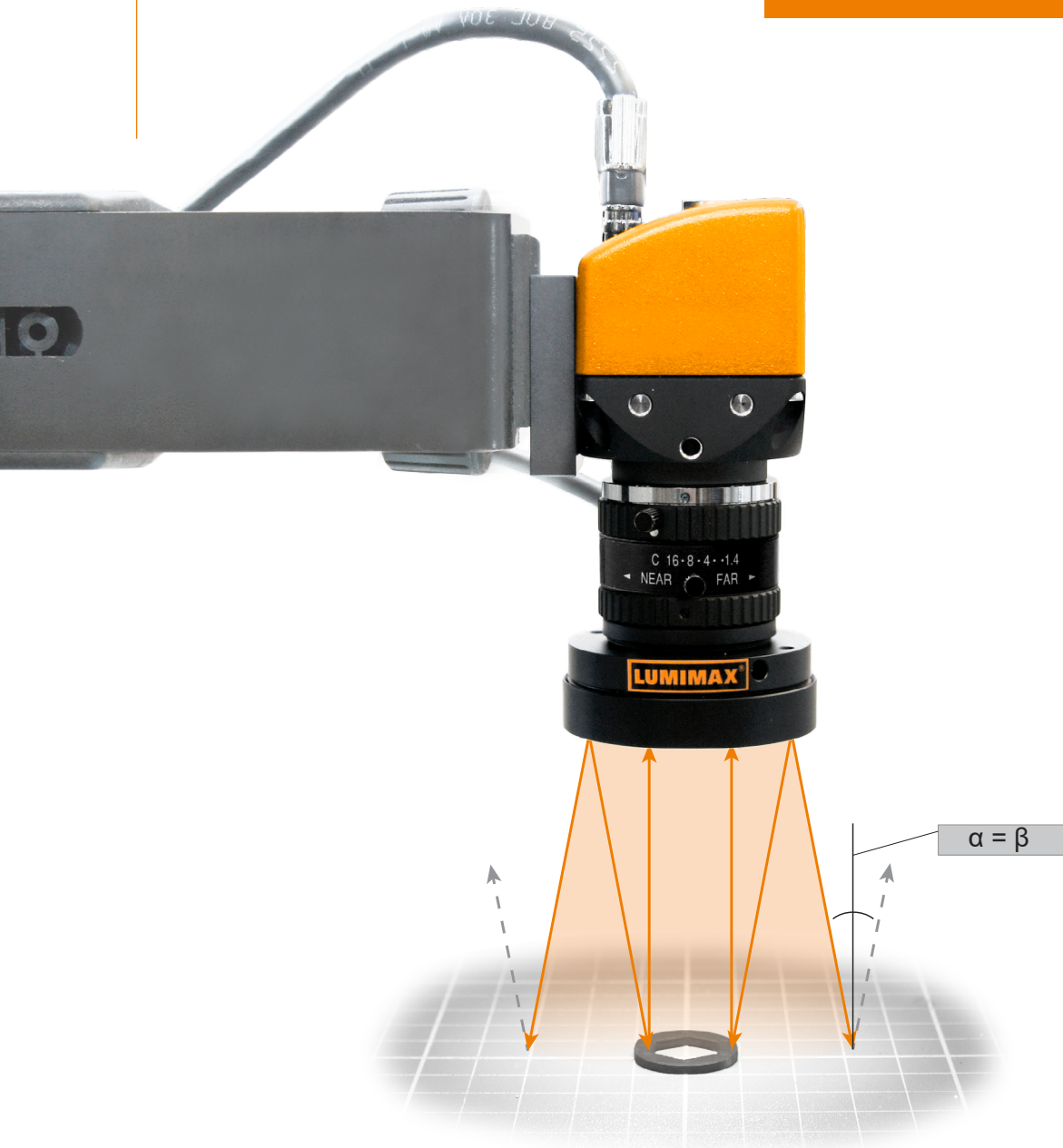


# LUMIMAX<sup>®</sup>



WISSENSREIHE

V052025



made by **iim** MEASUREMENT ENGINEERING in Germany

WISSENSWERTES ZU  
**MACHINE VISION  
BELEUCHTUNGSTECHNIK**



## Vorwort

### Sehr geehrte Leser und Leserinnen,

vielen Dank für Ihr Interesse an unserer Wissensreihe zum Thema LED Beleuchtungen in der industriellen Bildverarbeitung. Mithilfe der LUMIMAX<sup>®</sup> Wissensreihe möchten wir Ihnen Hintergrundwissen zur LED Beleuchtungstechnik vermitteln, die Auswahl der richtigen Beleuchtung erleichtern und Ihnen die unterschiedlichen Anwendungsbereiche unserer LUMIMAX<sup>®</sup> LED Beleuchtungen näherbringen.

Während sich das menschliche Auge auf verschiedenste Bedingungen und Situationen einstellen kann, sieht die Kamera nur, was ihr mithilfe von Licht sichtbar gemacht wird. Darum ist die Wahl der richtigen Beleuchtung entscheidend für die Bildqualität. Material, Oberfläche und Farbe der Prüfobjekte sind nur einige Faktoren, die eine besondere Herausforderung für die Auswahl der optimalen Beleuchtung darstellen. Hinzu kommen erschwerte Umgebungsbedingungen, etwa Fremdlicht oder Bewegungsunschärfe.

Die richtige Beleuchtung spart nicht nur Zeit und Kosten in der Bildauswertung – sie ist auch der Schlüssel zur Lösung Ihrer Bildverarbeitungsaufgaben.

Bei Fragen zu unserem Produktangebot können Sie sich jederzeit gern an uns wenden.  
Aber nun wünschen wir Ihnen erst einmal viel Vergnügen beim Lesen unserer Wissensreihe!



Ihr LUMIMAX<sup>®</sup> Wissensreihe Team



## Kurze Vorstellung der iiM GmbH

iiM GmbH – Teil in Union Parks Holdinggesellschaft Exaktera – ist Entwickler, Hersteller und Distributor hochqualitativer sowie leistungsstarker Produkte für die industrielle Bildverarbeitung.

In Suhl (Thüringen) entwickeln und produzieren wir unter der Marke LUMIMAX® leistungsstarke und hochfunktionale LED Beleuchtungen für Machine Vision Anwendungen in verschiedensten Industriebereichen, z. B. für die Automobil-, Halbleiter-, Pharma-, sowie Nahrungs- & Genussmittelindustrie.

Ein weiterer Unternehmensbereich entwickelt und vermarktet für die Kabel- und Drahtindustrie Spezialmesstechnik sowie Peripheriegeräte zur normgerechten Erfassung geometrischer Merkmale, insbesondere an Isolierhüllen und Kabelmänteln.

Ein Team, bestehend aus mehr als 80 Ingenieuren, Technikern und Facharbeitern begleitet unsere Kunden als Partner bei der Realisierung ihrer Herausforderungen.

## LUMIMAX® LED Beleuchtungen

### Qualität

Made in Germany – wir verpflichten uns zu höchster Qualität und Funktionalität, garantieren Ihnen einen exzellenten Service und arbeiten mit regionalen Partnern zusammen. Die komplette Entwicklung und Fertigung findet im Stammhaus in Suhl statt. Unsere Kunden profitieren hier von kurzen Bearbeitungs- und Lieferzeiten. Um den hohen Standard aller Prozesse zu gewährleisten, wird das Qualitätsmanagementsystem der iiM GmbH jährlich nach der Norm ISO 9001:2015 durch die DEKRA Certification GmbH auditiert.

### Technologie

Leistungsstarke Beleuchtungsprodukte mit integrierter Controlertechnik für Permanent-, Schalt- oder Blitzbetrieb garantieren ein Höchstmaß an Funktionalität und ermöglichen eine fremdlichtunabhängige und stabile Beleuchtung Ihrer Prüfobjekte – auch bei extrem schnellen Prozessen. Funktionelles Zubehör sowie durchdachte Anschlusskonzepte verringern die Integrationszeit in Ihre Bildverarbeitungsapplikation.

### Erfahrung

Wir verfügen über langjährige Erfahrungen in der industriellen Bildverarbeitung und können dieses Wissen bei der Konzipierung und Umsetzung unserer Produkte sowie bei der Beratung ausgezeichnet anwenden. Unsere Kunden verstehen wir als Partner. Darum bauen wir auf eine beständige und enge Kooperation.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Der Einfluss des Beleuchtungswinkels</b> .....	<b>1</b>	
1.1 Auflicht – Hellfeld-Beleuchtung .....	2	
1.2 Auflicht – Partielles Hellfeld .....	3	
1.3 Dombelichtung .....	4	
1.4 Dunkelfeldbeleuchtung .....	5	
1.5 Diffuses Durchlicht .....	7	
1.6 Kollimiertes & Telezentrisches Durchlicht .....	8	
<b>2. Wellenlängen</b> .....	<b>11</b>	
2.1 Spektrale Empfindlichkeit .....	12	
2.2 Kleine Farblehre .....	13	
2.3 Licht und Farbe .....	14	
2.4 Licht und Farbe - Infrarot .....	15	
2.5 Auflösungsvermögen .....	16	
<b>3. Optische Filter</b> .....	<b>19</b>	
3.1 Bandpassfilter .....	20	
3.2 Polarisationsfilter .....	21	
3.3 Weitere optische Filter .....	23	
<b>4. Blitzen vs. Permanent</b> .....	<b>27</b>	
4.1 Permanent- und Schaltbetrieb .....	27	
4.2 Blitzbeleuchtungen .....	28	
4.3 Vorteile von Blitzbeleuchtungen in der Industrie .....	30	
4.4 Blitzen – Was muss man beachten? .....	33	
<b>5. Fluoreszenzanwendungen</b> .....	<b>39</b>	
<b>6. Beleuchtungstechnik zum normgerechten Lesen und Verifizieren von Codes</b> .....	<b>45</b>	
<b>7. Beleuchtungstechnik für Shape-from-Shading Anwendungen</b> .....	<b>51</b>	
<b>Glossar</b> .....	<b>55</b>	

## **Kapitel 1 - Der Einfluss des Beleuchtungswinkels**

Kapitel 2 - Wellenlängen

Kapitel 3 - Optische Filter

Kapitel 4 - Blitzen vs. Permanent

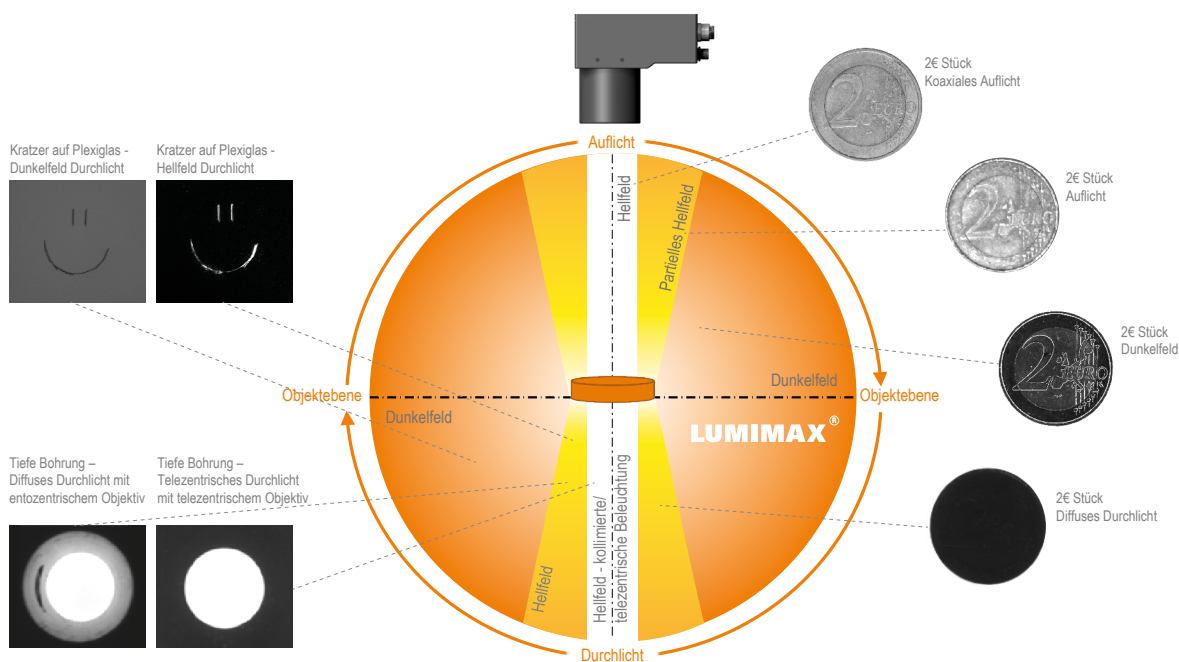
Kapitel 5 - Fluoreszenzanwendungen

Kapitel 6 - Beleuchtungstechnik zum  
normgerechten Lesen und Verifizieren von Codes

Kapitel 7 - Beleuchtungstechnik für Shape-from-Shading

# 1. Der Einfluss des Beleuchtungswinkels

Da die Kamera nur sehen kann, was ihr mithilfe von Licht sichtbar gemacht wird, ist der erste und vielleicht wichtigste Schritt die Auswahl der geeigneten Beleuchtungsgeometrie und des optimalen Winkels, in dem diese zum Prüfobjekt angeordnet wird. Denn je nachdem, wie Kamera, Prüfobjekt und Beleuchtung zueinander angeordnet sind, kann ein und dasselbe Prüfobjekt vollkommen unterschiedlich im Kamerabild erscheinen.



Bei der Auswahl der Beleuchtungsart und -anordnung unterscheidet man im Wesentlichen zwischen

- **Auflichtbeleuchtungen**, die aus Richtung der Kamera und somit oberhalb der Objektebene angeordnet werden und
- **Durchlichtbeleuchtungen**, die hinter dem Objekt platziert werden.

Die wichtigste Grundregel zur Auswahl einer Beleuchtungsanordnung im Auflicht kennen Sie sicherlich noch aus Ihrer Schulzeit: Das Reflexionsgesetz.

Natürlich erzählen wir Ihnen damit nichts Neues. Aber wenn Sie ebendieses einfache Gesetz bei der Auswahl einer geeigneten Beleuchtungsart und -anordnung nicht nur kennen, sondern auch anwenden, ist das tatsächlich schon die halbe Miete.



In dem ersten Kapitel der LUMIMAX® Wissensreihe werden Sie alles über die verschiedenen Beleuchtungswinkel und -arten sowie deren Einfluss auf Ihre Bildverarbeitungslösung erfahren.

Einfluss des Beleuchtungswinkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs. Permanent

Fluoreszenz-anwendungen

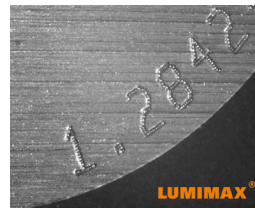
Beleuchtungstechnik zum Lesen und Verifizieren von Codes

Beleuchtungstechnik für Shape-form-Shading

## 1.1 Auflicht – Hellfeld-Beleuchtung

Einfluss des Beleuchtungswinkels

Die Hellfeld-Beleuchtung ist eine Form der Auflichtbeleuchtung. Stellen Sie sich die Objektebene als planen Spiegel vor. Wird die Beleuchtung so ausgerichtet, dass das Licht direkt in die Kamera zurückreflektiert wird, spricht man von einer Hellfeldanordnung.



Partielles Hellfeld



Hellfeldanordnung

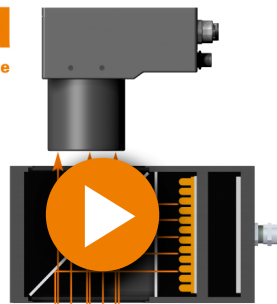
Wellenlängen

Dadurch eignet sich diese Art der Lichtführung besonders für:

- Oberflächenkontrolle
- Darstellung von geprägten, genadelten sowie gelaserten Zeichen und Codes

Optische Filter

**Hellfeld**  
koaxial eingespiegelte Beleuchtung



Video abrufbar unter: <https://www.iimag.de/lumimax/wissen/videos/video-hellfeld-koaxialbeleuchtung.html>

Ein Hellfeld lässt sich beispielsweise mit einer koaxial eingespiegelten Beleuchtung erreichen. Bei dieser Form der Beleuchtung wird eine diffuse, homogene Lichtquelle über einen halbdurchlässigen Spiegel direkt in den Strahlengang der Optik eingebracht. Dadurch wird das Objekt sehr gleichmäßig und schattenfrei ausgeleuchtet. Das senkrecht auftreffende Licht wird von der ebenen Fläche direkt in die Kamera zurückreflektiert. Unebenheiten in der Oberfläche lenken das Licht hingegen ab und erscheinen dunkel.

Diese Beleuchtung ist empfehlenswert zur Ausleuchtung stark reflektierender und spiegelnder Oberflächen.

Blitzen vs. Permanent

Bei jedem Übergang durch den Spiegel gehen allerdings 50% des Lichts verloren. Somit kommt bei der Kamera nur 25% der ausgesendeten Lichtmenge an. Um dennoch ein gut ausgeleuchtetes, kontrastreiches Bild zu erhalten, wird die koaxial eingespiegelte Beleuchtung mit einem geringen Arbeitsabstand verwendet.

Fluoreszenz-anwendungen

Eine alternative Hellfeldanordnung, die auch für größere Arbeitsabstände sowie matte und raue Oberflächen geeignet ist, beruht auf dem in „Kapitel 1 – Der Einfluss des Beleuchtungswinkels“ erläuterten Reflexionsgesetz:

**Einfallswinkel des Lichts  $\alpha$  = Ausfallswinkel des Lichts  $\beta$**

Wird die Beleuchtung in einem bestimmten Winkel zur Objektebene positioniert, muss die Kamera im gleichen Winkel – jedoch in entgegengesetzter Richtung zur Lotgeraden – gekippt werden. So werden die Lichtstrahlen von der ebenen Fläche direkt in die Kamera reflektiert.

Die Lichtstrahlen werden, wie bei der koaxial eingespiegelten Beleuchtung, von Unebenheiten abgelenkt, wodurch diese dunkel auf dem sonst hellen Untergrund abgebildet werden.



Video abrufbar unter: <https://www.iimag.de/lumimax/wissen/videos/video-hellfeld-high-power-spot-beleuchtung.html>

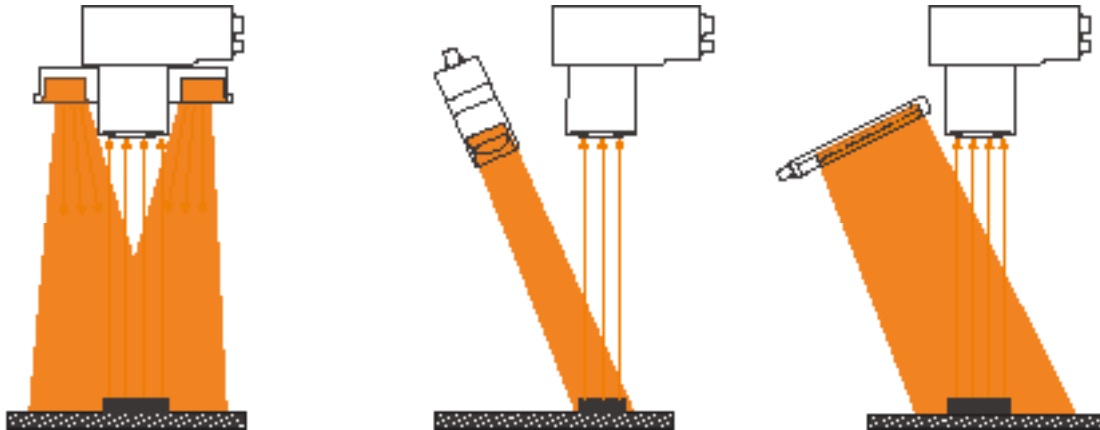
Beleuchtungstechnik für Shape-from-Shading

Beleuchtungstechnik zum Lesen und Verifizieren von Codes



## 1.2 Aufsicht – Partielles Hellfeld

Die partielle Hellfeldanordnung ist die am häufigsten verwendete Beleuchtungstechnik. Im Gegensatz zur in Kapitel 1.1 beschriebenen Hellfeldanordnung, sind bei dieser Beleuchtungstechnik Einfalls- und Ausfallswinkel weniger bedeutsam. Das Licht strahlt aus Richtung der Kamera mithilfe einer Ringbeleuchtung oder leicht schräg mit Spot- und Flächenbeleuchtungen auf das Prüfteil:



Eine Hervorhebung von Oberflächenfehlern, Kanten und Unebenheiten ist nicht Ziel dieser Beleuchtungsart. Vielmehr geht es darum, das komplette Bildfeld möglichst homogen und lichtstark zu beleuchten. Dadurch eignet sich das partielle Hellfeld vor allem für eine gleichmäßige Ausleuchtung von rauen und matten Objekten.

