

Zusammenhänge zwischen ISO-Zahl und Sensor-Rauschen

Ernst Pisch

4. März 2025

Was haben ein Bote des antiken Griechenland und der ISO-Wert einer modernen Digitalkamera gemeinsam? Beide werden zu unrecht für ungewünschte Situationen verantwortlich gemacht - bloß, weil sie diese verkündet haben bzw. sichtbar machen. Während es dem Boten den Kopf kosten konnte, wenn er seinem Herrn über die verlorene Schlacht berichten musste, kann es dem ISO-Wert ziemlich egal sein, wenn ihm die Schuld für ein verrauschtes Bild zugeschoben wird.

Aber so, wie der eingefrorene Gartenschlauch nicht die Ursache für kalte Winter ist, so ist auch ein hoher ISO-Wert nicht für das Rauschen im Bild verantwortlich. Der hohe ISO-Wert macht lediglich sichtbar, was der Bildsensor aufgrund mangelnden Lichtes liefert.

Aber beginnen wir von vorne. Wer selbst noch mit Film fotografiert hat, kann sich sicherlich noch daran erinnern, dass es Filmmaterial unterschiedlicher Lichtempfindlichkeit gab. Je geringer die Lichtempfindlichkeit, desto kleiner das Korn. Bei Verwendung hochempfindlicher Filme konnte man die einzelnen Silberhalogenidkristalle im vergrößerten Bild deutlich sehen.



Obige Abbildungen zeigen links den vergrößerten Ausschnitt eines Negativ-Bildes auf dem Filmmaterial AGFA Ultra 50 und rechts auf EKTAR 1000. Der Vergrößerungsfaktor wurde bei beiden Ausschnitten exakt gleich gewählt. Es ist sofort erkennbar, dass die rechte Abbildung mit dem hochempfindlichen Film deutlich grobkörniger ist.

Was damals der Film war, ist in heutigen Digitalkameras der Bildsensor. Dieser ist jedoch nicht je nach Lichtverhältnissen austauschbar. Stattdessen lässt sich die Empfindlichkeit mittels ISO-Zahlenwert einstellen. Und wie beim Film, bedeutet ein höherer ISO-Wert stärkeres Rauschen im Bild. Diese Darstellung des Sachverhalts ist jedoch stark vereinfacht und technisch nicht korrekt, wenngleich sie in den meisten Situationen brauchbar anzuwenden ist.

Der grundlegende Fehler dieser Darstellung ist die Behauptung, dass die Empfindlichkeit des Sensors veränderbar sei. Das ist falsch! Der Sensor besitzt eine fix vorgegebene Empfindlichkeit. Diese ist von der Fläche des einzelnen Pixels und der verwendeten Technologie abhängig, aber nicht vom gewählten ISO-Wert.

Um verstehen zu können, wie es zum Rauschen kommt, müssen wir uns das Licht als einen Strom von Teilchen vorstellen - den Photonen. Ähnlich dem Regen, der aus einer Wolke fällt, sendet eine Lichtquelle Photonen aus. Meteorologen messen die gefallene Regenmenge mit Hilfe von Messbechern. Der geleerte Messbecher wird eine gewisse Zeit in den Regen gestellt und anschließend wird die Höhe des Wasserstandes im Becher gemessen.

Beim Bildsensor in einer Kamera passiert Ähnliches, bloß dass man es hierbei mit sehr vielen „Messbechern“ zu tun hat. Jedes einzelne Pixel entspricht einem Messbecher, in dem die Menge an eingefangenen Photonen gemessen wird. Kurz gefasst passiert dabei Folgendes: Die beim Aufschlag von Photonen freigesetzte Energie löst Elektronen, welche im „Messbecher“ gesammelt und als elektrischer Spannungswert gemessen werden. Der Spannungswert wird von einem A/D-Wandler (Analog -> Digital-Wandler) letztendlich in eine digitale Zahl verwandelt. Diese digitale Zahl entspricht der gemessenen Helligkeit des jeweiligen Pixels.

