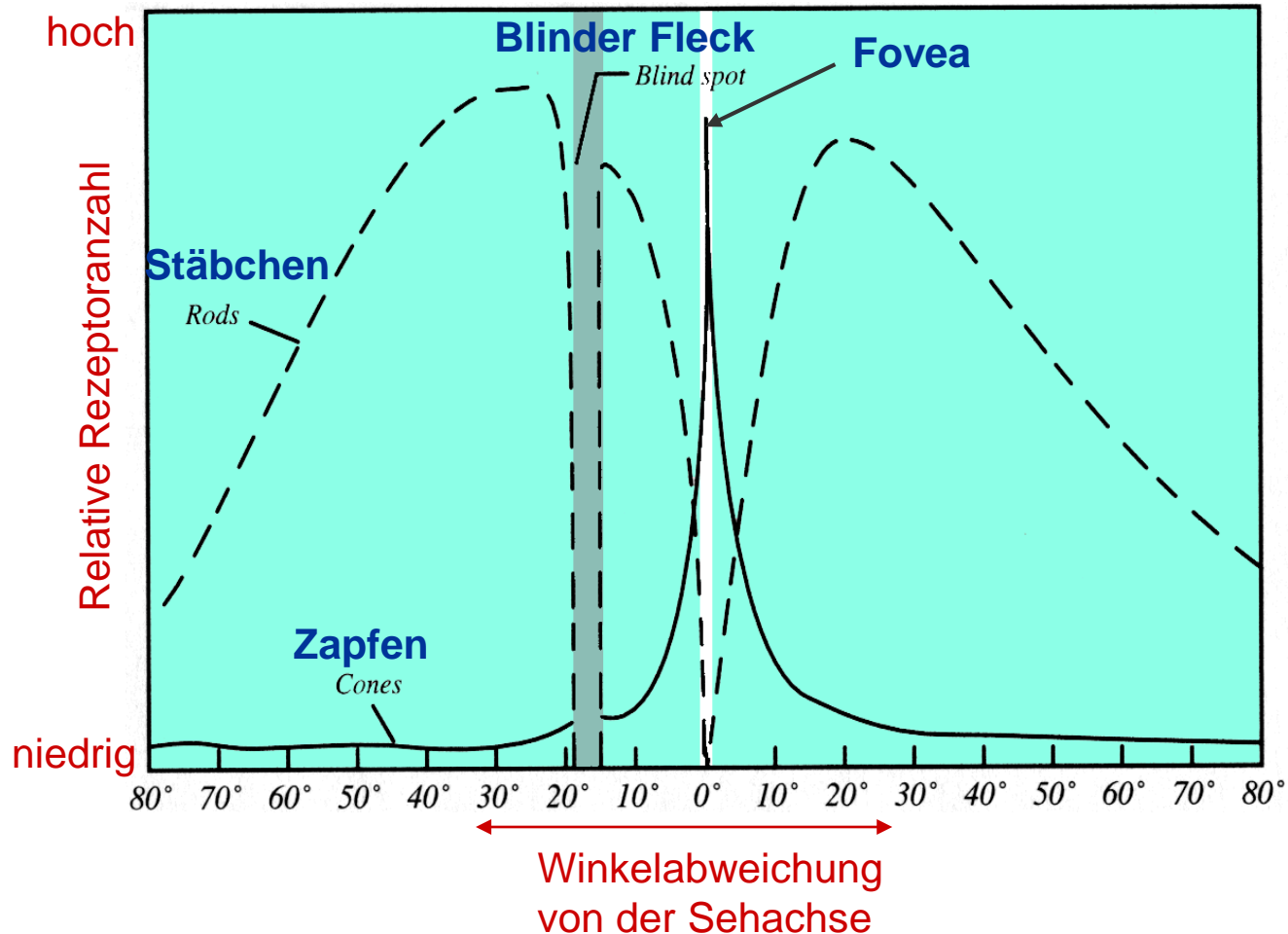
□ Die menschliche Retina besteht hauptsächlich aus 3 Schichten:

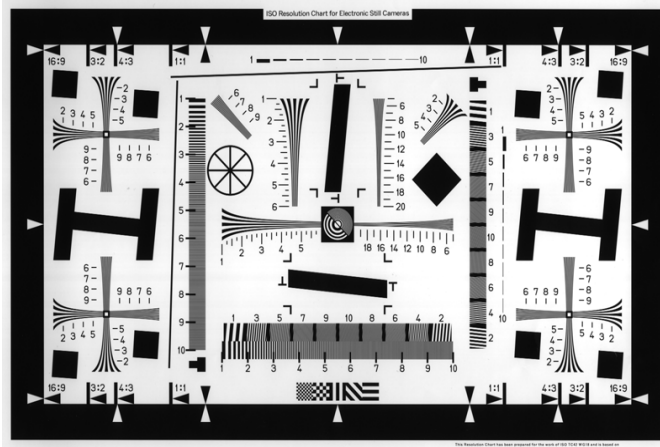
- Die Photorezeptoren "Stäbchen" und "Zapfen".
- Eine Zwischenschicht für Datenreduktion und Bildvorverarbeitung.
- Die Fasern des optischen Nerven, der zum Gehirn führt.

