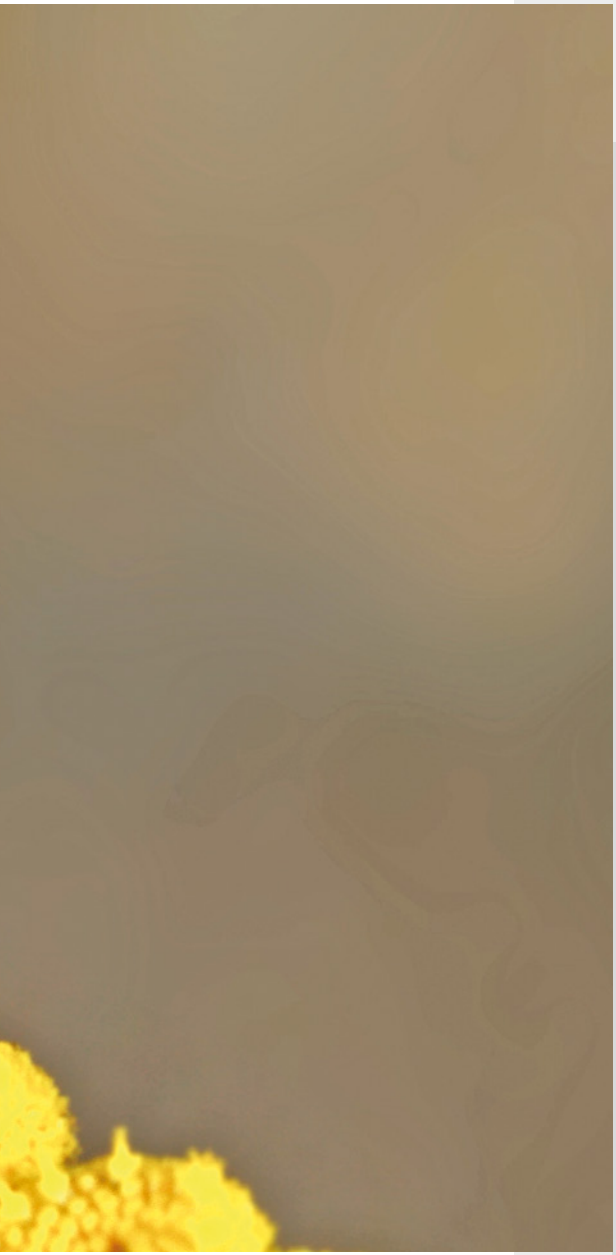


03

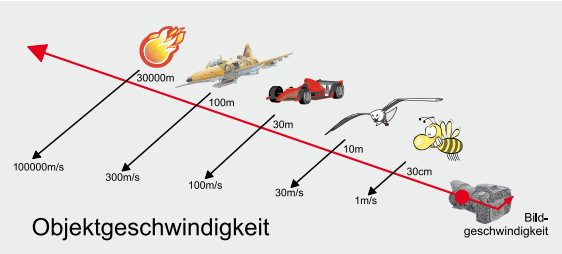
Highspeed-Blitz

Zur punktscharfen Abbildung eines schnell bewegten Objekts ist eine entsprechend kurze Belichtungszeit erforderlich. Mechanische Verschlüsse sind hier überfordert, so dass auf einen im richtigen Moment ausgelösten Blitz zurückgegriffen werden muss. Die einzige künstliche Lichtquelle für solche Anforderungen war für lange Zeit der höchst gefährliche und lichtschwache Funkenblitz. Das änderte sich erst mit der Erfindung des Röhren- oder Elektronenblitzes, der sowohl lichtstark als auch kurz genug für die meisten Objekte war. Heute ist der Elektronenblitz die übliche Lichtquelle für die Kurzzeitfotografie und der Funkenüberschlag wird nur noch in solchen Fällen eingesetzt, wo seine einzige Stärke – die extrem kurze Blitzzeit – wirklich erforderlich ist.

Bockkäfer
Canon EOS 350D, Tamron 2,9/90 Macro mit vorgesetztem Copal-Zentralverschluss, Lichtschranke, zwei leistungsreduzierte Blitzgeräte
Foto: Jürgen Schmidt

Hans-Christian Steeg, Highspeed, dpunkt.verlag, ISBN 978-3-86490-034-1

Der Highspeed-Blitz – die unverzichtbare Lichtquelle



Objekte mit unterschiedlicher Absolutgeschwindigkeit, aber gleicher Relativgeschwindigkeit auf dem Sensor
Grafiken: Open Clipart Library

Wie schnell ist schnell?

