

Was ist ein Pixel – und wann sieht man es überhaupt als Fotograf?

1. Einleitung

In diesem Artikel zeige ich, welche technischen Faktoren speziell für die Digitalfotografie eine Rolle spielen und wie diese das Bildergebnis beeinflussen können. Dabei geht es in erster Linie um Pixel, um Auflösung und um das Verständnis für deren Zusammenhänge.

Während meiner Beschäftigung mit der technischen Seite der Digitalfotografie bin ich naturgemäß immer wieder auf das „Pixel“ gestoßen. Neugierig habe ich begonnen, mich damit auseinander zu setzen – und habe festgestellt, dass es zu diesem Thema eigentlich keine konsequente Behandlung aus Sicht eines Fotografen gibt.

Es geht nicht um Farbe, elektronische Bildverarbeitung, Nachschärfen usw. Es geht auch nicht um die Qualität von Objektiven oder ästhetischen Prinzipien des Bildaufbaus. Allerdings setze ich voraus, dass die wesentlichen Prozesse der Fotografie bekannt sind.

2. Die Aufnahme – das Entstehen des „Ur-Pixels“

Der Sensor einer Digitalkamera besteht aus vielen kleinen lichtempfindlichen Detektoren. Deren Anzahl wird in (Mega-)Pixels angegeben und in der Regel mit der Auflösung der Kamera gleichgesetzt. Pixel kommt aus dem Englischen und ist eine Abkürzung von „picture element“, d.h. Bildelement. Der Mikro-Photodetektor misst die Lichtintensität und die Farbe, damit haben wir die Bildinformation an dieser Stelle und das Bildelement („Pixel“) ist vorhanden. Wir hätten dann alles, was wir an dieser Stelle benötigen.

Leider ist es nicht so einfach – bei Film übrigens auch nicht. Wenn ein Photodetektor direkt ein Bildelement messen können soll, muss er Lichtintensität und Farbe bestimmen können. Das können aber (Stand Juni 2006) nur die Photodetektoren eines Sensors – des Foveon X3, welcher nur in den Sigma-Spiegelreflexkameras eingesetzt wird. Bei allen anderen Kameras können die Photodetektoren die Lichtintensität nur bei jeweils einer Farbe messen: Rot, Grün oder Blau. In diesen Fällen muss mittels einer Software aus der Verteilung der roten, grünen und blauen Messpunkte ermittelt werden, wie die Farbe „eigentlich“ an der Stelle der Messung gewesen wäre. Hört sich kompliziert an, ist es auch. Das ist z.B. der Grund, warum je nach Hersteller unterschiedliche Anordnungen der Photodetektoren auf dem Sensor gewählt werden – und warum gleiche Sensoren bei unterschiedlichen Kameras unterschiedliche Resultate liefern: die Interpretations-Software ist anders!¹ Und das ist auch der Grund, warum man besser im Rohformat fotografieren sollte – denn Konverter in PCs sind leistungsfähiger als die Rechner in den Kameras und werden immer besser.

¹ Hier spielt neben den Farben auch die Mustererkennung eine wesentliche Rolle. Die Rohdatenkonverter auf dem Markt unterscheiden sich teilweise sehr deutlich, wie sie Muster erkennen und Artefakte verhindern. Gerade bei der Wiedergabe kleinster Details sind m.E. die Rechner in den Kameras überfordert. Ein in der Kamera erzeugtes jpg-Bild ergibt daher nicht immer das beste mögliche Resultat.

Insgesamt haben die folgenden Faktoren Einfluss auf das Bildergebnis:

- Qualität des Objektivs
- Zahl der Photodetektoren (je mehr, desto besser)
- Größe des Sensors (Optimum abhängig von Qualität des Objektivs)²
- kameraspezifische Verarbeitungs-Software bzw. Rohdaten-Konverter

Zusammenfassend: das Ur-Pixel ist ein mathematisches Konstrukt der physikalisch gemessenen roten, grünen und blauen Intensitätsverteilungen. Das Ur-Pixel ist die kleinste unteilbare Einheit des fotografierten Original-Bildes.³ In jedem Pixel steckt die Information über Helligkeit und Farbe an genau diesem Bildpunkt. Jede nachfolgende Bildverarbeitung kann diese Information lediglich konstant halten, nicht vermehren.

