

Dateigröße und Auflösung - Megapixel, ppi und dpi

Wenn man sich digitale Fotos (nur) auf dem Handy oder Monitor ansieht spielen Dateigröße und Auflösung praktisch keine Rolle, da die Darstellung automatisch an die Displaygröße angepasst wird und leicht modifiziert werden kann.

Anders ist es dagegen wenn das Foto auf Papier gedruckt oder ausbelichtet werden soll.

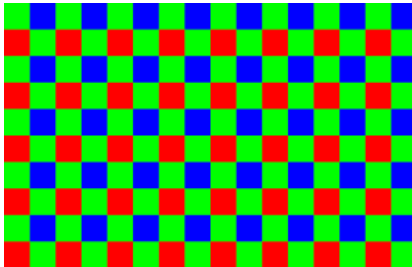
Auch bei versierten Fotografen gibt es dann oft Unsicherheiten bei der Angabe bzw. Einstellung von Bildgröße und Auflösung.

Beispiel: 24MP-Bild (gängige Kameras) - 6000x4000 Pixel (Bildpunkte)
jeder Bildpunkt hat

- eine bestimmte Form (üblicherweise quadratisch) und Größe
- ihm ist eine bestimmte Farbe und Helligkeit zugeordnet

Ähnlich wie im menschlichen Auge registrieren Sensoren die Farbe durch getrennte Erfassung von drei Kanälen (Wellenlängenbereichen) - Rot, Grün und Blau

Bayer-Sensor:



Anordnung wie Schachbrett, jedes 2. Pixel sieht Grün (50% der Fläche), die anderen zeilenweise Rot oder Blau (jeweils 25%). Grün ist in der Flächenzuweisung (und somit in der Auflösungsfähigkeit) privilegiert, da Grün beim menschlichen Auge den größten Beitrag zur Helligkeitswahrnehmung und somit auch zur Kontrast- und Schärfe-Wahrnehmung leistet.

->Es wird für jedes Pixel nur ein Farbkanal erfasst, die beiden anderen aus den benachbarten Pixeln interpoliert!

Die Signalstärke in jedem Kanal wird mit einer Auflösung von 10...14 Bit digitalisiert,

in RAW-Datei mit voller Auflösung gespeichert - keine Verluste

in JPG-Datei

* nur 8 Bit -> $2^8 = 256$ Helligkeitsstufen pro Kanal

3 Farbkanäle ergeben $256 \times 256 \times 256 = 16,7$ Millionen mögliche Kombinationen (Farb- und Helligkeitsstufen)

problematisch zuerst sehr dunkle und sehr helle Bereiche

*Komprimierung: benachbarte Pixel mit ähnlicher Farbe werden zusammengefasst, bei starker Komprimierung weitere Verschlechterung der Bildqualität

Größe eines Pixels auf Sensor

auf Kleinbildsensor bei 24MP auf 24x36mm -> Pixel $6 \times 6 \mu\text{m}$,

Kompaktkamera 1/1,8" = $5,4 \times 7,2 \text{mm}$,

ca. 3900x5200 Pixel (20MP)

-> Pixel $1,4 \times 1,4 \mu\text{m}$ - Fläche 18x kleiner

in Handys Pixel meist deutlich $< 1 \mu\text{m}$,

d.h. Fläche 1/40 oder weniger von Kleinbildsensor

mit abnehmender Größe fällt weniger Licht auf ein Pixel,

- ergibt schwächeres Signal,
- für Weiterverarbeitung höhere Verstärkung notwendig,
- dadurch nehmen Störungen (Rauschen) schnell zu

Ausgabegröße

ist anhängig davon, wie groß bzw. in welchem Abstand die Pixel dargestellt werden

- was sinnvoll ist, hängt von Anwendung ab!