Spontan denkt man bei einem »schnellen Objekt« vielleicht an einen Düsenjet, der mit Schallgeschwindigkeit vorbeifliegt. Oder an einen Formel-1-Rennwagen auf der Zielgeraden, weniger aber an den Sperling im Garten oder gar an eine Biene beim Pollensammeln. Dass sich diese Motive aus Sicht der Kamera gar nicht allzu sehr unterscheiden, zeigt die nebenstehende Grafik. In dieser schematischen Darstellung sind fünf Objekte dargestellt, die sich rechtwinklig zur optischen Achse mit extrem unterschiedlichen Geschwindigkeiten bewegen. Weil sie aber entsprechend weit von der Kamera entfernt sind, ist die Geschwindigkeit ihres *Abbildes* auf dem Film bzw. Bildsensor gleich. Man könnte auch sagen, ihre Winkelgeschwindigkeit ist gleich, wobei sich der virtuelle »Drehpunkt« im Objektiv befindet, etwa im Abstand der Brennweite vor dem Sensor.

Die Bewegung des Bildes über den Sensor führt zu einer Unschärfe, die folgerichtig *Bewegungsunschärfe* genannt wird. Sie betrifft nur das eigentliche Motiv und sollte nicht mit dem *Verwackeln* verwechselt werden, bei dem das gesamte Bild infolge einer Kamerabewegung unscharf wird. Natürlich gibt es noch andere Ursachen für unscharfe Fotos, z. B. Fehlfokussierung, Beugung und Abbildungsfehler des Objektivs. Hier soll jedoch nur die Bewegungsunschärfe als typischste und in der Highspeed-Fotografie am wenigsten »erwünschte« Ursache betrachtet werden.

Das einzige Mittel gegen diese Art Unschärfe ist eine ausreichend kurze Belichtungszeit. Wie kurz sie sein muss, hängt davon ab, wie groß die »Unschärfe« ausfallen darf, bevor sie visuell in Erscheinung tritt. Ein ähnliches Problem ergibt sich bei der Bestimmung der Schärfentiefe. Dort wird davon ausgegangen, dass ein Bild nur in der Fokusebene exakt scharf ist, während sich davor oder dahinter die Bildpunkte infolge

der Divergenz der Lichtstrahlen in kleine Scheibchen aufweiten, die sog. Unschärfekreise. Innerhalb eines gewissen Entfernungsbereiches – der Schärfentiefe – sind sie so klein, dass das Bild scharf erscheint. Außerhalb dieses Bereiches überschreiten sie jedoch die kritische Größe und das Bild wirkt zunehmend unschärfer. Allgemein wird 1/1.500 der Bilddiagonalen als zulässiger Durchmesser des Unschärfekreises zugrunde gelegt.

Dieser Wert soll auch als Maß für die Bewegungsunschärfe gelten. Entsprechend der Beziehung »Zeit gleich Weg durch Geschwindigkeit« lässt sich daraus die notwendige Belichtungszeit errechnen. Dazu dient die folgende Gleichung, die den Durchmesser D des Unschärfekreises – hier der Weg – mit der Geschwindigkeit v des Fotoobjekts verknüpft.

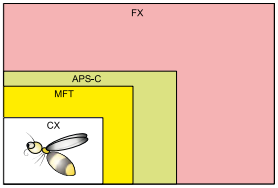
$$t \leq \frac{D}{v_{Obj} \times \beta}$$

t Belichtungszeit (s)
D Durchmesser Unschärfekreis (m)
v_{Obj} Objektgeschwindigkeit (m/s)
β Abbildungsmaßstab

Über den Abbildungsmaßstab b wird die reale Objektgeschwindigkeit in die Geschwindigkeit des Bildes auf dem Sensor umgerechnet. Bei einem Maßstab von 1:1 sind Objekt- und Bildgeschwindigkeit gleich, bei einem Maßstab < 1 sinkt die Bildgeschwindigkeit. Umgekehrt gilt natürlich auch, dass ein Maßstab > 1 die Bildgeschwindigkeit erhöht.
Beispiel: Ein Objekt mit der Geschwindigkeit von v = 0,4 m/s soll im Maßstab b = 0,6 scharf abgebildet werden. Mit anderen Worten: Wir möchten eine vor sich hin fliegende Biene beim Honigsammeln fotografieren. Für vier verschiedene Bildformate ergeben sich dabei folgende Werte für die Mindestbelichtungszeit:

Sensorgröße	*Zulässiger Unschärfekreis D*	*Mindestbelichtungszeit t*
KB, FX: 24 × 36 mm²	*0,028 mm*	*117 µs (1/8.570 s)*
APS-C, DX: 15 × 23 mm²	*0,018 mm*	*75 µs (1/13.333 s)*
FT, MFT: 13 × 17,3 mm²	*0,014 mm*	*58 µs (1/17.442 s)*
CX: 8,8 × 13,2 mm²	*0,010 mm*	*44 µs (1/22.692 s)*

Hans-Christian Steeg, Highspeed, dpunkt.verlag, ISBN 978-3-86490-034-1



Sensorformate

Die berechneten Zeiten gelten natürlich nur dann, wenn das gesamte Bildformat betrachtet wird. Die Biene im Maßstab 0,6 nimmt sich aber auf dem großen FX-Sensor recht bescheiden aus, so dass evtl. nur ein Ausschnitt genutzt wird. Streng genommen müsste dann die Diagonale des Bildausschnittes für die Berechnung herangezogen werden und aus einem Vollformatsensor wird ein APS-C- oder MFT-Sensor.

Außerdem sollte beachtet werden, dass die Festlegung des Unschärfekreises mit 1/1.500 der Bilddiagonalen historisch gesehen aus der Zeit des Films stammt und im Hinblick auf die heutigen hochauflösenden Sensoren eher zu groß angesetzt ist. Bei einem Pixeldurchmesser von 4 µm entspricht eine Unschärfe von 0,028 mm sieben Pixelreihen. Sollen nur drei Pixeldurchmesser als Unschärfe zugelassen werden, ergibt sich D = 0,012 mm, was im KB-Format 1/3.580 der Bilddiagonalen entspricht. Die daraus folgende Mindestbelichtungszeit für das o.g. Beispiel wäre dann bereits 1/20.000 s, im MFT-Format sogar 1/40.000 s. Viele Objekte bewegen sich aber wesentlich schneller als die »bummelnde« Biene, so dass noch kürzere Belichtungszeiten erforderlich werden können.

Für solche Anforderungen scheidet der mechanische Verschluss aufgrund seiner Trägheit aus und es muss auf den Blitz als Lichtquelle zurückgegriffen werden. Leider liegt die Leuchtdauer eines üblichen Blitzgerätes aufgrund seines hochkapazitiven Blitzkondensators bei etwa 1/1.000 s und ist damit viel zu lang. Für eine kurze Entladezeit ist eine kleine Kapazität erforderlich, womit aber gleichzeitig die Energie sinkt. Zum Ausgleich muss deshalb die Spannung entsprechend angehoben werden. In den Anfangsjahren dieser Technik standen nur Kondensatoren mit geringer Kapazität zur Verfügung, so dass die frühen Geräte mit hohen Spannungen betrieben werden mussten und »zwangsläufig« sehr kurze Blitzzeiten erreichten. Solche Geräte wurden vereinzelt noch bis in die Siebzigerjahre des vorigen Jahrhunderts hergestellt. Ein Beispiel ist der legendäre Lüttge-Blitz, der es mit einem Metallpapier-Blitzkondensator von 50 µF und 3.000 V Ladeendspannung auf die beachtliche Energie von 225 Ws brachte. Wegen seiner Blitzdauer von 1/18.000 s erfreute er sich unter Naturfotografen eines wahren Kultstatus.

Allerdings war es nicht jedermanns Sache, mit einem Blitzgerät umzugehen, bei dem höchst gefährliche 3 kV an einem Stecker aus Metall anlagen – gerade in freier Natur, wo es feucht ist und Kriechströme beim

Berühren des Metallgehäuses schon einmal ein »Kribbeln« hervorrufen konnten, kein angenehmer Gedanke. Deshalb befinden sich diese Exoten unter den Blitzgeräten heute kaum noch im Einsatz und werden in dieser Art auch nicht mehr hergestellt.

Durch den Einzug der preiswerten Elektrolytkondensatoren mit ihrer hohen Kapazität in die Blitzgeräte konnte die Spannung auf moderate 300 V bis 500 V gesenkt werden, ohne drastisch an Energie zu verlieren. Als Nebeneffekt dieser Entwicklung stieg jedoch die Blitzdauer wieder auf eine Millisekunde oder mehr an und war damit für schnelle Objekte zu lang.