So, wie der Becher für die Regenmessung nur ein begrenztes Volumen besitzt und überlaufen kann, kann auch der Bildsensor für jedes Pixel nur eine beschränkte Menge an Elektronen fassen. Auch Sensorpixel können deshalb überlaufen, was sich durch Überbelichtung bemerkbar macht. Wie das Wasser, können auch Elektronen in benachbarte Pixel überlaufen und dadurch Messwerte verfälschen. Je mehr Elektronen ein Sensor pro Pixel bewältigen kann, desto größer ist der Dynamik- bzw. Kontrastumfang.

Regnet es nur sehr schwach, kann es sein, dass man zwar bereits einzelne nasse Flecken am Asphalt entdeckt, aber noch kein einziger Tropfen im Messbecher gelandet ist. Dasselbe gilt fürs Licht. Bei sehr schwachem Licht finden nur wenige Photonen ihren Weg zum Sensor. Die vereinzelt Wassertropfen am Asphaltboden entsprechen dem Rauschen einer Bildaufnahme. Was also kann man tun, um Rauschen zu verhindern? Man muss dafür sorgen, dass mehr als nur vereinzelt Photonen den Bildsensor erreichen. Das kann NICHT durch die Wahl eines höheren ISO-Wertes erreicht werden.

Der ISO-Wert gibt lediglich an, mit welcher Zahl der gemessene Spannungswert bei der Umwandlung in eine digitale Zahl multipliziert werden soll. Die einzigen wirksamen Methoden, das Bildrauschen zu verringern, sind deshalb:

- Lichtstärke erhöhen z.B. durch stärkere oder größere Anzahl von Lichtquellen oder durch geschickten Einsatz von Reflektoren. In freier Natur stehen solche Methoden jedoch kaum zur Verfügung.
- Länger belichten. Je länger belichtet wird, desto mehr Photonen erreichen den Sensor. Aus vereinzelt Regentropfen am Asphalt bildet sich langsam eine Pfütze, deren Pegelstand gut gemessen werden kann. Auch die Methode des Länger Belichtens steht nicht immer zur Wahl. Bewegte Objekte werden dann nämlich unscharf abgebildet.
- Größere Lichteintrittsöffnung beim Objektiv wählen. Je kleiner der Blendenwert, desto größer wird die Öffnung im Objektiv durch die das Licht zum Sensor gelangen kann. Auch dadurch kann die Zahl der Photonen am Sensor erhöht werden. Nachteilig kann sein, dass die Schärfentiefe dadurch verringert wird.

Kann keine der oben genannten Methoden eingesetzt werden, um die Belichtung zu verbessern, bleibt letztendlich dann doch nur die Erhöhung des ISO-Wertes an der Kamera, um das Wenige, das der Sensor sammeln konnte, wenigstens noch sichtbar machen zu können.

Aber wäre es dann nicht dasselbe, wenn man einfach alle Aufnahmen mit ISO 100 aufnimmt und anschließend im RAW-Konverter aufhellt?

Nein - es ist nicht exakt dasselbe! Bei Anwendung eines höheren ISO-Wertes erfolgt die Multiplikation der Messwerte im Zuge der Umwandlung vom analogen zum digitalen Wert. Bei der Umwandlung vom analogen zum digitalen Wert entstehen Rundungsfehler. Wird erst später im RAW-Konverter aufgehellt, werden die Rundungsfehler der Analog-Digital-Umwandlung multipliziert und damit zusätzlich verstärkt.

Betrachten wir ein Beispiel:

Der analoge Wert sei 1,47 und soll in einen ganzzahligen Digitalwert umgewandelt werden. Nächste Näherung wäre der Zahlenwert 1.

Wählen wir den ISO-Wert 800 anstatt 100, so entspricht dies einer 8-fachen „Empfindlichkeit“. Das 8-fache vom Wert 1,47 ist 11,76. Die nächste genäherte digitale Ganzzahl ist 12.