**Typische Aufgabenstellungen für ein partielles Hellfeld sind:**

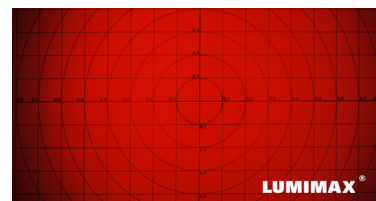
- Bestückungs-, Typ- und Lageerkennung
- Aufdruckkontrolle
- OCR / OCV

Durch eine Vielzahl an Beleuchtungszubehör, wie Diffusorscheiben, Polarisationsfilter und Fresnellinsen, lassen sich die Beleuchtungen an unterschiedlichste Aufgabenstellungen und Umgebungsbedingungen anpassen.

Vor allem für große Arbeitsabstände und stark absorbierende Objekte eignen sich High Power LED Beleuchtungen. Extrem lichtstarke LEDs, kombiniert mit integrierter Controller- und Leistungselektronik, garantieren Lichtstärken von weit über 5 Millionen Lux im Blitzbetrieb und eine ausgezeichnete Beleuchtung von Inspektionsobjekten, auch bei einem Arbeitsabstand von mehreren Metern.



Wechsel eines Lens Arrays der LUMIMAX® Flächenbeleuchtung LQHP80



High Power Beleuchtung **oben** mit 49° Linsen, **unten** mit 10° Linsen (bei einem Arbeitsabstand von 1,5 m)

Durch die Möglichkeit, die Linsen bzw. komplette Lens Arrays vor den LEDs zu wechseln, können die LUMIMAX® High Power LED Beleuchtungen flexibel an die unterschiedlichsten Anforderungen angepasst werden. So lassen sich durch den Einsatz einer Beleuchtung mit engem Abstrahlwinkel Objekte aus mehreren Metern Entfernung lichtstark beleuchten. Ein breiter Abstrahlwinkel hingegen gewährleistet auch aus kürzeren Entfernungen eine homogene Ausleuchtung sowie die lichtstarke Ausleuchtung großer Objekte.

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-form-  
Shading

## 1.3 Domebeleuchtung

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

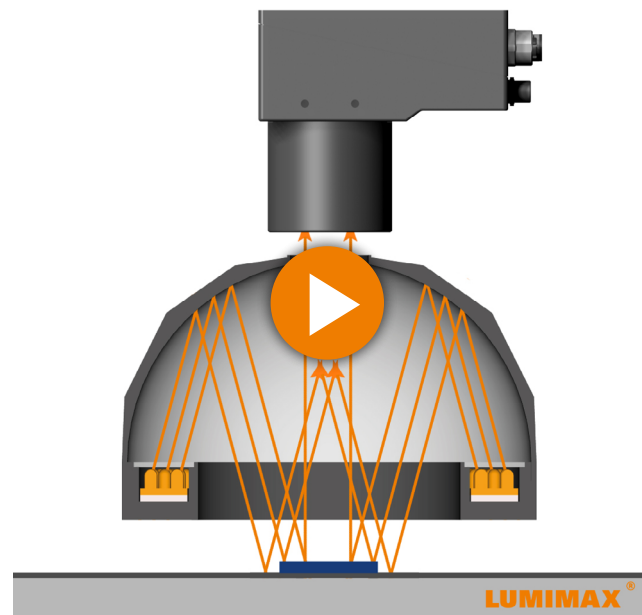
Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

Die schattenfreie Beleuchtung ist eine besondere Form der Aufsichtbeleuchtung, bei der aus allen Richtungen diffuses Licht auf das Prüfobjekt fällt. Dadurch kann eine vollkommen schattenfreie Ausleuchtung erzeugt werden. Um diesen Effekt zu erreichen, wird das Objekt nicht direkt von der Lichtquelle angestrahlt. Das Licht strahlt in einen kuppelförmigen Reflektor und wird von diesem aus allen Richtungen auf das Prüfteil gebracht. Dem domförmigen Reflektor verdankt die Beleuchtung auch den Namen Domebeleuchtung. Dieses Beleuchtungsszenario lässt sich am besten mit einem bewölkten Tag vergleichen. An einem bewölkten, hellen Tag erscheint es zeitweilig so, als würde das Licht aus allen Richtungen kommen. Der Stand der Sonne lässt sich nicht ausmachen. Die Wolken dienen als Diffusor sowie Reflektor und erzeugen eine gleichmäßige Ausleuchtung aus allen Richtungen. So bleibt der gewohnte Schattenwurf aus.

**Die Domebeleuchtung eignet sich vor allem für:**

- Oberflächenkontrolle, auch gewölbter Objekte
- Prüfung diffuser, aber auch stark reflektierender und spiegelnder Oberflächen
- Bestückungs-, Typ- und Lageerkennung
- Aufdruckkontrolle
- Codelesen
- OCR/ OCV



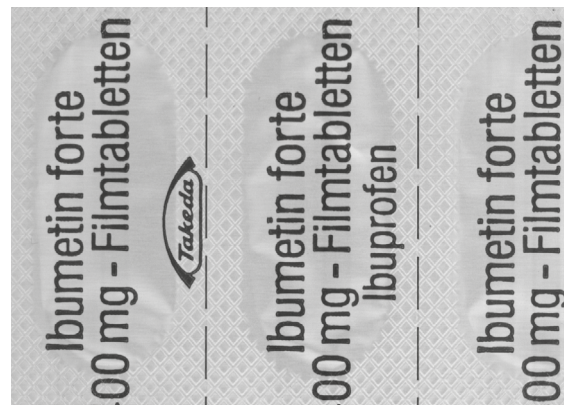
Video abrufbar unter: <https://www.iimag.de/lumimax/wissen/videos/video-dombeleuchtung.html>

Besonders glänzende Oberflächen mit komplexer Struktur lassen sich mit einer schattenfreien Beleuchtung optimal darstellen. So können beispielsweise stark reflektierende Verpackungen mit Knicken und Unebenheiten so homogen beleuchtet werden, dass eine Druckbildkontrolle möglich ist.

Knackpunkt beim Verwenden dieser Beleuchtungsart ist der Arbeitsabstand. Um eine schattenfreie Ausleuchtung zu gewährleisten, muss dieser möglichst gering gehalten werden. Gewölbte und kugelförmige Objekte müssen sogar teilweise in die Beleuchtung eintauchen.



Rückseite eines Tablettenblisters - Aufsicht



Rückseite eines Tablettenblisters - Domebeleuchtung

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-from-  
Shading

## 1.4 Dunkelfeldbeleuchtung



links: diffuses Auflicht

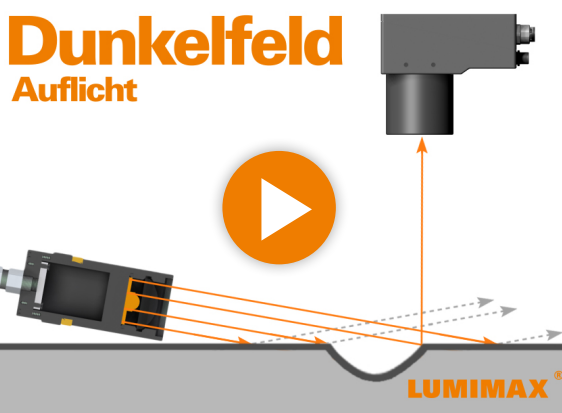


rechts: Dunkelfeld

Im Gegensatz zur Hellfeldbeleuchtung wird eine Dunkelfeldbeleuchtung so positioniert, dass das an der Prüfobjektoberfläche zurückgeworfene Licht von der Kamera wegreflektiert wird. Aus diesem Grund erscheint das Objekt im Bild dunkel. Trifft das Licht jedoch auf eine Unebenheit, werden die Lichtstrahlen an dieser Kante abgelenkt. Dadurch erscheinen Defekte, Konturen oder Kanten als helle Merkmale auf dunklem Untergrund.

Die Dunkelfeldbeleuchtung ist somit besonders gut geeignet für:

- Oberflächenkontrolle, auch bei stark reflektierenden Objekten
- Kontrolle von genadelten oder gelaserten Codes
- Kontrolle von Gravuren, Prägungen, Schlagzahlen und erhabenen Strukturen
- Kanteninspektion



Video abrufbar unter: <https://www.iimag.de/lumimax/wissen/videos/video-dunkelfeld-auflicht.html>

Um ein Dunkelfeld zu realisieren, können spezielle Ringbeleuchtungen genutzt werden. Diese arbeiten mit einem flach einstrahlenden, radialen Licht. Eine weitere Variante ist, das Dunkelfeld mithilfe von flach angestellten Spot- oder Balkenbeleuchtungen nachzubilden.

Welche Variante benutzt wird, ist zum einen abhängig vom Prüfobjekt selbst, aber auch von den Einbaubedingungen vor Ort. Da die Dunkelfeldbeleuchtung aufgrund des flach einstrahlenden Lichts mit einem sehr kleinen Arbeitsabstand arbeitet, ist es nicht immer möglich, eine geschlossene Ringbeleuchtung zu verwenden. In diesen Fällen wird häufig auf eine Kombination von Balkenbeleuchtungen zurückgegriffen.



LUMIMAX® Balkenbeleuchtungen der LSB-Serie im Montagerahmen

Die LUMIMAX® Miniaturbalkenbeleuchtungen der LSB-Serie sind für diesen Anwendungsfall prädestiniert. Durch eine besondere Linse vor den LEDs, die genau auf die Bedürfnisse eines Dunkelfelds abgestimmt ist, kann ein homogener und trotzdem gerichteter Lichtbalken erzielt werden. Eine weitere Besonderheit ist die innovative Montagelösung, mit der ein bis vier Balkenbeleuchtungen im Quadrat aufgenommen werden. Der Winkel der Balkenbeleuchtungen gegenüber der Objektebene kann in 7,5° Schritten von 0° – 90° verändert werden. Die Einrastpositionen gewährleisten eine exakte und reproduzierbare Einstellung. So kann die Beleuchtung flexibel auf verschiedenste Anforderungen angepasst werden.

Einfluss des Beleuchtungswinkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs. Permanent

Fluoreszenz-anwendungen

Beleuchtungstechnik zum Lesen und Verifizieren von Codes

Beleuchtungstechnik für Shape-form-Shading

## 1.4 Dunkelfeldbeleuchtung

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

In speziellen Fällen wird die Beleuchtung auch als Dunkelfeld hinter dem Objekt platziert. Diese Technik findet Anwendung, um Defekte in semitransparenten oder transparenten Prüfteilen hervorzuheben. Ähnlich wie bei der Dunkelfeldbeleuchtung im Auflicht wird das Licht im Normalfall von der Kamera wegreflektiert. Trifft es auf einen Kratzer oder eine Kante, wird der Strahl in die Kamera umgelenkt.

In der Praxis kommt die Dunkelfeldbeleuchtung als Durchlicht jedoch eher selten zum Einsatz.

Wellenlängen



Kratzer auf Plexiglas -  
diffuses Durchlicht

Kratzer auf Plexiglas -  
Dunkelfeld-Durchlicht

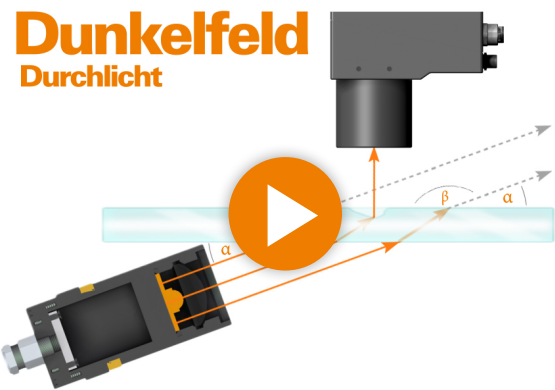
Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-from-  
Shading



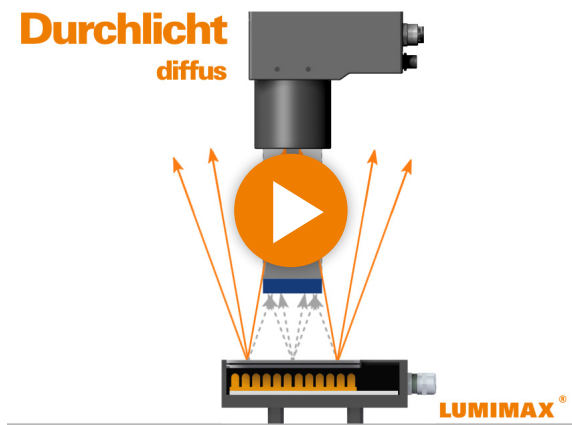
**LUMIMAX**<sup>®</sup>



Video abrufbar unter: <https://www.iimag.de/lumimax/wissen/videos/video-dunkelfeld-durchlicht.html>

## 1.5 Diffuses Durchlicht

Bei dieser Beleuchtungsform wird eine diffuse Beleuchtung hinter dem Objekt platziert. Dadurch wird im Gegensatz zur Aufsichtbeleuchtung nicht das Objekt selbst, sondern seine Kontur beleuchtet. Es entsteht ein sogenanntes Schattenbild. In dem erzeugten Schattenbild lassen sich die äußeren Umrisse sowie freie Innenkonturen des Objekts deutlich erkennen. Das Objekt erscheint als schwarze Fläche vor einem weißen Hintergrund. Der dadurch erzielte hohe Kontrast erleichtert die anschließende Bildauswertung enorm.

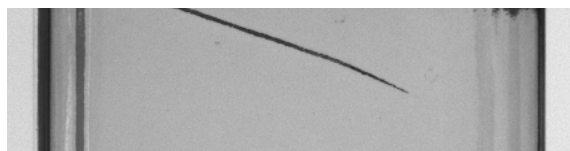


Video abrufbar unter: <https://www.iimag.de/lumimax/wissen/videos/video-diffuses-durchlicht.html>

Die diffuse Durchlichtbeleuchtung findet dadurch vor allem Anwendung bei Applikationen zur

- Konturprüfung,
- Anwesenheitsprüfung,
- Bohrlochkontrolle,
- Lage- und Drehlagekontrolle sowie
- Restschmutzanalyse.

Aber auch zur Abbildung transparenter und semitransparenter Objekte eignet sich eine diffuse Durchlichtbeleuchtung. So kann beispielweise beim Befüllen von Flaschen und Gläsern der Füllstand überprüft werden. Dies funktioniert selbst bei durchsichtigen Flüssigkeiten, wie Wasser, mit langwelligem Licht. Eine weitere Aufgabenstellung für diffuse Durchlichtbeleuchtungen ist die kontrastreiche Darstellung von Defekten oder Merkmalen in durchscheinendem Glas oder Kunststoff.



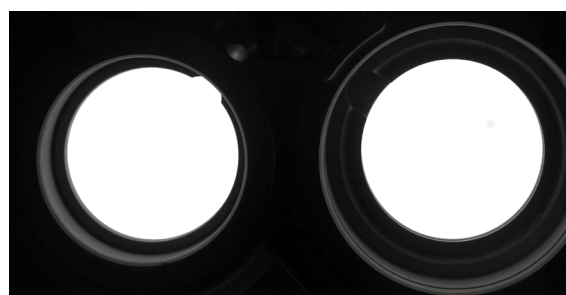
Drehlageerkennung einer Glasflasche im Durchlicht anhand einer Kante im Glas

Sowohl Kratzer im Glas, als auch Merkmale wie Prägungen oder Schriffe, lassen sich durch die Hintergrundbeleuchtung deutlich darstellen. Mithilfe von Polarisationsfiltern können die Anwendungsgebiete bis hin zu einer Spannungsprüfung im Glas erweitert werden.

Für diffuse Durchlichtanwendungen empfiehlt sich die Verwendung von diffusen, homogenen Flächenbeleuchtungen. Da die Leuchtfeldgröße bei den meisten Aufgabenstellungen an die Objektgröße angepasst werden muss, kommen oftmals große Flächenbeleuchtungen zum Einsatz. Neue Technologien, wie die seitliche Einkopplung von LEDs in einen Lichtleiter, ermöglichen homogene und lichtstarke Beleuchtungen mit einer Seitenlänge von 1 m und mehr. Diese Technologie wird bei LUMIMAX® Beleuchtungen der LG-Serie eingesetzt.



Stanzteil im Durchlicht



Bohrlochkontrolle

Einfluss des Beleuchtungswinkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs. Permanent

Fluoreszenz-anwendungen

Beleuchtungstechnik zum Lesen und Verifizieren von Codes

Beleuchtungstechnik für Shape-form-Shading

## 1.6 Kollimiertes & Telezentrisches Durchlicht

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

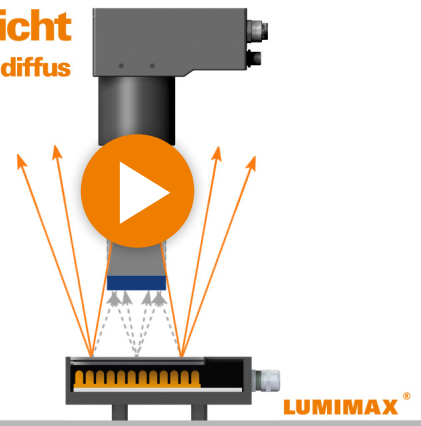
Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-from-  
Shading

Die in Kapitel 1.5 vorgestellte diffuse Durchlichtbeleuchtung erzeugt gemäß dem Prinzip des Lambert-Strahlers\* eine konstante Strahlungsdichte über das räumlich ausgedehnte Leuchtfeld. Das Licht hat keine bevorzugte Ausbreitungsrichtung und streut in alle Richtungen gleichmäßig homogen ab. Was bei vielen Anwendungen gefordert ist, kann beispielsweise bei genauen Messaufgaben zum Problem werden.

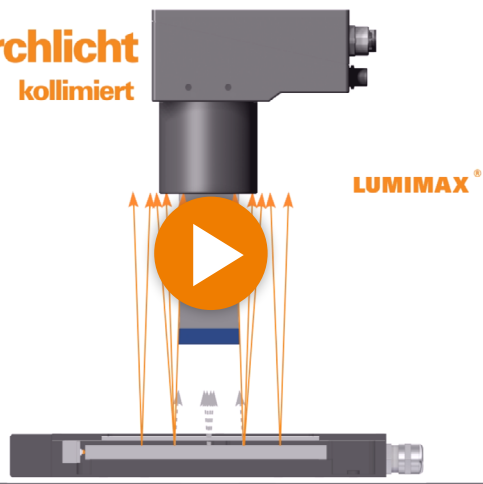
Die richtungsunabhängige Lichtführung erzeugt gerade bei räumlich tief ausgedehnten Objekten sowie bei runden Außenkanten einen Halbschatten. Dadurch entsteht kein binärer Übergang von weiß zu schwarz im Bild, sondern ein Grauverlauf über mehrere Pixel. Die Bestimmung des genauen Kantenorts wird dadurch erschwert.

**Durchlicht**  
diffus



Video abrufbar unter: <https://www.iimag.de/lumimax/wissen/videos/video-diffuses-durchlicht.html>

**Durchlicht**  
kollimiert

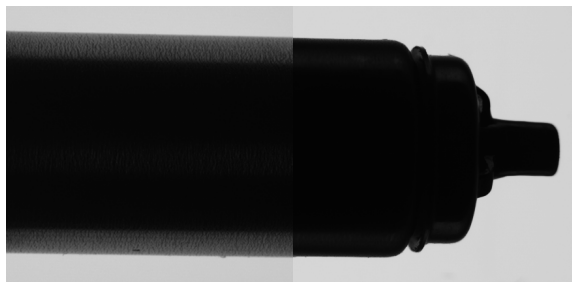


Video abrufbar unter: <https://www.iimag.de/lumimax/wissen/videos/video-kollimiertes-durchlicht.html>

Um dieses Problem zu lösen, kann man mit einer gerichteten homogenen Durchlichtbeleuchtung arbeiten. Bei dieser Art der Beleuchtung wird der Abstrahlwinkel des Lichtes über spezielle optische Folien reduziert. Dadurch wird nahezu eine Kollimation erreicht. Der mit dieser Hintergrundbeleuchtung erzielte Effekt ist ähnlich der einer telezentrischen Beleuchtung. Die Lichtstrahlen der Beleuchtung sind wesentlich gerichtet und erzielen eine genauere Abbildung von Objektkanten. Die Antastung einer Kante ist folglich exakter als im diffusen Durchlicht. Besonders bei tiefen Objekten und solchen mit gewölbten Kanten kann die Bestimmung des genauen Kantenorts damit optimiert und die Genauigkeit des Bildverarbeitungssystems erhöht werden.