3. Das menschliche Sehen – eine Rohdaten-verarbeitende Abbildungsmaschine

Das menschliche Auge ist ebenfalls ein optisches Abbildungssystem. Aufgrund der Zahl der Photorezeptoren auf der Netzhaut könnte man – analog zu dem Digitalsensor einer Kamera – das theoretische „Auflösungsvermögen“ in Pixel berechnen. Für den Bereich der höchsten Dichte an Rezeptoren, d.h. im Bereich des schärfsten Sehens habe ich eine Zahl von 75 Rezeptoren / mm („1930 dpi“) gefunden. Diese Zahl ist aber praktisch bedeutungslos, da sich durch die spezielle Signalverarbeitung im Gehirn Verbesserungen in der Signalerkennung ergeben.

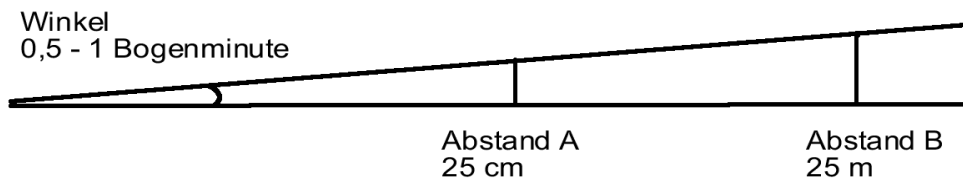
Die tatsächliche Auflösungsfähigkeit des menschlichen Sehapparats (d.h. Auge und Signalverarbeitung) wird mit 0,5 – 1 Bogenminute angegeben. Das bedeutet, Objekte (Linien, Punkte) in einem „Abstand“ von 0,5 – 1 Bogenminute können unterschieden werden. Wenn diese Objekte näher zusammen sind, kann der Mensch sie nicht mehr getrennt sehen, sie erscheinen als ein Objekt. Mit einer (ver-)einfach(t)en Formel können die tatsächlichen Objektabstände in Abhängigkeit vom Betrachtungsabstand abgeschätzt werden:

$$\text{Betrachtungsabstand} * 0,00029147 = \text{Bildgröße (Objektabstand)}$$

² Thema „Vollformat-Chip“. Die Diskussion darum entspricht der Diskussion Kleinbild oder Mittelformat in der analogen Fotografie – mit genau den gleichen Konsequenzen. Es gibt lediglich eine zusätzliche physikalisch bedingte Problematik: bei Sensoren sollte das Licht möglichst senkrecht auf die Sensor-Oberfläche fallen, damit die Empfindlichkeit und Ortsauflösung optimal ist. Bei Filmen spielt das keine Rolle. Aus optischen Gründen ist das nun in den Randbereichen eines „Vollformat“-Sensors nicht gegeben. Inwieweit das bildrelevant, d.h. letztendlich auf dem fertigen Bildprodukt, sichtbar ist, kann letztendlich nur der eigene Eindruck sagen. Fest steht aber auch, dass ein kleinerer Sensor bei gleicher Anzahl von Photodetektoren höhere Anforderungen an die optische Leistungsfähigkeit des Objektivs stellt. Das ist übrigens der Grund, warum die Bilder bei digitalen Kompaktkameras trotz vermehrter Pixel-Zahl nicht besser werden – die Objektive können (noch) keine höhere Auflösung erzielen!

³ Pixel können zwar inhaltlich verändert oder kopiert, aber nicht geteilt oder verkleinert werden. Jede Verkleinerung eines Bildes geht demnach mit einem Verlust von Pixeln und damit Bildinformationen einher. Gleichmaßen ist die Vergrößerung der Pixel-Zahl kein Informationszugewinn, sondern lediglich eine „Verschmierung“ der vorhandenen Information auf einen größeren Bereich. Diese Vorgänge können besser oder schlechter gemacht werden...

Die Zusammenhänge verdeutlicht die folgende Graphik:



Ein Objekt soll aus 4 je 1 mm breiten schwarzen Linien in einem Abstand von je 1 mm bestehen (insgesamt 7 mm breit). Die obige Formel ergibt für den Abstand A von 25 cm:

$$25 \text{ cm} * 0,00029147 = 0,00729 \text{ cm bzw. } 0,0729 \text{ mm}$$

Die 0,0729 mm sind deutlich kleiner als die Linien auf dem Objekt, also lassen sich dessen Details klar erkennen und auflösen.