Eigenschaften des menschlichen visuellen Systems (2)

Rezeptorverteilung auf der Retina

- **Stäbchen (*rods*)**
 - Die Stäbchen sind über die gesamte Retina verteilt, außer in der Fovea.
- **Zapfen (*cones*)**
 - Die meisten Zapfen befinden sich in der Fovea.





Optische Auflösung (Örtliche Auflösung einer optischen Abbildung)

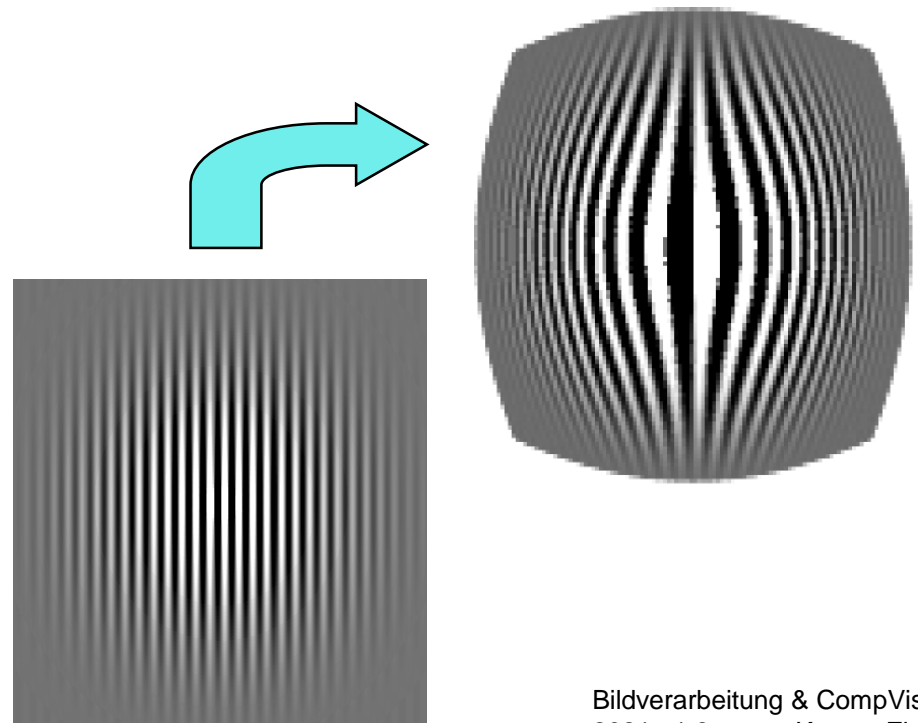
- Der Begriff **Auflösung** bezieht sich auf die Fähigkeit, zwei benachbarte Bildpunkte unterscheiden zu können.
 - Wir können zwei benachbarte Bildpunkte (eines Objekts) **auflösen**, wenn wir sie als separat erkennen können.
 - Wenn wir im Bild zwei benachbarte Punkte eines Objekts *nicht* unterscheiden können, dann lassen sich diese Punkte *nicht* auflösen.
- In der Videotechnik, zum Beispiel, wird die Auflösung von Kameras, Videorecordern etc. in "Linien" angegeben (ein wichtiger Qualitätswert!):
 - 450 Linien Auflösung einer Videokamera bedeutet die Fähigkeit der Kamera, ein Wellen-Muster bestehend aus vertikalen Linien so abzubilden, dass in einem Standard-Videobild 450 Linien dieses Musters gerade noch unterschieden (z.B. gezählt) werden können.

Eigenschaften des menschlichen visuellen Systems (3)

Fovea und Peripherie

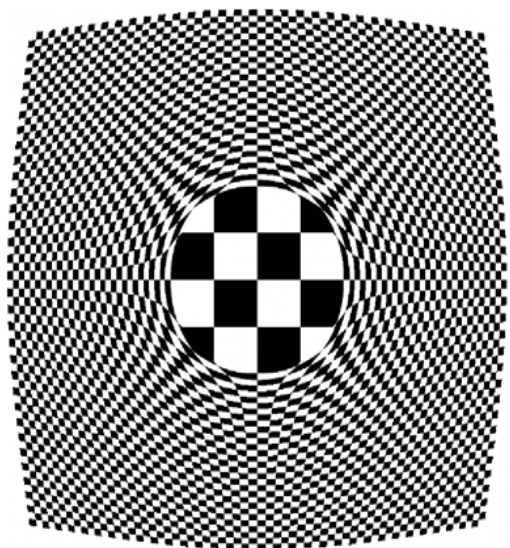
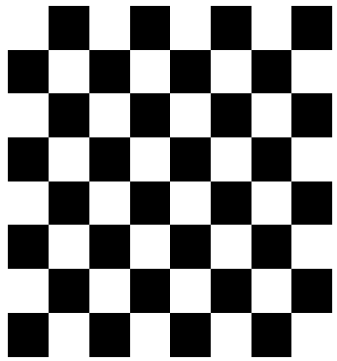
- Die (Orts-)Auflösung (Detailtiefe) des auf der Retina erzeugten Bildes ist im Zentrum (in der **Fovea**) maximal und nimmt zum Rand hin (in der **Peripherie**) ab.
- Die Zapfen liefern eine hohe Bildauflösung weil sie alle individuell mit Nervenfasern verbunden sind.
- Bei den Stäbchen sind jeweils mehrere Rezeptoren mit einer Nervenfaser verbunden
 - geringere Bildauflösung beim Farbsehen.