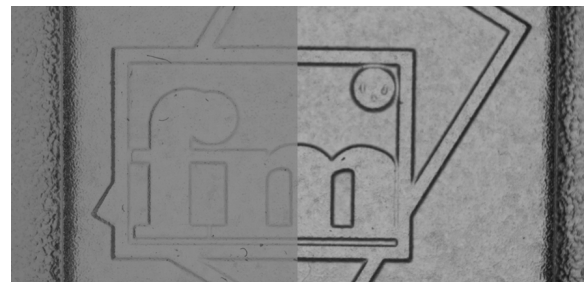
Auch bei der Arbeit mit transparenten und semi-transparenten Prüfteilen hat die kollimierte Durchlichtbeleuchtung Vorteile. Die gerichteten Lichtstrahlen werden direkter an Kanten und Unregelmäßigkeiten

gebrochen. Dadurch erscheinen diese als deutliche dunkle Bereiche auf einem hellen Hintergrund. Die Erkennung von Kratzern, Einschlüssen, Prägungen und Gravuren in Glas oder Kunststoff wird dadurch erleichtert.



Metallzylinder -  
diffuses Durchlicht

kollimiertes Durchlicht



Transparenter Kunststoff mit Prägung -  
diffuses Durchlicht

kollimiertes Durchlicht

\* Eine genaue Begriffsdefinition finden Sie in unserem Glossar auf der letzten Seite dieser Wissenreihe.

## 1.6 Kollimiertes & Telezentrisches Durchlicht

Dieser Effekt kann mittels Einsatz einer telezentrischen Durchlichtbeleuchtung gesteigert werden. Durch die Verwendung eines optischen Systems vor einer divergenten Strahlenquelle wird eine kollimierte Lichtführung erzeugt. Die Lichtstrahlen dieser telezentrischen Beleuchtung sind parallel zueinander.

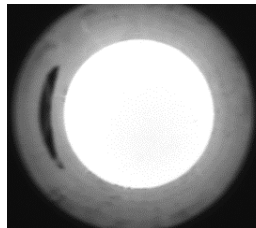
### Telezentrisches Durchlicht



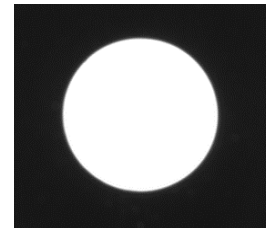
Video abrufbar unter:  
<https://www.iimag.de/lumimax/wissen/videos/video-telezentrisches-durchlicht.html>

**LUMIMAX<sup>®</sup>**

Mittels telezentrischem Objektiv wird genau dieses parallele Licht, welches lotrecht zur Ebene des Bildaufnehmers verläuft, aufgenommen und an die Kamera weitergegeben. Man erhält ein helles Bild. Befindet sich ein Objekt zwischen Beleuchtung und Optik, erscheint dieses als vollkommen dunkler Körper im Bild. Der Kantenübergang ist klar und erstreckt sich über wenige Pixel von Weiß nach Schwarz. Dies macht eine Antastung der Kante einfach und sehr genau.



Tiefe Bohrung -  
diffuses Durchlicht



telezentrisches Durchlicht

Wie bei der gerichteten homogenen Durchlichtbeleuchtung können die Umriss transparenter Objekte mithilfe von einer telezentrischen Beleuchtung scharf abgebildet werden. Das parallele Strahlenbündel passiert dabei nur die lotrechten Ebenen an einem Körper. Diese erscheinen hell im Bild, alle anderen Bereiche dunkel. Dadurch ist der Umriss des Objekts im Bild dunkel. Ähnlich verhält es sich mit Unregelmäßigkeiten wie Kratzern oder Einschlüssen in durchsichtigen Prüfteilen.



Transparente Stiftmine -  
diffuses Durchlicht



telezentrisches Durchlicht

Durch eine telezentrische Beleuchtung erhöhen sich außerdem die Schärfentiefe und der Telezentriebereich eines telezentrischen Objektivs deutlich.

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-form-  
Shading

Kapitel 1 - Der Einfluss des Beleuchtungswinkels

**Kapitel 2 - Wellenlängen**

Kapitel 3 - Optische Filter

Kapitel 4 - Blitzen vs. Permanent

Kapitel 5 - Fluoreszenzanwendungen

Kapitel 6 - Beleuchtungstechnik zum  
normgerechten Lesen und Verifizieren von Codes

Kapitel 7 - Beleuchtungstechnik für Shape-from-Shading

## 2. Wellenlängen

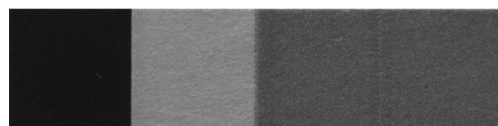
Neben der Lichtgeometrie und dem Beleuchtungswinkel spielt die Wellenlänge eine entscheidende Rolle bei der Auswahl der richtigen Beleuchtung. Doch oft wird dieser Punkt vernachlässigt. Dabei kann genau dieser Faktor bei der Lösung Ihrer Applikation entscheidend sein.

Die Farbe des Lichts ist keineswegs ausschließlich bei der Arbeit mit Farbkameras bedeutend. Insbesondere bei monochromen Aufnahmen farbiger Objekte können überraschende Effekte erzielt werden.

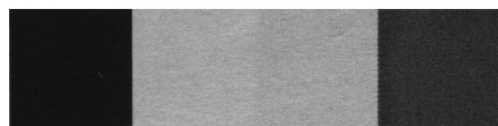
Darüber hinaus wirkt sich die Wellenlänge auch auf das Auflösungsvermögen aus. So kann man mit kurzwelligem Licht kleinste Strukturen sichtbar machen, mit langwelligem Licht hingegen störende Muster ausblenden.



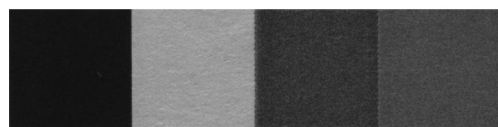
1. Farbbalken



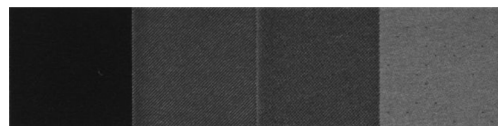
2. Weiße Beleuchtung



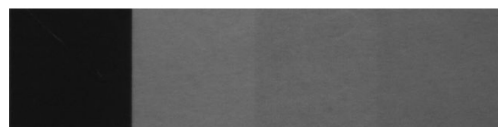
3. Rote Beleuchtung



4. Grüne Beleuchtung

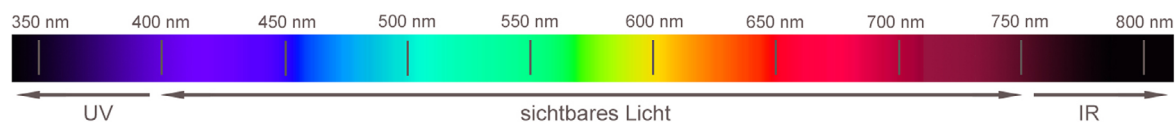


5. Blaue Beleuchtung



6. IR-Beleuchtung

Farbbalken beleuchtet mit verschiedenen Wellenlängen



Um zu zeigen, wie mit ein paar kleinen Tricks und der richtigen Lichtfarbe Applikationslösungen optimiert werden können, beschäftigt sich dieses Kapitel der LUMIMAX<sup>®</sup> Wissensreihe mit dem Thema Wellenlängen.

Einfluss des Beleuchtungswinkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs. Permanent

Fluoreszenz-anwendungen

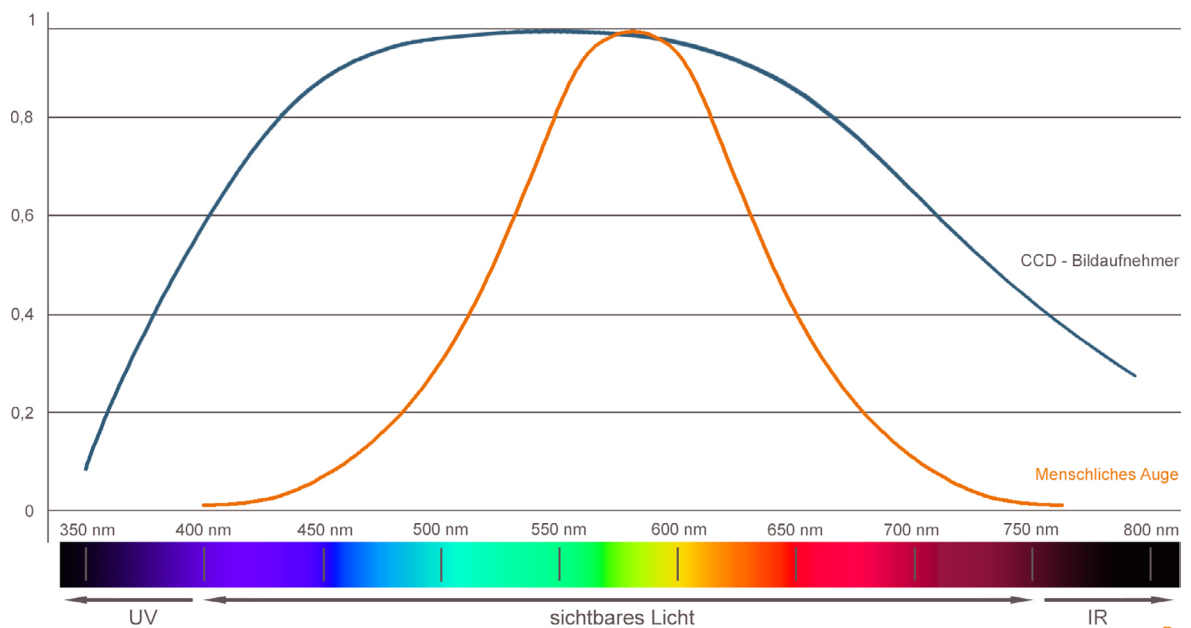
Beleuchtungstechnik zum Lesen und Verifizieren von Codes

Beleuchtungstechnik für Shape-form-Shading

## 2.1 Spektrale Empfindlichkeit

In der nachfolgenden Grafik ist die Empfindlichkeitskurve des menschlichen Auges – auch V-Lambda-Kurve genannt – sowie die spektrale Empfindlichkeit eines CCD-Sensors dargestellt. Das menschliche Auge nimmt Strahlung von etwa 400 bis 700 nm als Licht wahr. Bei circa 555 nm ist das Auge am empfindlichsten. In dem mittleren Bereich der V-Lambda-Kurve ist somit weniger Strahlungsintensität notwendig als in den Randbereichen, um dieselbe Helligkeit zu empfinden. Der Kamerasensor nimmt ein wesentlich breiteres Spektrum der elektromagnetischen Strahlung auf. Deshalb ist er auch noch im – für den Menschen unsichtbaren – ultravioletten und infraroten Wellenlängenbereich empfindlich.

### Relative spektrale Empfindlichkeit



**LUMIMAX**<sup>®</sup>

Die Kenntnis dieses Unterschieds ist wesentlich zur Auslegung der geeigneten Beleuchtung für eine Bildverarbeitungsaufgabe. Oftmals wird die Helligkeit einer Beleuchtung als Beleuchtungsstärke in Lux angegeben. Die Beleuchtungsstärke beschreibt den Lichtstrom (Lumen pro Quadratmeter), der von einer Beleuchtung auf eine Fläche auftrifft. Die Beleuchtungsstärke entspricht einem Lux, wenn ein Quadratmeter Fläche mit einem Lichtstrom von einem Lumen ausgeleuchtet wird. Man kann demzufolge 1 Lumen / Quadratmeter in 1 Lux umrechnen. Doch Achtung: Beim Messen der Beleuchtungsstärke, wird die V-Lambda-Kurve als Wichtung angenommen. Somit hat grünes Licht einen höheren Lux-Wert als blaues oder rotes bei gleicher Lichtenergie. Es handelt sich bei der Beleuchtungsstärke demnach um eine visuelle, photometrische Messgröße. Was für Raumbeleuchtungen, die wir nur mit dem Auge wahrnehmen, Sinn macht, führt in der Bildverarbeitung schnell zu Trugschlüssen. Da die Spektralempfindlichkeit der Kamera nicht mit der des Auges übereinstimmt, ist diese Größe für den Bereich der industriellen Bildverarbeitung wenig aussagefähig.

Fundierter ist die objektive, energetische Messgröße der Bestrahlungsstärke. Sie beschreibt die gesamte elektromagnetische Energie oder optische Strahlungsenergie, die auf die beleuchtete Fläche trifft. Die Angabe erfolgt in Watt pro Quadratmeter. Bei dieser Betrachtungsweise wird die Empfindlichkeit des Auges komplett außer Acht gelassen. Dadurch ist die Bestrahlungsstärke ein wesentlich zuverlässigeres Kriterium, um Beleuchtungen für eine Bildverarbeitungsaufgabe hinsichtlich der Helligkeit zu bewerten.

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

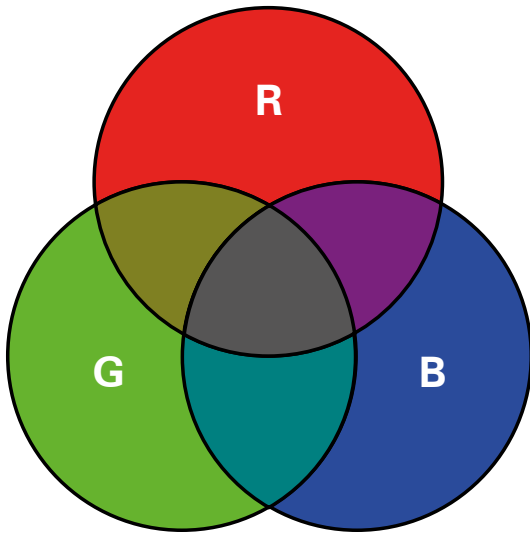
Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

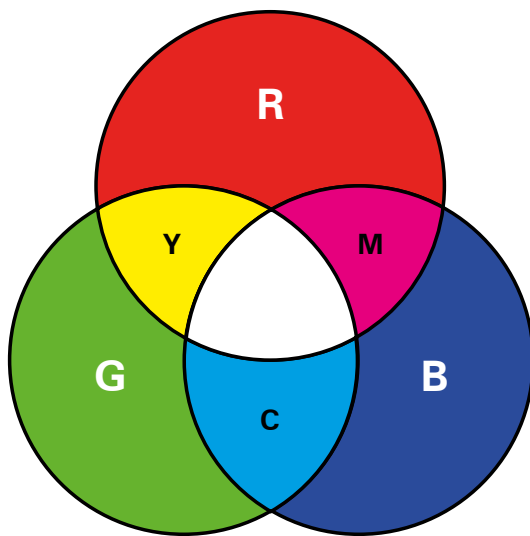
Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-from-  
Shading

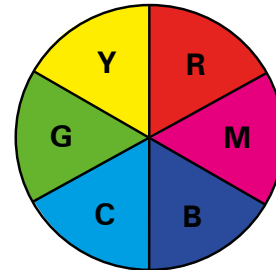
## 2.2 Kleine Farblehre



Subtraktive Farbmischung



Additive Farbmischung



Farbrad

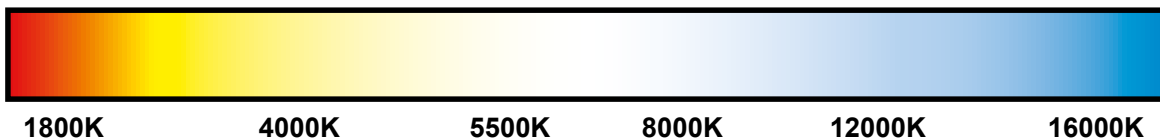
Um ein Verständnis dafür zu entwickeln, wie Licht und Farbe zusammenspielen, ist es notwendig, zunächst einige Grundlagen zu verstehen.

Ein erster wichtiger Punkt ist die Mischung von Farben. Die Grundfarben sind stets Rot, Grün und Blau. Jeder kennt es aus der Kindheit. Umso mehr Farben gemischt werden, desto dunkler erscheinen die daraus resultierenden Mischfarben.

Werden alle drei Grundfarben zu gleichen Anteilen gemixt, erhält man Schwarz. Diese Art der Farbmischung nennt man subtraktiv. Sie lässt sich auf alle Verfahren übertragen, bei denen Farbpigmente vermischt werden.

Arbeiten wir mit Licht, sprechen wir von der additiven Farbmischung. Mixt man rotes, grünes und blaues Licht zu gleichen Teilen, erhält man weißes Licht. Rotes und grünes Licht zu gleichen Teilen ohne Anteile von blauem Licht hingegen ergeben Gelb, Rot und Blau Magenta sowie Blau und Grün Cyan. Dieses Wissen ist notwendig, um zu verstehen, wie farbige Körper mit farbigem Licht agieren. Dazu erfahren Sie mehr in Kapitel 2.3.

Weißes Licht setzt sich demzufolge aus den drei Wellenlängen Rot, Grün und Blau zusammen. Deshalb liegt es nahe, dass weißes Licht nicht mit einer Wellenlängenangabe versehen werden kann. Vielmehr wird zum Klassifizieren von weißem Licht die Farbtemperatur genutzt. Diese wird in Kelvin angegeben und entspricht der Temperatur eines schwarzen Körpers, dem Planckschen Strahler\*. Der schwarze Körper absorbiert jegliche elektromagnetische Strahlung. Wird dieser jedoch erhitzt, beginnt er zu glühen und leuchtet somit im sichtbaren Spektrum. Die Temperatur, bei der dies geschieht, ist die Farbtemperatur.



Farbtemperatur in Kelvin

Einfluss des Beleuchtungswinkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs. Permanent

Fluoreszenz-anwendungen

Beleuchtungstechnik zum Lesen und Verifizieren von Codes

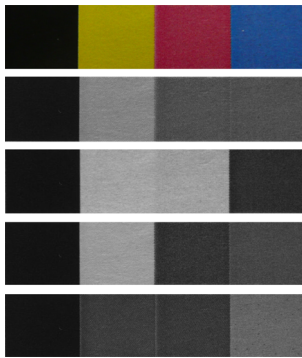
Beleuchtungstechnik für Shape-form-Shading

\* Eine genaue Begriffsdefinition finden Sie in unserem Glossar auf der letzten Seite dieser Wissensreihe.

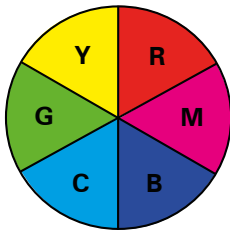
## 2.3 Licht und Farbe

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen



Farbbalken beleuchtet mit  
verschiedenen Wellenlängen



Farbrad

Betrachtet man nun noch einmal das Farbrad, lässt sich dieser Effekt leicht auf andere Farben und Wellenlängen übertragen. Wird ein gelbes Objekt mit einer blauen Beleuchtung angestrahlt, wirkt es schwarz. Mit Rot oder Grün beleuchtet, reflektieren die roten oder grünen Farbanteile das Licht. Das Objekt erscheint hell. Wichtig ist dabei zu beachten, dass weiße Körper alle Wellenlängen reflektieren und schwarze das Licht am stärksten absorbieren. Diese Körper reagieren also im Regelfall unabhängig von der Lichtfarbe.

Besonderheiten gibt es im nicht sichtbaren Spektrum, also für infrarotes und ultraviolettes Licht. Diese werden in den Kapiteln 2.4 und 2.5 näher erläutert.

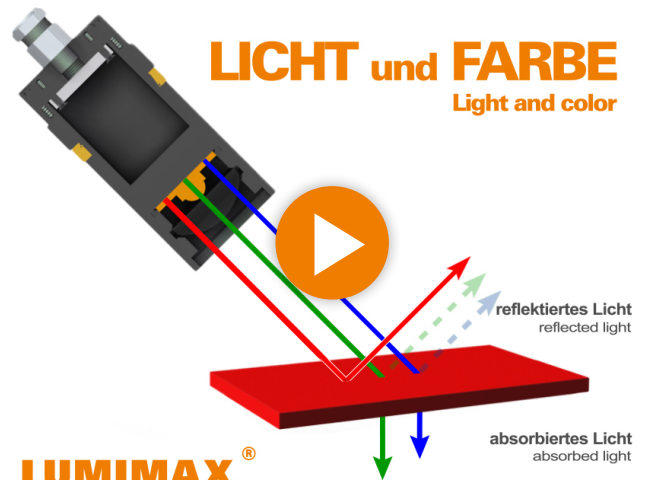
Die Anwendungsgebiete für farbige Beleuchtungen sind vielfältig. Sie werden zum Beispiel in der Verpackungsindustrie zur Aufdruckkontrolle, in der Montage von farbigen Kunststoffteilen oder bei Pick&Place-Aufgaben mit farbigen Objekten oder Untergründen eingesetzt.

