

Bild I

1. Bildverarbeitungssysteme

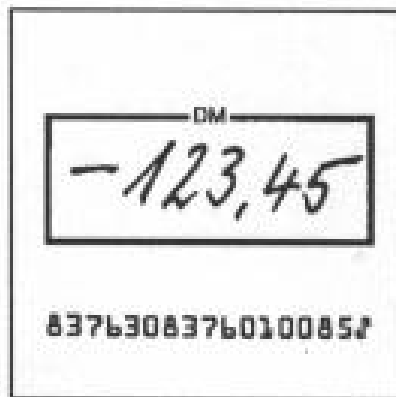
1.1 Beispielhafte Einsatzgebiete

- Thermographische Erfassung von Objekten
 - Gebäude-/ Anlageninspektion
 - Überprüfung der Wärmeabstrahlung von Mikroelektronikteilen
 - Wartung mechanischer Bauteile
- Qualitätskontrolle bei der Leiterplattenfertigung
- Biometrie (face detection, face recognition, Netzhautscans...)

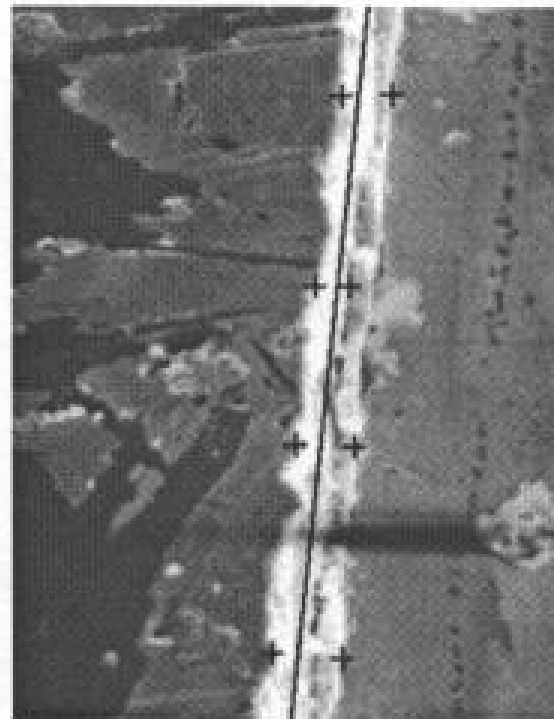
- Überprüfung von Hochspannungskabeln (Abb. a)
- Qualitätskontrolle in der Zahnmedizin (Abb. b)
- Zeichen- und Texterkennung (Abb. c)



Abb. a



(Abb. c)



(Abb. b)

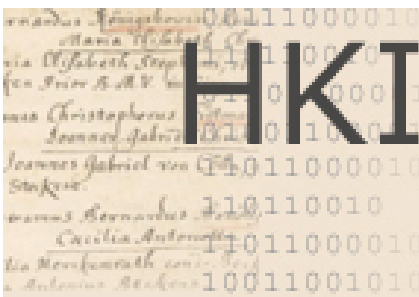


Bild I

1.2 Menschliches und maschinelles Sehen

• Auflösungsvermögen

- Das menschliche Auge besitzt ca. 6 Mio. Zapfenzellen und 130 Mio. Stabzellen; das Sensor-Array einer typischen CCD-Kamera 440.000 Bildpunkte (Video) bzw. 5-6 MegaPixel (Photo)
- Eine analoge 35mm Kleinbildkamera erreicht eine Auflösung von ca. 20 Megapixel (!)

• Verarbeitungsleistung

- Trotz relativ langsamer „Schaltzeiten“ im Millisekundenbereich garantiert **parallele Verarbeitung** eine extrem hohe Verarbeitungsleistung des menschl. visuellen Systems

• Farbsehen

- Das menschliche Auge kann ca. 100 Grauwerte und 7 Mio. Farben unterscheiden; digitale Graustufenbilder enthalten bis zu 256 Graustufen und bis zu 16,7 Mio Farben.

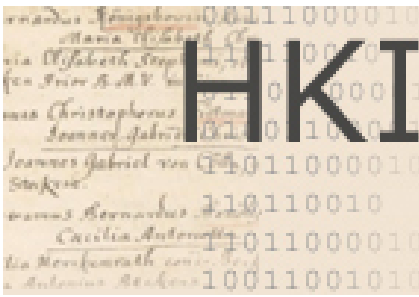
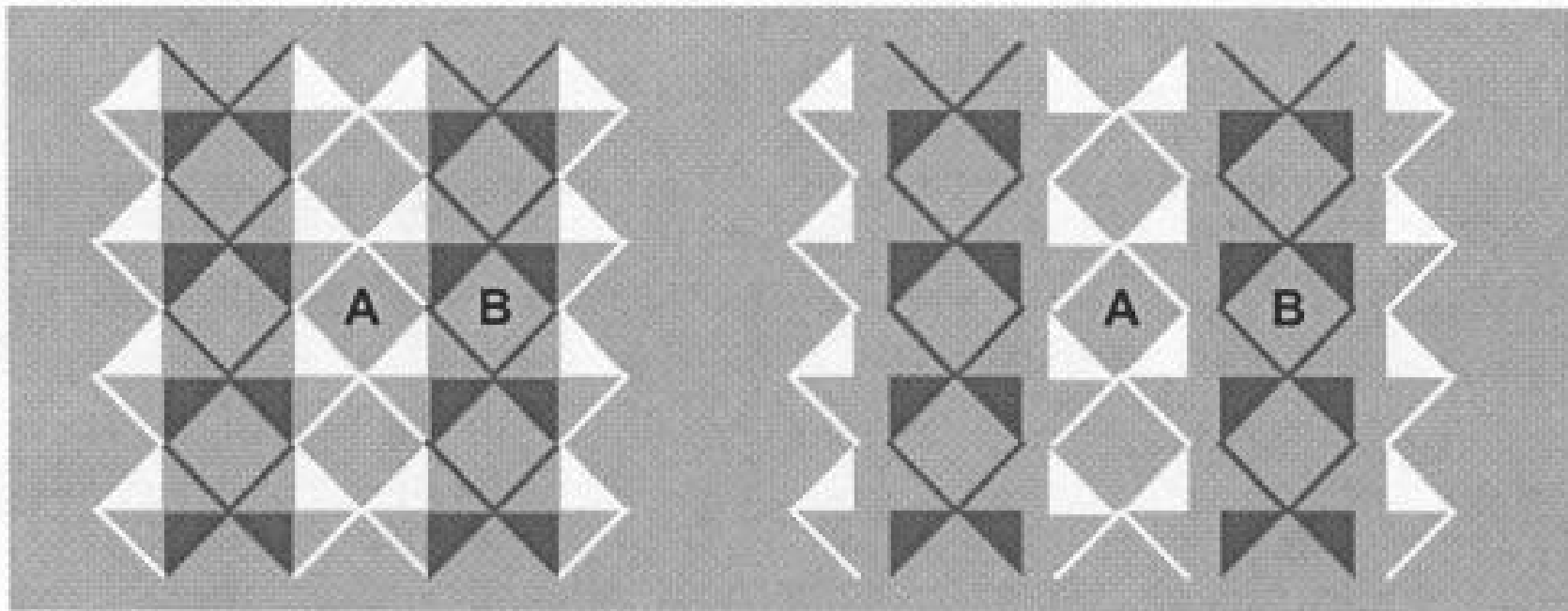


Bild I

- Wahrnehmung von Helligkeitsstufen
 - Das visuelle System des Menschen kann in seiner Helligkeitsinterpretation getäuscht werden:

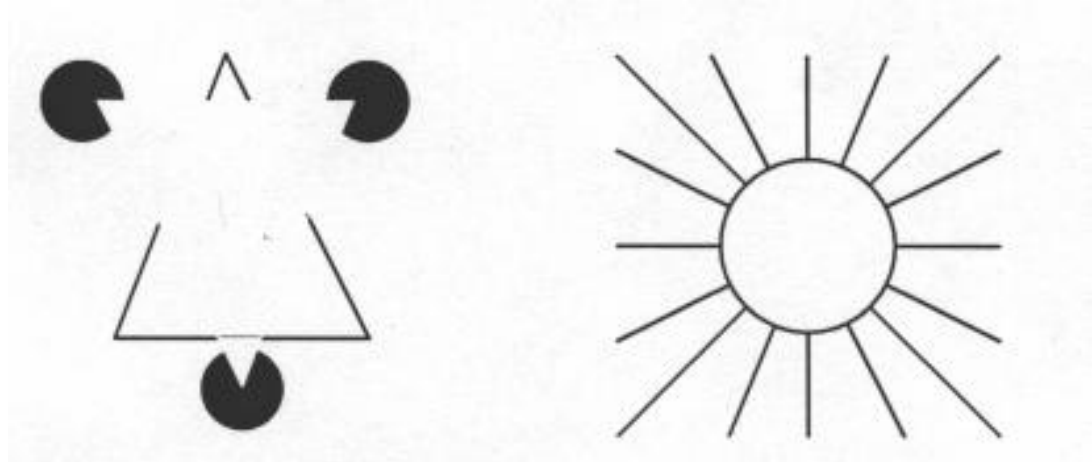


Im linken Bild scheint die mit B bezeichnete Fläche heller als die Fläche A. Dies liegt an der dunkleren Umgebung um B, es wirkt, als lägen zwei Filterstreifen über dem Bild. Das Gehirn versucht dies auszugleichen und interpretiert B heller als A.