*Angabe **ppi** - **Pixel per inch**, also Zahl der Pixel auf 1 Zoll (2,54cm)

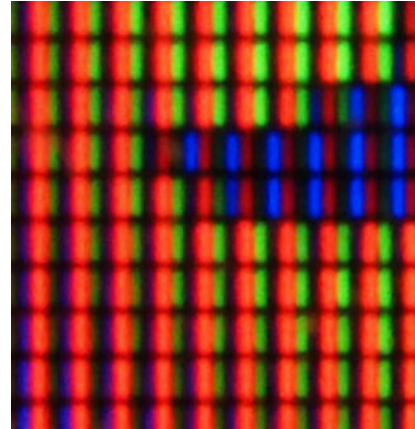
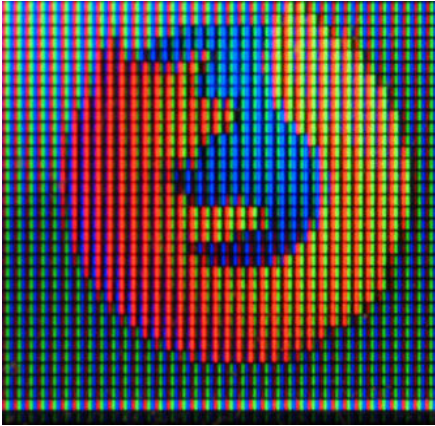
$$\text{Bildgröße(cm)} = 2,5\text{cm} * \text{Pixelzahl(Bildseite)} / \text{ppi-Wert}$$

z.B: für Druck mit 300 ppi:

$$2,5\text{cm} * 6000 / 300 = 50\text{cm} \quad (\text{A3+})$$

auf HD-Monitor mit 100 ppi:

$$2,5\text{cm} * 1920 / 100 = 48\text{cm} \quad (22\text{"-Monitor})$$



Darstellung auf **Monitor** (additive Mischung -RGB)

24“-HD-Monitor: 1920 Pixel auf 500mm Breite - 97ppi

oder 3,8 Pixel/mm bzw. Pixelabstand 0,26mm

->ergibt für 24MP-Foto eine Größe von 156x104 cm

bei Betrachtung aus 0,5m Abstand empfinde ich Bild als scharf, Pixel erkenne ich erst bei geringerem Abstand

(Winkelabstand $< 2'$, wird von Augen der meisten Menschen nicht mehr aufgelöst)

Druck in hoher Schärfe für Album, Zeitschrift, Fotobuch:

oft Forderung 300ppi (Pixel per inch)

→ Pixelabstand $25,4\text{mm}/300 = 0,085\text{mm}$ (120 P/cm)

das ist weniger als die Auflösung des normalen menschlichen Auges
(bei einem Betrachtungsabstand von 25cm),

so dass die Pixel nicht mehr getrennt wahrgenommen werden

24MP-Foto hat dann die Ausgabegröße 50,8cm x 33,9cm, also größer als A3,

-> bereits 12MP sind ausreichend für eine ganze Seite (A4) in

Zeitschrift oder Buch

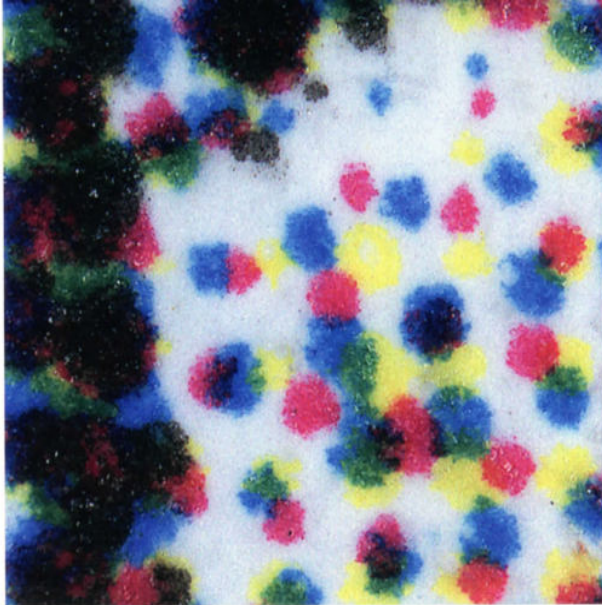
bei 240ppi: Pixelabstand 0,106mm (9P/mm):

-> Ausgabegröße 63cm x 42cm = Bild A2

dann normaler Betrachtungsabstand eher 0,5m oder mehr - Schärfe ok,

*Angabe **dpi - Dots per inch**,

Verwendung bei Druckern, sinnvolle Werte von der Druckmethode abhängig
bei Offsetdruck: festes Raster, unterschiedlich große Farbpunkte,