Simulation einer *ortsvarianten* Bildauflösung mit Auflösungsmaximum im Bildzentrum und radialem Abfall der Ortsauflösung zum Bildrand:

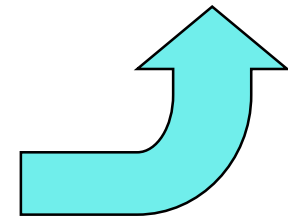
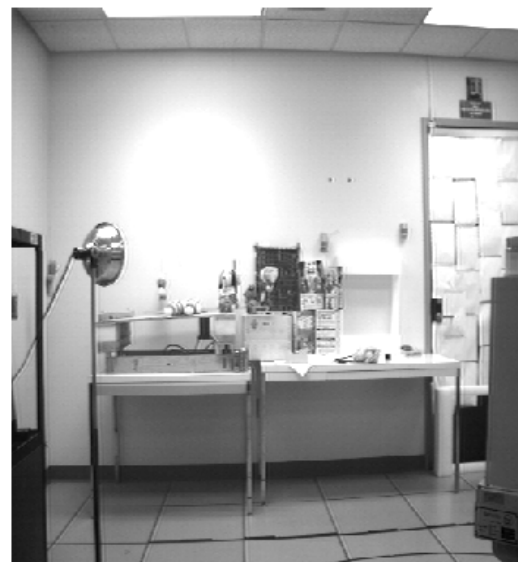


Eigenschaften des menschlichen visuellen Systems (4)

Fovea und Peripherie

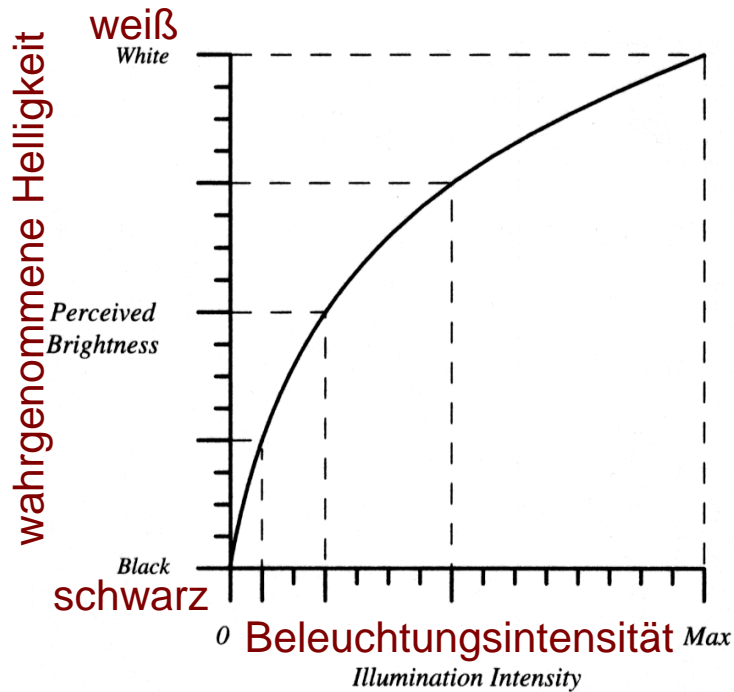


Simulation der Bilderzeugung auf der Retina. Der Zentralbereich (Fovea) ist wesentlich höher aufgelöst als der Randbereich (Peripherie).



Eigenschaften des menschlichen visuellen Systems (5)

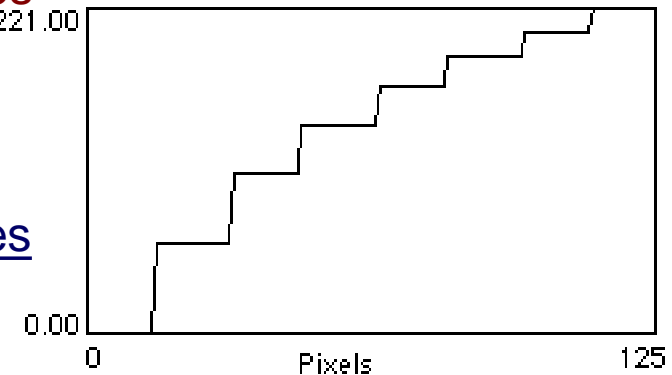
Helligkeits- und Kontrastwahrnehmung



Acht Graustufen, deren Intensitätsabstände scheinbar gleich sind:



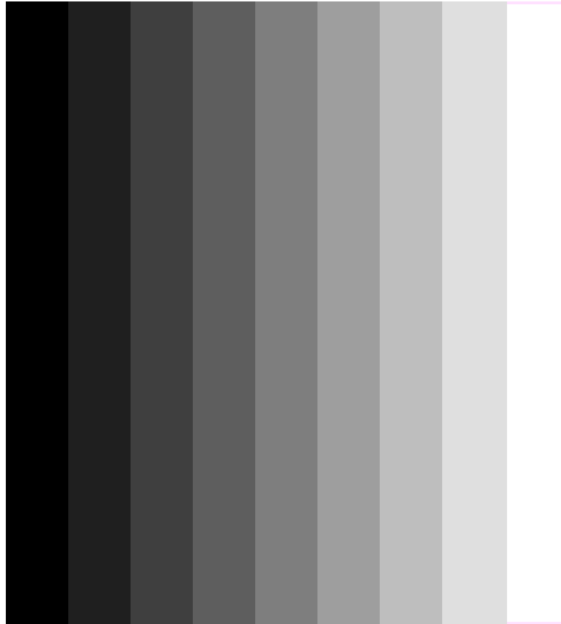
Tatsächliches Intensitätsprofil:



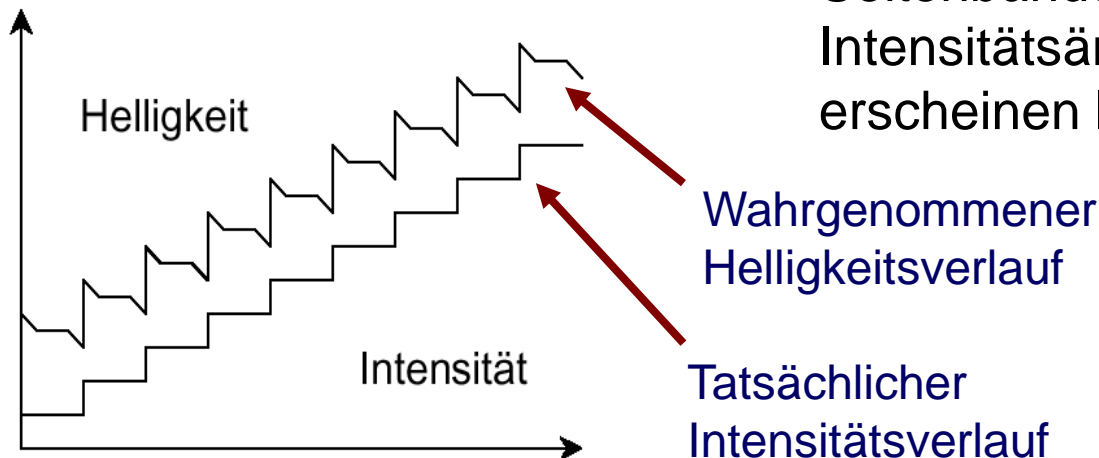
Logarithmische Helligkeitsempfindlichkeit des Auges
Deutlich wahrgenommene Helligkeitssteigerungen entsprechen jeweils einer Verdopplung der aufgenommenen Lichtintensität.

Eigenschaften des menschlichen visuellen Systems (6)

MACH-Band Effekt

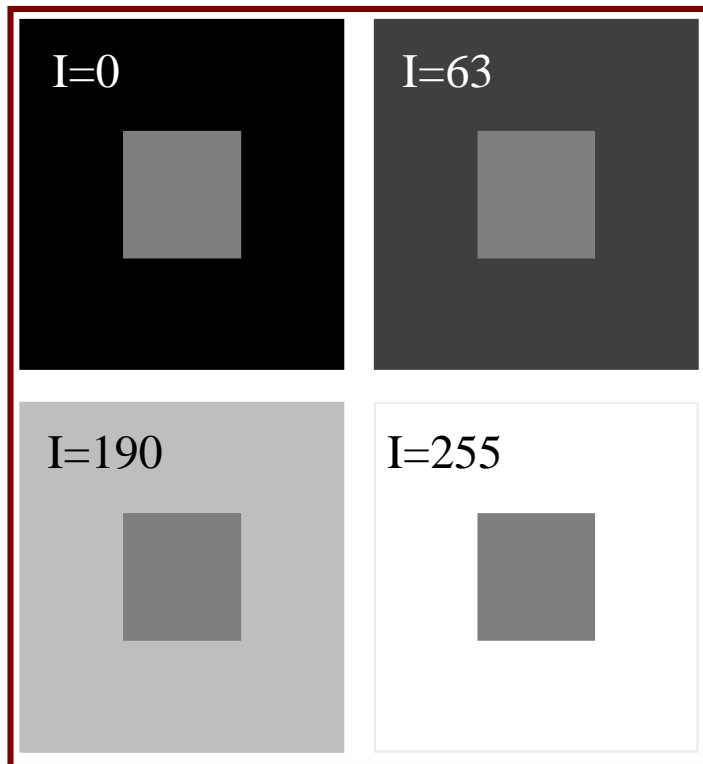


- **Laterale Inhibition:**
Benachbarte Photorezeptoren auf der Retina interagieren miteinander, wodurch wichtige visuelle Effekte entstehen.
- **Mach-Band Effekt:**
Neben Intensitätssprüngen sieht man helle und dunkle Seitenbänder, die die Intensitätsänderung stärker erscheinen lässt, als sie ist.