In den Kapiteln 2.1 und 2.2 haben wir Ihnen einige Grundlagen zum Thema Licht, Wellenlänge und Farbe dargestellt. In diesem Kapitel wollen wir dieses Wissen verknüpfen und einen Bezug zur Bildverarbeitung herstellen. Die Auswahl der richtigen Wellenlänge ist vor allem bei Bildverarbeitungsaufgaben mit farbigen Objekten und Untergründen ein wichtiger Aspekt. Insbesondere in Kombination mit monochromen Kameras können mithilfe der richtigen Lichtfarbe Effekte erzielt werden, die die Lösung vieler Machine Vision Applikationen entscheidend verbessern.

Es wird der Kontrast im Prüfbild wesentlich erhöht, ohne zusätzliche optische oder Software-Filter zu nutzen. Dies vereinfacht die Bildverarbeitungsaufgabe maßgeblich.

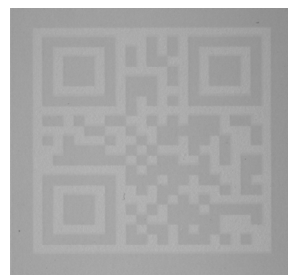
Das Prinzip dabei ist denkbar einfach: Ein Objekt reflektiert bestimmte Wellenlängen und erscheint dadurch für unser Auge farbig. Ein Gegenstand, den wir als rot wahrnehmen, reflektiert also den roten Anteil des Lichts. Andere Wellenlängen hingegen werden absorbiert.

Das bedeutet im Umkehrschluss: Beleuchtet man ein rotes Prüfteil mit rotem Licht erscheint es hell im Bild. Beleuchtet man es hingegen mit einer Wellenlänge, die keinen Rotanteil besitzt, wird das Licht absorbiert, das Objekt erscheint dunkel.



**LUMIMAX**<sup>®</sup>

Video abrufbar unter: <https://www.iimag.de/lumimax/wissen/videos/video-licht-und-farbe.html>



Weißer QR-Code auf rotem Hintergrund unter **rotem** Licht



Weißer QR-Code auf rotem Hintergrund unter **blauem** Licht

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-from-  
Shading

## 2.4 Licht und Farbe – Infrarot

In Kapitel 2.3 haben wir die Wechselwirkung verschiedener Wellenlängen und farbiger Objekte dargestellt. Bei der Arbeit mit Strahlung außerhalb des sichtbaren Spektrums kommt es jedoch zu besonderen Effekten. Vor allem im langwelligeren Infrarotbereich reagieren farbige und bedruckte Materialien anders als im sichtbaren Spektrum.

Die Reflexion und Absorption von infraroter Strahlung ist weniger abhängig von der Materialfarbe, als von den Material- und Oberflächeneigenschaften. So reflektiert und absorbiert ein und dasselbe Material unabhängig von der Einfärbung gleich stark. Wird beispielsweise eine bedruckte Oberfläche beleuchtet, kann der Aufdruck auf der Oberfläche für die Kamera fast gänzlich ausgeblendet werden. Alle Farben reflektieren die Strahlung gleichmäßig. Ähnlich ist es bei verschiedenen eingefärbten Kunststoffen, Etiketten und sogar bei vielen Verfahren des Thermotransferdrucks.

Eine Ausnahme davon bilden schwarze und weiße Bereiche. Hier gilt weiterhin die Grundregel: Schwarz absorbiert alle Wellenlängen am stärksten, während Weiß alle Wellenlängen reflektiert. Dadurch erscheinen schwarze und weiße Objekte weiterhin schwarz und weiß im Bild. Infrarotbeleuchtungen können also im Zusammenspiel mit farbigen Objekten dazu eingesetzt werden, gezielt Bereiche auszublenden.

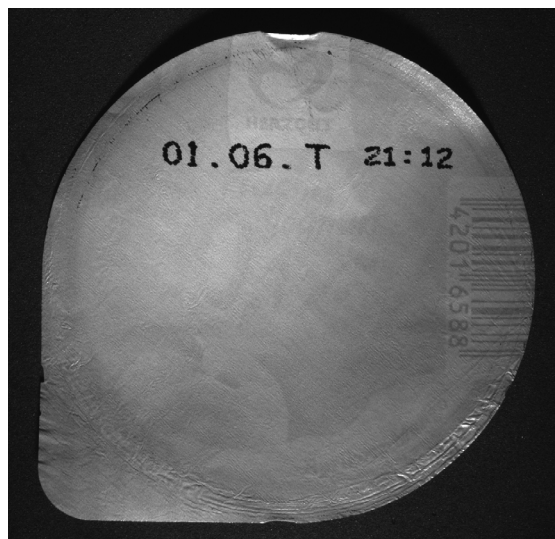
### Ein Beispiel aus der Praxis:

Besonders bei der Verpackung von Lebensmitteln wird hoher Wert auf eine ansprechende Gestaltung gelegt, um dadurch den Kunden zum Kauf anzuregen. Der Druck ist deshalb meist flächenfüllend und vielfarbig. Soll darauf ein bestimmtes Merkmal, wie ein Mindesthaltbarkeitsdatum oder ein Barcode erkannt werden, steigt die Schwierigkeit für die Bildverarbeitung. An dieser Stelle kommt die Infrarotbeleuchtung ins Spiel. Gerade wichtige Kennzeichen wie das Mindesthaltbarkeitsdatum werden oftmals in Schwarz gedruckt oder geprägt. Wird sich dann die Wirkung von infraroter Strahlung auf Farbe zunutze gemacht, kann man einen unruhigen Hintergrund „ausblenden“. Der Aufdruck tritt deutlich in den Vordergrund und kann problemlos ausgewertet werden.

Doch nicht nur im Zusammenspiel mit farbigen Prüfobjekten spielt die langwellige Infrarotstrahlung eine wichtige Rolle. Infrarotbeleuchtungen können auch dazu genutzt werden, bestimmte Materialien zu durchleuchten. Dieses Verfahren kommt zum Beispiel bei der Durchlichtkontrolle auf Transportbändern zum Einsatz. Ebenso zum Fremddichtausschluss in Verbindung mit speziellen Filtern kann Infrarotstrahlung verwendet werden. Diese Möglichkeit werden wir in Kapitel 3 näher erläutern.



Aluminiumdeckel für Joghurtbecher unter weißem Licht



Aluminiumdeckel für Joghurtbecher unter infraroter Strahlung

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

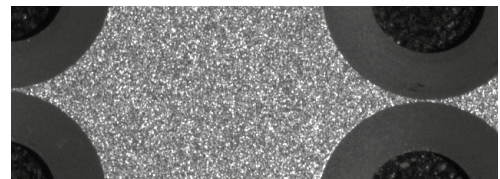
Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-form-  
Shading

## 2.5 Auflösungsvermögen

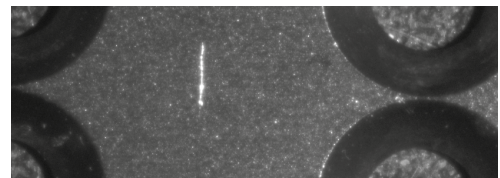
Die vorhergehenden Artikel beschäftigten sich mit der Wechselwirkung von Licht mit farbigen Objekten. Doch die Entscheidung über die geeignete Wellenlänge ist nicht nur im Zusammenspiel mit kolorierten Prüfteilen interessant. Sowohl im Auflicht als auch im Durchlicht spielt die Auswahl der richtigen Wellenlänge eine entscheidende Rolle.

### Auflicht

Bei der Kontrolle von Oberflächen auf Merkmale, Beschädigungen und Verunreinigungen, wie zum Beispiel Prägungen, Kratzer oder Staub, empfiehlt sich der Einsatz von kurzwelligem Licht. Dieses wird stärker reflektiert als langwellige Strahlung. Dadurch werden selbst kleine Unregelmäßigkeiten deutlich sichtbar. Im langwelligen Licht hingegen, welches tiefer in die Materialschichten eindringt, sind diese kleinen Oberflächendefekte kaum sichtbar. Der Kontrastunterschied ist minimal, wodurch eine Auswertung mittels Bildverarbeitungssystem nicht realisierbar ist. Ein Teil des langwelligen Lichts wird direkt an der Oberfläche reflektiert. Den anderen Teil transmittiert die Objektoberfläche und dieser wird erst von tieferliegenden Materialschichten zurückgestrahlt. Die Reflexion ist diffuser im Vergleich zu kurzwelligem Licht, welches direkt an der Oberfläche reflektiert wird. Objektkanten werden dadurch im Prüfbild vergleichsweise unscharf abgebildet. Die Effekte verstärken sich, umso langwelliger bzw. kurzwelliger die verwendete Strahlung ist. Aus diesem Grund kommt besonders blaues oder ultraviolettes Licht bei der Oberflächeninspektion zum Einsatz.



Kratzer auf eloxiertem Metallteil unter IR-Strahlung

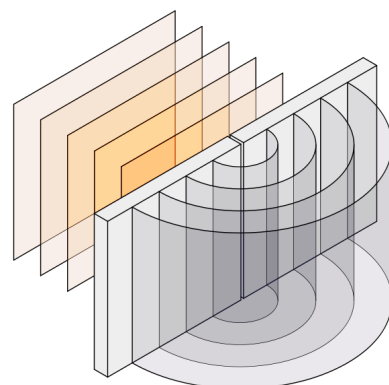


Kratzer auf eloxiertem Metallteil unter UV-Strahlung

**LUMIMAX**<sup>®</sup>



Video abrufbar unter: <https://www.iimag.de/lumimax/wissen/videos/video-aufloesungsvermoegen.html>



Beugung von Wellen an einem Spalt  
Quelle: de.wikipedia.org

### Durchlicht

Auch im Durchlicht ist die Wirkung verschiedener Wellenlängen nicht zu vernachlässigen. Hier steht vor allem die Lichtbeugung im Vordergrund. Einfach ausgedrückt ist der Effekt der Beugung die Ausbreitung des Lichts hinter einer Kante. Trifft das Licht in Form einer Welle auf ein Objekt, wird es abgelenkt. Hinter der Objektkante breiten sich die Lichtwellen in alle Richtungen gleichmäßig aus und überlagern einander. Kurzwelliges Licht wird dabei weniger stark gebeugt als langwelliges. Dies ist insbesondere bei der Darstellung von Objekten und deren Kanten und der Vermessung im Durchlicht von Bedeutung.

Verwendet man also ein kurzwelliges Licht, werden die Objektkanten scharf und kontrastreicher dargestellt, da sich das Licht weniger stark um das Objekt ausbreitet. Das minimiert die Kantenverwaschung im Bild und erhöht die Messgenauigkeit der Bildverarbeitungslösung.

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-from-  
Shading



Kapitel 1 - Der Einfluss des Beleuchtungswinkels

Kapitel 2 - Wellenlängen

**Kapitel 3 - Optische Filter**

Kapitel 4 - Blitzen vs. Permanent

Kapitel 5 - Fluoreszenzanwendungen

Kapitel 6 - Beleuchtungstechnik zum  
normgerechten Lesen und Verifizieren von Codes

Kapitel 7 - Beleuchtungstechnik für Shape-from-Shading

## 3. Optische Filter

In den Kapiteln 1 und 2 wurden die Grundlagen zur Auswahl der optimalen Beleuchtung dargestellt. Mithilfe von optischen Filtern können Sie das Ergebnis weiter optimieren.

Ein optischer Filter dient dazu, das Licht nach gewissen Kriterien zu beeinflussen. Je nachdem, welcher Filtertyp genutzt wird, wird Licht hindurchgelassen oder gesperrt.

Es gibt verschiedene optische Filter, die unter anderem verwendet werden, um

- den Kontrast im Bild zu erhöhen,
- Fremdlicht zu unterdrücken,
- Störeinflüsse wie Reflexionen und Spiegelungen zu minimieren und
- Farben zu trennen.

In unserer Wissensreihe wollen wir Ihnen drei häufig eingesetzte Filter vorstellen:

### ■ Kapitel 3.1 – Bandpassfilter

Bandpassfilter, auch Interferenzfilter genannt, separieren bestimmte Wellenlängen. Die gewünschte Wellenlänge passiert den Filter. Das übrige Licht wird wiederum reflektiert und gelangt dadurch nicht auf den Bildaufnehmer. Diese Filter werden zum Beispiel zur Fremdlichtunterdrückung oder für Fluoreszenzanwendungen eingesetzt.

### ■ Kapitel 3.2 – Polarisationsfilter

Filter können nicht nur zur Selektion von Wellenlängen verwendet werden, sondern auch um Licht nur in einem bestimmten Polarisationszustand passieren zu lassen. Dadurch können störende Reflexe und Spiegelungen minimiert werden.

### ■ Kapitel 3.3 – weitere Filter

Neben dem Bandpass- und dem Polarisationsfilter gibt es eine Vielzahl weiterer Möglichkeiten, das Prüfbild mithilfe von Filtertechniken zu optimieren.

Natürlich gibt es noch eine Vielzahl weiterer optischer Filter sowie unzählige Einsatzmöglichkeiten. In Kapitel 5 dieser Wissensreihe lernen Sie den Einsatz spezieller Filter für Fluoreszenzanwendungen kennen.

Wenden Sie sich gern auch direkt an uns, wenn Sie zusätzliche Informationen oder Unterstützung bei der Auswahl eines geeigneten Filters benötigen.

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

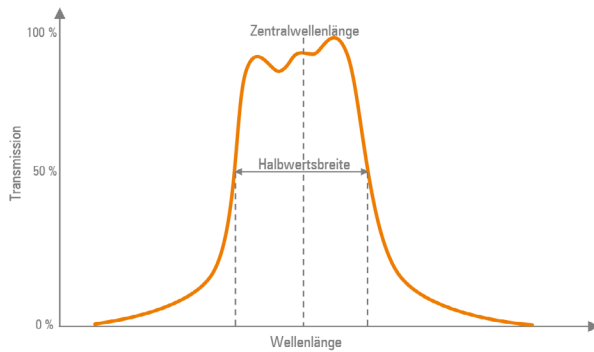
Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-form-  
Shading

## 3.1 Bandpassfilter

Einfluss des Beleuchtungswinkels

Wellenlängen

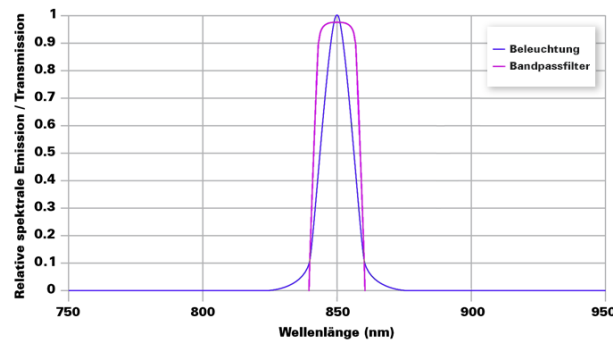


Parameter eines Bandpassfilters

Ein Bandpassfilter transmittiert einen bestimmten Wellenlängenbereich. Das übrige Licht wird gesperrt. Die Breite dieses Transmissionsbandes wird dabei je nach Verwendungszweck ausgewählt. Es gibt Filter mit einer Bandbreite von weniger als 2 nm bis hin zu Bandbreiten von 80 nm und mehr. Sehr schmalbandige Filter mit einer Breite von 2 bis 5 nm werden hauptsächlich bei anspruchsvollen Laseranwendungen eingesetzt. Filter mit einer Bandbreite von 10 bis 80 nm können wiederum für unterschiedliche Anwendungen in der Bildverarbeitung genutzt werden.

Eine der wichtigsten Einsatzgebiete ist die

Eliminierung von Fremdlicht - insbesondere, wenn die Verwendung einer Blitzbeleuchtung nicht möglich ist. Häufig wird zur Fremdlichtunterdrückung ein Tageslichtsperrfilter in Verbindung mit einer infraroten Beleuchtung verwendet. Diese Filter transmittieren Infrarotlicht, sperren jedoch das gesamte sichtbare und ultraviolette Spektrum. Dadurch wird der Einfluss von Tageslicht auf die Bildverarbeitungslösung minimiert.



Bandpassfilter für Fremdlichtunterdrückung

Da jedoch für eine Vielzahl von Aufgabenstellungen eine sichtbare Wellenlänge benötigt wird, lässt sich Fremdlicht nicht in jedem Fall mit einem Tageslichtsperrfilter unterdrücken. Hier kommen dann schmalbandige Filter zum Einsatz. Dazu wird ein Bandpassfilter vor dem Objektiv oder dem Bildaufnehmer der Kamera montiert, der genau auf die Wellenlänge der Beleuchtung abgestimmt ist. Umso größer der Deckungsbereich der Zentralwellenlänge des Filters und die Wellenlänge der LED gewählt wird, desto schmäler kann die Bandbreite des Filters gewählt werden. Dies hat zur Folge, dass möglichst viel Licht der Beleuchtung

transmittiert wird, wohingegen das Störlicht gänzlich geblockt wird. Ebenso verbessern solche schmalbandigen Filter für Infrarotbeleuchtungen die Bildstabilität im Vergleich zu üblichen Tageslichtsperrfiltern. Für die LUMIMAX<sup>®</sup> LED Beleuchtungen erhalten Sie hochwertige, speziell abgestimmte Filter.

Darüber hinaus können Bandpassfilter eingesetzt werden, um den Kontrast im Bild zu erhöhen und Farben zu trennen, indem bestimmte Wellenlängen hindurchgelassen und andere gesperrt werden.

Ein besonderes Einsatzgebiet für diese Art der Filter sind Fluoreszenzanwendungen. Auf diese werden wir in Kapitel 5 näher eingehen und Ihnen einige interessante Beispiele vorstellen.

**Zentralwellenlänge (ZWL/ CWL)**

Die Zentralwellenlänge gibt den Mittelpunkt der beiden Wellenlängen an, bei dem 50% der maximalen Transmission erreicht wird.

**Halbwertsbreite (FWHM)**

Die Halbwertsbreite beschreibt den Bereich, in dem 50% der maximalen Transmission erreicht wird.

**Bandbreite**

Die Bandbreite bezieht sich auf den Wellenlängenbereich, der von dem Filter transmittiert wird.

**Blockungsbereich**

Der Blockungsbereich beschreibt den Wellenlängenbereich, der vom Filter gesperrt wird.

**Optische Dichte**

Die optische Dichte gibt an, wie stark die Blockung eines Filters ist. Filter mit einer hohen optischen Dichte haben eine geringere Transmission, als solche mit einer niedrigen optischen Dichte.

Parameter eines Bandpassfilters

Optische Filter

Blitzen vs. Permanent

Fluoreszenzanwendungen

Beleuchtungstechnik zum Lesen und Verifizieren von Codes

Beleuchtungstechnik für Shape-from-Shading

## 3.2 Polarisationsfilter

Bei der Arbeit mit Licht kommt es immer wieder zu störenden Reflexen im Kamerabild, etwa durch Schmiermittel, Folien, Lacke oder einfach nur durch Reflexionen glänzender bzw. spiegelnder Oberflächen. Um diese Störungen zu unterdrücken, können Polarisationsfilter eingesetzt werden.

Die Polarisation beschreibt den Vorgang, bei dem das Licht auf eine einzige Schwingungsrichtung begrenzt wird. Dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten, die Polarisation zur Bildoptimierung in der Bildverarbeitung zu erzielen.

### Polarisation durch Polarisationsfilter

In der industriellen Bildverarbeitung wird im Regelfall mit zwei linearen Polarisationsfiltern gearbeitet. Einer befindet sich vor der Beleuchtung, ein zweiter vor dem Objektiv.

Das von der Beleuchtung ausgesendete Licht kann in alle Richtungen schwingen. Der Polfilter vor der Beleuchtung transmittiert jedoch nur eine Schwingungsrichtung des Lichts. Alle Strahlen mit anderen Schwingungsrichtungen werden nicht hindurchgelassen. Wird nun ein weiterer Filter vor dem Objektiv positioniert, kann man je nach Einstellung das polarisierte Licht passieren lassen oder sperren.