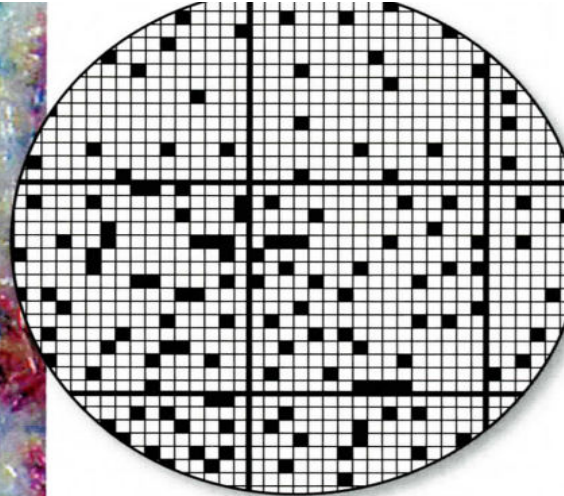
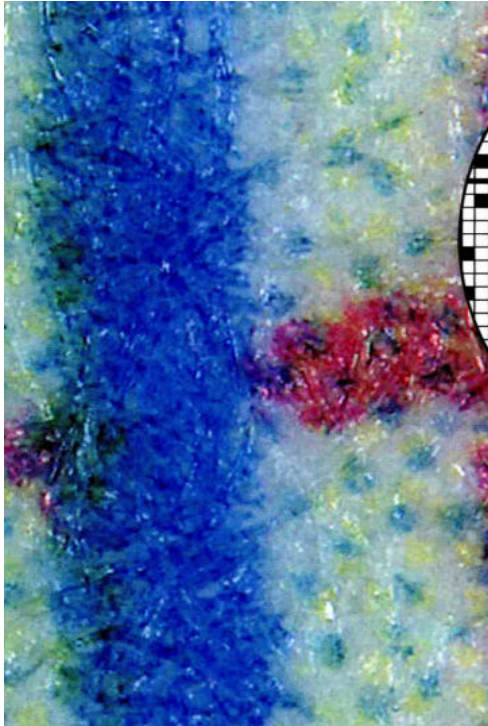


Vergrößerter Ausschnitt des
Druckrasters beim Offsetdruck
Regelmäßig angeordnete, aber
unterschiedlich große Punkte in den
vier Druckfarben Cyan, Magenta, Gelb
und Schwarz (Wikipedia)

Die Stärke der Farben wird durch
unterschiedliche Durchmesser der
Punkte wiedergegeben.

Hier subtraktive Mischung, Farbe
absorbiert Licht, viel Farbe = dunkler!

bei Tintenstrahldruck: üblich sehr feines Raster (1200dpi ... 4800dpi)



Vergrößerter Ausschnitt eines FM-Rasters: Alle Punkte sind gleich klein, aber unregelmäßig angeordnet. Je enger sie beisammen stehen, desto dunkler wirken sie aus dem normalen Betrachtungsabstand. © Foto: Ra Boe / Wikipedia / Lizenz: Creative Commons CC-by-sa-3.0 de

Veränderung/Umrechnung der Pixelzahl

in Photoshop kann man leicht die Auflösung umrechnen - wann sinnvoll?

-Pixelzahl verkleinern („herunterrechnen“) - wenn kleinere Datei notwendig, feine Details gehen verloren!

-Pixelzahl vergrößern („hochrechnen“) - wenn sehr große Darstellung erforderlich

es werden Zwischenwerte berechnet (interpoliert),
moderne Programme (mit KI) liefern dennoch gute Schärfewirkung

Beispiele zeigen dass dies bei heute üblichen Auflösungen der Kameras höchstens für vergrößerte Ausschnitte benötigt wird.

Bei Handyaufnahmen oder Kompaktkameras ist dagegen die Schärfe oft durch die interne Bearbeitung (Rauschunterdrückung) begrenzt, ein Hochrechnen dann kaum sinnvoll.

Wie viele Megapixel hat das menschliche Auge?