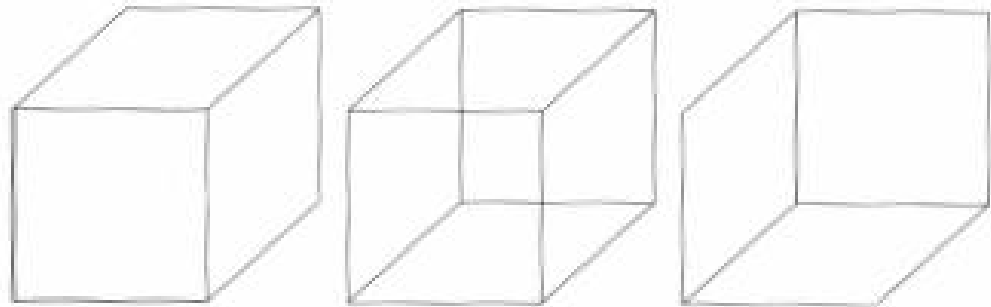
- Beurteilung der Größe von Objekten



- Strukturerkennung



- Räumliches Sehen



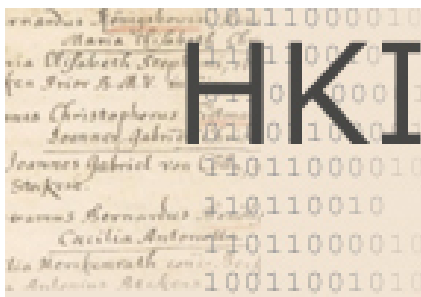


Bild I

1.3 Aufbau eines Bildverarbeitungssystems

- Modularer Aufbau
 - Bildaufnahmesystem
 - Framegrabber (Bildspeicher)
 - Kontroll- und Steuereinheit (PC, Workstation)
 - Bildverarbeitungseinheit (Bildverarbeitungssoftware)

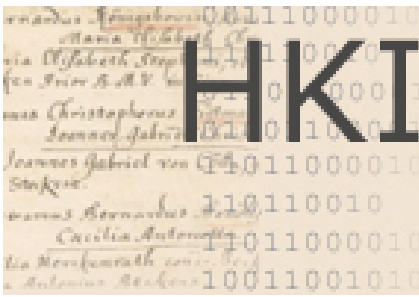


Bild I

1.3.1 Bildaufnahmesystem

- Typische oft verwendete Bildaufnahmesysteme sind z.B. Video-Kameras, Scanner (Flachbett-, Laser-), Mikroskope (Licht-, Raster-Elektronen-), Tomographen (Röntgen-, Kernspin-), Thermographie-Kameras
- Sie unterscheiden sich im Aufnahmeverfahren, im aufgenommenen Spektralbereich und der Sensortechnologie

1.3.1.1 Sensorik

- Sensoren sind für die Erfassung der Bildinformationen zuständig.
- In der Bildaufnahmetechnik weit verbreitet sind *Halbleiter-Bildsensoren*. Oft verwendet werden hier **CCD** (*Charge Coupled Devices*) und **CMOS** (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*)-Bildsensoren.

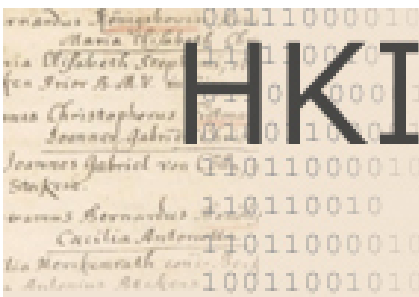


Bild 1

Vorzüge von Halbleiter-Bildsensoren

- **Hohe geometrische Genauigkeit**, durch Anordnung der Sensorpunkte in einem regelmäßigen Gitter (keine geometrischen Verzerrungen)
- **Lange Lebensdauer**
- **Hohe Empfindlichkeit**, es genügen geringe Lichtintensitäten für eine Aufnahme
- **Großer Dynamikbereich**, d.h. sie lassen große Intensitätsunterschiede zu.
- **Große Variabilität**, verschiedenste Auflösungen und Bildraten
- **Sichtbarmachung des Unsichtbaren**, CCD-Sensoren können auch im nicht sichtbaren Bereich elektromagnetische Strahlung detektieren

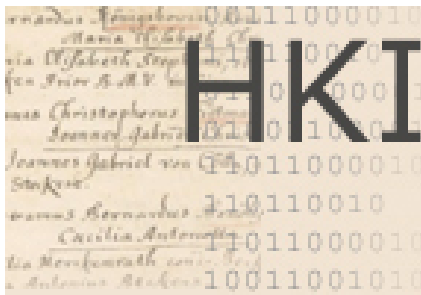


Bild I

1.3.2 Framegrabber (Bildspeicher), Bildverarbeitungseinheit, Steuereinheit

- Im **Framegrabber** werden die analogen Signale der Kamera in digitale Informationen umgewandelt und im Bildspeicher zur weiteren Verarbeitung vorgehalten.
(Der Framegrabber verliert aber zunehmend an Bedeutung, da immer mehr Kameras die Digitalisierung der Bilder intern erledigen und bereits digitale Signale ausgeben.)
- Die **Bildverarbeitungseinheit** übernimmt in ihrem Softwarebereich die konkrete Bildverarbeitung
- Sie ist auf der vorhandenen **Steuereinheit** (z.B. PC) installiert.

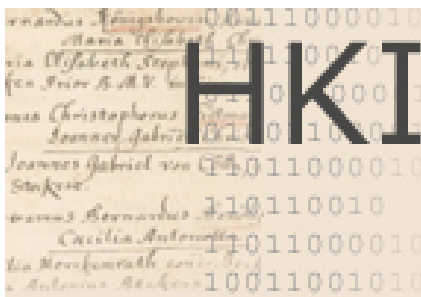


Bild I

2. Methoden zur Verarbeitung von Bildinformationen
 - Bei der Verarbeitung digitaler Bildinformationen können verschiedene Aufgabenbereiche unterschieden werden:
 - **Bildverarbeitung** im engeren Sinne
 - **Bildanalyse**
 - **Bildkodierung**

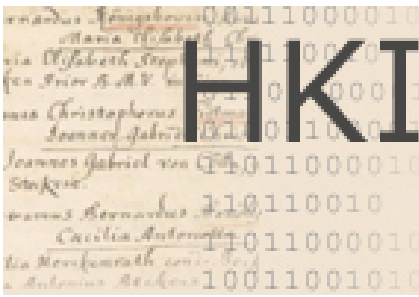


Bild I

2.1 Bildverarbeitung

Ziel:

- Aufbereitung von Bildinformationen zur besseren visuellen Interpretation.
- Aufbereitung von Bildinformationen zur Erleichterung der anschließenden Bild-Analyse.

Typische Techniken:

- Modifikation der Grau- und Farbstufenskala durch **Skalierung**
(„Levels“ bzw. „Tonwertspreizung“ in Photoshop)
- Beseitigung von Bildfehlern durch **Filterung**.
- Korrektur von Aufnahmefehlern durch **Kalibrierung**.
- Extraktion von Strukturen durch **Kantenextraktion**.

→ Bsp. Bildverarbeitung von Luftbildaufnahmen:

- Kontrastverstärkung durch Skalierung,
- Konturen verstärken durch Filterung, ...

2.2 Bildanalyse

- **Ziel:**
Interpretation des Inhalts von Bildern
- **Output:**
 - numerische oder geometrische Merkmale (z.B. Flächeninhalt)
 - topologische Merkmale (z.B. Anordnung von Objekten)
 - densitometrische Merkmale (z.B. Strahlungsabsorption)
 - Texturmerkmale (z.B. Struktur einer Werkstoffoberfläche)
 - Biometrische Informationen (z.B. face detection, face recognition)

2.3 Bildkodierung

- **Ziel** der Bildkodierung ist eine **Verringerung des Aufwandes** zur **Speicherung** oder **Übertragung** von Bildern.
- Die wichtigsten Ansätze zielen ab auf
 - die Kompression der Information durch Beseitigung von Redundanz, wobei die volle Bildinformation erhalten bleibt,
 - die Unterdrückung irrelevanter Informationen, was in der Regel mit einem Informationsverlust verbunden ist.
- Bsp. Komprimierung:
 - Ein Textzeichen als Grafik benötigt bei einer Auflösung von 15x20 Pixeln **300 Bit** zur Speicherung.
 - Durch Kompression kann man z.B. eine Reduktion des Speicherbedarfs um den Faktor 6 erreichen und benötigt dann nur noch **50 Bit** pro Zeichen.
 - Setzt man Texterkennung ein (OCR), so genügen **8 Bit** pro Zeichen (zur Speicherung im ANSI-Format), dies entspricht einer Reduktion um den Faktor 40. (Man speichert hier nur das Zeichen, nicht die grafische Repräsentation!)

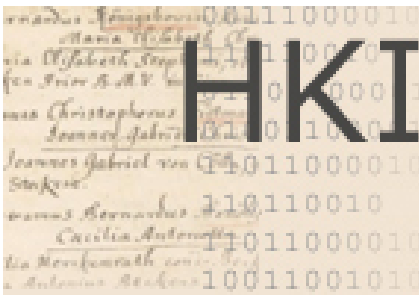


Bild I

2. Grundbegriffe der digitalen Bildverarbeitung

2.1 Grafiktypen

- Computergrafiken kann man in drei Kategorien einteilen:
 - Rastergrafiken (auch Bitmaps genannt)
 - Vektorgrafiken
 - Metagrafikformate

2.1.1 Rastergrafik

2.1.1.1 Bildmatrix

- Um Bilder verarbeiten zu können, müssen diese in digitalisierter Form vorliegen; die Digitalisierung erfolgt i.d.R. im Prozess der *Bildaufnahme* (z.B. über einen Scanner oder eine Kamera).