**LUMIMAX**<sup>®</sup>



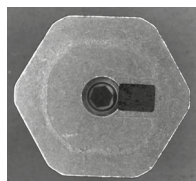
Video abrufbar unter: <https://www.iimag.de/lumimax/wissen/videos/video-polarisationsfilter.html>



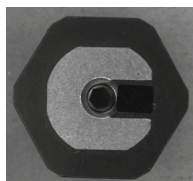
Spiegelndes Etikett auf einer Spritze im Auflicht



Zum Vergleich: Spiegelndes Etikett auf einer Spritze im polarisierten Auflicht



Folie auf Metalluntergrund im unpolarierten Auflicht



Folie auf Metalluntergrund im polarisierten Auflicht

Polarisiertes Licht eignet sich besonders gut, um störende Reflexionen zu unterdrücken. An der Gegenstelle, also am Objektiv, befindet sich zusätzlich ein Polarisationsfilter in Sperrrichtung. Die Reflexionen werden dadurch minimiert und das Kamerabild ist wesentlich homogener ausgeleuchtet. Da man bei dieser Einstellung jedoch viel Licht verliert, empfiehlt es sich, mit besonders leistungsstarken Beleuchtungen, zum Beispiel mit High Power Beleuchtungen zu arbeiten.

Eine weitere Möglichkeit ist, sich die Oberflächeneigenschaften verschiedener Objekte zunutze zu machen. So können beispielsweise transparente Folien - wie Klebepads oder Label - auf metallischen Untergründen sichtbar gemacht werden. Während der metallische Untergrund das polarisierte Licht in die Kamera zurückreflektiert, verändert die Folie die Polarisationsrichtung des auftreffenden Lichts. Sperrt man also das polarisierte Licht für die Kamera, bleibt nur die Folie hell und kann dadurch problemlos detektiert werden.

Einfluss des Beleuchtungswinkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs. Permanent

Fluoreszenz-anwendungen

Beleuchtungstechnik zum Lesen und Verifizieren von Codes

Beleuchtungstechnik für Shape-form-Shading

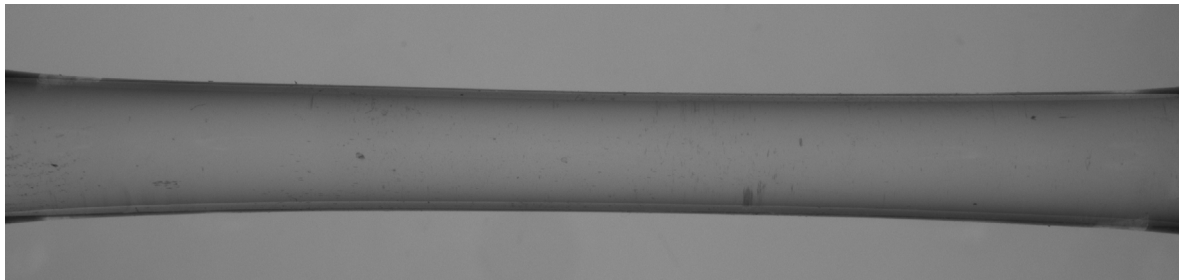
## 3.2 Polarisationsfilter

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

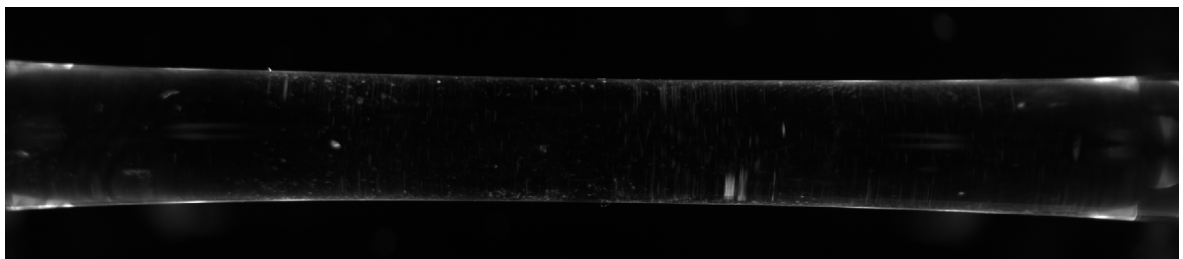
Polarisierte Beleuchtungen eignen sich nicht nur im Auflicht. Mit einem polarisierten Durchlicht können sogar transparente Kunststoffe und Glas sichtbar gemacht werden. Stellt man den Objektivfilter in Sperrichtung, erhält man zunächst ein dunkles Bild. Befindet sich jedoch ein transparentes Objekt im Bild, ändert dieses die Schwingungsrichtung des Lichts und erscheint hell vor dem dunklen Untergrund. Selbst Spannungen in den Objekten lassen sich in der Anordnung erkennen, da diese die Schwingungsrichtung erneut verändern.

Optische Filter



Glasstab im unpolarisierten Durchlicht

Blitzen vs.  
Permanent



Glasstab im polarisierten Durchlicht

Fluoreszenz-  
anwendungen

### Polarisation durch die Oberfläche

Unter Beachtung des Polarisationswinkels, auch Brewster-Winkel\* genannt, kann die Oberfläche des Prüfteils selbst dazu genutzt werden, das von der Beleuchtung ausgesandte Licht zu polarisieren. Trifft das Licht in dem besagten Winkel auf eine nichtmetallische Oberfläche, wird der reflektierte Teil des Lichts parallel zur Oberfläche polarisiert. Befindet sich vor der Optik ein Polarisationsfilter in Sperrichtung, also 90° verdreht, können störende Reflexionen der Oberfläche unterdrückt werden.

Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-from-  
Shading

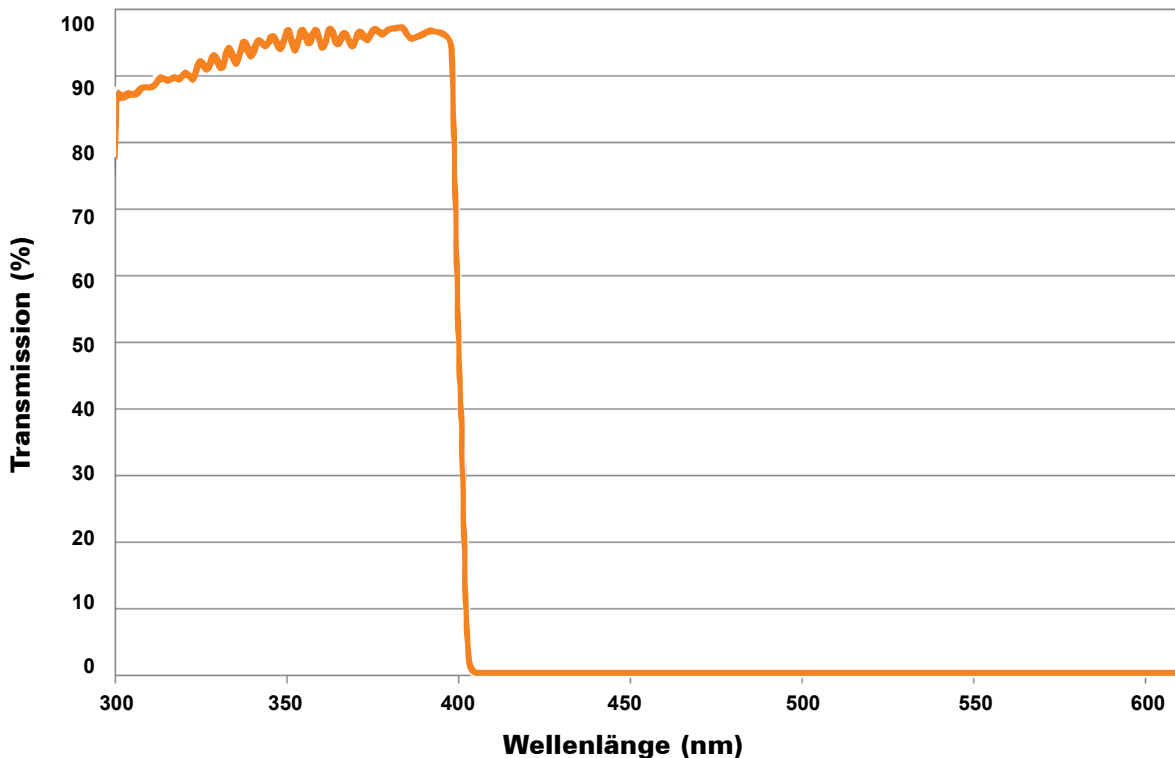
\* Eine genaue Begriffsdefinition finden Sie in unserem Glossar auf der letzten Seite dieser Wissenreihe.

## 3.3 Weitere optische Filter

Neben den bereits beschriebenen optischen Filtern gibt es eine Vielzahl weiterer Möglichkeiten, das Prüfbild mithilfe von Filtertechniken zu optimieren.

### 1. Kurzpassfilter

Kurzpassfilter transmittieren Wellenlängen, die unterhalb der Grenzwellenlänge des Filters liegen. Wellenlängen oberhalb der Grenzwellenlänge werden gesperrt. Kurzpassfilter kommen häufig zum Einsatz, um Wellenlängen voneinander zu trennen und den Kontrast im Bild zu erhöhen.



Sie lassen sich auch als Beleuchtungsfiler für Fluoreszenzanwendungen einsetzen. Nutzt man einen solchen Kurzpassfilter mit einer sehr steilen Kante, als Ersatz für den in Kapitel 3.1 beschriebenen Bandpassfilter, kann ein ähnlicher Effekt erzielt werden.

In Kombination mit einem entsprechenden Langpassfilter kann außerdem ein spezieller Bandpassfilter generiert werden.

Einfluss des Beleuchtungswinkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs. Permanent

Fluoreszenzanwendungen

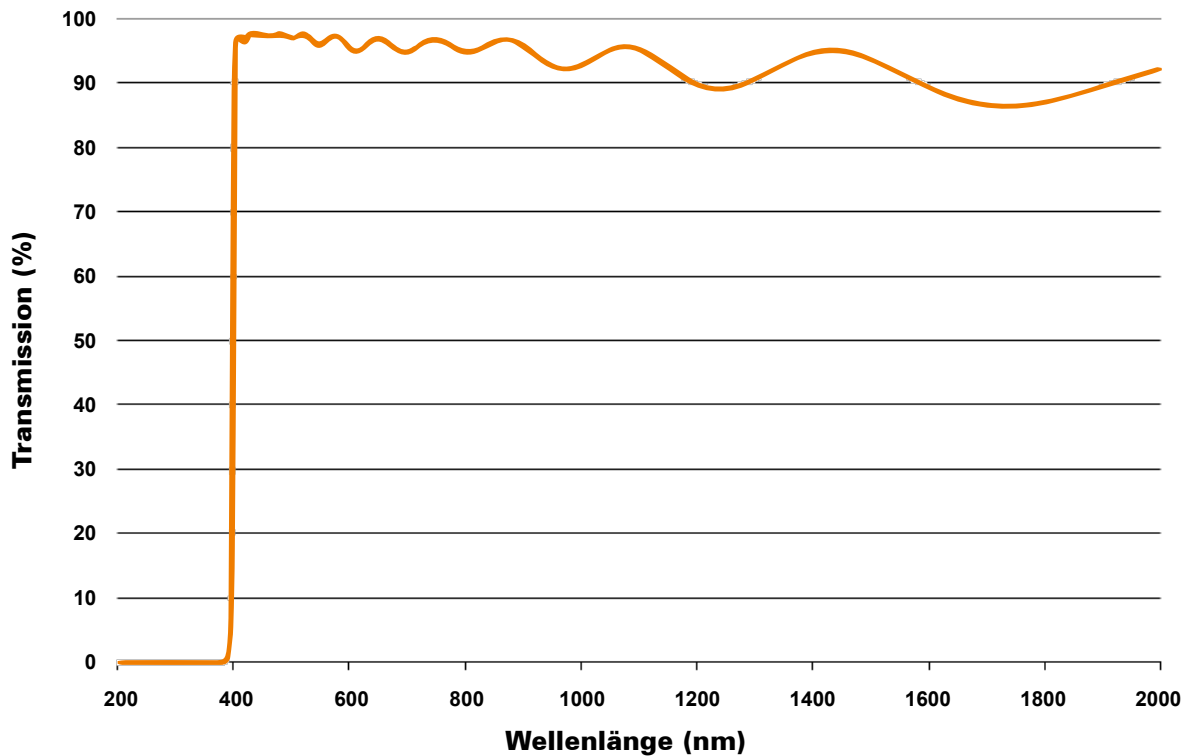
Beleuchtungstechnik zum Lesen und Verifizieren von Codes

Beleuchtungstechnik für Shape-form-Shading

## 3.3 Weitere optische Filter

### 2. Langpassfilter

Im Gegensatz zu Kurzpassfiltern transmittieren Langpassfilter Wellenlängen oberhalb der Grenzwellenlänge. Wie Kurzpassfilter können Langpassfilter dazu eingesetzt werden, Wellenlängen voneinander zu trennen.



Bei Fluoreszenzanwendungen können beispielsweise Langpassfilter vor der Optik eingesetzt werden, um die Anregungswellenlängen zu blockieren und damit den Kontrast zu steigern. Lesen Sie dazu mehr in Kapitel 5.

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-from-  
Shading

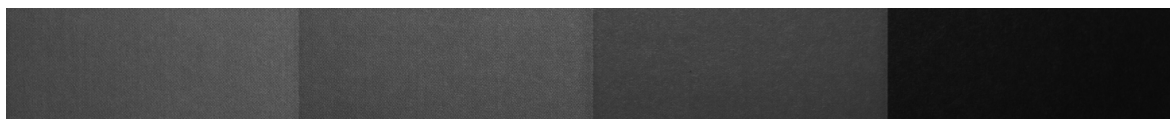
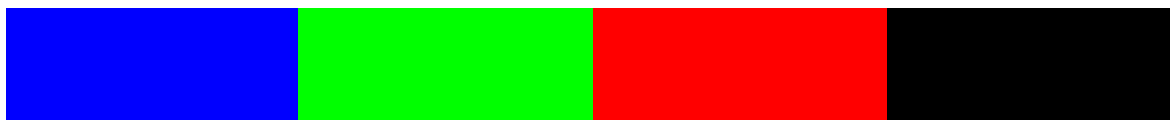
## 3.3 Weitere optische Filter

### 3. Farbfilter

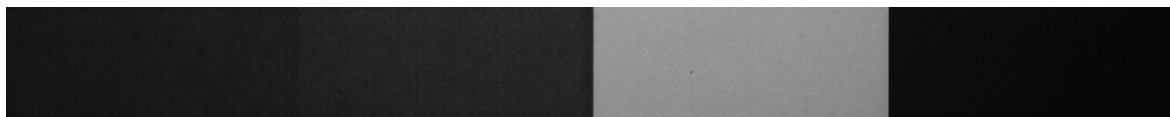
Farbfilter werden häufig in Verbindung mit monochromen Kameras eingesetzt. Sie eignen sich dazu, den Kontrast im Bild zu erhöhen, Farben zu trennen, hervorzuheben oder zu unterdrücken. Farbfilter sind Bandpassfilter, die ein bestimmtes Farbband hindurchlassen. Verwendet man also einen roten Farbfilter, wird rotes Licht hindurchgelassen, andere Wellenlängen hingegen gesperrt. In Kapitel 2.3 haben wir bereits die Wechselwirkung farbiger Objekte mit sichtbarem Licht beschrieben:

Ein Objekt reflektiert bestimmte Wellenlängen und erscheint dadurch für unser Auge farbig. Ein Gegenstand, den wir als rot wahrnehmen, reflektiert also den roten Anteil des Lichts. Andere Wellenlängen hingegen werden absorbiert.

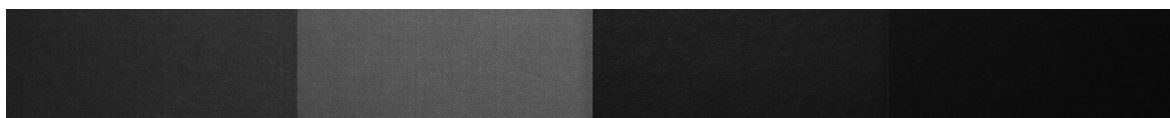
Diese Eigenschaft kann man sich bei der Arbeit mit Farbfiltern ebenfalls zunutze machen. Verwendet man nämlich einen Farbfilter in der Farbe des Objekts, erscheint dieses im Bild hell. Ein Farbfilter in einer anderen Farbe hingegen lässt das Objekt dunkel erscheinen.



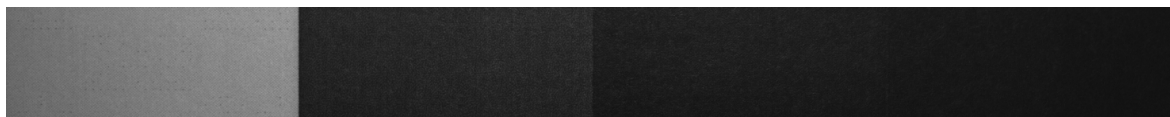
Unter weißer Beleuchtung mit monochromer Kamera aufgenommen



Roter Farbfilter



Grüner Farbfilter



Blauer Farbfilter

Genaue Informationen zur Funktionsweise und Anwendungsbieten von Bandpassfilter finden Sie in Kapitel 3.1.

### 4. Graufilter

Graufilter ermöglichen eine Abschwächung des einfallenden Lichts und werden dazu genutzt, Überstrahlungen im Bild zu vermeiden. Dabei ist die Verringerung des Lichts über das gesamte Lichtspektrum gleichmäßig, wodurch die Verwendung des Filters keinen Einfluss auf die Darstellung von Licht- oder Objektfarben nimmt.

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-form-  
Shading

Kapitel 1 - Der Einfluss des Beleuchtungswinkels

Kapitel 2 - Wellenlängen

Kapitel 3 - Optische Filter

**Kapitel 4 - Blitzen vs. Permanent**

Kapitel 5 - Fluoreszenzanwendungen

Kapitel 6 - Beleuchtungstechnik zum  
normgerechten Lesen und Verifizieren von Codes

Kapitel 7 - Beleuchtungstechnik für Shape-from-Shading

## 4. Blitzen vs. Permanent

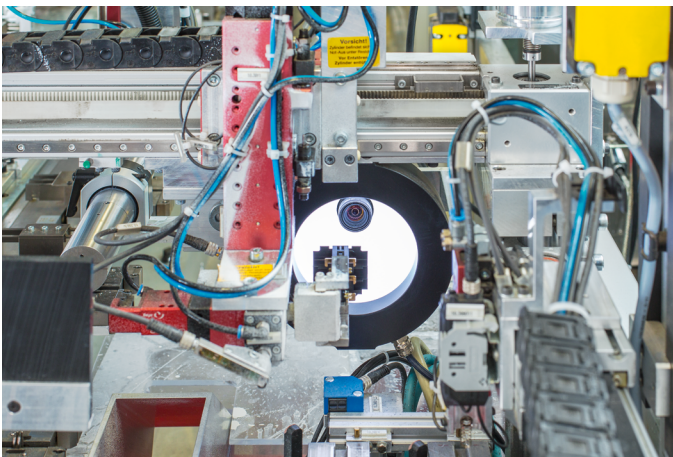
Neben der Auswahl der optimalen Beleuchtungsart, Wellenlänge und Filter können noch weitere Faktoren die Lösung einer Bildverarbeitungsaufgabe grundlegend beeinflussen. Daher sollten Sie, nachdem die ideale Beleuchtung gefunden ist, ebenso etwas Zeit in die Betrachtung verschiedener Betriebsmodi investieren. Häufig hört man in der Branche diesbezüglich die unterschiedlichsten Begrifflichkeiten. Die teilweise unsachgemäße Verwendung jener Begriffe erschwert oft zusätzlich die Auswahl der Betriebsart. Strobe-, Blitz-, Puls-, Schalt- und Permanentbeleuchtung sind hierbei nur einige Bezeichnungen in diesem Zusammenhang.

In dem 4. Kapitel der LUMIMAX<sup>®</sup> Wissensreihe wollen wir uns deshalb mit den drei grundlegenden Betriebsarten in der industriellen Bildverarbeitung beschäftigen:

- Permanentbetrieb
- Schaltbetrieb
- Blitzbetrieb

Dazu werden sowohl die Begriffe definiert, Unterschiede dargestellt, als auch Vor- und Nachteile sowie die Einsatzgebiete näher beschrieben.

### 4.1 Permanent- und Schaltbetrieb



Verifikations-System mit LUMIMAX<sup>®</sup> Dombeleuchtung in einer Fertigungsstrecke des Siemens Gerätewerks Amberg

betrieben. Sie liefern somit dieselbe Helligkeit, wie eine Permanentbeleuchtung. Allerdings ist es möglich, die Beleuchtung über schnelle optokoppelte SPS- und TTL-Schalteingänge zum Moment der Bildaufnahme anzuschalten und im Anschluss wieder auszuschalten. Der Vorteil des Schaltbetriebs liegt vor allem in der Steigerung der Lebensdauer der LEDs. Denn durch die Verkürzung der Einschaltzeit kann die Lebensdauer entscheidend erhöht werden. So kann eine Beleuchtung, die nur mit halber Einschaltzeit betrieben wird, die doppelte Lebensdauer einer Permanentbeleuchtung erreichen.

