

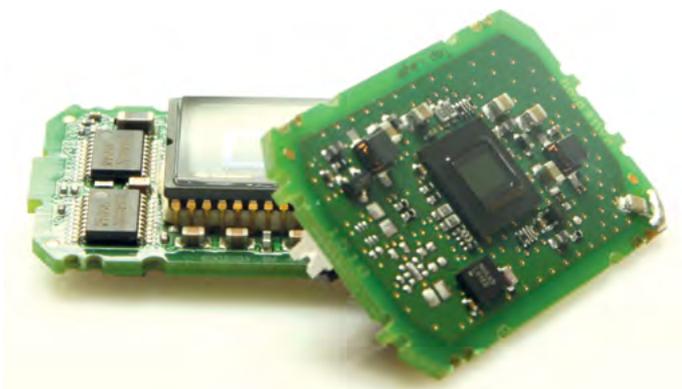
Global Shutter, Rolling Shutter - Funktionsweise und Merkmale zweier Belichtungsverfahren (Shutter-Varianten)

Die geeigneten Komponenten für eine Kameraanwendung in der industriellen Bildverarbeitung zusammenzustellen, setzt einige grundlegende Entscheidungen voraus. Die Wahl der Kamera und der passenden Schnittstellen- und Sensortechnologie ist abhängig von den Anforderungen, die das Bilderkennungs- und Bildverarbeitungssystem erfüllen muss. Dabei geht es insbesondere bei der Sensorwahl nicht nur um die Frage CCD oder CMOS, sondern auch um die Shutter-Variante. Dieses White Paper beschreibt die unterschiedlichen Funktionsprinzipien von Global Shutter und Rolling Shutter, und erklärt deren Eignung für die unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten in der industriellen Bildverarbeitung.

Inhalt

1. Funktionsprinzip eines Verschlusses/Shutters	1
2. Belichtung mit Global Shutter.....	1
3. Belichtung mit Rolling Shutter	2
4. Der Rolling Shutter Effekt und seine Auswirkungen	2
5. Bedeutet höhere Auflösung gleichzeitig bessere Bildqualität?	3
6. Mit Blitz und Belichtungszeit dem Rolling Shutter-Effekt vorbeugen.....	4
7. Fazit	4

Die Unterschiede zwischen den beiden Sensortechnologien CCD und CMOS liegen in ihrer Architektur und der Weise, wie sie Bildinformationen sammeln, aufbereiten und verarbeiten. Unmittelbar damit verbunden sind Parameter wie Bildqualität und Geschwindigkeit. Die Verschlussstechnik hingegen definiert, auf welche Art und Weise die Bilddaten, also die Photonen, die beim Auftreffen auf die einzelnen Pixel in Elektronen umgewandelt werden, belichtet werden.



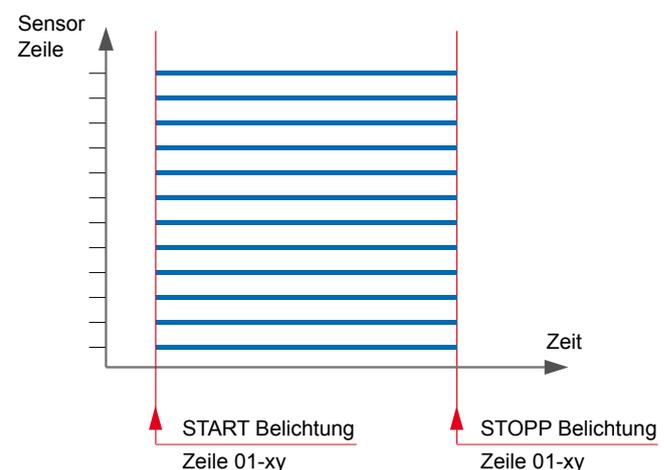
CMOS und CCD-Sensoren verarbeiten Bilddaten auf unterschiedliche Weise.

1. Funktionsprinzip eines Verschlusses

Der Shutter – zu Deutsch: Verschluss – schützt den Film in der Kamera vor Licht und öffnet sich in dem Moment, in dem der Auslöser gedrückt wird. Wie lange er offen bleibt, ist abhängig von der eingestellten Verschluss- oder Belichtungszeit. Sie sorgt für die richtige „Dosierung“ des Lichts. Ist diese Belichtungszeit zu kurz, erhält man unterbelichtete Bilder; ist sie zu lang, sind überbelichtete Bilder das Resultat.

