

WAS SIE ÜBER DAS SIGNAL-RAUSCH-VERHÄLTNISS WISSEN SOLLTEN

Abstand halten

Ein gutes Bild sollte möglichst wenig rauscht erscheinen. Wichtiger noch als der Rauschpegel ist hierbei ein möglichst großer Abstand zum Nutzsignal. Wie Sie das optimale Signal-Rausch-Verhältnis erreichen.

Das Signal-Rausch-Verhältnis ist ein Maß für die technische Qualität eines Messsignals, etwa einer Kamera oder eines Mikrofons. Es bezeichnet das Verhältnis des Nutzsignals zum Rauschsignal. So lautet die knappe Definition einer der wichtigsten Größen in der Verarbeitung analoger und digitaler Signale.

Wer noch die Vor-Digital-Ära erlebt hat, kennt das Signal-Rausch-Verhältnis aus eigenem Erleben: Wenn es aus dem Autoradio knackt und rauscht, bringt es nichts, das Radio lauter zu drehen. Dann wird zwar der Nachrichtensprecher lauter, das Rauschen und Knacken aber leider auch. Zum Glück ist unser Gehirn ein enorm guter Filter. Schon ein Signal-Rausch-Verhältnis von zwei zu eins reicht aus, damit wir Musik aus einem Rauschteppich heraushören können. Ähnlich ist das bei Bildern und Videos, insbesondere bei Aufnahmen unter schlechten Lichtverhältnissen. Selbst aus sehr schlechten Aufnahmen, in denen der Wert des Signal-Rausch-Verhältnisses nur wenig über 1 liegt, können wir das Motiv oder regelmäßige Strukturen erkennen.

Kameras und Algorithmen für die Bildverarbeitung in industriellen Anwendungen sind bei Weitem nicht so erkenntungssicher wie unser Gehirn (Bild 1). Dort gilt: Je größer das Signal-Rausch-Verhältnis ist – je kleiner also das Rauschen und je größer das Nutzsignal –, umso besser. Doch das ist leichter gesagt als getan, denn beide Größen werden von verschiedensten Faktoren beeinflusst.

Die Antwort auf die Frage, welche Kamera am besten geeignet ist, hängt vor allem vom Einsatzzweck ab. Dennoch ist es sinnvoll, beim Kamerakauf auf ein möglichst gutes Signal-Rausch-Verhältnis zu achten. Dieses ist heute durch verschiedene Standards definiert, etwa in ISO 15739 oder in EMVA 1288 [1]. Darin beschreibt die European Machine Vision Association, wie das Signal-Rausch-Verhältnis definiert ist und wie es gemessen und angegeben

werden soll – denn darüber gab es vor der Standardisierung bei den Herstellern unterschiedliche Auffassungen.

Das Signal-Rausch-Verhältnis kann nicht beliebig hoch sein, es gibt physikalische und technische Grenzen. Ein idealer Bildsensor würde null Rauschen erzeugen, hätte eine Quanteneffizienz von 100 Prozent und könnte unendlich viele Ladungsträger sammeln. Er würde also alle Photonen (Lichtteilchen), die auf einen Pixel des Sensors fallen, in ein analoges elektrisches Signal und nach der Digitalisierung in eine Bitfolge übersetzen.

So einen idealen Bildsensor gibt es leider nicht. Zum einen ist die Quanteneffizienz nie 100 Prozent (Quantenwirkungsgrad: Verhältnis erzeugter Ladungsträger zu eingestrahlenen Photonen), denn nicht jedes Photon erzeugt einen elektrischen Ladungsträger. Realistisch sind Quantenwirkungsgrade bei guten Bildsensoren von 60 bis 70 Prozent: Etwa drei Photonen erzeugen zwei Ladungsträger. Hinzu kommen weitere Rauschanteile im Bildsensor und in der Kamera bei der Signalverarbeitung, etwa bei der Ladungs-/Spannungsumwandlung, beim Verstärken und Digitalisieren, und auch Wärme erhöht das Rauschen. Zudem ist die maximale Füllmenge für Ladungsträger (Fullwell-Kapazität) in einem Pixel begrenzt.

Selbst wenn es gelänge, einen perfekten Sensor zu bauen, wäre das Rauschen dennoch nicht null. Denn Licht hat immer ein natürliches Eigenrauschen, das von seiner physikalischen Unbestimmtheit herrührt und sich mit einer statistischen Wahrscheinlichkeitsverteilung beschreiben lässt.