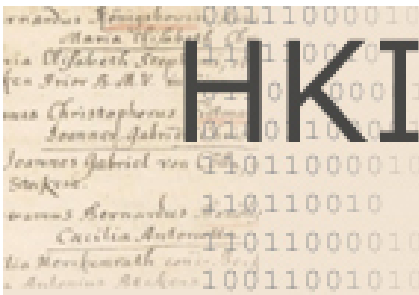


Bild I

- Bei der Bildaufnahme wird eine **kontinuierliche** räumliche Szene **diskretisiert**; einzelne, elementare Bildteile werden als je ein *Bildpixel* in einer *Bildmatrix* abgebildet (*Breite in Pixel x Höhe in Pixel*):

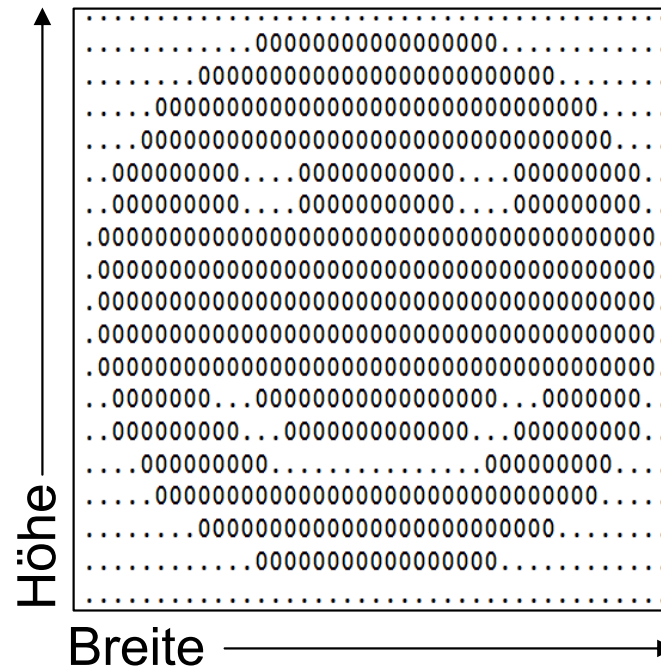


Abb.: Hier 41 x 19 „Pixel“ (779 Pixel)

- Bilder werden zeilenweise im Arbeitsspeicher abgelegt.

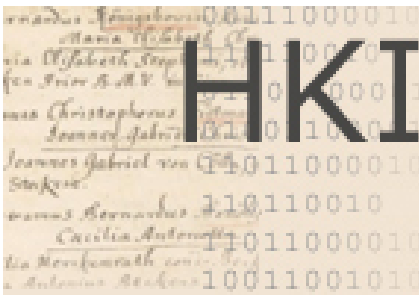


Bild I

2.1.1.3 Auflösung

- Bei der **relativen Auflösung** (resolution) handelt es sich um die Anzahl der Pixel oder Bildpunkte pro Längeneinheit.
 - Als Längeneinheit wird meist *ppi* (*pixel per inch*) verwendet. Ein Inch entspricht 2,54cm. *ppi* und *dpi* sind synonym. *ppi* wird für Bildschirme, Digitalkameras etc. benutzt, *dpi* (*dots per inch*) für Drucker.
- Die **absolute Auflösung** gibt die Gesamtzahl der Bildpunkte eines Bildes an. Diese ergibt sich aus der Anzahl der Pixel entlang der Höhe multipliziert mit der Anzahl der Pixel entlang der Breite einer Rastergrafik.

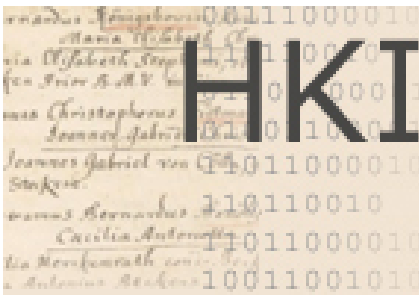


Bild I

2.1.1.4 Quantisierung (Farbtiefe)

- Diskretisierung der Grau- oder Farbwerte eines Pixels in Werte einer Skala.
- Die Quantisierung legt fest, mit welcher Farbtiefe ein Bild dargestellt wird.
- Das Aufnahmesystem bildet den Mittelwert der Helligkeit einer Elementarzelle, die einem Pixel zugeordnet ist und bildet das Ergebnis auf eine Skala ab. Bei einem reinen S/W-Bild hat die Skala nur 2 Werte (0, 1 oder Schwarz ,Weiß).
- Wird ein Bild mit zu grober Quantisierung aufgenommen, gehen Bildinformationen verloren:
 - Wird ein Graustufenbild in ein S/W-Bild umgewandelt, müssen alle Grauwerte entweder in Schwarz oder Weiß umgewandelt werden
→ es gibt keine feinen Verläufe/Abstufungen mehr!

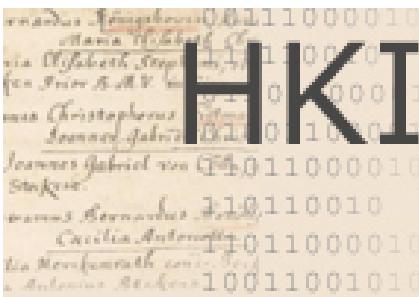
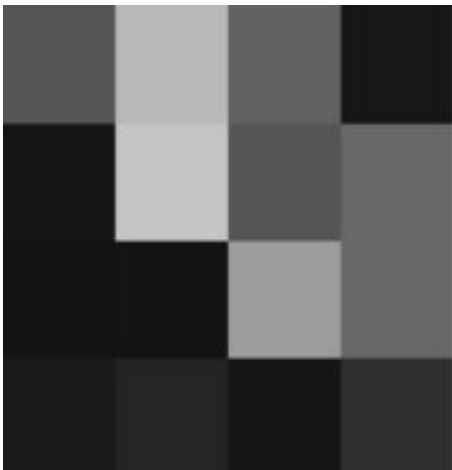


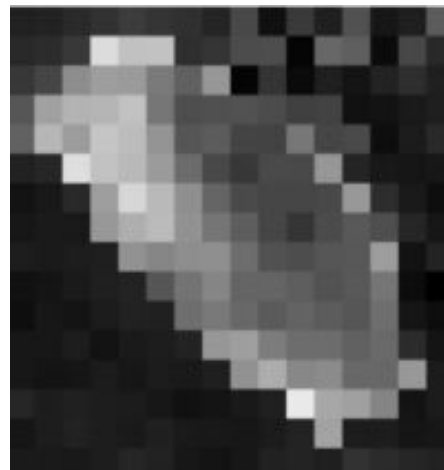
Bild I

2.1.1.5 Rasterung

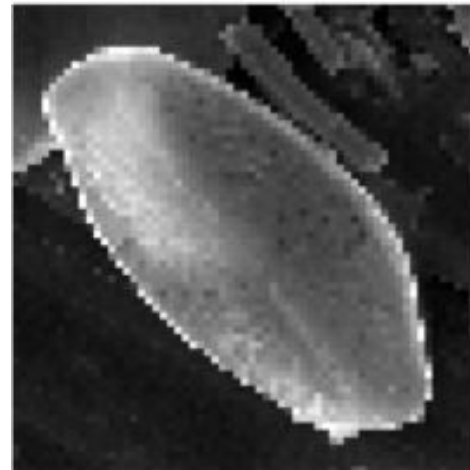
- Je kleiner die einem Pixel der Bildmatrix zugeordneten Elementarbereiche der Szene, desto höher die Auflösung.
- Je höher die Auflösung, desto mehr Pixel, desto höher der Aufwand bei Verarbeitung und Speicherung eines Bildes.
→ Ziel: ausreichende Bildqualität bei möglichst geringer Abtastrate



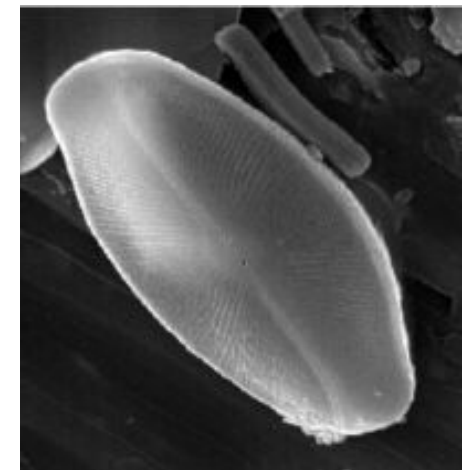
4x4 Pixel



16x16 Pixel



64x64 Pixel



256x256 Pixel

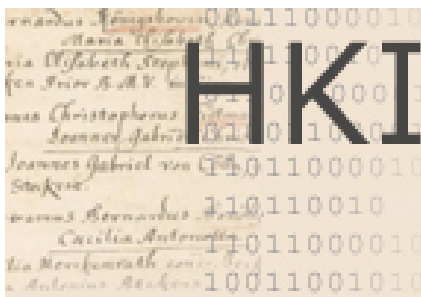


Bild I

2.1.1.6 Zusammenhang zwischen Rasterung und Quantisierung

- Bei konstantem Speicherplatz für ein Bild liegt ein enger Zusammenhang zwischen Rasterung und Quantisierung vor.
- In **1 Kbyte** (1.024 Byte = 8.192 Bit) passen z.B.:
 - **64x64** Pixel mit **4 Graustufen**, also 4092x2 Bit
 - **32x32** Pixel mit **256 Graustufen**, also 1024x8Bit
- Die **Rasterung** bestimmt die Anzahl der Pixel in einem Bild, die **Quantisierung** (Farbtiefe) bestimmt den Speicherplatzbedarf pro Pixel.
- In einem RGB-Bild mit 24 Bit Farbtiefe (8 Bit pro Farbkanal) braucht man für ein Bild mit den Maßen 1024x768 (786.432 Pixel) also 18.874.368 Bit, d.h. 2.25 MByte.
- Für ein Graustufenbild mit den gleichen Abmessungen benötigt man „nur“ 0.75 MByte, da nur ein Farbkanal mit 8 Bit gespeichert werden muss.