Heute haben Sensoren weitestgehend die Filme abgelöst, am Grundprinzip der Belichtung hat sich jedoch nichts geändert. Auf elektronischer Basis werden die photoelektrischen Zellen zu Beginn der Belichtung gelöscht und zum Ende der Belichtung ausgelesen. Vereinfacht ausgedrückt besteht jedes Bild aus einer Vielzahl von horizontalen Zeilen. Jede Zeile wiederum setzt sich – je nach Auflösung – aus einer unterschiedlichen Zahl von Pixeln zusammen. Die Art und Weise, wie diese Zeilen belichtet werden, unterscheidet den Global Shutter vom Rolling Shutter.

2. Belichtung mit Global Shutter

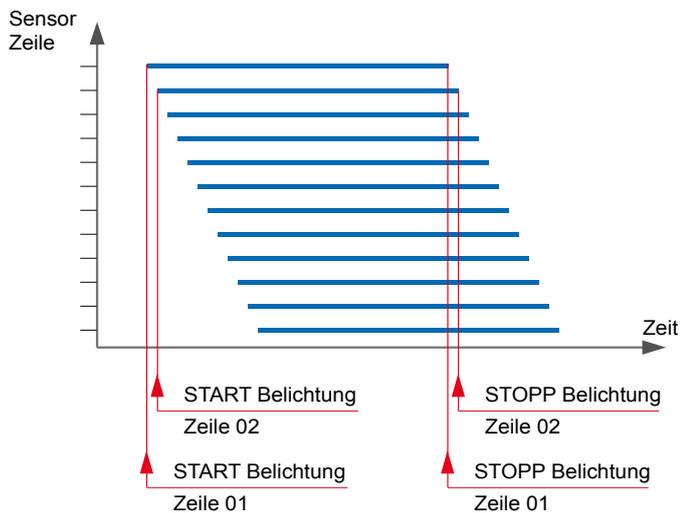


Beim Global Shutter beginnt und endet die Belichtungszeit für alle Pixel gleichzeitig.

Der Global Shutter arbeitet vom Prinzip her wie die klassische Klappe beim Film. Der Verschluss öffnet, das Licht trifft gleichzeitig auf die gesamte Sensoroberfläche – sprich auf alle Zeilen gleichzeitig – und der Verschluss schließt wieder. „Global“ bezieht sich in diesem Zusammenhang auf die gleichzeitige Belichtung der gesamten Fläche, sozusagen in Form einer Momentaufnahme. Ein bewegtes Objekt wird also – abhängig von der gewählten Bildfrequenz – in schneller Folge belichtet. Dieses Verschlussprinzip war bislang ausschließlich der CCD-Sensortechnologie vorbehalten und eignet sich insbesondere für Anwendungen, bei denen die Kamera sich schnell bewegende Objekte erfassen und abbilden muss. Auch moderne CMOS-Sensoren sind mittlerweile mit Global Shutter verfügbar, was sich besonders für Anwendungen, die hohe Bildraten und hohe Auflösungen erfordern, empfiehlt.

3. Belichtung mit Rolling Shutter

Der Rolling Shutter ist ein Belichtungsverfahren, das größtenteils in der CMOS-Sensortechnologie eingesetzt wird. Die Belichtung erfolgt im Unterschied zum Global Shutter nicht als „einmalige“ zeitgleiche Belichtung, sondern in abgestufter Reihenfolge. Beim Drücken des Auslösers werden die Zeilen nacheinander, also Zeile für Zeile, belichtet. Je nach Belichtungszeit kann es dabei zu Überlappungen kommen.