Bei der Messung von Licht ist das maximal mögliche Signal-Rausch-Verhältnis gleich der Anzahl der Photonen geteilt durch die Wurzel aus der Anzahl der Photonen. Daraus folgt: Je mehr Licht der Bildsensor sammelt, desto größer ist das Rauschen. Das Signal wächst aber mehr, entsprechend steigt auch das Signal-Rausch-Verhältnis. Deshalb sollte eine Kamera mittels Blende und Belichtungszeit immer so eingestellt werden, dass sie möglichst viel Licht sammelt, ohne allerdings die Fullwell-Kapazität des Bildsensors zu überschreiten (Fullwell-Kapazität: maximales

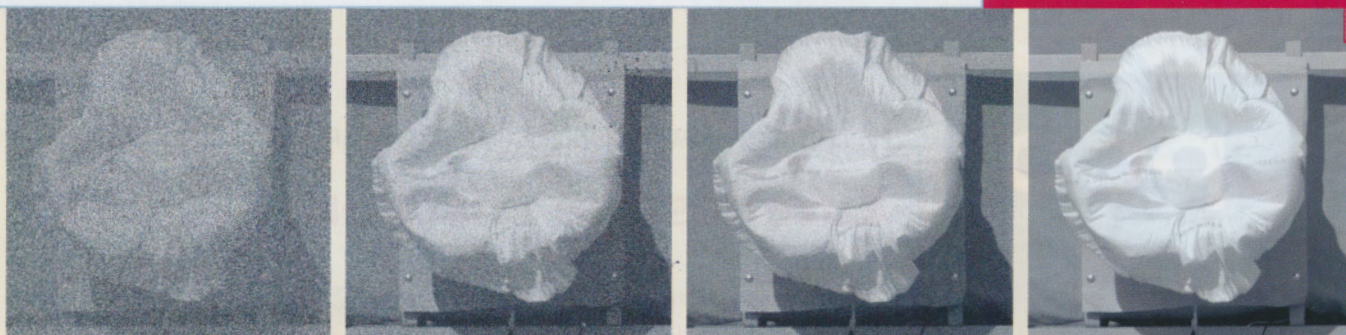


Bild 1. Aufnahme eines sich entfaltenden Airbags bei unterschiedlichen künstlich erzeugten Signal-Rausch-Verhältnissen, um die visuelle Wirkung des SNR zu zeigen. Von links nach rechts: $SNR = 2$, $SNR = 5$, $SNR = 10$, $SNR = 170$

Fassungsvermögen eines Bildsensorpixels für Ladungsträger).

Wie man das optimale Signal-Rausch-Verhältnis erreicht, hängt von der Lichtmenge ab, die man sammeln will:

- Wenig Licht, etwa bei schlechter Beleuchtung oder schneller Bildfolge: Hier wird das Signal-Rausch-Verhältnis zum einen vom Quantenwirkungsgrad bestimmt, also davon, wie effektiv der Kamerachip die Lichtsignale in elektrische Signale umwandelt. Zum anderen kommt das Ausleserauschen der Bildsensor- und der Kameraelektronik hinzu, welche die Signale verarbeitet. Auch wenn gar kein Licht auf den Kamerachip fällt, ist dieses Rauschen zum Beispiel immer da. Bei guten Kameras ist dieses Grundrauschen

möglichst gering, gleichzeitig ist ihre Empfindlichkeit hoch.

- Viel Licht, etwa bei guter Beleuchtung oder langen Belichtungszeiten: Hier bestimmt allein das Lichtrauschen das Signal-Rausch-Verhältnis, weil das Eigenrauschen der Kamera bei hohem Signal vernachlässigbar klein ist.

Hier kann es sogar vorkommen, dass relativ unempfindliche Kameras mit ausreichender Fullwell-Kapazität das beste Signal-Rausch-Verhältnis ergeben, was im Einklang steht mit der Erfahrung von Fotografen in der Filmzeit. Technisch gesehen lieferten die unempfindlichen 50-ASA-Filme die beste Bildqualität, da sie für eine gute Belichtung das meiste Licht brauchten, was dem besten Signal-Rausch-Verhältnis entspricht.