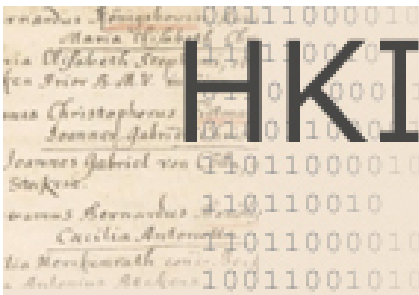
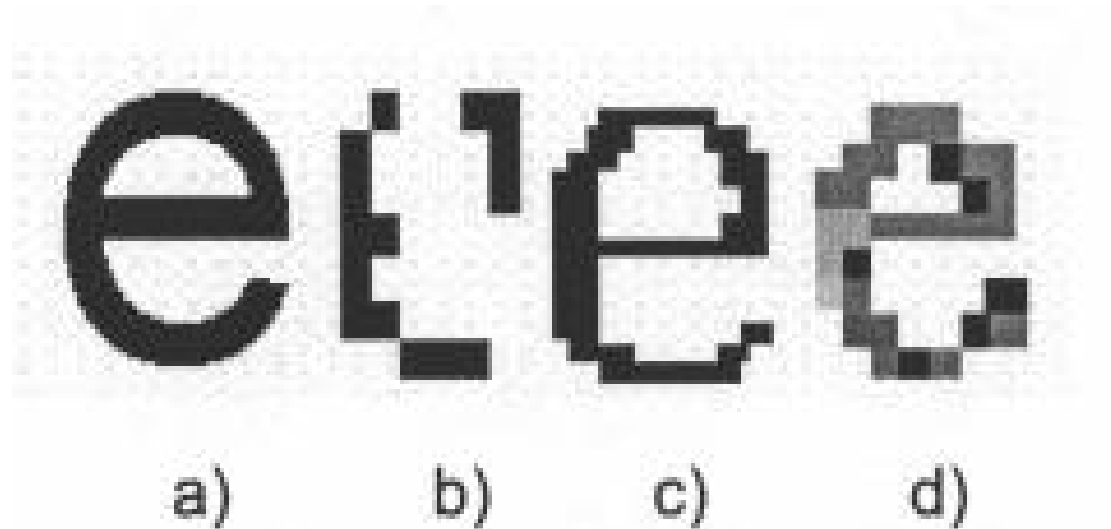


Bild I

- Bildqualität kann über die Parameter Rasterung und/oder Quantisierung bestimmt werden:



- a) das Original-Zeichen. b) grob binär digitalisiertes Zeichen. c) fein binär digitalisiertes Zeichen, d) grobe Rasterung/feine Quantisierung

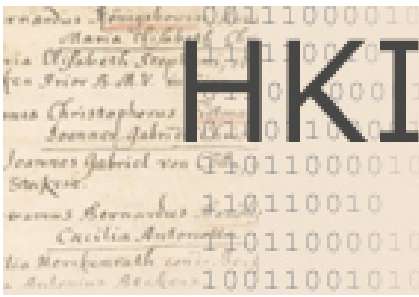
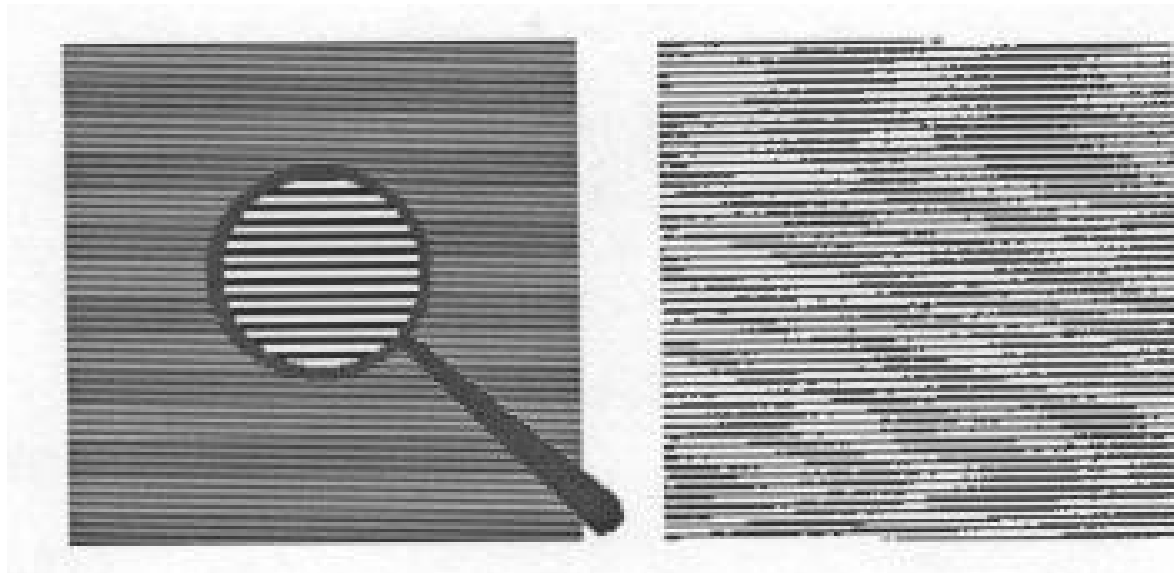


Bild I

2.1.1.7 Aliasing

- periodische Störungen der Bildqualität aufgrund von zu grober Rasterung.
- Das Shannon'sches Abtasttheorem besagt, wie solche Störungen vermieden werden können:
(Abtastfrequenz x 2) >= Freq max || Die Abtastfrequenz muss doppelt so hoch sein, wie die höchste Frequenz des Signals.
- **Für die Praxis:**
Eine Zeichnung, die Linien einer Strichstärke von **0,2 mm** enthält, muss also mit mindestens **300 dpi** digitalisiert werden.
 - Erklärung:
Linien der Dicke 0,2mm = 5 Linien pro mm = 50 Linien pro cm = 127 Linien pro Inch → Doppelte Abtastfrequenz = 127 x 2 = 254 Abtastpunkte pro Inch.
→ Die nächst höhere Auflösung ist 300dpi.



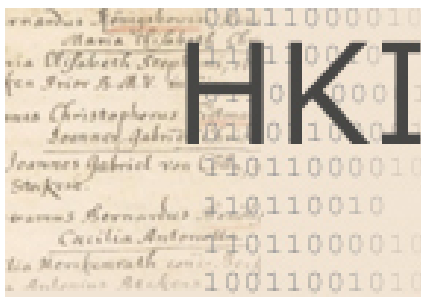


Bild I

2.1.1.7 Aliasing

Ein weiteres Beispiel:

- Ein weiteres bekanntes Beispiel ist das langsame Rückwärtslaufen der Wagenräder in Filmen. Es tritt auf, wenn das Rad sich von Bild zu Bild gerade um etwas weniger als den Abstand der Speichen weiterdreht:
 - Beobachtet man die Beschleunigung eines Wagens im Film, dreht sich das Rad zunächst in die richtige Richtung.
 - Von einer bestimmten Geschwindigkeit an dreht sich das Rad rückwärts und wird immer langsamer. Dann scheint es stehenzubleiben um sich gleich danach mit unnatürlich langsamer Geschwindigkeit wieder in die richtige Richtung zu bewegen.
 - Das Vor- und Rückwärtslaufen wiederholt sich bei weiterer Beschleunigung.
- Signaltheoretisch betrachtet stellt jedes Einzelbild einen *Abtastvorgang* dar.
 - Die [Abtastfrequenz](#) entspricht der [Bildwiederholfrequenz](#) (typ. 24 Bilder pro Sekunde).
 - Die Signalfrequenz entspricht der Frequenz, mit der die Speichen einen gewissen Winkel durchlaufen:
 - Dreht sich das Rad pro Bild um eine halbe Speiche weiter, kann nicht mehr unterschieden werden, ob es sich vorwärts oder rückwärts dreht (Signalfrequenz = [Nyquist-Frequenz](#)). Von dieser Geschwindigkeit an beginnt der Alias-Effekt.
 - Bewegt sich das Rad pro Bild um genau eine Speiche weiter, scheint es stillzustehen (Signalfrequenz = Abtastfrequenz).
 - Das Rad scheint auch stillzustehen, wenn sich das Rad zwischen zwei Bildern um eine beliebige ganzzahlige Anzahl von Speichen weiterdreht (Signalfrequenz = $n \cdot$ Abtastfrequenz).

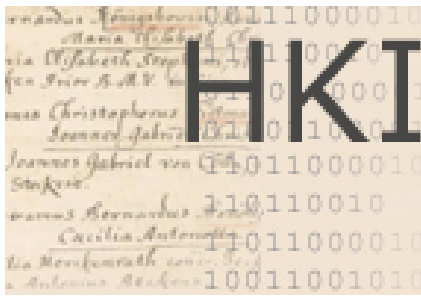


Bild I

2.1.1.8 Anwendungsbereiche für Rastergrafiken

- Druckvorlagen für Publikationen
- Grafikdesign
- Multimedia-Medien
- Überall dort, wo fotoähnliche Darstellung gefordert ist.
- Klassische Rastergrafik-Programme
 - Adobe Photoshop
 - Corel Photopaint
 - Microsoft PhotoDraw
 - Paintshop Pro

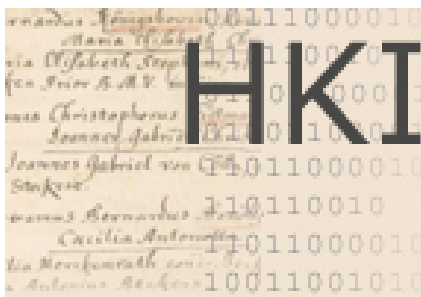


Bild I

2.1.1.9 Die wichtigsten Rastergrafik-Formate

- *TIFF* (Tag Image File Format)
- *JPEG* (Point Photographic Experts Group)
- *GIF* (Graphics Interchange Format)
- *PNG* (Portable Network Graphics Format)
- *BMP* (Bitmap) -, *RLE* (Run Length Encoding) - und *DIB* (Device Independent Bitmap) -Formate
- *PCX* (Paint Brush Format)
- *PSD* (Photoshop) - und *PDD* (PhotoDeluxe) -Formate