Eigenschaften des menschlichen visuellen Systems (7)

Helligkeits- und Simultankontrast

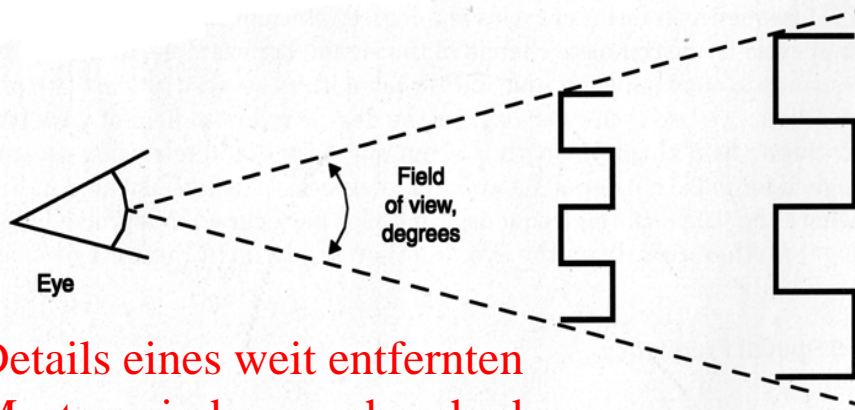


- **Simultankontrast (simultaneous contrast)** ist eine Illusion, bei der die wahrgenommene Helligkeit einer Region von der Intensität der jeweiligen Umgebung abhängt.
- Das visuelle System adaptiert seine Intensitätsempfindlichkeit an die durchschnittliche Intensität der Umgebung des betrachteten Objekts.

Alle inneren Quadrate haben den gleichen Intensitätswert ($I=126$). Sie erscheinen aber verschieden, je nach Hintergrund.

$$\text{Kontrast} := \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

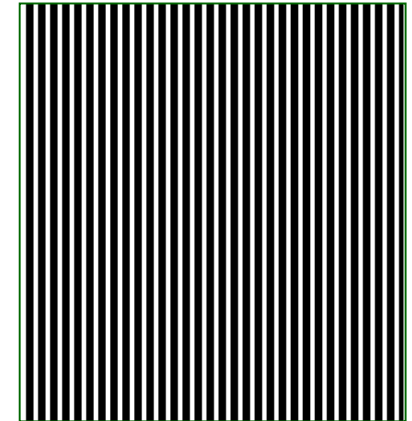
Örtliche Frequenz (Ortsfrequenz)



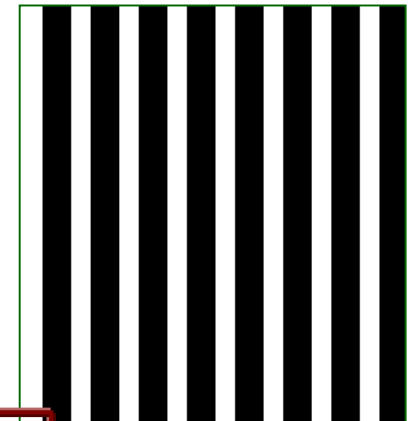
Details eines weit entfernten Musters sind nur wahrnehmbar, wenn hohe Ortsfrequenzen aufgelöst werden können.

Ortsfrequenz
 $f=2$

Hohe Ortsfrequenz



Niedrige Ortsfrequenz
($f=8$)

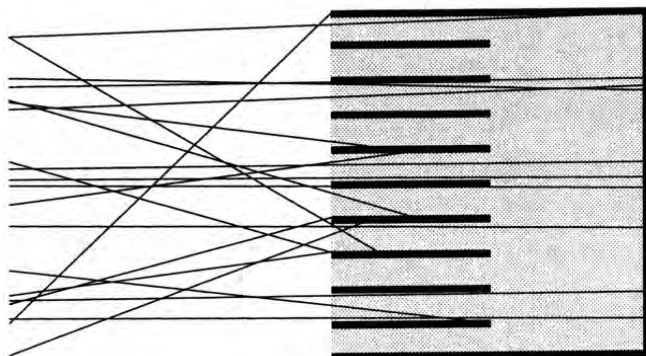


Ortsfrequenz \Leftrightarrow Anzahl Musterzyklen im Blickfeld

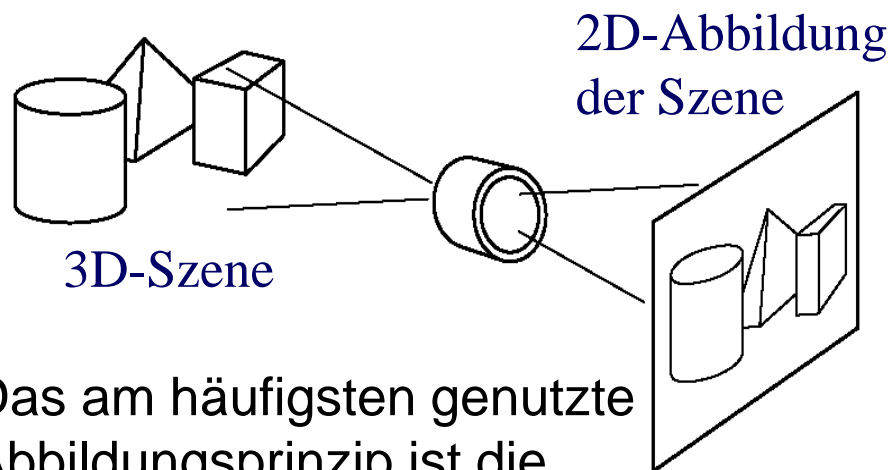
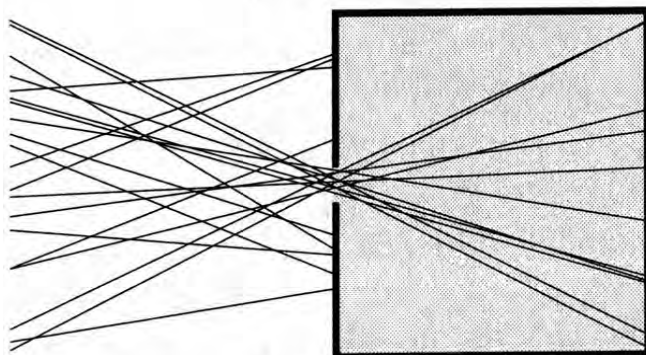
Abbildungsprinzipien