Im Abstand B von 25 m hingegen ergibt sich ein anderes Bild:

$$25 \text{ m} * 0,00029147 = 0,00729 \text{ m bzw. } 7,3 \text{ mm}$$

Hier kann das Objekt nicht mehr aufgelöst werden – die 7,3 mm sind deutlich größer als die Linien auf dem Objekt, der Mensch sieht nur noch ein graues Objekt, keine schwarzen oder weißen Linien mehr.

Im Vorgriff auf unsere späteren Diskussionspunkte noch folgende Anmerkung: beim Abstand A würden die Feinheiten eines Drucks mit 350 dpi noch erkannt. Im Abstand B aber nur noch 3,5 dpi...

4. Die Bildverarbeitung – welche Auflösung kann ich erreichen?

Unser Foto besteht nun aus einer gegebenen Anzahl von Ur-Pixel, die bei einem gegebenen Kameramodell und Sensor immer gleich ist. Diese Pixel sind immer da, sind aber nicht direkt mit der Dateigröße in Mega-Byte (MB) gleich zu setzen. Für unsere folgende Diskussion spielt das auch keine Rolle. Wichtig ist, wenn die Größe des Bildes (in Pixels) nicht mit Hilfe eines Bildeditors verändert wird, verändert sich die Zahl der Pixel auch bei häufiger Komprimierung nicht, auch wenn z.B. die Dateigröße zu oder abnimmt.

Bei der „Auflösung“ sind zwei Begriffe wichtig:

ppi – pixel per inch (Pixel, Bildelemente pro inch bzw. pro 2,54 cm)
 dpi – dots per inch (Punkte, Kleckse pro inch bzw. pro 2,54 cm)

Beide Begriffe werden häufig synonym verwendet, können aber dennoch etwas völlig anderes bedeuten. Es ist aber wichtig, das gleiche Verständnis über diese Werte zu haben, so dass Diskussionen (z.B. mit Bildagenturen) auch sinnvoll geführt werden können. Für mich sind „pixel“ die Bildelemente im klassischen Sinne und somit virtuell

immer vorhanden. Sie enthalten die Bildinformation und sind die „unteilbare kleinste Einheit“ des Bildes. Die „dots“ sind physikalische Repräsentationen der Bildelemente – und hier kann ein Dot genau einem Pixel entsprechen – wie z.B. bei einem Bildschirm oder Beamer – oder mehrere Dots repräsentieren ein Pixel – wie z.B. bei einem Tintenstrahldrucker.

Ich empfinde es als hilfreich, zu klären, ob es um „Bildelemente“ oder deren Darstellung geht. Wenn das klar ist, kann man zwischen dpi und ppi problemlos wechseln.

4.1. Ausgabe auf Bildschirm oder Beamer – sehen wir da Pixel?

Im Prinzip ja. Ein Monitor oder Beamer hat eine „Auflösung“, die durch die maximale Zahl der Pixel beschrieben wird, die dargestellt werden können. Bei meinem Notebook, auf dem ich diesen Artikel schreibe, beträgt die Bildschirmauflösung 1280 x 800 pixel.⁴ Von der Abmessung des Bildschirms ist bei dieser Angabe keine Rede – und wäre auch wenig hilfreich. Mein Bildschirm z.B. ist 33 cm breit. Somit würden sich ca. 98 dpi ergeben. Wenn ich einen 19 Zoll Monitor verwende, ist dieser etwas breiter, nämlich ca. 37 cm – die dpi-Zahl sinkt auf 88. Dennoch habe ich die gleiche Zahl von Pixel für die Darstellung zur Verfügung und somit auch für mich die gleiche Auflösung! Daher ist eine Angabe wie „Bildschirmauflösung beträgt 72 dpi“ nicht sinnvoll.