Welche Kamera ist die richtige? Wie immer kommt es darauf an, wofür sie bestimmt ist. Die grundsätzliche Frage ist, ob es in der Anwendung viel oder wenig Licht gibt? Wenn man genügend Licht zur Verfügung hat, befindet man sich im vom Photonen-Rauschen dominierten Teil der Signal-Rausch-Verhältnis-Kurve (Bild 2). Hier kommt es nicht so sehr auf die Empfindlichkeit als vielmehr auf eine große Fullwell-Kapazität an, wenn man ein möglichst großes Signal-Rausch-Verhältnis erreichen will.

Steht wenig Licht zur Verfügung, weil beispielsweise die Belichtungszeit möglichst kurz sein muss – etwa in der Qualitätsprüfung mit hohen Stückzahlen –, oder sind die Lichtverhältnisse schlecht, sollte die Kamera möglichst empfindlich sein und ein niedriges Ausleserauschen besitzen, denn eine solche Anwendung bewegt sich eher im Ausleserauschen-dominierten Teil der SNR-Kurve. Da hier die Lichtmenge gering ist, ist die maximale Aussteuerbarkeit somit weniger wichtig. Dafür sollte das Rauschen der Kamera möglichst gering sein. Hier lohnt es sich, das Datenblatt des Herstellers genau zu studieren oder besser noch nach Datenblättern zu fragen, die nach dem EMVA-1288-Standard erstellt wurden, um zur Auswahl stehende Kameramodelle besser vergleichen zu können. □

Dr. Gerhard Holst,

Bernd Müller, freier Journalist

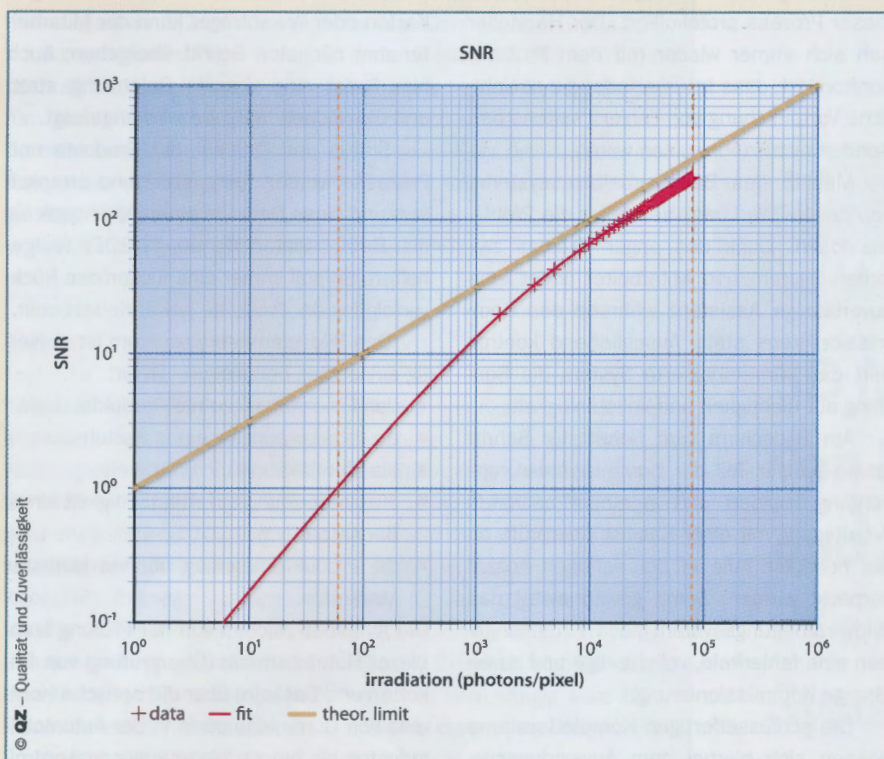


Bild 2. Typisches Signal-Rausch-Verhältnis (engl. signal-to-noise ratio, SNR), Messkurve nach EMVA 1288 [1, S. 18, Abb. 7] als Funktion der Anzahl der bestrahlenden Photonen. Obere Kurve: physikalische Grenze (maximales SNR, nur Photonenrauschen), Kreuze: Messpunkte, untere Kurve: an Messpunkte angepasste Kurve, gestrichelte Linien: untere und obere Grenzwerte ($SNR = 1$, Schwelle (engl. threshold), Sättigung (engl. saturation))

PCO AG

info@pco.de

T 09441 2005-0

www.pco.de

Quelle

- 1 www.emva.org/cms/upload/Standards/Stadard_1288/EMVA1288-3.1rc.pdf

QZ-Archiv

Diesen Beitrag finden Sie online:

www.qz-online.de/820102