2.1.2 Vektorgrafik

- Die Konstruktion von Vektorgrafiken besteht aus mathematisch definierten Formen (*Vektoren*) wie Linien und Kurven.
- Ein Polygon z.B. wird dabei definiert durch seine Stützpunkte und globale Attribute wie Linientyp und -stärke, Flächen durch ihr Randpolygon und Attribute wie Füllfarbe und Transparenz.
- **Vorteile** sind u.a.:
 - Grafikobjekte können **ohne Qualitätsverlust** verschoben, **skaliert** (in der Größe verändert) oder mit einer anderen Farbe versehen werden.
 - Ein Vektorgrafik-Bild besteht normalerweise aus einer Vielzahl von Objekten, die sich bei einer Veränderung gegenseitig nicht beeinflussen (→ „Hintenliegende“ Pixel einer Rastergrafik, die von anderen überdeckt werden, gehen verloren.).
 - Vektorgrafiken brauchen **weniger Speicherplatz**. Bsp.: Um einen Reifen darzustellen, braucht man nur den Radius zweier Kreise, deren Position, Art und Stärke der Linien, Art und Farbe der Füllung.
 - Vektorgrafikbilder sind **nicht an eine Auflösung gebunden**, sondern passen sich bei der Ausgabe den Möglichkeiten des Ausgabegerätes an.
- Ein **Nachteil** dagegen ist, dass Vektorgrafiken für die Ausgabe auf Bildschirmen und Druckern in Rastergrafiken umgewandelt werden müssen, da diese Geräte nur Punkte darstellen können. (Ausnahme: Plotter)

2.1.2.1 Bezier-Kurven

- Eine Möglichkeit, in Vektorgrafiken Kurven zu zeichnen bzw. zu gestalten, sind die **Bezier-Kurven**.
- Auf dem Bildschirm werden zunächst Knoten gesetzt, welche das Grafikprogramm durch Linien miteinander verbindet.
- Durch das Ziehen von Steuerpunkten, die sich beim Setzen der Knoten automatisch ergeben, entstehen präzise Linien- und Kurvenverläufe.
- Bsp.: Pfade in Photoshop.

2.1.2.2 Anwendungsbereiche für Vektorgrafiken

- Erstellung von Konstruktionszeichnungen
- **CAD** (Computer Aided Design)
- **CAM** (Computer Aided Manufacturing)
- Realisierung allgemeiner 3D-Modelle

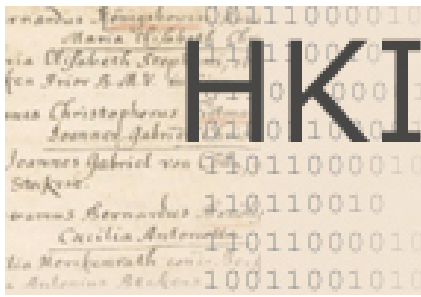


Bild I

2.1.2.3 Klassische Vektorgrafik-Programme

- Adobe Illustrator
- Corel Draw
- AutoDesk, AutoCAD

2.1.2.4 Die wichtigsten Vektorgrafik-Formate

- *CDR* (CorelDraw) -Format
- *DXF* (Drawing Exchange Format) -Format (Autodesk, AutoCAD)

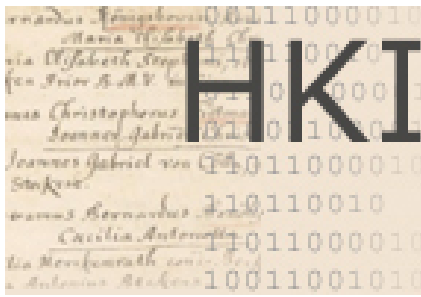


Bild I

2.1.3 Metagrafikformate

- Metagrafikformate können Bildinformationen sowohl im Format von Rastergrafiken als auch von Vektorgrafiken gemeinsam speichern.
- Die Bildinformation wird in einer Beschreibungssprache niedergelegt.
- Sie eignen sich gut für den Datenaustausch.
- Ein Beispiel ist das EPS (Encapsulated PostScript) -Format, welches neben Vektorinformationen auch Bitmap-Bilder enthalten kann.

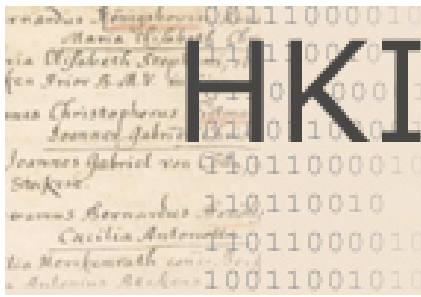


Bild II

3. Farbe

3.1 Faktoren der Farbentstehung

- Farbe ist kein rein physikalisches Phänomen, sondern ein Zusammenspiel dreier Faktoren:
 - *Licht*: elektromagnetische Strahlung eines eng begrenzten Spektralbereiches, charakterisiert durch Wellenlänge und Intensität
 - *Objekte*: Teile der Strahlung werden absorbiert, andere reflektiert
 - *Beobachter*: Verarbeitung des Farbreizes; das Ergebnis der Verarbeitung empfinden wir als Farbe
- Licht + Objekt → Farbreiz
- Farbreiz + Beobachter → Farbe

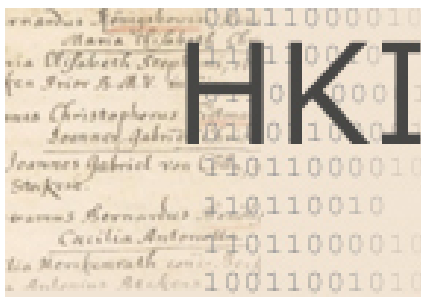


Bild II

3.2 Farbwahrnehmung

- Bei der Wahrnehmung von Farbe liefert ein Instrument die Vorlage für alle Geräte: das menschliche Auge. Mit dem Auge nehmen wir elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen von ca. 380 nm bis 780 nm wahr.
- Im Auge befinden sich verschiedene Typen lichtempfindlicher Zellen:
 - **Stäbchen** unterscheiden **Licht-Intensitäten** = hell-dunkel; in Dämmerung
 - **Zäpfchen** für **Farben**; nur im Hellen
- Die Farben erkennt das Auge aber nicht mit allen Details, sondern aufgrund von drei unterschiedlichen Zapfentypen in drei Farbauszügen blau, grün und rot.
- Im fotografischen Film gibt es je nach Typ drei oder vier lichtempfindliche Schichten, die Licht der Farben Blau, Grün und Rot (RGB) aufnehmen und abhängig von der Lichtmenge bei der Entwicklung unterschiedlich viel Farbstoff produzieren.

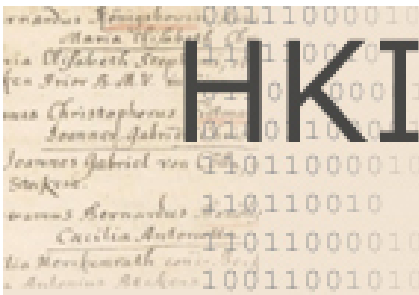
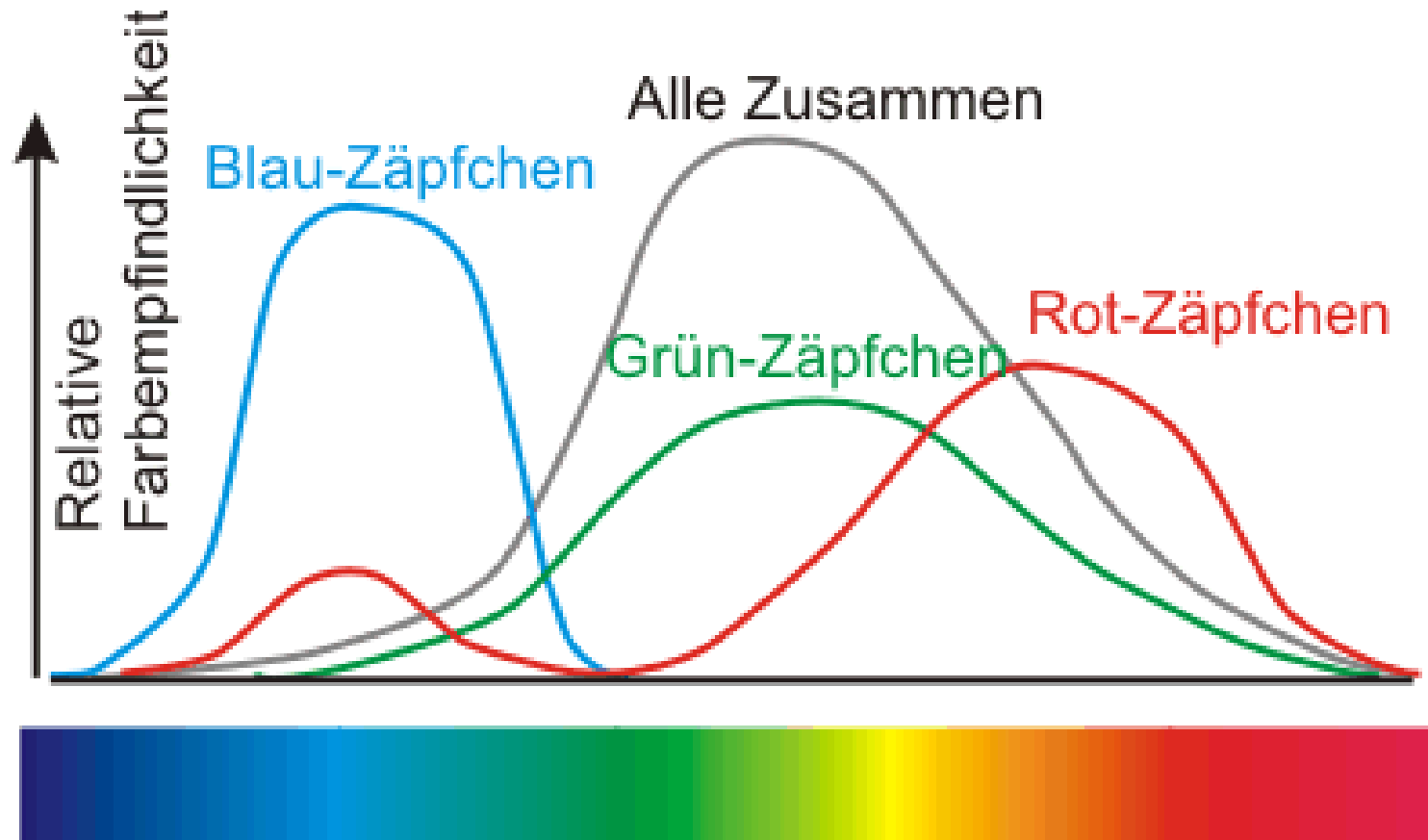