Bei der Ausgabe des Digitalbildes auf dem Bildschirm / Beamer sind aber dennoch ein paar „Auflösungsfragen“ zu bedenken. Bleiben wir zunächst beim Bildschirm – hier sind die „Bildschirm-Pixel“ nur zum Teil auch „Bild-Pixel“! Das hängt damit zusammen, dass die Bildgröße in Ur-Pixel häufig viel größer ist, als die darstellbaren Pixel auf dem Bildschirm. Meine Fuji S2 Pro liefert Bilder von 4256 x 2848 px. Mein Bildschirm kann aber davon höchstens 8,4 % darstellen... der Rest der Pixel ist dann bildmäßig unwirksam und wird einfach weggelassen. Ich möchte hier betonen, dass das immer passiert, wenn man ein Bild im Vollbildmodus anzeigt – die überflüssigen Pixel werden programmtechnisch reduziert, und sei es vom Betriebssystem.⁵ Um ein optimales (visuell ansprechendes) Ergebnis zu erzielen, sollte dieser Prozess von einem entsprechenden Bildverarbeitungsprogramm (mit angepasster Nachschärfung) erfolgen. Umgekehrt heißt das aber auch, dass Feinarbeiten an digitalen Bildern immer in der 100%-Darstellung des Bildes durchgeführt werden sollten. Und nun können wir auch die Pixel genauer ansehen: in der 200 oder 400 % Darstellung werden einzelne Quadrate sichtbar – die (Bild-) Pixel

Während der optische Eindruck der Bilder auf einem Bildschirm in der Regel positiv ist, gibt es bei der Beamerprojektion häufig Enttäuschungen und Unbehagen wegen der pixeligen Struktur des Bildes.⁶ Neben der zurzeit tatsächlich noch geringen Auflösung der Beamer (in Pixels) liegt dieser Effekt auch an dem gewählten Betrachtungsabstand des projizierten Bildes (vgl. Kap. 3). Bei einem durchschnittlichen Beamer mit 1024 x 768

⁴ Da sich Bildschirme in ihrem Funktionsprinzip unterscheiden, kann der sichtbare Bildpunkt (Pixel) auch durch mehrere kleine Punkte dargestellt werden. Diese sind so klein, dass das menschliche Auge sie nicht mehr auflösen kann und als einen Bildpunkt wahrnimmt – für diese Diskussion aber unerheblich.

⁵ Das führt immer zu einem subjektiv höheren Schärfeeindruck des Bildes und ist häufig auch ein Grund für Enttäuschungen bei späterem Ausdruck, der dann mehr Pixel benötigt und die vorhandenen Unzulänglichkeiten des Bildes zeigt.

⁶ Auch die Farbdarstellung der Beamer lässt häufig zu wünschen übrig. Lediglich die teureren Geräte haben eine entsprechende Darstellungsqualität. Dieses Thema wird hier nicht weiter vertieft.

Pixel wird ein Pixel auf einer Leinwand von 1,5 m schon 1,5 mm groß dargestellt. Gemäß unserer Formel wird erst bei einem Betrachtungsabstand von mehr als 5,2 m das einzelne Pixel nicht mehr erkannt.⁷ Das wird natürlich mit höherer Auflösung immer besser. Leider sind die Top-Beamer mit 1400 x 1050 noch etwas teuer...

Zusammenfassend: ist der Begriff „Auflösung“ in der elektronischen Bildverarbeitung irrelevant – entscheidend ist die Zahl der Pixel in Länge und Breite. Bei Beamerpräsentationen spielt der Betrachtungsabstand eine entscheidende Rolle!

4.2. Ausgabe – Druck oder Bildbelichtung mit welcher Auflösung?

Zunächst zur Theorie: die Auflösung wird nun in dpi angegeben und das ist eigentlich eine Angabe, wie viele (kleine) „Kleckse“ mittels eines Druckverfahren auf einer gegebenen Strecke gemacht werden konnten (d.h. dots per inch). Bei einem Tintenstrahldrucker wären das z.B. die Anzahl der Tintenspritzer pro inch, deren Anzahl zunimmt, je kleiner die aufgespritzte Menge und je genauer der Kopf gesteuert werden kann. Moderne Tintenstrahldrucker erreichen eine „Auflösung“ von 4800 dpi, d.h. können eine solche hohe Anzahl von Tintentropfen aufbringen. Die Qualität des Druckbildes hängt nun von der Verteilung dieser „Kleckse“ und der Anzahl der verwendeten Farben ab. Gedruckt wird mit Cyan, Magenta und Gelb sowie Schwarz. Theoretisch könnte man nun mit 4 überlappend gedruckten Klecksen unterschiedlicher Intensität jede Farbe darstellen. Für die Darstellung eines Bildelements (Pixels) würde man in diesem Fall 4 Kleckse benötigen. Wenn der Drucker also 300 Kleckse macht, kann er maximal 300 durch 4, d.h. 75 Bildelemente darstellen. Oder bezogen auf die Strecke – in diesem Beispiel – 300 dpi würden 75 ppi entsprechen! Tatsächlich gibt man die Auflösung der Drucker in lpi an (lines per inch) und das beziffert die maximal mögliche drucktechnische Auflösung von Linien pro Maßeinheit. Eine Linie würde dabei einem Bildelement (Pixel) entsprechen. Wenn man diese Daten nun für das Ausgabegerät hätte, könnte man die nötige Bildinformation in Pixel leicht errechnen und bereitstellen.