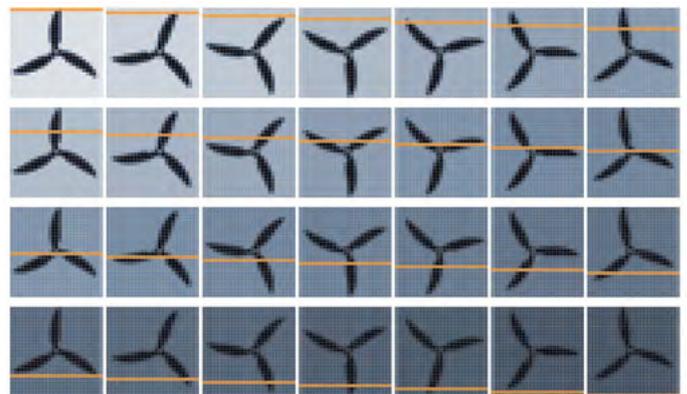
Beim Rolling Shutter hingegen beginnt und endet die Belichtungszeit nicht gleichzeitig, sondern jeweils für jede einzelne Zeile nacheinander.

Ist die letzte Zeile von Bild 1 vollständig belichtet, beginnt der nächste Bildeinzug wieder von vorne, bei der ersten Zeile. Der Rolling Shutter benötigt lediglich zwei Transistoren pro Pixel zum Abtransport der Elektronen. So entsteht weniger Wärme und das Grundrauschen ist deutlich niedriger als beim Global

Shutter, dessen 4-5 Transistoren vergleichsweise hohes Grundrauschen und viel Wärme produzieren. Andererseits entstehen beim Rolling Shutter speziell bei bewegten Objekten oft Verzerrungen, die in bestimmten Anwendungen ein akzeptables Maß überschreiten.

4. Der Rolling Shutter-Effekt und seine Auswirkungen

Diese Verzerrungen entstehen dadurch, dass sich das Objekt bzw. die Kamera in dem Zeitraum, in dem die zeilenweise Belichtung erfolgt, weiter bewegt. Beim Auslesen der Bilddaten werden die belichteten Zeilen in der gleichen Reihenfolge wieder zu einem Gesamtbild zusammengesetzt. Bedingt durch die zeitliche Verzögerung beim Belichten der einzelnen Zeilen wird auch im zusammengesetzten Bild dieser zeitliche Versatz in Form von Verzerrungen sichtbar. Die Ursache dieses Erscheinungsbildes ist der sogenannte Rolling Shutter-Effekt. Neben der Belichtungszeit spielt dabei auch die Geschwindigkeit des Sensors eine Rolle. Sie bestimmt, wie schnell die Zeilen öffnen und wieder schließen. Bei einem schnellen Sensor mit einer Bildrate von maximal 60 Bildern pro Sekunde ist der Effekt geringer, als bei einem langsamen Sensor mit zum Beispiel maximal 15 Bildern pro Sekunde.



Die gelbe Linie zeigt den Verlauf der Belichtung von der ersten Bildzeile bis zur letzten. Während der Belichtung dreht sich der Propeller insgesamt vier Mal.



Beim Zusammensetzen der belichteten Zeilen zum Gesamtbild wird die Verzerrung durch die kontinuierliche Bewegung des Propellers während der zeilenweisen Belichtung sichtbar.

Was im Consumer Markt beim Betrachten derartiger Zerrbilder noch Staunen oder Schmunzeln hervorrufen mag, kann in der industriellen Bildverarbeitung und bei der IP-Überwachung zum Problem werden. Bei Überwachungsanwendungen beispielsweise liefern verzerrte Bilder keine verwertbare Grundlage, um im Bedarfsfall Geschehnisse beweissicher zu rekonstruieren. Kameraüberwachung ist heute ein integrierter Bestandteil des alltäglichen Lebens: Banken, öffentliche Gebäude, Veranstaltungen, Kasinos, Verkehrsüberwachung – wo viele Menschen aufeinandertreffen, steigt das Bedürfnis und die Notwendigkeit, für Sicherheit zu sorgen. Menschen oder Fahrzeuge bewegen sich unterschiedlich schnell. Je langsamer sie sich bewegen, desto kleiner ist die Wahrscheinlichkeit eines Rolling Shutter-Effekts. Das Zusammenspiel von Bildrate und Belichtungszeit bestimmt hier, was ausreichend langsam und was zu schnell ist, um korrekt abgebildet werden zu können.

Überwachungssysteme in Kasinos zum Beispiel reihen mittels hoher Bildrate und kurzen Belichtungszeiten schnell aufeinanderfolgende Bilder aneinander. So lassen sich Kartentricks erkennen und stichhaltig nachverfolgen.