Bild II



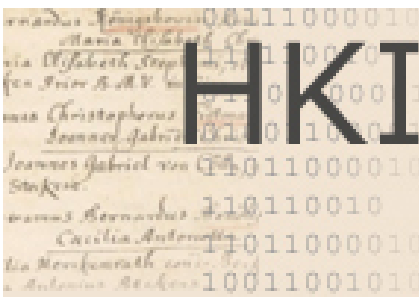
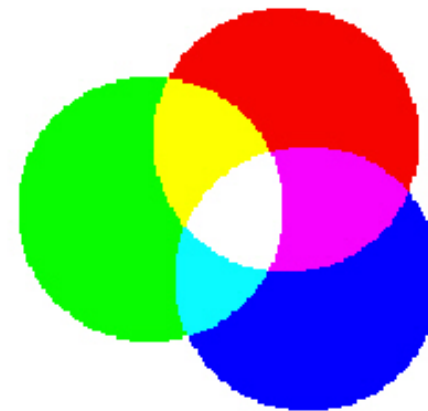


Bild II

3.2.1 Additive Farbmischung

- Werden von einem Farbreiz alle Rezeptoren gleich stark angeregt, dann interpretieren wir dies als Farbton Weiß.
- Werden die Zapfentypen unterschiedlich stark angeregt, dann entstehen Sekundärfarben.

Primärfarbe			Grundfarbe
Blau	Grün	Orangerot	
⊗	-	-	Blau
-	⊗	-	Grün
-	-	⊗	Orangerot
⊗	⊗	-	Cyan
⊗	-	⊗	Magenta
-	⊗	⊗	Gelb
⊗	⊗	⊗	Weiß
-	-	-	Schwarz



3.2.2 Subtraktive Farbmischung

- Beim Zusammentreffen mit Materie werden Lichtwellen teilweise absorbiert und erreichen somit den Beobachter nicht. Die Absorption ist in der Regel nicht für jede Wellenlänge gleich groß.
- Ein Objekt wirkt weiß, wenn es fast kein Licht absorbiert und schwarz, wenn es das einfallende Licht fast vollständig absorbiert.
- Beim Farbdruk werden verschiedene Farbpigmente übereinander gelegt; die oben liegenden Farben wirken als Filter für die darunter liegenden.

Primärfarbe			Grundfarbe
Cyan	Magenta	Gelb	
⊗	—	—	Cyan
—	⊗	—	Magenta
—	—	⊗	Gelb
⊗	⊗	—	Blau
⊗	—	⊗	Grün
—	⊗	⊗	Orangerot
⊗	⊗	⊗	Schwarz
—	—	—	Weiß



3.3 Parameter der Farbwahrnehmung

- Die subjektive Wahrnehmung von Farben hängt einerseits von **objektiven physikalischen Größen** ab:
 - **Farbton**: Welche Wellenlängen des Lichts sind beteiligt?
 - **Farbsättigung**: Reinheit des Farbtons; reine Farben haben nur ein schmales Spektralband, Pastelltöne ein breites Spektrum von Wellenlängen.
 - **Helligkeit**: Energiedichte der beim Beobachter eintreffenden Lichtstrahlung.
- Zusätzlich zu diesen physikalischen Parametern wird die Farbwahrnehmung aber auch von **psychologischen Mechanismen** beeinflusst:
 - **Simultankontrast**: Helligkeit und Farbe des Objekts hängt von Helligkeit und Farbe der Umgebung ab.
 - **Adaption**: Anpassungsfähigkeit des visuellen Systems an die durchschnittliche Helligkeit einer Szene: *Ein Objekt wird bei guter Beleuchtung gleich hell eingestuft, wie bei geringer Beleuchtung.*
 - **Umstimmung**: Der Farbeindruck eines Objekts ist bei Tages- und Kunstlicht gleich, obwohl der Farbreiz aufgrund der verschiedenen spektralen Zusammensetzung des Lichts ganz verschieden sein kann.

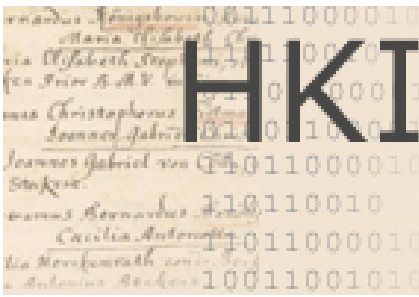
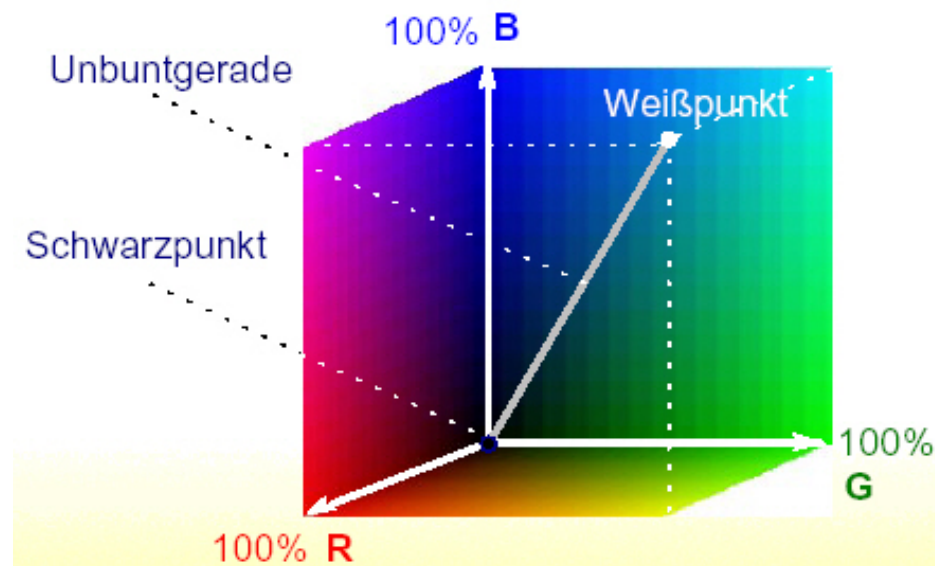


Bild II

3.4 Farbmodelle

3.4.1 RGB

- Farben, die durch additive Farbmischung entstehen, heißen RGB (Rot-Grün-Blau) -Farben.
- Der RGB-Farbraum wird in der Monitortechnik realisiert.
- Wenn jede der drei Primärfarben mit einer Auflösung von 256 Werten dargestellt werden kann, dann erhalten wir $256^3 = 16,7$ Mio. verschiedene Farbtöne.



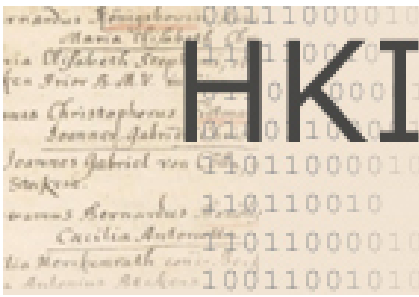


Bild II

3.4.2 CMY/ CMYK

- Basiert auf den Primärfarben **Cyan** (blau-grün), **Magenta** (rot-blau) und Gelb/**Yellow** (rot-grün)
- Durch subtraktive Farbmischung dieser Farben kann kein sattes Schwarz erreicht werden, weil CMY keine reinen Primärfarben sind.
- Bei Farbmischungen können die Farben mit Schwarz abgedunkelt werden.
- Dafür benötigt man eine vierte Farbe:

K = Key (Schwarz)

|| K, um Mißverständnisse mit
|| B für Blue zu vermeiden

- Man spricht dann vom CMYK-Modell.
- RGB und CMYK-Farben lassen sich leicht ineinander umrechnen:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} \quad \text{oder} \quad \begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

- Anwendung: Drucktechnik

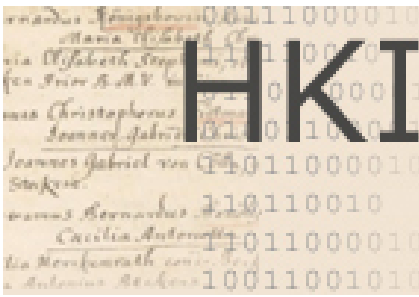
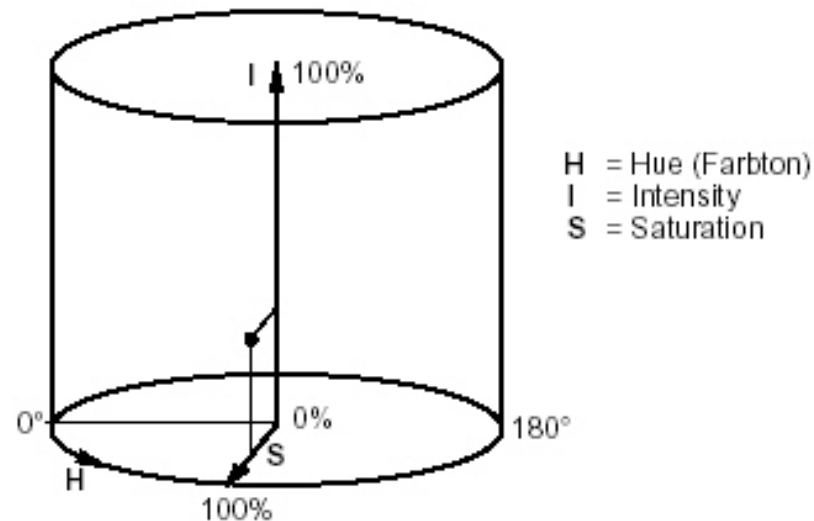


Bild II

3.4.3 HIS

- Das HIS-Farbmodell beschreibt den Farbraum über den Farbton (hue), die Intensität (intensity) und der Sättigung (saturation).
- Es lehnt an die Farbwahrnehmung des menschlichen visuellen Systems an.