Wie so oft kam die Lösung vonseiten der Elektronik und die Highspeed-Fotografie profitierte von einer bahnbrechenden Erfindung: der automatischen Lichtregelung über die Leuchtdauer, auch »Computerblitz« genannt. Dazu wurde das vom Objekt reflektierte Licht mit einer Fotodiode gemessen und beim Erreichen eines bestimmten Levels unterbrochen.

Der Lüttge-Hochspannungsblitz IIIc mit zwei Blitzröhren
Foto: Helmut Heintges

Der Kondensator – elektrische Energie und Entladungszeit
Die im Blitzkondensator gespeicherte Energie E ergibt sich nach

$$E = C/2 \times U^2 \text{ [Ws, Joule]}$$

mit der Kapazität C in Farad (F) und der Spannung U in Volt (V). Die Entladung folgt einer exponentiellen Funktion, die von der Zeitkonstanten

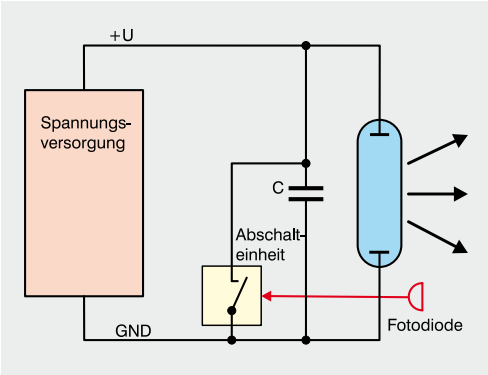
$$\tau = R \times C \text{ [s]}$$

bestimmt wird. R ist der Widerstand der Entladungsstrecke in Ohm (Ω), der im Wesentlichen vom Innenwiderstand der Blitzröhre und des Speicherkondensators abhängt.

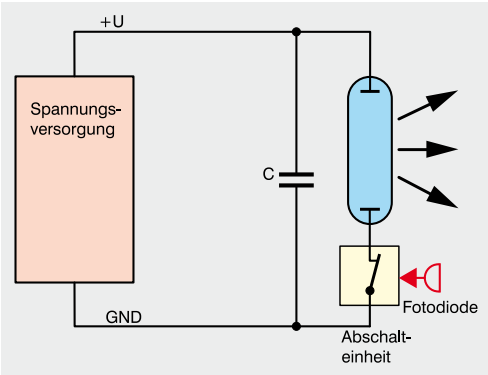
Der Computerblitz – Brachialmethode oder Intelligenz

Die erste Generation dieser Geräte schaltete den Blitz ab, indem der Kondensator im gewünschten Moment komplett entladen wurde. Das

Hans-Christian Steeg, Highspeed, dpunkt.verlag, ISBN 978-3-86490-034-1



Lichtabschaltung durch Entladung des Kondensators



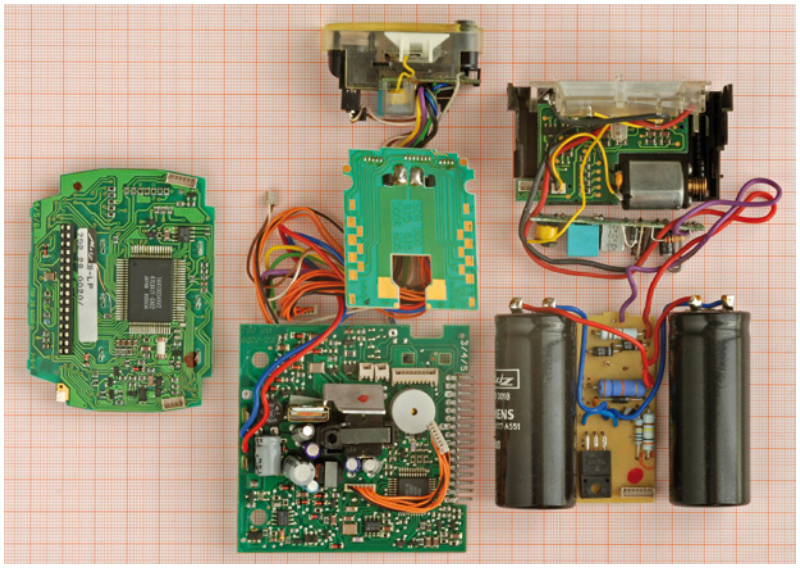
Lichtabschaltung durch direkte Unterbrechung des Stromflusses

war elektronisch leicht zu bewerkstelligen, hatte aber zwei gewichtige Nachteile: zum einen die schlechte Energiebilanz, denn egal wann die Abschaltung erfolgte, wurde stets die gesamte, im Kondensator gespeicherte Energie verbraucht. Zum anderen betraf es den Schalter selbst, der den Kondensator sehr schnell und mit hohem Strom entladen musste. Der zu diesem Zweck meist eingesetzte Thyristor war damit hohen Impulsbelastungen ausgesetzt.