Bildbeispiele Rolling Shutter-Effekt (Quelle: Wikipedia)

Schwieriger ist es bei der Verkehrsüberwachung. Je nachdem, wie die Kamera in Relation zum Objekt positioniert wird, welche Bildrate und welche Belichtungszeit gewählt werden, kann es problematisch werden, den Rolling Shutter-Effekt in tolerierbarem Umfang zu halten. Ist zum Beispiel die Belichtungszeit sehr kurz (z.B. 1/2000s), ergibt dies einen stärkeren Versatz innerhalb des Bildes als bei einer langen Belichtungszeit, die einen größeren Teil der Bewegung erfasst. Die Zeit, die Sensor und Kamera brauchen, um das Bild Zeile für Zeile zu belichten, reicht hier möglicherweise nicht aus, um mit der Bewegung eines Fahrzeugs Schritt zu halten. Verzerrungen wären hier die Folge und müssten beim Auswerten des Bildmaterials berücksichtigt werden.



Global Shutter bei Standard-Auflösung



Rolling Shutter bei Standard-Auflösung

5. Bedeutet höhere Auflösung gleichzeitig bessere Bildqualität?

Mitnichten. Entgegen der populären Meinung bedeutet höhere Auflösung nicht notwendigerweise bessere Bilder. Im Bereich der industriellen Bildverarbeitung trifft diese Meinung nur bedingt zu, da sämtliche Daten individuell berechnet und dargestellt werden müssen. Hier geht hohe Auflösung oftmals mit kleineren Pixelgrößen einher. Kleine Pixel jedoch haben eine geringere Sättigungskapazität, die wiederum ein schlechteres Signal-Rausch-Verhältnis ergeben und einen niedrigeren Dynamikbereich.

Für Anwendungen, die weder hohe Bildraten noch hohe Auflösung erfordern, sind CCD-Sensoren weiterhin empfehlenswert. Sie liefern bei einer Auflösung von 1-2 Megapixel und Bildraten bis zu 30 fps (1 MP/30 fps, 2 MP/15 fps) und bei eingeschränktem Licht eine hervorragende Bildqualität. Zusätzliche Vorteile sind bessere Farbtrennung, weniger Rauschen und eine höhere Empfindlichkeit im sichtbaren Bereich. Besonders für Anwendungen der Mikroskopie und der Astronomie bleiben CCD-Sensoren bis auf Weiteres unverzichtbar.

CMOS-Sensoren hingegen kommen ins Spiel, sobald höhere Bildraten gefordert sind. 60 fps bei 2 Megapixel Auflösung lassen sich mit CCD-Sensoren aufgrund ihrer – verglichen mit CMOS-Sensoren – geringeren Ladegeschwindigkeiten und deutlich höheren Wärmeentwicklung nicht mehr darstellen.

Video

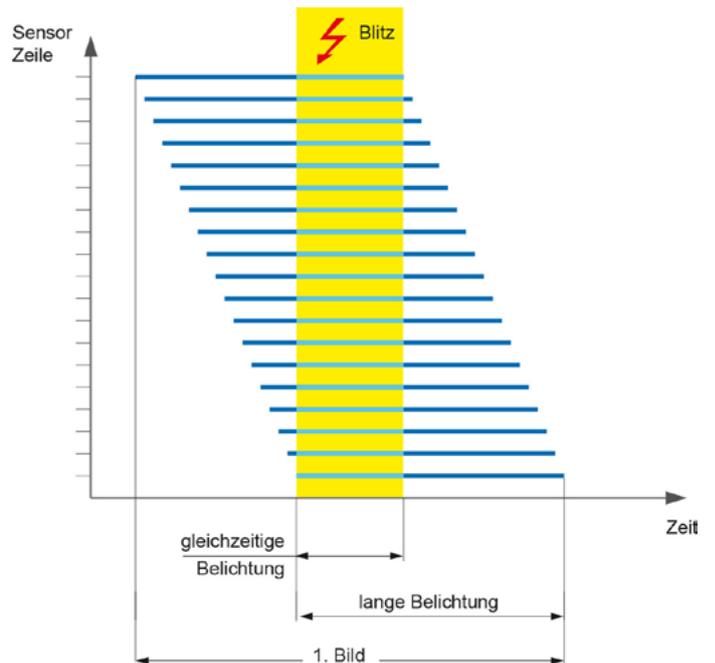


Der Rolling Shutter-Effekt: Die Verzerrung entsteht durch die Bewegung des Propellers während der Belichtung der einzelnen Zeilen.