Einfallende Lichtstrahlen,
z.B. von Objekten reflektiertes Licht

Kollimator



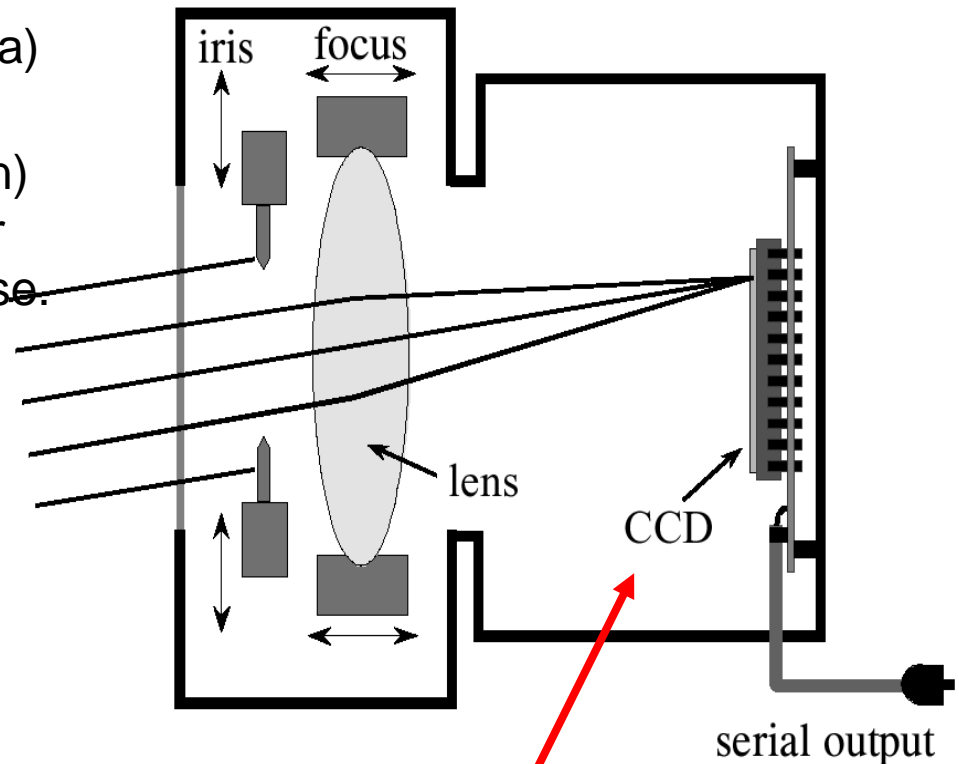
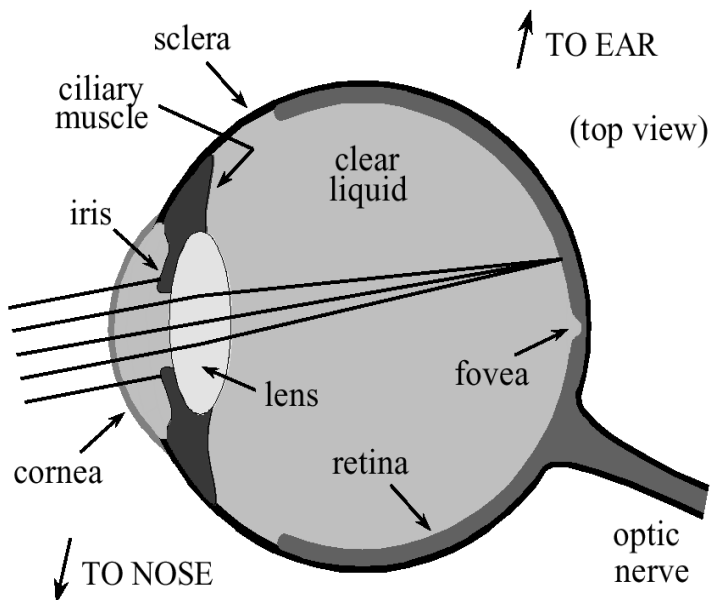
Lochkamera



- Das am häufigsten genutzte Abbildungsprinzip ist die **Lochkamera**. Das Auge und praktisch alle technischen Kameras basieren auf dem Prinzip der Lochkamera.
- Bei dem **Kollimator**-Prinzip fallen näherungsweise parallele Lichtstrahlen durch ein Bündel von Röhren auf die Bildebene. Bsp.: Komplexaugen der Insekten.