Wegen dieser Einschränkungen wurden derartige Geräte schon bald durch modernere abgelöst, die die Restenergie im Kondensator beließen. Zu diesem Zweck wurde der Thyristor in den Stromkreis der Blitzröhre verlegt und im Moment der Blitzauslösung gezündet. Der Thyristor wurde leitend und der Strom durch die Blitzröhre konnte fließen. Leider ist ein üblicher Thyristor ein Nur-Einschalter, der nicht wieder ausgeschaltet werden kann – ein eher ungeeignetes Bauelement für den gewünschten Zweck. Er schaltet jedoch ab, wenn der fließende Strom den sogenannten Haltestrom unterschreitet. Das machte man sich zunutze, indem im Abschaltmoment ein gleichgroßer Strom in entgegengesetzter Richtung durch den Thyristor geschickt wird. Beide Ströme heben sich gegenseitig auf und der Thyristor wird nichtleitend. Praktisch wird also zuerst der Hauptthyristor gezündet und im Moment der Lichtabschaltung ein Löschthyristor.

Der Nachteil des höheren Aufwands wird zwar durch die bessere Energiebilanz aufgewogen, trotzdem ist ein Thyristor nicht das »geborene« Bauelement für Schaltvorgänge dieser Art. Weit besser geeignet wäre ein Transistor, der sich nicht nur ein-, sondern auch wieder ausschalten lässt. Ein sehr schneller Leistungsschalter ist der IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), der die Vorteile des herkömmlichen Bipolartransistors (NPN, PNP) mit denen des Feldeffekttransistors (FET) vereint. Wie ein FET besitzt er einen extrem hochohmigen Eingang (Gate) und eine bipolare Kollektor-Emitter-Strecke zum Schalten des Stroms bei hoher Spannung.

In Verbindung mit einem Mikrocontroller zur Ansteuerung ist der IGBT das ideale Schaltelement für die präzise Lichtregelung in modernen Blitzgeräten. Eingesetzt wurde er z. B. im Metz 40MZ-2 und ist heute Standard in allen modernen Blitzgeräten.

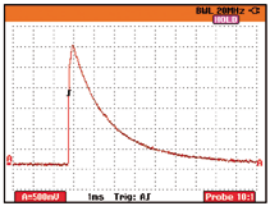


Ein Metz 40MZ-2 in seine Bestandteile zerlegt. Rechts oben die Blitzröhre mit dem Motor für die Reflektorverstellung und der gelben Zündspule. Rechts unten beide Blitzelkos, dazwischen der dreibeinige IGBT. In der Mitte unten die Transverter-Einheit, darüber die SCA-Adapterplatine und oben der Zweitreflektor. Ganz links der Mikrocontroller.

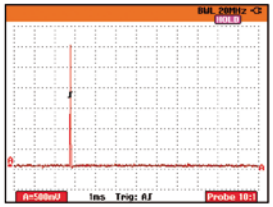
Die Blitzdauer – keine eindeutige Angelegenheit

Der zeitliche Verlauf der Lichtintensität eines Blitzes lässt sich mit einem digitalen Speicheroszilloskop (DSO) messen, hier am Beispiel eines Metz 40MZ-3i.

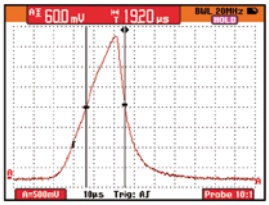
Im linken Diagramm erkennt man den schnellen Anstieg auf das Maximum, danach der langsame Abfall auf null gemäß der Kondensator-Entladefunktion. Dies kann je nach Blitzgerät mehrere Millisekunden dauern, wobei die Fläche zwischen Kurve und Nulllinie die abgegebene Energie repräsentiert.



Volle Energie



1/256 der vollen Energie



Zeitbasis gedehnt

Hans-Christian Steeg, Highspeed, dpunkt.verlag, ISBN 978-3-86490-034-1