Würden wir aber mit dem bereits digitalisierten Wert 1 rechnen, erhalten wir das Ergebnis $8 \times 1 = 8$. Die digitale Zahl 8 weicht sehr stark vom eigentlich korrekten Wert 11,76 ab. Der vom A/D-Wandler unter Berücksichtigung der verwendeten ISO-Zahl ermittelte Wert 12 kommt dem wahren Wert also sehr viel näher.

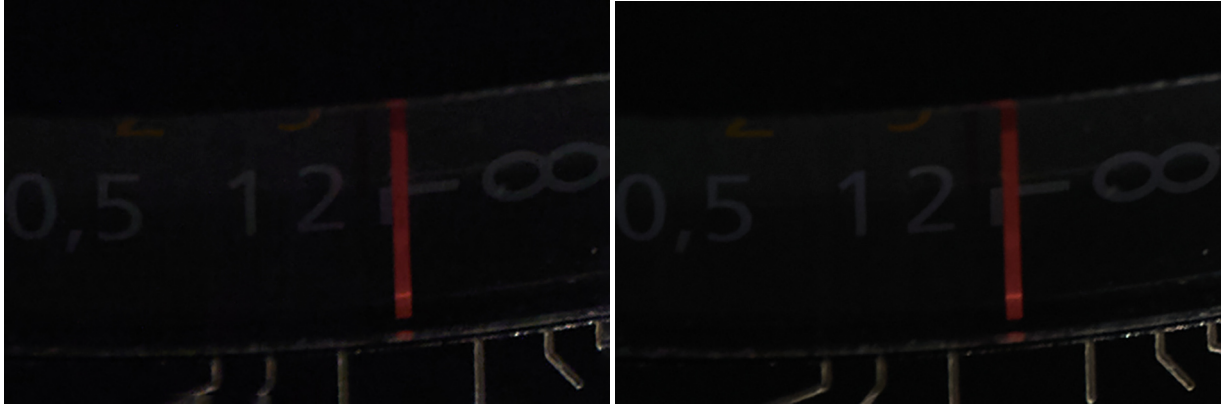
Der Beweis Um es nicht bei der bloßen Behauptung zu belassen, dass Rauschen im Bild nicht vom ISO-Wert, sondern von der Belichtung abhängt, möchte ich nun einen anschaulichen Beweis liefern.

Die in den folgenden Abbildungen gezeigte Szene wurde bei konstanter Beleuchtung aufgenommen. Einmal wurde die Kamera auf dem Standard ISO-Wert von 100 belassen (links) und die zweite Aufnahme erfolgte mit der Einstellung von ISO 800 (rechts). Bei beiden Aufnahmen erfolgte keine Rauschreduzierung - weder in der Kamera, noch im RAW-Konverter. Da es sich um eine Szene mit großen, dunklen Flächen handelte, verkürzte ich die Belichtungszeit bei der Aufnahme mit ISO 100 um die Hälfte (ISO 100, Blende 4.0, Belichtungszeit 1/40s). Dadurch entstand ein Bild mit stimmigen Helligkeitswerten. Im RAW-Konverter wurde lediglich ein Weißabgleich auf das graue Feld der Farbtafel durchgeführt. Die Helligkeitsregler wurden nicht berührt und alle anderen Regler ebenfalls auf Standard belassen.

Bei der Aufnahme mit ISO 800 verlängerte ich die Belichtungszeit so weit, wie es nur möglich war, ohne Überbelichtung an den hellsten Stellen zu riskieren. Anstatt um einen Lichtwert zu reduzieren, habe ich um 3 2/3 Lichtwerte überbelichtet (ISO 800, Blende 4.0, Belichtungszeit 1/13s). Das Ergebnis war selbstverständlich ein sehr helles Bild. Im RAW-Konverter führte ich lediglich wiederum einen Weißabgleich durch und reduzierte die Helligkeit so, dass sie der ersten Aufnahme bei ISO 100 entsprach.