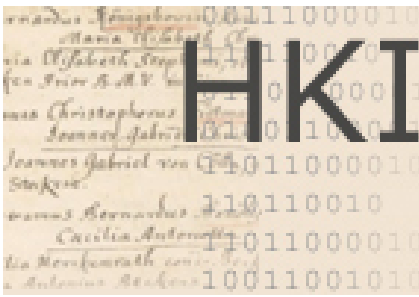


Bild II

3.5 Farbdarstellung

3.5.1 Grundlagen des Grafikdrucks

3.5.1.1 Halbtonverfahren

- Zur Darstellung von Graustufen bzw. Intensitäten eines Farbtons werden bei Rasterdruckern Halbtonverfahren eingesetzt.
- Man unterscheidet drei Verfahren:
 - variable Farbsättigung der Rasterpunkte bei konstanter Punktgröße; z.B. bei Farblaserdruckern: Pixel der Farbe werden unterschiedlich dicht aufgetragen, Größe bleibt konstant
 - variable Punktgröße bei konstanter Farbsättigung; z.B. kontinuierliche Tintenstrahler
 - Simulation von Halbtönen im Dithering-Verfahren; z.B. Bubble-Jet
- Alle Verfahren liefern eine diskrete Skala von Halbtönen, da das menschliche Auge nur 150 verschiedene Grau- bzw. Farbabstufungen unterscheiden kann.

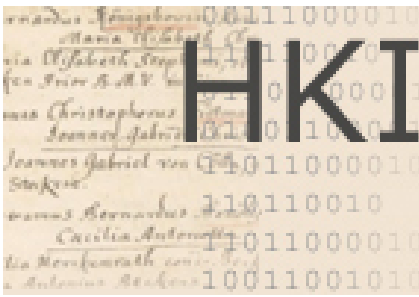
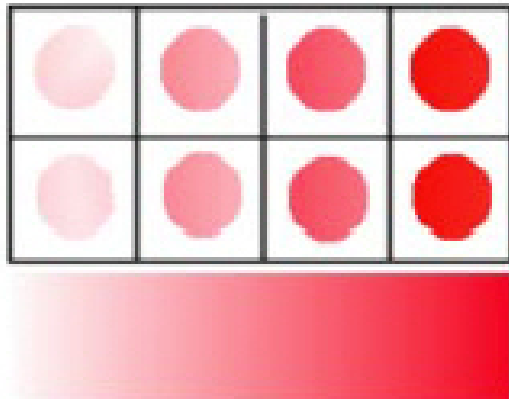
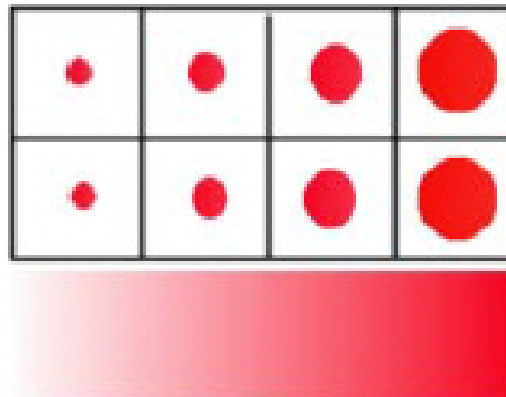


Bild II

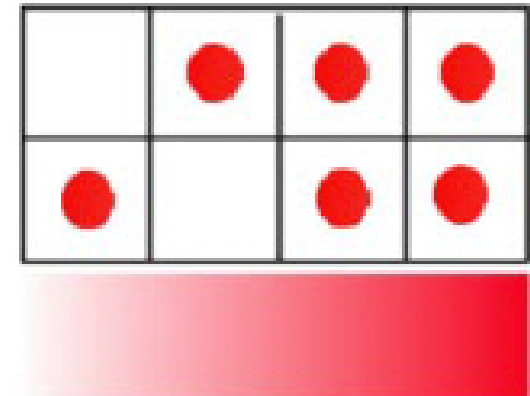
- Echte Halbtondrucker, d.h. Geräte, die ohne Dithering auskommen, benötigen daher 8 Bit pro Pixel, um diese Auflösung zu erreichen.



Variable Farbsättigung



Variable Punktgröße



Dithermethode

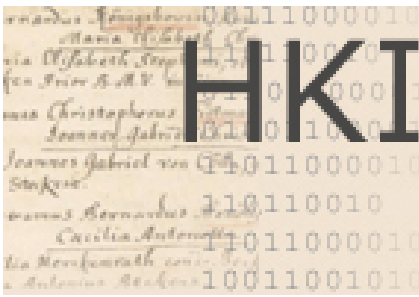


Bild II

3.5.1.2 Dither-Techniken

- Zur Simulation von Grau- und Farbabstufungen teilen die meisten Drucker das Bild in *Halbtonzellen*, d.h. kleine quadratische Arrays von Pixeln, auf. Zur Simulation eines Halbtonwertes wird eine geeignete Menge an Pixeln gedruckt.
- Bei Druckern mit 300x300 dpi sind 5x5 Pixel große Halbtonzellen üblich.
- Man unterscheidet
 - Dispersed Dithering
 - Clustered Dithering
 - Dithering mit Fehler-Diffusion

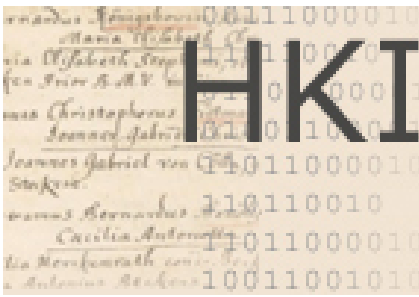
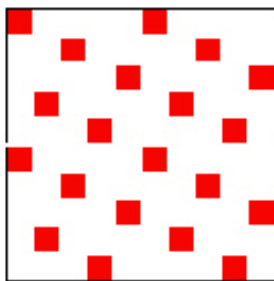


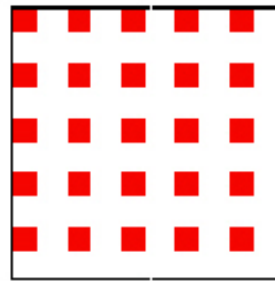
Bild II

3.5.1.3 Dispersed Dithering

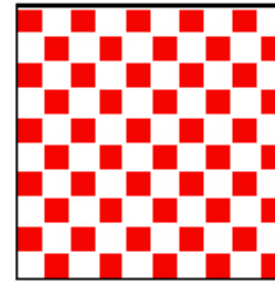
- gleichmäßige Verteilung der Pixel in der Halbtonzelle
- Bis auf ein Kontrastverhältnis von 50% (genau die Hälfte der Pixel werden gedruckt) führen alle anderen Abstufungen zu groben Strukturen.
- Kleine (technisch bedingte) Abweichungen in der Punktgröße wirken sich negativ auf die Druckqualität aus.



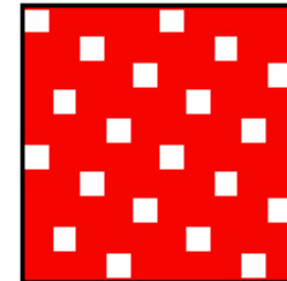
20%



25%



50%



80%

Abb. 9.9 Dispersed Dithering für unterschiedliche Kontrastverhältnisse

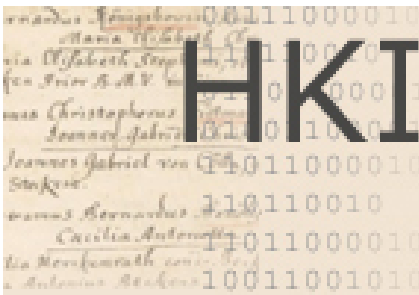


Bild II

3.5.1.4 Clustered Dithering

- Die zu druckenden Punkte einer Halbtonzelle werden vom Zentrum ausgehend spiralförmig angeordnet.
- Je mehr Punkte in der Halbtonzelle gedruckt werden, desto größer ist der einzelne Farbpunkt in der Mitte der Zelle.

22	18	14	10	25
11	7	3	6	21
15	4	1	2	17
19	8	5	9	13
23	12	16	20	24

			10	
11	7	3	6	
	4	1	2	
	8	5	9	13
	12			

		3		
	4	1	2	
		5		

Abb. 9.10 Clustered Dithering: 5x5-Spotfunktion und zwei Halbtonzellen

3.5.1.5 Dithering mit Fehler-Diffusion

- Dieses Verfahren benutzt keine Halbtonzellen, sondern durchläuft das Bild zeilenweise und ersetzt jedes Pixel aufgrund eines Schwellwertes durch ein Pixel mit 0% oder 100% Sättigung.
- Allerdings wird für jedes Pixel der Quantisierungsfehler berechnet und mit umgekehrtem Vorzeichen auf die noch nicht berechneten Nachbarpixel verteilt.
- Für unterschiedliche Grauwerte ergibt sich so eine unterschiedliche Streuung der Pixel. Man spricht deshalb von *frequenzmoduliertem Dithering*.