6. Mit Blitz und Belichtungszeit dem Rolling Shutter-Effekt vorbeugen

Sprechen bei der Auswahl eines Sensors alle Eigenschaften für ein Modell mit Rolling Shutter, einzig die möglichen Verzerrungen verursachen Bedenken, lässt sich vorbeugen – unter bestimmten Bedingungen und mit etwas Aufwand. Wie in allen Bereichen der industriellen Bildverarbeitung und der Kameraüberwachung spielt Licht dabei eine wichtige Rolle. Besonders im Außenbereich oder im schlecht beleuchteten Innenraum ist es von ganz entscheidender Bedeutung. Helles Tageslicht lässt die Kamera grundsätzlich mit kürzeren Belichtungszeiten auskommen als Dämmerung oder Dunkelheit. Hier haben industrielle Bildverarbeitungssysteme einen leichten Vorteil: Reicht das vorhandene Umgebungslicht nicht aus, kann man sie mit einem Blitz kombinieren. Allerdings ist auch diese Möglichkeit bestimmten Einschränkungen unterworfen: Blitz eignet sich nur sehr eingeschränkt für den Außenbereich, so dass sich der Einsatz und der damit verbundene Aufwand lediglich bei Innenanwendungen im Dunkelraum lohnen wird.

Blitz funktioniert außerdem nicht bei Fremdlicht, z.B. bei Tageslicht. Lediglich nachts und unter Einsatz von IR-Licht und IR-Pass können solche Belichtungsmaßnahmen Abhilfe schaffen.



Ausgleich des Rolling Shutter-Effekts durch punktuellen Einsatz von Blitz. Der Blitz muss exakt in dem Moment aufhören, in dem die letzte Zeile anfängt zu belichten und die erste Zeile schließt.

Eine weitere Möglichkeit, dem Effekt vorzubeugen, ist durch Verlängern der Belichtungszeit. Das gibt dem Sensor mehr Zeit, die Zeilen zu belichten. Je höher die Bildfrequenz ist, desto schneller werden die Zeilen bearbeitet und desto weniger stark zeigt sich der Effekt.

Auch eine Kombination aus Blitz und längerer Belichtungszeit ist möglich. Dazu wird die Belichtungszeit soweit vergrößert, dass sich die Belichtungen der Einzelzeilen um die gewünschte Blitzdauer überlappen. Genau in diese Überlappung legt man den Blitz. Manche Kameras verfügen hierzu über einen digitalen Ausgang, über den ein Signal an einen externen Blitz gesendet werden kann.

Alle diese Maßnahmen kommen nur in Frage, sofern sie im Rahmen der jeweiligen Anwendung überhaupt machbar sind. Ist die Belichtungszeit beispielsweise zu lang gewählt, wird zwar der Rolling Shutter-Effekt geringer, dafür jedoch sind die Aufnahmen bewegungsunschärf. Die Grenzen einer realisierbaren Nachbesserung sind also eng gesteckt und lassen sich nicht beliebig ausweiten.

In Einzelfällen können Software-Lösungen, die über spezielle Tools zur Reparatur von Rolling Shutter-Effekten verfügen, das Kamera-Instrumentarium möglicher Korrektur- und Gegenmaßnahmen sinnvoll ergänzen.

7. Fazit

Der Markt für industrielle Bildverarbeitung wird auch für Sensor-Hersteller zunehmend interessanter. Besonders die CMOS-Technologie hat in den letzten Jahren aufgrund massiver technischer Weiterentwicklungen deutlich aufgeholt und läuft den CCD-Sensoren in ihrer historischen Domäne der Bildqualität Schritt für Schritt den Rang ab. Die klassischen Problemfelder von CMOS-Sensoren wie eingeschränkte Langzeitbelichtung, kurze Produktlebenszyklen und auch der Rolling Shutter-Effekt sind mittlerweile entweder gänzlich verschwunden bzw. so geringfügig, dass sie für den normalen Einsatz in Anwendungen nur noch eingeschränkt relevant sind.