Die beiden Bilder sehen auf den ersten Blick vollkommen identisch aus. Vergrößert man jedoch einen Ausschnitt, so sind kleine Unterschiede zu erkennen - nicht dramatisch, aber doch.



Bei sehr genauem Hinsehen entdeckt man sogar beim linken, mit ISO 100 aufgenommenen Bild etwas stärkeres Rauschen als bei der rechten ISO 800 Aufnahme.¹ Obwohl der ISO-Wert aufs achtfache vergrößert wurde, ist kein erhöhtes Rauschen festzustellen. Im Gegenteil - es ist sogar gelungen, ein Bild mit geringerem Rauschen zu erzeugen. Und zwar durch maximale Belichtung, welche noch möglich war, ohne ausgefressene Lichter zu produzieren.

Maximale Bildqualität durch Überbelichtung bis an die Grenzen

Die Kamera auf einen hohen ISO-Wert zu stellen und zusätzlich auch noch stark überbelichten ist in der Praxis völliger Unsinn - dies diente lediglich der Beweisführung. Dennoch kann man daraus eine Lehre ziehen, welche in der Praxis durchaus von Nutzen sein kann.

Man kann das Rauschen auch in Schattenbereichen maximal reduzieren, indem man so kräftig wie möglich belichtet. Belichtet man nämlich so, dass die hellsten, wichtigen Bildteile gerade noch nicht überbelichtet werden, bekommen vielleicht auch die dunkelsten Stellen noch so viele Photonen ab, dass Rauschen verhindert werden kann. Im RAW-Konverter wird die Aufnahme anschließend auf die gewünschte Helligkeit reduziert.

Vielfach wird lieber zu knapp belichtet, als ausgefressene Lichter zu riskieren. Das aus gutem Grund! Es sieht nämlich sehr viel hässlicher aus, wenn markante helle Stellen keine Zeichnung mehr aufweisen, als dass man Rauschen in ohnehin unscheinbaren Schattenbereichen entdecken kann.

Moderne Digitalkameras machen es dem Fotografen allerdings sehr leicht, diesem Risiko aus dem Weg zu gehen. Ich kann nicht für alle Kameramarken sprechen, bin mir aber sicher, dass dies für alle gängigen Modelle im Profibereich gilt.

Bei meiner Sony-Kamera habe ich die Möglichkeit, ein sogenanntes „Zebra-Muster“ zu aktivieren. Stelle ich einen Schwellwert von 100% ein, so werden jene Bildteile am

¹Nach der Umwandlung ins PDF-Format geht der sichtbare Unterschied leider fast gänzlich verloren. Bei 100%-Ansicht kann man's gerade noch erahnen.

Display mit dem Zebramuster markiert, welche bei Speicherung als JPEG-Bilddatei überbelichtet wären. Jeder Fotograf, der mit RAW-Bildern arbeitet, weiß jedoch, dass diese sehr viel mehr Belichtungsreserven bieten als JPEG-Bilder. Bei meiner Sony-Kamera habe ich noch gut 2 Lichtwerte an Reserve, wenn ich mich am Zebramuster bei 100% orientiere. Meine Kamera erlaubt es jedoch, den Schwellwert auf bis zu 105% zu setzen. Bei diesem Schwellwert verbleibt noch knapp ein Lichtwert als Reserve. Ich habe bei meiner Kamera praktisch immer dieses Zebramuster mit 105% aktiviert. Solange es die Situation erlaubt (Bewegungsunschärfe), belichte ich gerade so, bis die ersten Anzeichen des Zebramusters erscheinen. An dieser Stelle entscheide ich dann, ob ich noch mehr belichte oder lieber doch nicht. Handelt es sich nämlich lediglich um Spitzlichter einer Reflexion, stört es nur selten, wenn diese ausgefressen erscheinen. Auf diese Weise ist es mir möglich, das Rauschen auch in Schattenpartien möglichst zu eliminieren. Die Handhabung ist einfach, rasch und ermöglicht optimal belichtete Aufnahmen.