Michael J. Hußmann, DOCMA 21.11.2018

menschliches Auge:

Pro Auge gibt es rund 7 Millionen der farbempfindlichen *Zapfen*, so dass man von 7 MP ausgehen könnten. Dazu kommen aber 125 Millionen nur helligkeitsempfindlicher *Stäbchen*, womit wir auf 132 MP kämen. Diese Sinneszellen sind jedoch nicht, wie bei einem Sensor, in einem festen Raster angeordnet und auch nicht gleichmäßig verteilt. In einem zentralen Bereich ist die Dichte sehr viel größer als in der Peripherie unseres Gesichtsfelds, in der wir auch keine Farben mehr unterscheiden können. Das Gesichtsfeld, in dem wir wirklich scharf sehen können, umfasst nur etwa 2 Grad, und darin hat das Auge eine Winkelauflösung von rund 0,6 Bogenminuten für ein Linienpaar. Das entspräche dann nur noch einer Handvoll Megapixel. Allerdings wandert unser Blick in einem größeren Gesichtsfeld ständig hin und her, und wenn wir dieses größere Gesichtsfeld mit etwa 120 Grad Breite als Ausgangspunkt der Berechnung nehmen, kommt man auf 576 MP. Auf der anderen Seite gibt es im Sehnerv, der die Netzhaut mit dem visuellen Cortex des Gehirns verbindet, nur eine Million Nervenbahnen – sind es also doch eher nur 1 MP?

Wie gesagt: Genau genommen kann man die Frage nicht sinnvoll beantworten. Unsere Augen registrieren zwar zweidimensionale Bilder, die bereits vorverarbeitet über den Flaschenhals des Sehnervs zum Gehirn gelangen, und aus der Vielzahl der Bilder, die unser hin und her

springender Blick auffängt, könnte man eine Art Panoramabild mit den genannten 576 Megapixeln stitchen. Aber so arbeitet unser Gehirn nicht. Das Gehirn sammelt ja keine hochaufgelösten Schnappschüsse, sondern es erkennt die Umwelt, in der wir uns bewegen. So hat es sich im Laufe der Evolution entwickelt, denn es geht darum, sich in der Welt zu orientieren und Gefahren genauso wie auch interessante Möglichkeiten zu entdecken.

Wie viele Megapixel hat das menschliche Auge? Man kann die Ausgangsfrage allerdings auch umgekehrt stellen, nämlich nach der Auflösung fragen, die ein Bild haben muss, das wir als scharf empfinden. Geht man von einem normalen Betrachtungsabstand aus, der der Bilddiagonale entspricht – bei einem solchen Betrachtungsabstand kann man das Bild noch mit einem Blick erfassen –, dann genügen schon 6 bis 8 MP. Auflösungen von 12 oder 16 MP würden auch dann noch hinreichen, wenn wir etwas näher an ein Bild heran treten, um Details zu würdigen. Aktuelle Kameramodelle haben insofern eine für fast alle praktischen Aufgabenstellungen mehr als ausreichende Auflösung, auch wenn eine höhere Auflösung die Bildqualität noch steigern kann – aber wir müssten schon sehr genau und aus nächster Nähe hinschauen, um den Unterschied zu erkennen.

Wikipedia:

Auge

Das Auflösungsvermögen des bloßen Auges kann von Person zu Person stark variieren. Normalsichtige Erwachsene können Dinge noch scharf sehen, die bis auf etwa 10cm an das Auge heran bewegt werden, allerdings nur für kurze Zeit, da bald eine Ermüdung auftritt. Die Akkommodation wird auf Dauer zu anstrengend.

Bei einem Abstand von 25cm können die meisten Erwachsenen einen Gegenstand dauerhaft scharf sehen. Dieser Abstand wird daher *konventionelle Sehweite* oder *Bezugssehweite* genannt. Hier kann das Auge die beste Ortsauflösung für längere Zeiträume erreichen. Manche Menschen können bei dieser Entfernung noch Strukturen im Abstand von 0,15 mm unterscheiden. Das entspricht einem Sehwinkel von ungefähr 2 Winkelminuten. Andere Personen unterscheiden Strukturen dagegen nur bei einem Abstand von 0,3mm oder 4 Winkelminuten. Wird der Gegenstand zwischen 25 und 10cm nah an das Auge gehalten, kann für kurze Zeiträume eine entsprechend bessere Ortsauflösung erreicht werden. Bei entspannten Augen und größeren Entfernungen, mehrere Meter bis ins Unendliche, beträgt das typische Winkelauflösungsvermögen des menschlichen Auges 1 Winkelminute entsprechend einem Visus von 1.

Bei schwachen Kontrasten und zum Rand des Gesichtsfeldes hin nimmt die Sehschärfe merklich ab.