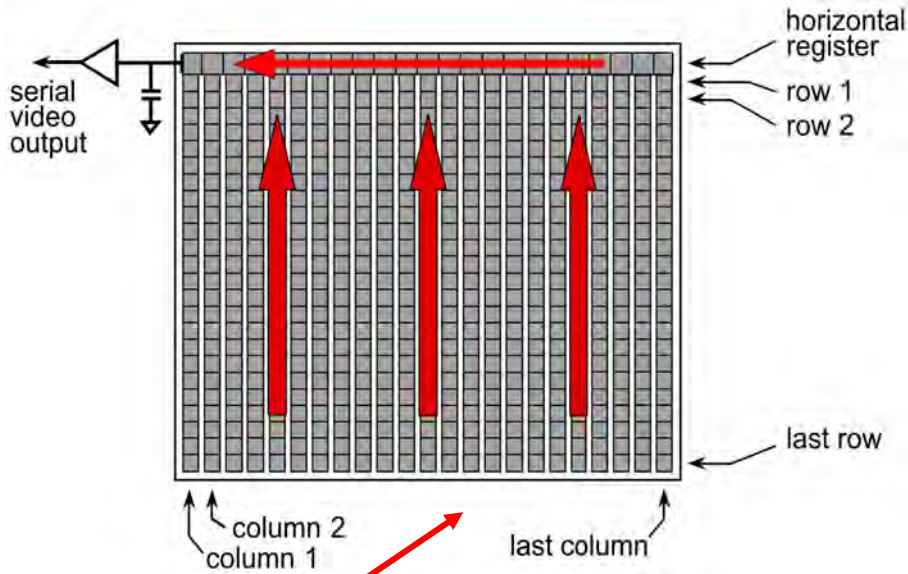
Vergleich der Bildentstehung im Auge und in einer modernen elektronischen Kamera

- Mit der **Iris** wird die Lichtmenge gesteuert, die den Sensor (Retina) erreicht.
- Die **Fokussierung** (Akkommodation) geschieht durch Verschieben der Linse entlang der optischen Achse.

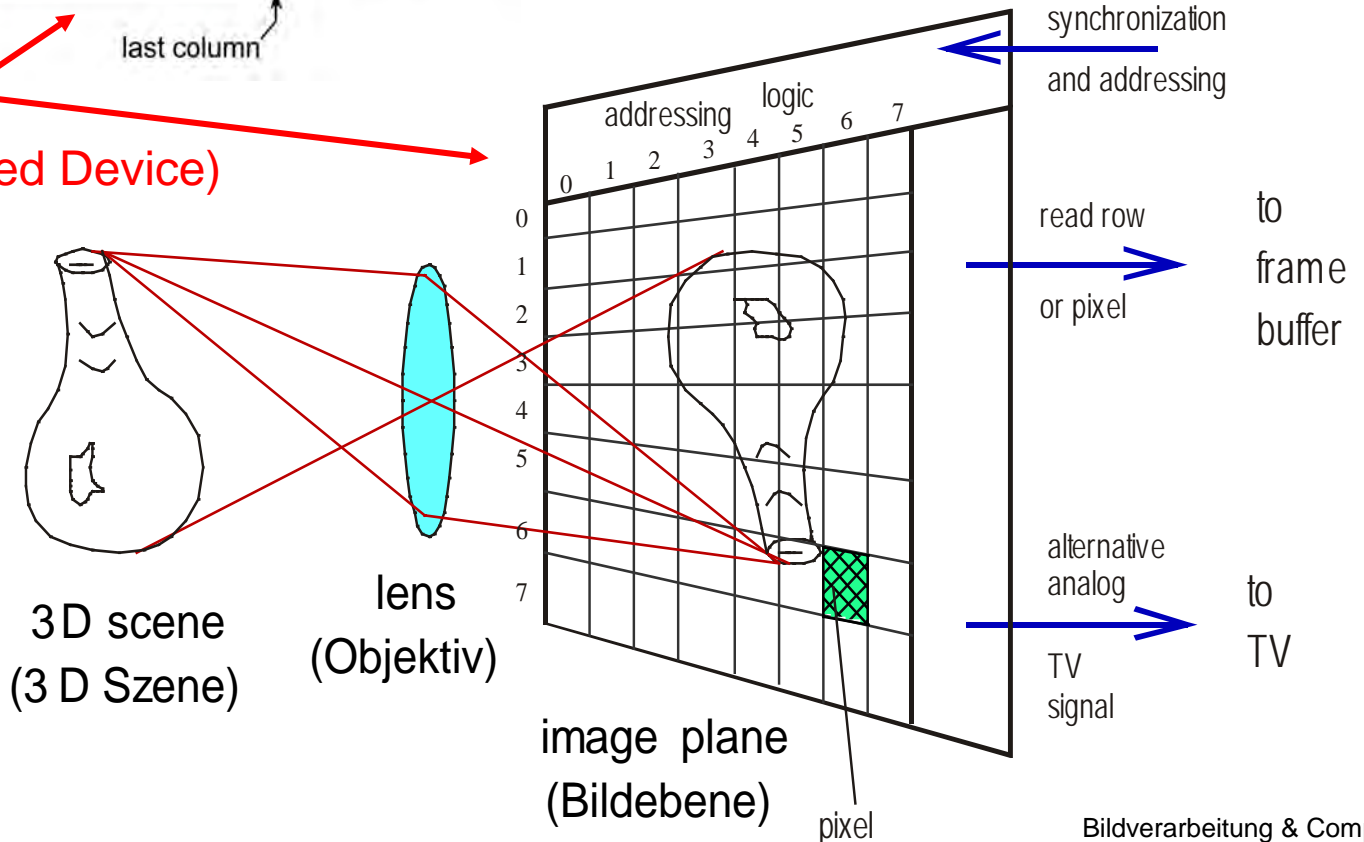


CCD-Chip
(Charge Coupled Device)