Nicht selten wird der Schaltbetrieb mit einem Blitzbetrieb verwechselt. Hier besteht jedoch die Möglichkeit, die LEDs für eine sehr kurze Anschaltzeit mit einer vielfach höheren Leistung zu betreiben. Probleme durch Fremdlicht oder Bewegungsunschärfe können dadurch gelöst werden. Die Besonderheiten, Vor- und Nachteile sowie Einsatzgebiete von Blitzbeleuchtungen werden wir im Kapitel 4.2 dieser Wissensreihe erläutern.

Einfluss des Beleuchtungswinkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs. Permanent

Fluoreszenz-anwendungen

Beleuchtungstechnik zum Lesen und Verifizieren von Codes

Beleuchtungstechnik für Shape-form-Shading

## 4.2 Blitzbeleuchtungen

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

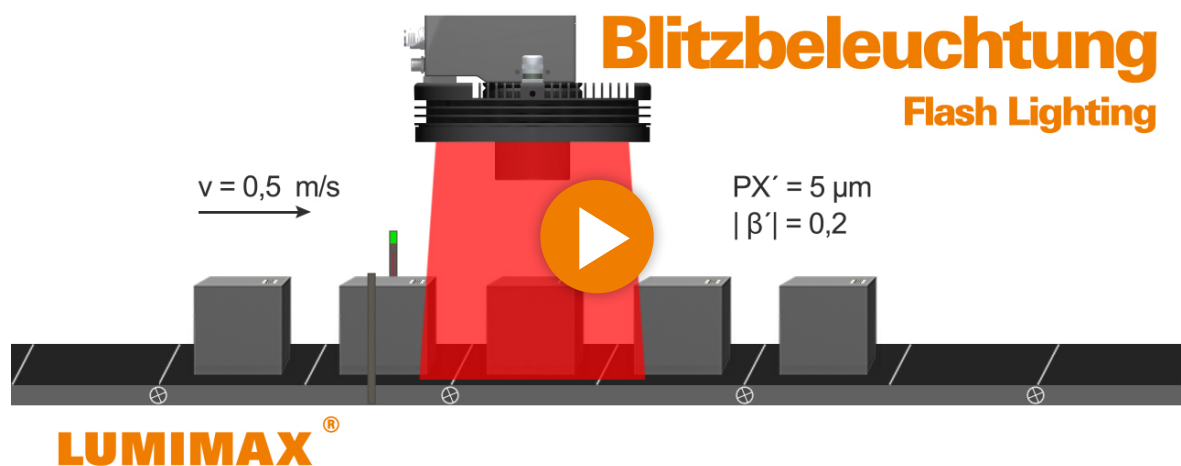
Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-from-  
Shading

Jeder Hobbyfotograf hat es schon verwendet – das Blitzlicht. Aber nicht nur an Spiegelreflex-, Digital- und Handykameras finden Blitzbeleuchtungen ihre Berechtigung. Besonders im industriellen Einsatz gewinnt das Thema Blitzen immer mehr an Bedeutung.

In der industriellen Bildverarbeitung werden jedoch keine Aufsteckblitze oder integrierten Kamera- beleuchtungen verwendet. Vielmehr sind es genau die Beleuchtungsformen, die wir in Kapitel 1 beschrieben haben. Allerdings verfügen diese über einen speziellen, meist integrierten Blitz- controller, wodurch die LEDs in der Beleuchtung extrem schnell, präzise und lichtstark geblitzt werden. Dabei werden die LEDs mit einem sehr hohen Strom betrieben. Dadurch ist eine Helligkeits- steigerung bis zu Faktor 25 im Vergleich zu Permanent- und Pulsbeleuchtungen möglich. Die Blitz- beleuchtung ist nicht nur um ein Vielfaches heller, sondern beim Anlegen eines Triggersignals steht innerhalb des einstelligen Mikrosekundenbereichs die maximale Lichtleistung der Beleuchtung zur Verfügung. Durch diese schnelle Verfügbarkeit in Verbindung mit der enormen Lichtstärke kann die Belichtungszeit der Kamera sehr kurz gewählt werden. Die Belichtungszeit entspricht hierbei der Blitzdauer und liegt zwischen 10 und 750  $\mu$ s. Durch die extrem kurze Belichtungszeit können folgende störende Effekte minimiert werden:

### 1. Bewegungsunschärfe

Ob bei der Arbeit mit Robotern oder Transportbändern, um die Produktivität sowie die Durchlaufzeiten zu erhöhen, werden die Bewegungsabläufe immer schneller. Das Bildverarbeitungssystem soll dabei natürlich nicht die Bewegungen ausbremsen. Damit dies gewährleistet werden kann, wird das Bild bestenfalls direkt in der Bewegung aufgenommen und ausgewertet. Doch wissen Sie, wie lang die Belichtungszeit sein darf, wenn sich Ihr Objekt mit 0,5 m/s bewegt und die zulässige Unschärfe 2 Pixel nicht überschreiten darf? Exakt 100  $\mu$ s.



Video abrufbar unter:  
<https://www.iimag.de/lumimax/wissen/videos/video-blitzbeleuchtung.html>

Mit einer Permanent- oder Schaltbeleuchtung ist dies undenkbar. Die Lichtstärke ist viel zu gering, um das Objekt ausreichend zu beleuchten. Außerdem ist die Einschaltverzögerung einer Schaltbeleuchtung zu groß. Die maximale Lichtleistung der Blitzbeleuchtung ist innerhalb von höchstens 5  $\mu$ s verfügbar und liefert enorm viel Licht. Dadurch ist – wie bereits oben erwähnt – eine sehr kurze Belichtungszeit überhaupt kein Problem. Die Bewegung des Objekts kann quasi eingefroren werden (*siehe Video auf Seite 29*). Für das menschliche Auge und die Kamera wirkt das bewegte Objekt, als würde es stillstehen. Eine Auswertung ist problemlos möglich.

## 4.2 Blitzbeleuchtungen

### 2. Fremdlicht

Auch Fremdlicht kann mittels kurzer Belichtungszeiten und enormer Lichtstärke der Blitzbeleuchtungen gänzlich ausgeblendet werden. Selbst ein direkt neben der Kamera befindliches Fenster oder eine andere Lichtquelle wird bei einer Belichtungszeit von maximal 750 µs von der Kamera nicht wahrgenommen und hat dadurch keinen Einfluss auf das Prüfbild. Das erhöht die Zuverlässigkeit der Auswertung enorm. Besonders in großen Produktionshallen muss man sich keine Sorgen mehr machen, dass sich Umgebungsbedingungen ändern oder ein Fremdlicht die Kontrolle mittels Kamerasystem stört.

### 3. Störlicht

Tatsächlich empfindet das menschliche Auge Blitzbeleuchtungen weniger störend als Schaltbeleuchtungen. Dies klingt im ersten Moment nicht unbedingt logisch, aber schauen Sie sich einmal das nachfolgende Video an:



Video abrufbar unter:  
<https://www.iimag.de/lumimax/wissen/videos/video-blitzdemonstrator.html>

Die Blitzbeleuchtung wirkt im unteren Bild wesentlich dunkler als die Pulsbeleuchtung. Obwohl diese, wie oben auf dem Kamerabild im Video zu sehen ist, deutlich heller ist. Der Effekt kommt daher, dass unser Auge die kurzen Lichtimpulse nicht so schnell und intensiv wahrnehmen kann. Die Beleuchtung wird deshalb als weniger störend empfunden.

Im kommenden Kapitel werden wir Ihnen anhand einiger Beispiele die Vorteile und Einsatzgebiete der einzelnen Betriebsmodi und im Besonderen der Blitzbeleuchtungen zeigen.

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-form-  
Shading

## 4.3 Vorteile von Blitzbeleuchtungen in der Industrie

In Kapitel 4.1 und 4.2 haben wir Ihnen die Eigenschaften von Permanent-, Schalt- und Blitzbeleuchtungen dargestellt. Im konkreten Vergleich von Schalt- und Blitzbetrieb ergeben sich nun die folgenden grundlegenden Unterschiede:

### ■ Schaltverzögerung

Die Einschaltverzögerung liegt im Schaltbetrieb bei etwa 5 ms. Die Blitzbeleuchtung reagiert hingegen sehr schnell auf den Triggerimpuls und steht bereits nach 3 bis 5  $\mu\text{s}$  mit der vollen Helligkeit zur Verfügung.

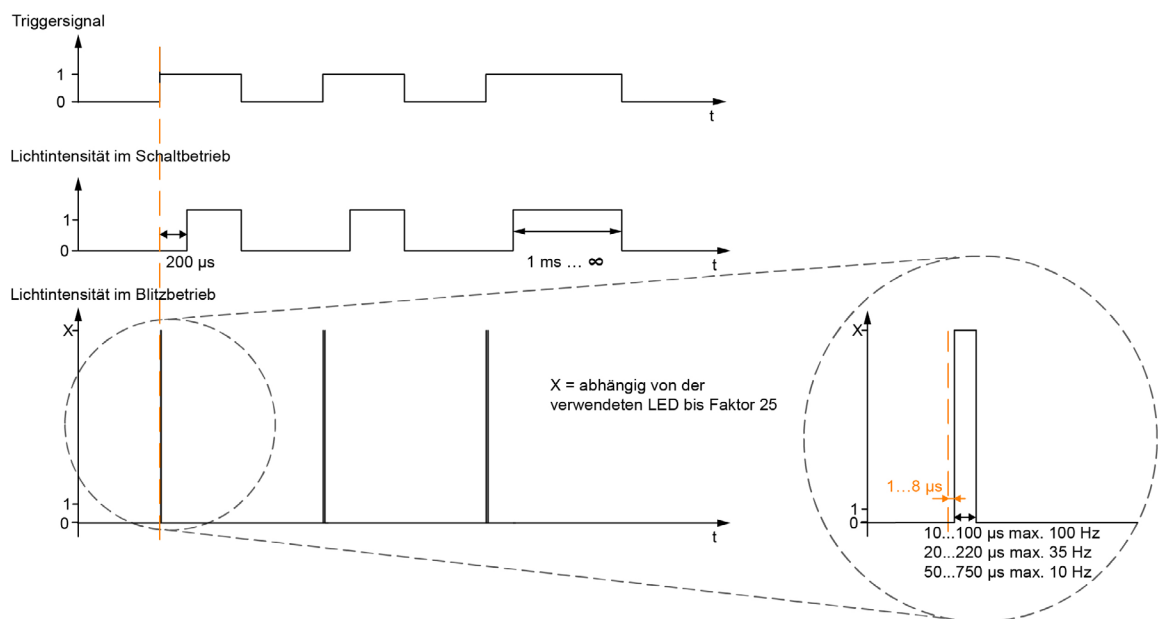
### ■ Lichtintensität

Eine Blitzbeleuchtung arbeitet für einen sehr kurzen Zeitraum mit einer bis zu Faktor 25 höheren Lichtstärke im Vergleich zu Permanent- und Schaltbeleuchtungen.

### ■ Einschaltdauer

Während Blitzbeleuchtungen für einen voreingestellten Zeitraum von 10 bis 750  $\mu\text{s}$  eingeschaltet sind, hängt die Einschaltdauer einer Schaltbeleuchtung von der Länge des Triggersignals ab. Die Schaltbeleuchtung bleibt, solange das Triggersignal anliegt, eingeschaltet.

### Gegenüberstellung von Schalt- und Blitzbetrieb



Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

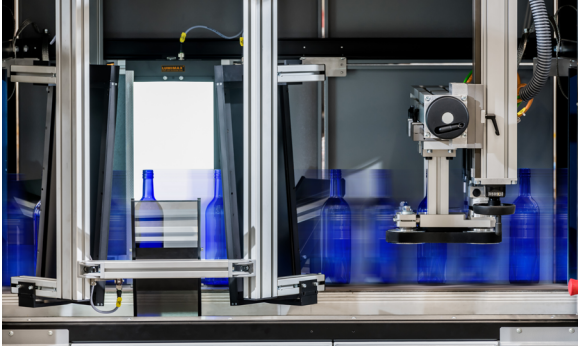
Fluoreszenz-  
anwendungen

Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-from-  
Shading

## 4.3 Vorteile von Blitzbeleuchtungen in der Industrie

Durch die genannten Eigenschaften birgt die Verwendung einer Blitzbeleuchtung einige bedeutende Vorteile beim Einsatz in industriellen Abläufen. Besonders die Zeit- und Kostenersparnis durch die Prüfung im laufenden Betrieb ist enorm. Gerade in der Produktion von Nahrungs- und Genussmitteln sind extrem schnelle Prozesse mit 30 bis sogar 100 Prüfungen / Sekunde keine Seltenheit. Ein Stopp des Produktes zur Qualitätsprüfung ist unmöglich.



Inspektion in der Glasindustrie

Ein Beispiel: Bei der Inspektion von Glasprodukten werden bis zu 500 Getränkeflaschen pro Minute mittels einer vollautomatischen Ausrichtstation in exakte Position gebracht. Die Qualitätskontrolle und der Transport erfolgen in einem kontinuierlichen Prozess. Durch die sehr schnelle Bewegung ist es unmöglich, ein scharfes Bild mit einer geschalteten oder statischen Beleuchtung aufzunehmen. Die Belichtungszeit wäre so groß, dass die Flasche einen deutlich sichtbaren Weg während der Bildaufnahme zurücklegt und damit Bewegungsunschärfe im Bild erzeugt. Durch die Verwendung einer geblitzten

Beleuchtung kann man in einer kürzeren Zeit die gleiche Helligkeit im Bild erzielen. Die Flasche legt in 100 µs einen wesentlich kürzeren Weg zurück. Im Kamerabild scheint die Flasche dadurch stillzustehen und die Auswertung der benötigten Merkmale ist problemlos möglich. Würde man eine Permanent- oder Schaltbeleuchtung für solche schnellen Prozesse einsetzen, muss die Flasche für den Moment der Bildaufnahme gestoppt werden. Eine getaktete Linie erhöht allerdings den Handlingsaufwand sowie den Verschleiß und führt zu einer minimierten Produktionskapazität, was das komplette System unwirtschaftlich macht.

In der Pharmazie dient die Kontrolle nicht länger nur der Optimierung und Sicherung von Qualität. Hier wird die Bildverarbeitung zunehmend zum Schutz vor Produktpiraterie eingesetzt. Beispielsweise ist in Ländern mit niedrigem und mittlerem Einkommen schätzungsweise 1 von 10 Medizinprodukten minderwertig oder gefälscht.\* Um solche Produkte von vornherein aus dem Verkehr zu ziehen, gibt es Verschärfungen von Gesetzen zur Rückverfolgbarkeit. Nicht mehr nur die Primärverpackung sowie die Umverpackung von Medikamenten sollen codiert werden. Ebenso die Sekundär- und Tertiärverpackungen werden mit Codes versehen. Diese zusätzliche Kontrolle ist natürlich ein Eingriff in die bereits funktionierenden, reibungslosen und vor allem schnellen Verpackungsabläufe. Um hier so wenig Verzögerung wie möglich zu erreichen, werden Produkte beim Transport kontrolliert. Ohne eine Blitzbeleuchtung zur Minimierung von Bewegungsunschärfe ist dies bei gleichbleibender Durchlaufzeit undenkbar.



Verpackungskontrolle in der Pharmaindustrie

Beim Thema Wirtschaftlichkeit punktet die Blitzbeleuchtung außerdem durch eine erhöhte Lebenserwartung im Vergleich zu Permanentbeleuchtungen. Die Taktfrequenz, die Einschaltdauer und die Intensität haben einen großen Einfluss auf die Betriebstemperatur der Beleuchtung.

Einfluss des Beleuchtungswinkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs. Permanent

Fluoreszenz-anwendungen

Beleuchtungstechnik zum Lesen und Verifizieren von Codes

Beleuchtungstechnik für Shape-form-Shading

\* Quelle: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/substandard-and-falsified-medical-products>

## 4.3 Vorteile von Blitzbeleuchtungen in der Industrie

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-from-  
Shading

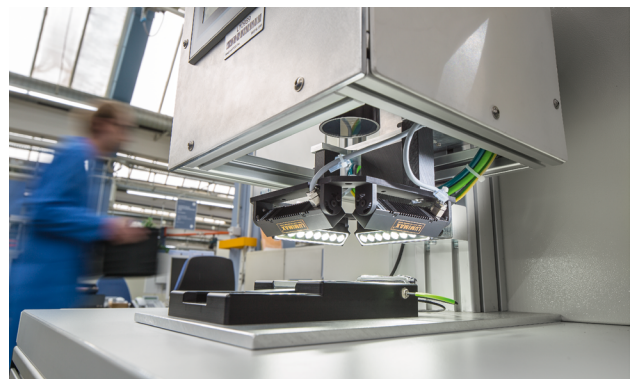


Selbst durch starke Fremdlichteinflüsse, wie großflächige Hallenbeleuchtungen, wird das Kamerabild dank der Blitzbeleuchtungen nicht beeinflusst.

In vielen Werkhallen stören große Hallenfenster, Deckenbeleuchtungen und Fahrzeuge mit Rundum- oder Markierleuchten die Auswertung. Besonders metallische, spiegelnde und glänzende Objekte, wie sie im Automotivbereich häufig verwendet werden, reflektieren einen großen Anteil dieses Fremdlichts in die Kamera. Durch diese instabilen Lichtverhältnisse wird die Auswertung erschwert.

Die Bestrahlungsstärke\* einer Blitzbeleuchtung ist um ein Vielfaches höher, als die Intensität des Umgebungslichtes. Dadurch können weder eine störende Hallenbeleuchtung noch durch ein Fenster eindringendes Sonnenlicht die Auswertung beeinflussen.

Aber nicht nur in vollautomatisierten Fertigungen, auch an Handarbeitsplätzen ist die Kontrolle durch ein Bildverarbeitungssystem zur Qualitätssicherung unerlässlich. Natürlich soll die Kontrolle möglichst störungsfrei für den Werker passieren. Aufgrund der Trägheit des menschlichen Auges wird das Blitzlicht nur als schwacher Lichtimpuls wahrgenommen. Dieses Licht empfindet man im Vergleich zu Permanent- und Schaltbeleuchtungen wesentlich angenehmer. Die enorme Verringerung dieser Blendwirkung bringt somit einen großen Vorteil bei der Zusammenarbeit von Mensch und Kamera.



Verifikations-Station zur manuellen Qualitätskontrolle von Data Matrix Codes

Lesen Sie im folgenden Kapitel, welche Faktoren bei der Auswahl und Integration einer Blitzbeleuchtung zu beachten sind.

\* Eine genaue Begriffsdefinition finden Sie in unserem Glossar auf der letzten Seite dieser Wissenreihe.

## 4.4 Blitzen – Was muss man beachten?

Werden wenige wichtige Punkte beachtet, sind der Einsatz und die Integration einer Blitzbeleuchtung ebenso einfach, wie die einer permanenten oder geschalteten Lichtquelle:

### 1. Synchronisation von Bildaufnahme und Blitz

Der wichtigste Punkt bei der Integration einer Blitzbeleuchtung ist die Synchronisation der Bildaufnahme zur Blitzbeleuchtung. Die Beleuchtung liefert in einem kurzen Zeitraum von maximal 750 µs einen sehr energiereichen Lichtblitz. Um das gesamte Licht einzufangen ist es notwendig, die Bildaufnahme und den Blitz der Beleuchtung exakt aufeinander abzustimmen. Eine Herangehensweise wäre, die Belichtungszeit der Kamera so lang zu wählen, dass der Lichtblitz auf jeden Fall in dieses Zeitfenster fällt. Dadurch wären aber alle in Kapitel 4.3 beschriebenen Vorteile wie die Eliminierung von Fremdlicht und Bewegungsunschärfe hinfällig. Darum ist es notwendig, die Belichtungszeit der Kamera in Dauer und Zeitpunkt des Auslösens exakt an die Blitzbeleuchtung anzupassen, bei einer Blitzlänge von 220 µs sollte die Belichtungszeit der Kamera auch 220 µs betragen.

Um dies zu realisieren, stellen viele Kamerahersteller einen höchstpriorisierten Blitzausgang zur Verfügung. Durch die Priorisierung des Blitzausgangs wird gewährleistet, dass das Blitzsignal immer synchron zur Bildaufnahme gesendet wird. Eine Verzögerung durch andere Rechenprozesse der Kamera ist nicht möglich. Andernfalls könnte es passieren, dass die Beleuchtung ihr Signal erst nach der Bildaufnahme erhält. Das Bild wäre dadurch nicht ausreichend bzw. gar nicht belichtet.