Die Massenproduktion für den High-end Consumer-Markt, wo beispielsweise CMOS-Sensoren mit Rolling Shutter als Standard in Smartphones eingebaut sind, treibt technische Neuerungen stetig voran. Einzelne Hersteller liefern sogar Sensoren mit vier Shutter-Modi, die sich bedarfsabhängig innerhalb des laufenden Betriebs umschalten lassen. So lässt sich das Einsatzgebiet auf eine ganze Vielfalt von Anwendungsbereichen erweitern, von der industriellen Bildverarbeitung über Überwachung, Barcode-Erkennung und viele weitere bildgebende Verfahren. Erhöhte Quanteneffizienz, also das Verhältnis zwischen der Zahl der Elektronen und der daraus gewonnenen Photonen, sowie ein optimiertes Signal-Rausch-Verhältnis ermöglichen selbst bei schlechten Lichtverhältnissen und bewegten Objekten eine

ausgezeichnete Bildqualität. Was den technologischen Fortschritt betrifft, ist hier sicherlich noch nicht das Ende der Fahnenstange erreicht.

Kunden können sich also nicht nur über stetige Verbesserungen auf technologischer Seite freuen, sondern auch über nennenswerte Kostenvorteile. Dazu tragen aus technischer Sicht sowohl das Design und die Architektur der Sensoren bei (zwei Transistoren sind günstiger als fünf), gleichzeitig sorgt die Massenproduktion für geringere Herstellkosten.



Basler Industrie- und Netzwerkkameras

Basler AG

Basler ist ein führender Entwickler und Hersteller von hochwertigen digitalen Kameras für Anwendungen in Industrie, Videoüberwachung, Medizin und Verkehr. Die Produktentwicklung wird von den Anforderungen aus der Industrie gesteuert. Die Kameras bieten einfache Integration, kompakte Größen und ein hervorragendes Preis-Leistungs-Verhältnis. Basler verfügt über 25 Jahre Erfahrung im Bereich der Bildverarbeitung und entwickelt und produziert seit 15 Jahren qualitativ hochwertige digitale Kameras. Das Unternehmen beschäftigt mehr als 400 Mitarbeiter an seinem Hauptsitz in Ahrensburg und an Standorten in den USA, Singapur, Taiwan, China und Korea.



Autoren



Dr. Joachim Linkemann
Senior Product Manager

Dr. Joachim Linkemann startete 1997 als Optikentwickler bei der Basler AG in Ahrensburg. Der Physiker hat Beleuchtungskonzepte entwickelt, Optiken berechnet und nach seinen Vorgaben fertigen lassen. Als

Produktmanager betreut er seit über zehn Jahren Kameramodelle, teils über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg. Im Bereich Customizations erarbeitet er in enger Zusammenarbeit mit Kunden optimale Lösungen für deren Anwendungen. Dabei spielt der Bereich Optik nach wie vor eine bedeutende Rolle.

Kontakt

Dr. Joachim Linkemann
Tel.: +49 4102 463 236
Fax: +49 4102 463 46236
E-Mail: joachim.linkemann@baslerweb.com

Basler AG
An der Strusbek 60-62
22926 Ahrensburg
Deutschland



Björn Weber
Product Manager

Björn Weber ist Produktmanager und seit 2005 bei Basler tätig. Der Diplom-Ingenieur der Fachrichtung Elektrotechnik war bis 2008 für den Produktsupport im Bereich der Industriekameras zuständig. Danach wechselte er in Baslers

IP-Team, wo er zunächst den Produktsupport und ab 2011 das Produktmanagement für IP-Kameras betreute.

Aktuell zeichnet er für das strategische Produktmanagement der Basler High End-Kameras verantwortlich.

Kontakt

Björn Weber
Tel. +49 4102 463 448
Fax +49 4102 463 46448
E-Mail bjoern.weber@baslerweb.com

Basler AG

Germany, Headquarters

Tel. +49 4102 463 500
Fax +49 4102 463 599
sales.europe@baslerweb.com
www.baslerweb.com

USA

Tel. +1 610 280 0171
Fax +1 610 280 7608
sales.usa@baslerweb.com

Asia

Tel. +65 6367 1355
Fax +65 6367 1255
sales.asia@baslerweb.com