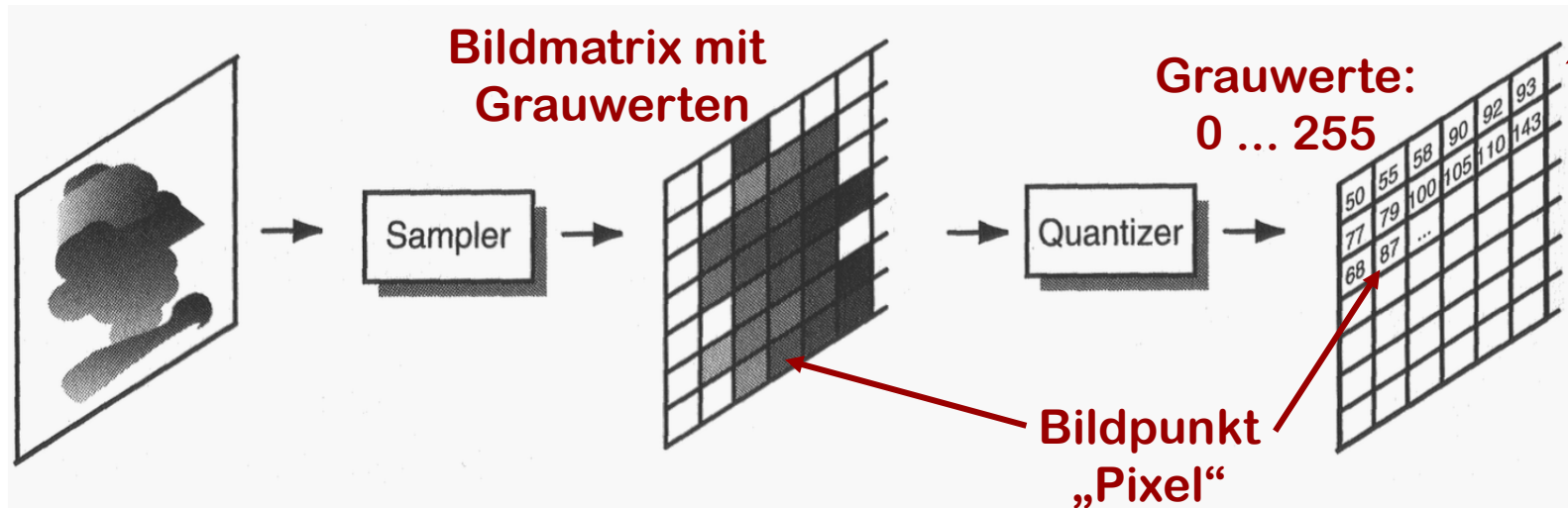
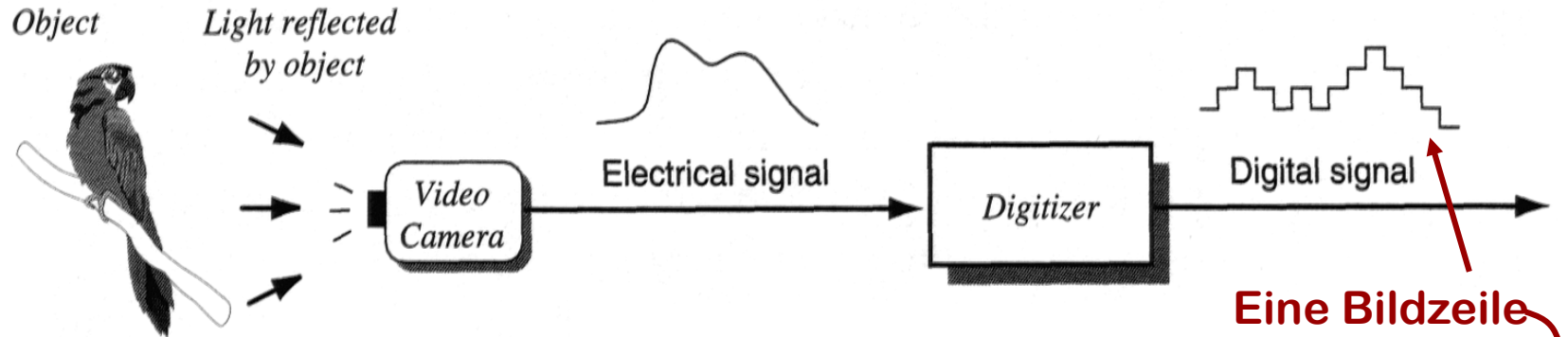
Prinzip der Bildentstehung bei einer CCD-Kamera



**CCD-Chip
(Charge Coupled Device)**



Erzeugung digitaler Bilddaten mit einer Standard-(TV)-Videokamera



— **Abtastung** →

— **Quantisierung** →