Kopplung von Kamera und LUMIMAX<sup>®</sup> LED Ringbeleuchtung mittels T-Adapterkabel

Ein solcher spezieller Blitzausgang ist im Gegensatz zu Standard-SPS-Ausgängen auch hinsichtlich der Signalqualität optimiert. Sowohl Jittern\* als auch Toleranzen im Triggertiming sind soweit minimiert, dass sie im Signalverlauf kaum ins Gewicht fallen.

Je nach Kameratyp erfolgt dann der Anschluss der Beleuchtung an die Kamera und die spezifischen Einstellungen in der Ansteuerung.

Sollten Sie Hilfe beim Anschluss einer LUMIMAX<sup>®</sup> LED Beleuchtung an Ihr Kamerasystem benötigen, helfen wir Ihnen gern weiter.

\* Eine genaue Begriffsdefinition finden Sie in unserem Glossar auf der letzten Seite dieser Wissenreihe.

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-form-  
Shading

## 4.4 Blitzen – Was muss man beachten?

### 2. Bewertung der Bewegungsunschärfe anhand der Geschwindigkeit des Prüfobjekts sowie der Länge des Blitzimpulses bzw. der Belichtungszeit

Die Bewegungsunschärfe im Bild ist sowohl abhängig von der Objekt- bzw. Bahngeschwindigkeit  $v$  als auch von der Blitzdauer  $t_{\max}$ . Anhand der zulässigen Bewegungsunschärfe im Bild und der Geschwindigkeit können Sie die maximale Blitzdauer  $t_{\max}$  kalkulieren.

Dazu berechnen Sie zunächst die zulässige Objektverschiebung, also den Weg, den Ihr Prüfteil während der Bildaufnahme zurücklegen darf, ohne die zulässige Unschärfe im Bild zu überschreiten.

#### Ein Beispiel:

Auf einer Medikamentenverpackung soll ein Code gelesen werden. Die Verpackung bewegt sich mit 0,5 m/s auf einem Transportband. Der Abbildungsmaßstab  $|\beta'|$  ist 1:5. Die Breite eines Pixels des verwendeten Bildaufnehmers  $PX'$  beträgt 5  $\mu\text{m}$ . Die zulässige Unschärfe im Bild darf zwei Pixel nicht überschreiten.

Die zulässige Objektverschiebung  $l_{\text{zul}}$  im Bild berechnet sich wie folgt:

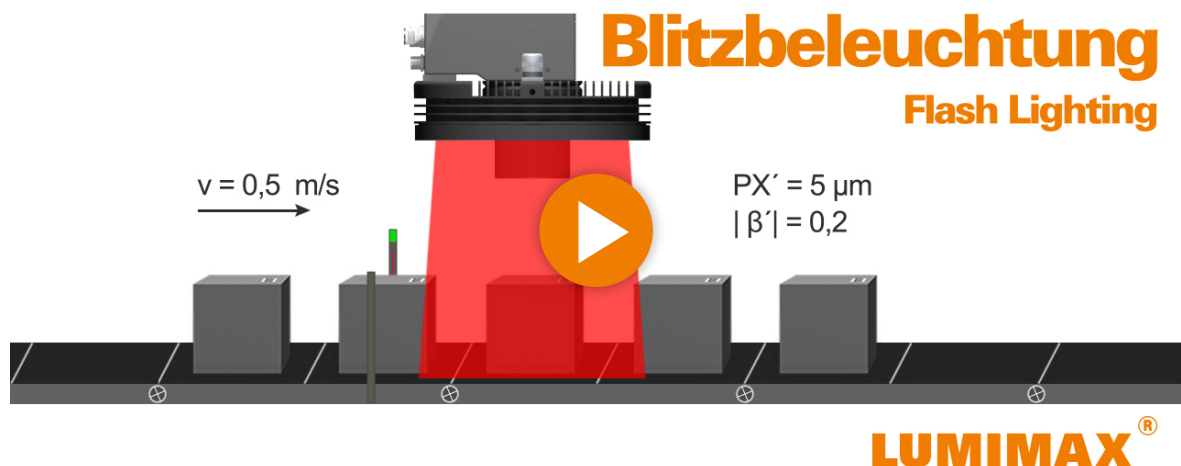
$$l_{\text{zul}} = \frac{\text{zulässige Unschärfe} \cdot PX'}{|\beta'|} = \frac{2 \text{ Pixel} \cdot 5 \frac{\mu\text{m}}{\text{Pixel}}}{0,2} = 50 \mu\text{m}$$

Mithilfe der zulässigen Objektverschiebung und der Objektgeschwindigkeit kann anschließend die maximale Blitzzeit  $t_{\max}$  berechnet werden.

$$t_{\max} = \frac{l}{v} = \frac{50 \mu\text{m}}{0,5 \frac{\mu\text{m}}{\mu\text{s}}} = 100 \mu\text{s}$$

Mit einer Belichtungs- bzw. Blitzzeit von 100  $\mu\text{s}$  kann demzufolge gewährleistet werden, dass sich das Objekt nicht mehr als 2 Pixel im Bild bewegt.

#### Video: Prüfung mithilfe eines Bildverarbeitungssystems bei schnellen Bewegungsabläufen



Video abrufbar unter:  
<https://www.iimag.de/lumimax/wissen/videos/video-blitzbeleuchtung.html>

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

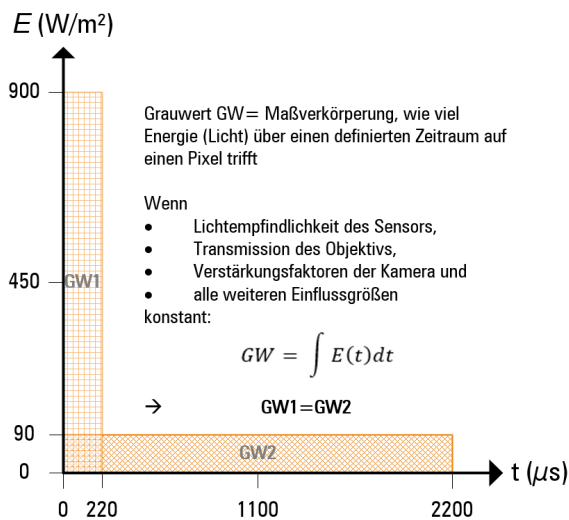
Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-from-  
Shading

## 4.4 Blitzen – Was muss man beachten?

### 3. Zusammenhang Bestrahlungsstärke und Belichtungszeit

Vor allem im Labor wird häufig zunächst im Permanentbetrieb getestet. Soll dann bei der Integration in die Anlage auf Blitzbetrieb umgestiegen werden, stellt sich die Frage, mit welcher Blitzzeit  $t$  eine entsprechende Helligkeit erreicht werden kann. Geht man davon aus, dass alle übrigen Einstellungen, wie Lichtempfindlichkeit des Sensors, Transmission des Objektivs und die Verstärkungsfaktoren der Kamera gleich bleiben, kann man dies mithilfe der Faktoren Bestrahlungsstärke  $E(t)$  und Grauwert  $GW$  berechnen:

$$GW = \int E(t) dt$$



Grauwert bei unterschiedlicher Belichtungszeit und Bestrahlungsstärke

#### Ein Beispiel:

Im Permanentbetrieb wurde ein Prüfteil  $2200 \mu s$  mit einer Bestrahlungsstärke von  $90 \text{ W/m}^2$  beleuchtet. Im Blitzbetrieb soll dasselbe Prüfteil aufgenommen werden. Die Grauwerte im Prüfbild sollen dem des Permanentbetriebs entsprechen. Um diese Vorgabe zu erfüllen, muss berechnet werden, um welchen Faktor die Bestrahlungsstärke im Blitzbetrieb gesteigert werden muss.

Geht man von einer Belichtungszeit von  $220 \mu s$  aus, ergibt sich das folgende Verhältnis:

$$E_{\text{Blitz}} = \frac{t_{\text{Permanent}}}{t_{\text{Blitz}}} = \frac{2200 \mu s}{220 \mu s} \rightarrow \text{Faktor } 10$$

Die Blitzbeleuchtung muss dementsprechend zehnmal heller sein als die Permanentbeleuchtung. Kann dies gewährleistet werden, ist der Einsatz einer Blitzbeleuchtung möglich, ohne einen Helligkeitsverlust in Kauf nehmen zu müssen.

Werden die soeben genannten drei Faktoren bei der Auslegung der geeigneten Blitzbeleuchtung beachtet, erleichtert dies die Integration in die Anlage. Darüber hinaus verfügen fast alle LUMIMAX® LED Blitzbeleuchtungen über eine Besonderheit, die den Einbau in die Maschinenumgebung zusätzlich vereinfacht – einen integrierten Blitzcontroller. Dieser garantiert eine größtmögliche Sicherheit und Funktionalität sowie eine kurze Integrationszeit in das BV-System. Leistungsverluste durch lange Leitungen zwischen Controller und Beleuchtung gibt es nicht. Der integrierte Controller spart zudem Platz und Kosten, da auf ein zusätzliches Modul verzichtet werden kann.

Einfluss des Beleuchtungswinkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs. Permanent

Fluoreszenz-anwendungen

Beleuchtungstechnik zum Lesen und Verifizieren von Codes

Beleuchtungstechnik für Shape-form-Shading

## 4.4 Blitzen – Was muss man beachten?

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-from-  
Shading



Montagelösungen mit Kamera und Beleuchtung

Das umfangreiche optische, elektrische und mechanische Zubehör der LUMIMAX<sup>®</sup> LED Beleuchtungen vereinfacht zusätzlich sowohl die Anpassung auf kundenspezifische Aufgabenstellungen als auch die Anbindung in die Maschinenumgebung. Die innovativen Lösungen ermöglichen eine kompakte, schnelle und einfache Integration der Beleuchtungen. Mit dem speziellen T-Adapterkabel\* kann die Beleuchtung direkt an das Kamerasystem angeschlossen und von diesem gesteuert werden. Das minimiert den Verdrahtungsaufwand und erleichtert die Inbetriebnahme der Komponenten. Das Adapterkabel befindet sich dabei zwischen dem elektrischen Anschluss der Kamera und der Spannungsversorgung. Darüber wird die Beleuchtung direkt in diesen Signalfluss eingekoppelt und kann sowohl ihre Stromversorgung als auch das Triggersignal von der Kamera beziehen. Dies reduziert den Konstruktions- und Montageaufwand, wodurch eine erhebliche Kostensparnis erzielt werden kann.

Die LUMIMAX<sup>®</sup> Montagelösungen ermöglichen die direkte Montage der leistungsstarken LED Beleuchtungen an verschiedene Kameraserien von Cognex, Baumer, Keyence, SensoPart und Siemens. Die Montagevariationen lassen sich individuell anpassen und sind flexibel erweiterbar, sodass insgesamt eine exakte Anpassung von Beleuchtungswinkel und Arbeitsabstand gewährleistet ist. Damit werden Beleuchtung, Optik und Kamera zu einer kompakten Einheit.

\*Nutzbar für alle LUMIMAX<sup>®</sup>-Blitzbeleuchtungen mit Ausnahme von Beleuchtungen, welche einen externen Controller benötigen sowie LG3020FL, LGCB3020FL, LG4030FL, LGCB4030FL und LB500FL.



Kapitel 1 - Der Einfluss des Beleuchtungswinkels

Kapitel 2 - Wellenlängen

Kapitel 3 - Optische Filter

Kapitel 4 - Blitzen vs. Permanent

**Kapitel 5 - Fluoreszenzanwendungen**

Kapitel 6 - Beleuchtungstechnik zum  
normgerechten Lesen und Verifizieren von Codes

Kapitel 7 - Beleuchtungstechnik für Shape-from-Shading

## 5. Fluoreszenzanwendungen

UV-Beleuchtungen kommen immer dann zum Einsatz, wenn Materialien zum „Leuchten“ angeregt werden sollen. Die Anregungswellenlänge ist dabei abhängig von dem verwendeten Fluoreszenzmittel, kann sich aber im kompletten Spektrum – von ultraviolett bis hin zum nahen Infrarot – befinden. Da in industriellen Prozessen der Einsatz ultravioletter Strahlung überwiegt, konzentriert sich dieser Teil der Wissensreihe auf Anwendungen mit ultravioletter Bestrahlung. Fluoreszenzanwendungen sind in unterschiedlichen Branchen gefragt.

### Einige Anwendungsfelder im Überblick:

- Kontrolle von Klebstoff, Lack, Dicht- und Schmiermitteln
- Prüfung von Markierungen und Sicherheitsmerkmalen als Schutz vor Plagiaten und Fälschungen
- Produktkennzeichnungen
- Track & Trace
- Rückstands- und Restschmutzanalyse
- Riss-, Lunker- und Defektprüfung
- Forensische Analysen



Track & Trace in der Pharmazieindustrie

Das beschriebene „Leuchten“ entsteht durch Lumineszenz, ein photophysikalischer Vorgang. Lumineszenz ist die optische Strahlung, die beim Übergang von einem angeregten Zustand zum Grundzustand entsteht. Dabei unterscheidet man zwischen Fluoreszenz und Phosphoreszenz.

- Bei der **Fluoreszenz** emittiert ein Material Licht während der Anregung. Es beginnt also unter Bestrahlung in einer bestimmten Wellenlänge zu leuchten. Dieses Leuchten klingt jedoch direkt nach der Bestrahlung wieder ab.
- Die **Phosphoreszenz** beschreibt einen ähnlichen Effekt, jedoch leuchtet das Material bei dieser Form nach Ende der Bestrahlung nach. Dieses Nachleuchten kann bis zu mehrere Stunden andauern, aber auch nach Sekundenbruchteilen abklingen. Die Dauer ist abhängig vom phosphoreszierenden Stoff und der Bestrahlungsstärke.



Gussteil mit fluoreszierendem Auftrag unter UV-Bestrahlung  
Links: Fluoreszenz für menschliches Auge gut zu erkennen



Rechts: gleiche Einstellung wie links; Monochrom-Kamerabild

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

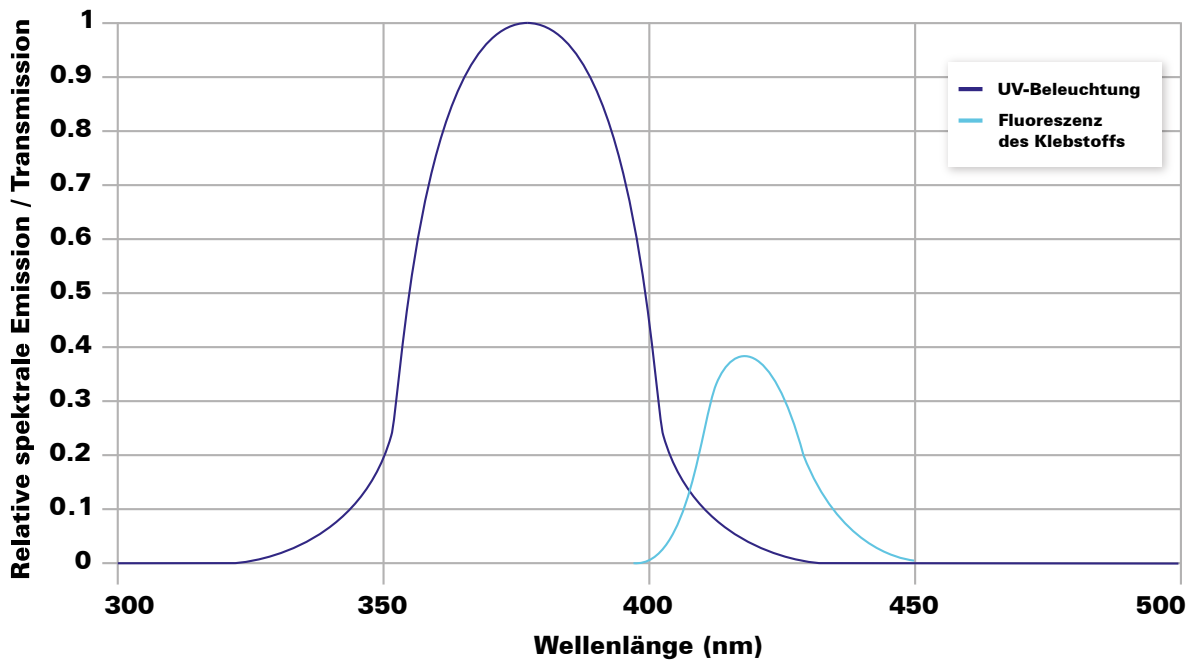
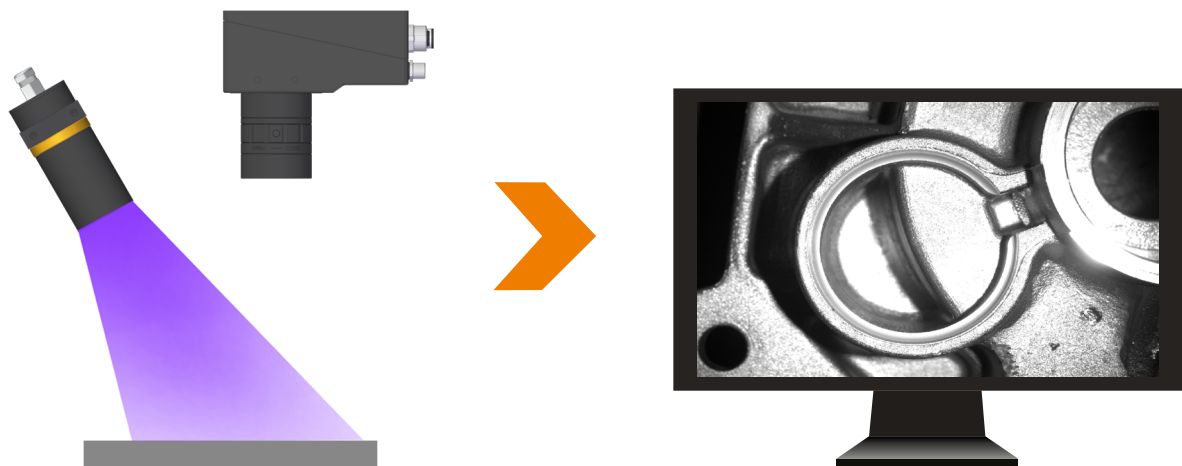
Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-form-  
Shading

## 5. Fluoreszenzanwendungen

Während die Begutachtung phosphoreszierender Materialien ohne spezielle Filter erfolgen kann, tritt bei fluoreszierenden Stoffen das Problem auf, dass das emittierte Licht energieärmer ist, als das absorbierte. Mit dem Auge ist die Fluoreszenz deutlich zu erkennen. Das führt zu dem Trugschluss, dass die Kamera das Leuchten ebenso gut wahrnehmen muss. Diese ist jedoch im ultravioletten Spektrum wesentlich empfindlicher, während das menschliche Auge die UV-Strahlung kaum wahrnimmt. In Wirklichkeit ist das Leuchten geringer als die Lichtstärke der UV-Beleuchtung. Im Kamerabild überstrahlt das UV-Licht die Fluoreszenz des angeregten Stoffes. Häufig ist der Kontrast zu schwach, um eine prozesssichere Kontrolle zu gewährleisten.