In der Praxis ist es leider etwas anders. Mittlerweile wird dpi synonym zu ppi verwendet und das schafft Verwirrung. Die vom Hersteller angegebene Auflösung eines Printers (z.B. 4800 dpi) hat nämlich nichts mit den dpi z.B. in Photoshop zu tun, die bei der Größenanpassung des Bildes im Dialogfenster erscheinen. Das sind nämlich eigentlich ppi – und die Eingabe von 4800 führt dann zu unsinnigen Resultaten. Sinnvoller wäre es, die Auflösungen des Ausgabegerätes in lpi zu kennen und dann einzustellen. Leider erhält man auch von Druckereien in der Regel keine Angabe der lpi und somit kann man nicht auf ein paar Versuche (und Lehrgeld) verzichten.

Meine bisherigen Erfahrungen führen mich zu den folgenden Werten:

- a) Belichtung über Laserbelichter: 400 ppi
- b) Druck auf hochqualitativem Tintenstrahldrucker: 300 ppi
- c) Druck auf großformatigen Drucker: 180 ppi

⁷ Der Punkt der „schlechten Beamerqualität“ wird häufig als schlagendes Beispiel für die Überlegenheit der analogen gegenüber der digitalen Fotografie angeführt. M.E. zeigt das lediglich, dass das Thema überhaupt nicht verstanden wurde. Wenn ich einen 10 000 Euro Beamer in einem beleuchteten Vortragssaal gegen einen 20 Jahre alten Dia-Projektor antreten lasse, würde ich anschließend niemals mehr Dias projizieren...

Aber man kann eigentlich nicht auf eigene Versuche verzichten, die für den jeweiligen Zweck optimale Datenmenge zu ermitteln. Versuche mit den jeweiligen Ausgabemedien empfehlen sich aber ohnehin allein schon im Hinblick auf die Farbwiedergabe.⁸

Zusammenfassend spielt bei der Print-Ausgabe die Auflösung und die dazu nötige Datenmenge eine wichtige Rolle – verlangt aber auch ein genaues Betrachten der Einflussfaktoren. Erfahrung und gute Kommunikation zum Druckanbieter sind wichtige Erfolgsfaktoren.

5. Zusammenfassung – das Pixel und die Digitalfotografie

Das Bildelement (Pixel) spielt eine zentrale Rolle in der digitalen Fotografie und ist gleichzeitig Gegenstand mancher Missverständnisse, auch bezüglich der Qualität in der Digitalfotografie. Auch wenn es einfach ist, mehr Pixel mit mehr Qualität gleichzusetzen, gilt dies nur unter der Voraussetzung, dass alle anderen Einflussfaktoren gleich sind. Die wesentlichen Einflussfaktoren auf das Pixel als Bildelement habe ich dargelegt und deren Bedeutung für die Bildqualität geschildert – und ich hoffe, dass Sie wie ich manche Diskussion gelassener verfolgen und weniger Veranlassung sehen, der Pixelmania zu verfallen.

⁸ Ich vertraue dabei spezialisierten Anbietern, bei denen ich davon ausgehe, dass diese ihre Prozesse kontrollieren und reproduzierbar halten. Wenn mein Prozess darauf abgestimmt ist, kann ich am Computer festlegen, was später auf dem Bild wie zu sehen ist! Das funktioniert – für mich – ganz gut. Den Arbeitsablauf werde ich in einem anderen Artikel auch darlegen. Alternativ kann man sich natürlich selbst mit der Herstellung von Abzügen beschäftigen, das ist eine persönliche Entscheidung. In jedem Fall ist eine exakte Abstimmung des Prozesses eine Voraussetzung für ein gutes Ergebnis.