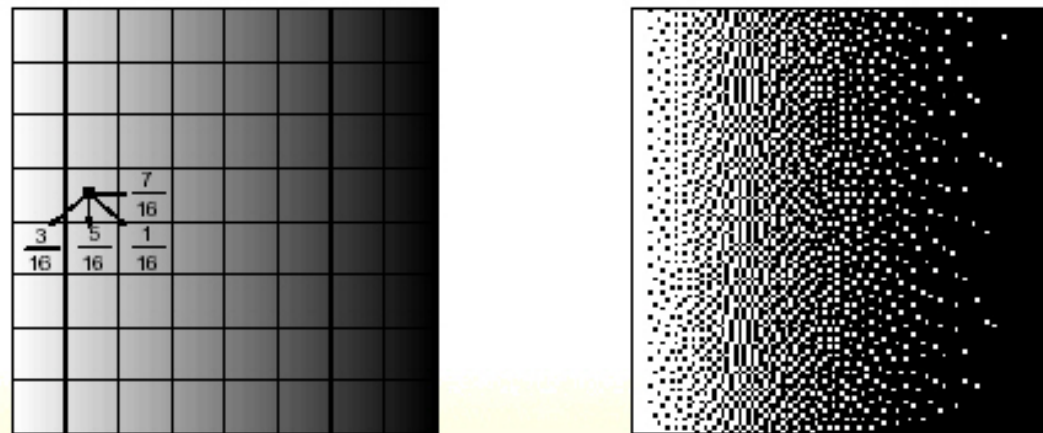


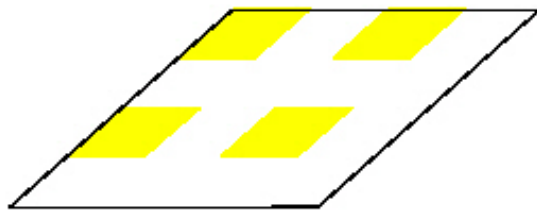
Abb. 9.11 Frequenzmoduliertes Dithering nach Floyd-Steinberg

3.5.1.6 Auflösung geditherter Bilder

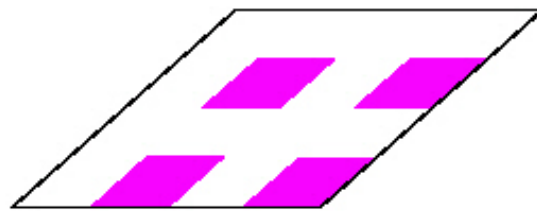
- Die Bildung von Halbtonzellen zur Simulation von Sättigungswerten geht zu Lasten der maximalen Ortsauflösung.
- Man unterscheidet zwischen der Geräteauflösung eines Druckers und seiner Linienauflösung:
 - Die Geräteauflösung gibt die maximale Auflösung an, die der Drucker aufgrund seines Pixelabstandes erreichen kann. Sie wird in *dpi (dots per inch)* gemessen.
 - Die Zeilenauflösung oder Rasterfrequenz gibt an, welche Auflösung aufgrund der Größe der Halbtonzellen erreicht werden kann. Sie wird in *lpi (lines per inch)* gemessen.
- Der Zusammenhang zwischen Pixelauflösung und Linienauflösung ist gegeben durch die Beziehung $\text{Linienauflösung} = \text{Geräteauflösung} / \text{Kantenlänge der Halbtonzelle}$
- Ein Laserdrucker mit 600 dpi Geräteauflösung und Kantenlänge 16 erreicht 37,5lpi.

3.5.2 Drucken von Farbtönen

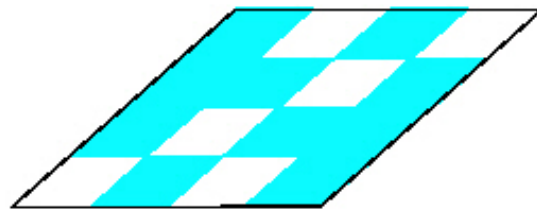
- Da Anwendungssysteme normalerweise mit RGB-Farben arbeiten, die Ausgabe am Drucker aber als CMY-Farben erfolgt, muss zunächst eine Transformation vorgenommen werden.
- Die subtraktive Mischung der Farben erfordert eigentlich die exakte Überlagerung beim Druck. Für das Auge ergibt sich allerdings der gleiche Eindruck, wenn die Farbpunkte sehr klein und dicht benachbart sind.
- Die einfachste Methode zur Mischung von Primärfarben ist es also, für jede Primärfarbe eine Dithermatrix nach der Methode des Dispersed Dithering zu erzeugen und dann diese Matrizen übereinander zu drucken.



Gelb



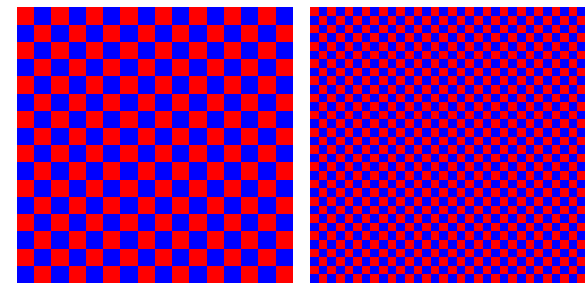
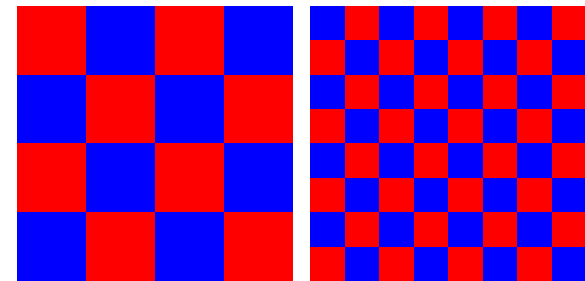
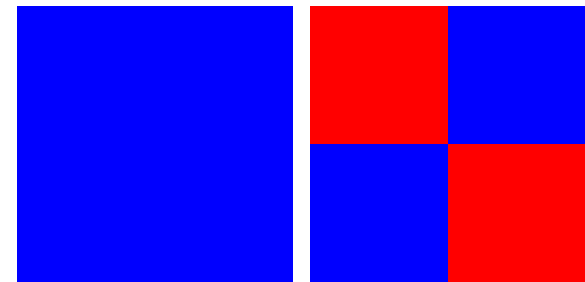
Magenta



Cyan

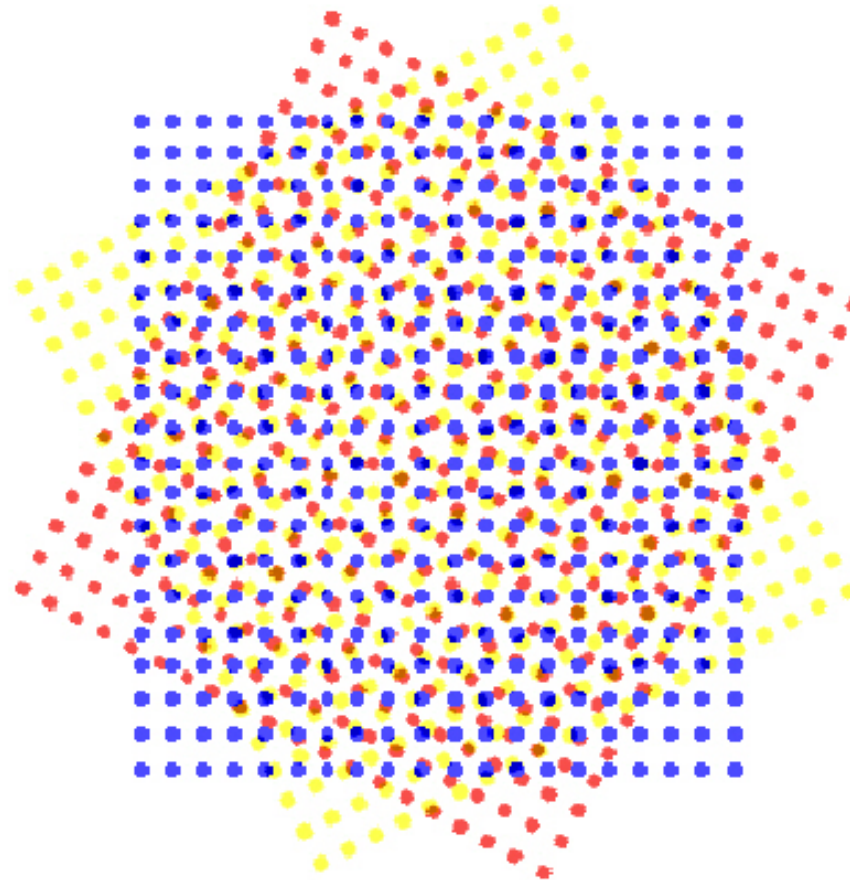


Mischfarbe



3.5.2.1 Winkelversatz beim Druck

- Störeffekte bei geditherten Bildern aufgrund von mechanischen Ungenauigkeiten werden vermieden durch Verdrehen und eventuelles Versetzen der Farbauszüge gegeneinander.



Aufgaben

- 1) **Wiederholen** Sie den Stoff dieser Sitzung **bis zur nächsten Sitzung** (siehe dazu den Link zur Sitzung auf der HKI-Homepage). Informieren Sie sich zusätzlich durch eigene Literaturrecherche!
- 2) Beantworten Sie die Fragen aus der Sammlung „**beispielhafte Klausurfragen**“ zum Bereich Bild (soweit in dieser Sitzung behandelt).