### Bildaufnahme ohne Objektiv- und Beleuchtungsfilter



Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

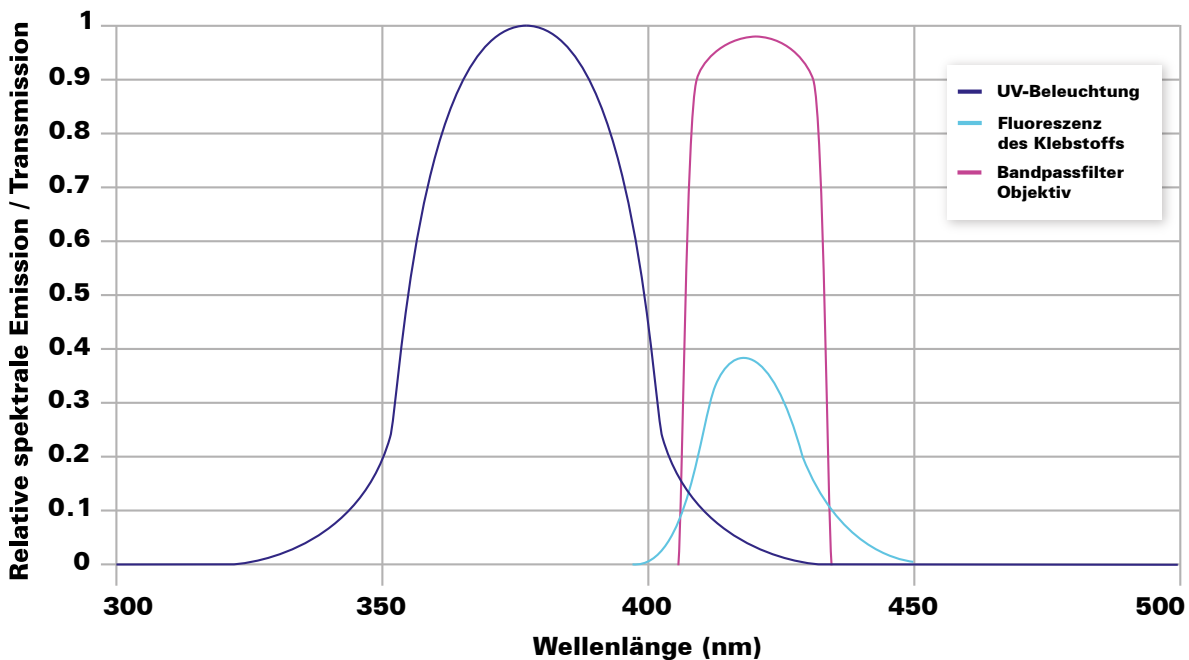
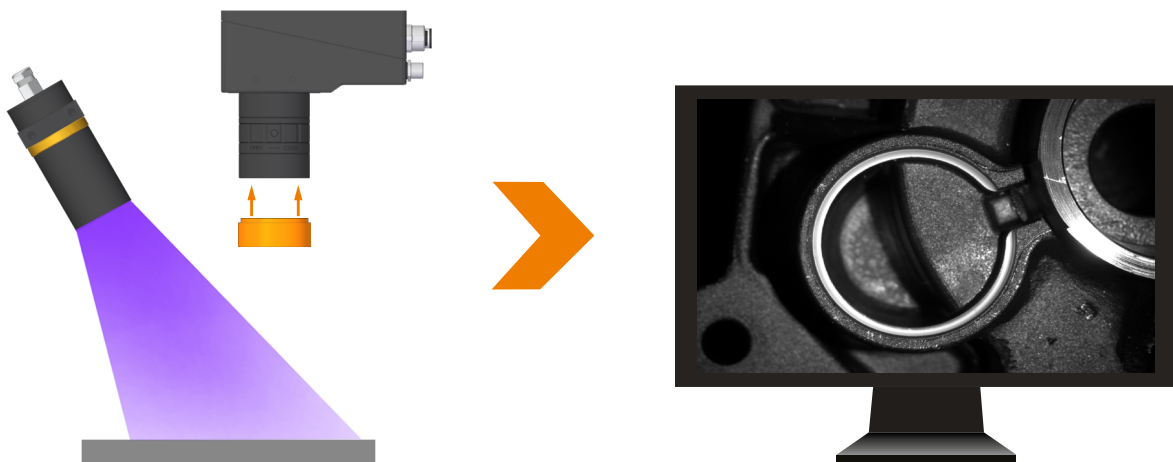
Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-from-  
Shading

## 5. Fluoreszenzanwendungen

Um solche Aufgabenstellungen zuverlässig zu lösen, empfiehlt sich die Verwendung einer Hochleistungs-LED Beleuchtung in Kombination mit speziellen Filtern.

Wichtigster Faktor dabei ist die Auswahl eines geeigneten Objektivfilters. Im besten Fall wird ein Bandpassfilter verwendet, der genau auf die Wellenlänge des fluoreszierenden Stoffs abgestimmt wird. Leuchtet das zu betrachtende Material mit 430 nm, wird ein Filter ausgewählt, der genau diese Wellenlänge hindurchlässt, alle anderen Wellenlängen jedoch sperrt. Dadurch kann sowohl Fremdlicht, als auch ein Großteil der benötigten UV-Strahlung ausgeblendet werden. Da dies jedoch nicht immer möglich ist, zum Beispiel bei weißer Fluoreszenz, kann ebenso mit einem Langpassfilter gearbeitet werden. Dieser sollte das Störlicht der UV-Beleuchtung komplett blocken.

**Bildaufnahme mit Objektivfilter, aber ohne Beleuchtungsfilter**



Einfluss des Beleuchtungswinkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs. Permanent

Fluoreszenzanwendungen

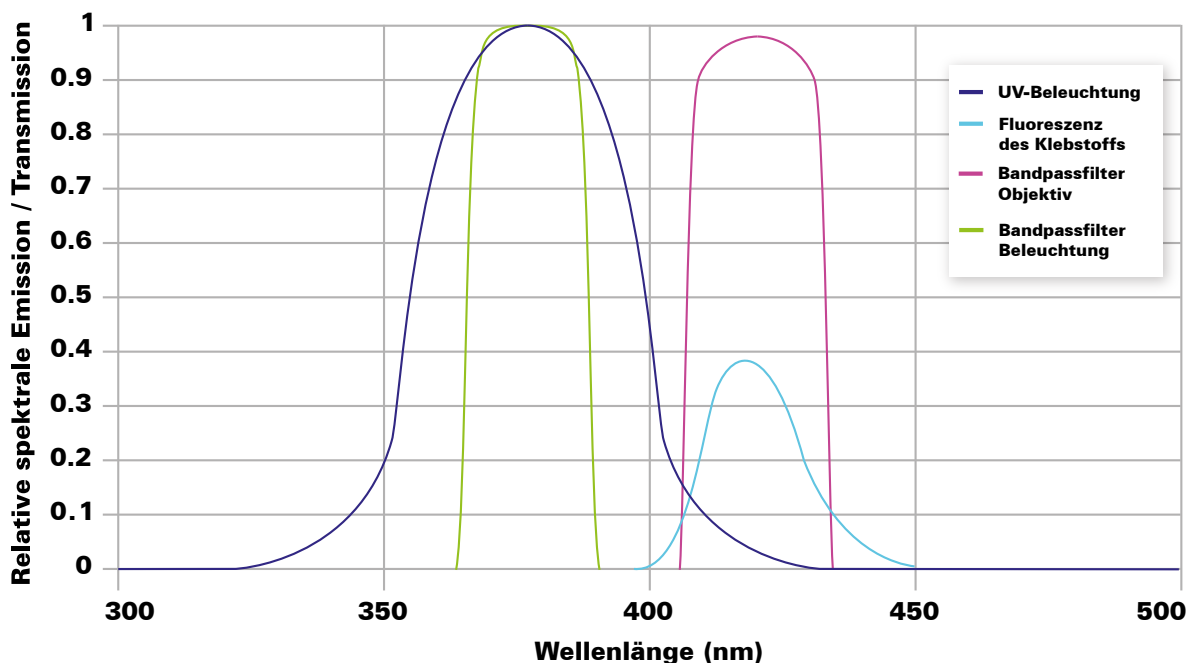
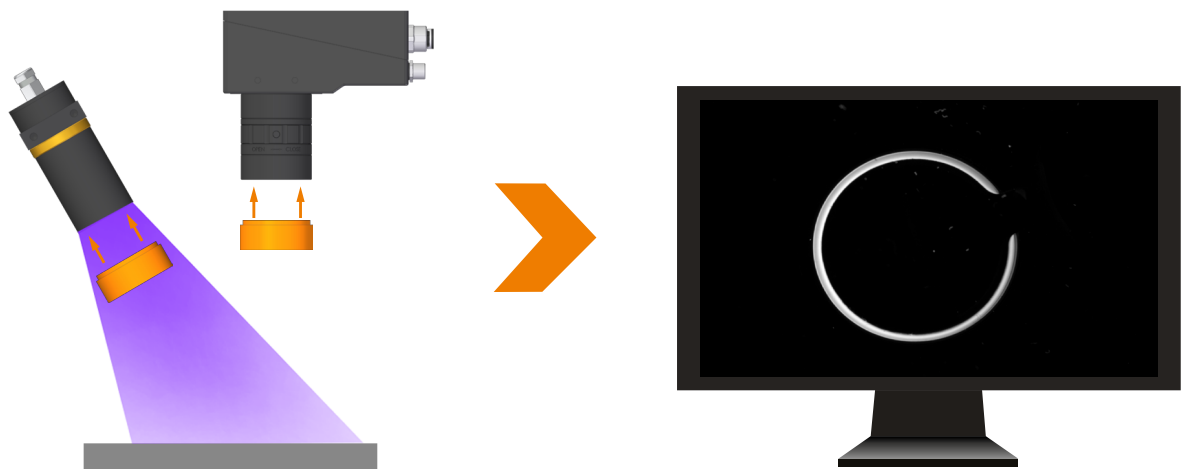
Beleuchtungstechnik zum Lesen und Verifizieren von Codes

Beleuchtungstechnik für Shape-form-Shading

## 5. Fluoreszenzanwendungen

UV-LEDs emittieren ein recht breites Lichtspektrum, welches auch einen Anteil sichtbares blaues Licht beinhaltet. Besonders blaue oder weiße Fluoreszenz erschwert die Auswahl eines Objektivfilters, da die Spektren der Lichtquelle und der Fluoreszenz sehr nah beieinander liegen. Hier kommen spezielle Beleuchtungsfilter zum Einsatz, die nur die tatsächlich benötigte UV-Strahlung transmittieren und das übrige Licht sperren.

### Bildaufnahme mit Objektivfilter und Beleuchtungsfilter



Durch die Verwendung einer Hochleistungs-LED Beleuchtung in Kombination mit perfekt abgestimmten Objektiv- und Beleuchtungsfiltern kann sowohl das Licht der Beleuchtung, als auch störendes Umgebungslicht gänzlich eliminiert werden. Als Ergebnis erscheinen fluoreszierende Merkmale hell leuchtend im Kamerabild auf einem dunklen Untergrund.

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-from-  
Shading



Kapitel 1 - Der Einfluss des Beleuchtungswinkels

Kapitel 2 - Wellenlängen

Kapitel 3 - Optische Filter

Kapitel 4 - Blitzen vs. Permanent

Kapitel 5 - Fluoreszenzanwendungen

**Kapitel 6 - Beleuchtungstechnik zum  
normgerechten Lesen und Verifizieren von Codes**

Kapitel 7 - Beleuchtungstechnik für Shape-from-Shading

## 6. Beleuchtungstechnik zum normgerechten Lesen (Validierung) und Verifizieren von Codes

*In der modernen vollautomatisierten Fertigung von morgen steuern Fabrikate ihren eigenen Fertigungsprozess. Innovative Trackingverfahren ermöglichen mithilfe einer maschinenlesbaren Produktkennzeichnung eine Optimierung der Fertigungsprozesse, Maschinenauslastung, Kosten und Produktqualität. Jedoch steht und fällt der Traum von Industrie 4.0 mit der Kommunikation zwischen Produkt und Maschine. Nur ein Produktcode mit hoher Qualität garantiert einen reibungslosen Informationsfluss. Durch eine bildverarbeitungs-basierte Verifikation des Codes werden Probleme behoben - bevor sie entstehen.*

### Lesen

Reines Auslesen von Codes

### Normgerechtes Lesen (Validierung oder Grading)

Objektive Beurteilung der Codequalität ohne strikte Einhaltung der Normvorgaben

### Verifikation

Überprüfung der Codequalität anhand standardisierter Verfahren und Parameter nach internationalen Normvorgaben

In einer „intelligenten“ Fabrik kommunizieren die Produkte direkt mit den Maschinen. Über einen Produktcode teilt das Fabrikat der Anlage mit, welcher Schritt als nächster erfolgen muss. Anhand der gewonnenen Informationen lässt sich der komplette Fertigungsprozess jedes einzelnen Produktes nachverfolgen. So werden die Abläufe optimal gesteuert.

Produktkennzeichnungen können nicht nur zur Prozessoptimierung und Qualitätsprüfung eingesetzt werden. Ebenso können dem Anwender im Handumdrehen über einen Data Matrix Code alle von ihm benötigten Informationen zur Verfügung gestellt werden. Auch die Rückverfolgbarkeit von Produkten gewinnt immer mehr an Bedeutung, so zum Beispiel bei der Bekämpfung von Plagiaten in der Pharmaindustrie.

### Direkt Part Marking (DPM) - Verfahren

- Nadelmarkierer
- Lasermarkierer
- Ritzpräger
- Elektrolytische Markierer (Ätzen)
- Ink-Jet

Allerdings funktioniert dies nur dann reibungslos, wenn die Produktcodes zuverlässig ausgewertet werden können. Direktmarkierte Codes sind dabei besonders robust und langlebig. Beim Direct Part Marking (DPM) wird der maschinenlesbare Code unmittelbar auf das Produkt aufgebracht. Damit entfällt das Aufkleben zusätzlicher Etiketten.

Die Güte eines Codes wird im Idealfall direkt nach dem Markierungsprozess in der Anlage und immer dann, wenn die Markierung beeinflusst wurde, gemäß standardisierter Verfahren bewertet. Über eine Trendanalyse wird zu jeder Zeit sichergestellt, dass der Markierungsprozess optimal verläuft. Lässt ein Markiersystem in seiner Qualität nach, ist dies bereits absehbar, bevor die Markierung tatsächlich nicht mehr auswertbar ist. Eine aufwendige Nacharbeit oder gar Ausschuss kann so von vornherein ausgeschlossen werden. Die Verifikation garantiert eine 100% Lesbarkeit des Codes über den gesamten Produktionsprozess und sogar darüber hinaus.

Zum Validieren und Verifizieren sind nicht nur die Kamera- und Softwarefaktoren von Bedeutung. Auch die Umgebungs- und Installationsbedingungen und damit die Beleuchtungssituation spielen hier eine große Rolle.

Der normgerechte Aufbau setzt dabei meistens einen 90° Blickwinkel der Kamera und damit eine lotrechte Anordnung der Kamera zum Prüfteil voraus. Eine Änderung dieses Blickwinkels würde eine axiale Ungleichmäßigkeit des Codes hervorrufen und führt dadurch zu einem schlechten Ergebnis in der Qualitätsbeurteilung.



Data Matrix Code - korrekt abgebildeter Code im 90° Blickwinkel



verzerrter Code durch Änderung des Blickwinkels

Einfluss des Beleuchtungswinkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs. Permanent

Fluoreszenz-anwendungen

Beleuchtungstechnik zum Lesen und Verifizieren von Codes

Beleuchtungstechnik für Shape-form-Shading

## 6. Beleuchtungstechnik zum normgerechten Lesen (Validierung) und Verifizieren von Codes

Einfluss des Beleuchtungswinkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs. Permanent

Fluoreszenz-anwendungen

Beleuchtungstechnik zum Lesen und Verifizieren von Codes

### Die Normen

Für das normgerechte Lesen und Verifizieren von Codes sind besonders die Normen ISO/IEC 15415:2011/ 15416:2016 sowie die ISO/IEC 29158:2020 interessant.

#### ISO/IEC 15415:2011/ 15416:2016

Die ISO-Norm 15415:2011/ 15416:2016 bezieht sich auf gedruckte Codes auf Etiketten und ähnlichem.

#### ISO/IEC 29158:2020

Die DPM-Norm ISO 29158:2020 wird hingegen für Direktmarkierungen – Direct Part Mark (DPM) – genutzt und gilt zum Beispiel auch für gelaserte und genadelte Codes auf verschiedenen Oberflächen.

Die Grundlage zur Verifikation direktmarkierter 2D-Codes bildet die Norm ISO/IEC 29158:2020 (AIM DPM). Für gedruckte Codes wird der Standard der ISO/IEC 15415:2011 /15416:2016 zur Hilfe genommen.

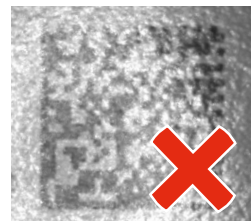
Die Normen definieren neben den Prüfkriterien und -verfahren ebenso die genauen Parameter zur Bildgewinnung. Damit wird sichergestellt, dass der Code nicht durch die ausgewählten Komponenten verfälscht wird. So erfolgt die Auslegung des Bildverarbeitungssystems nicht nur auf den Bauteiluntergrund, sondern auch auf die spezifischen Eigenschaften der Markierung bzw. des Drucks. Bei der Auswahl des Bildverarbeitungssystems hat die Beleuchtung eine besondere Schlüsselrolle.

Erlaubt sind (in Abhängigkeit von der verwendeten Norm) drei verschiedene Beleuchtungsanordnungen: Die Anordnung von 1, 2 oder 4 Beleuchtungssystemen in einem 30° oder 45° Winkel. Für stark glänzende oder spiegelnde Oberflächen kann außerdem eine koaxial eingespiegelte oder sogar eine Dombeleuchtung eingesetzt werden.

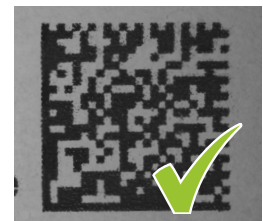
### ISO/IEC 15415:2011/ 15416:2016 für gedruckte Codes

Die Norm ISO/IEC 15415:2011/ 15416:2016 definiert zum normgerechten Lesen und Verifizieren von Codes drei Beleuchtungsvarianten, wobei vier im Quadrat angeordnete Beleuchtungen mit einem Winkel von 45° zur Oberfläche als Standardbeleuchtung definiert sind. Der Winkel kann je nach Applikation auch verringert werden, z. B. auf 30° zur Oberfläche.

Bei besonderen Bedingungen, zum Beispiel für glänzende und spiegelnde Oberflächen, ist auch eine diffuse Beleuchtung zulässig, die sich wiederum im 90° Winkel zum Objekt befindet. Somit ist das Lichtfeld parallel zur Oberfläche. Für diese Anwendungen kommt eine koaxial eingespiegelte Beleuchtung zum Einsatz. Hierbei wird eine diffuse, homogene Lichtquelle über einen halbdurchlässigen Spiegel direkt in den Strahlengang der Optik eingebracht. Dadurch wird das Objekt sehr gleichmäßig und schattenfrei ausgeleuchtet.



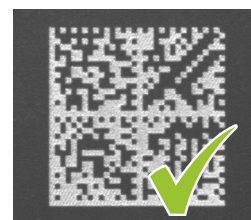
Data Matrix Code auf einer Karton-Umverpackung - gerichtete 45° Anordnung aus 4 Richtungen



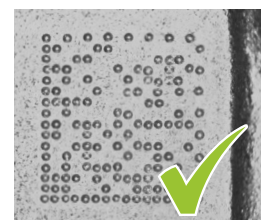
diffuse koaxial eingespiegelte Beleuchtung

### ISO/IEC 29158:2020 für direktmarkierte Codes

Für direktmarkierte Codes lässt die ISO/IEC 29158:2020 im Gegensatz zur ISO/IEC 15415:2011/ 15416:2016 zusätzliche Beleuchtungsvarianten zu. Unter anderem wird der Standardaufbau von vier im Quadrat angeordneten Beleuchtungen um Varianten mit zwei gegenüberliegenden Beleuchtungen sowie einer einzelnen Beleuchtung erweitert. Der Winkel von 45° zur Oberfläche kann je nach Applikation verändert werden, z. B. auf 30°.



Gelasertes Code auf Kunststoffoberfläche



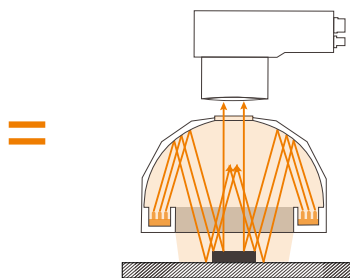
Genadeltes Code auf Metallguss oberfläche

## 6. Beleuchtungstechnik zum normgerechten Lesen (Validierung) und Verifizieren von Codes

Je nach Material und Form des Prüfteils kann hier eine geeignete Variante bestimmt werden:

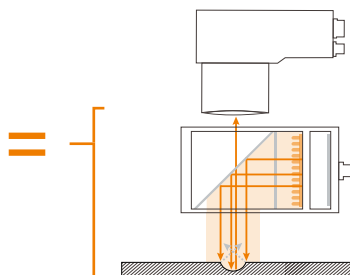
- **Plane, matte und raue Oberflächen:** vierseitige Beleuchtungsanordnung
- **Gewölbte und rotationssymmetrische Oberflächen:** zwei- oder einseitige Beleuchtungsanordnung
- **Glänzende und spiegelnde Oberflächen:** Koaxial- oder Dombeleuchtung
- **Glänzende Oberflächen mit komplexer Struktur:** Dombeleuchtung

### Normgerechter Aufbau



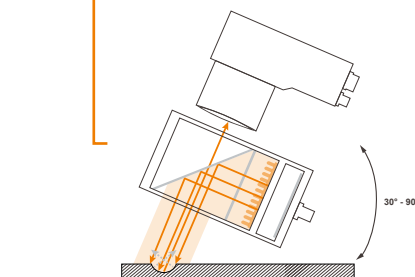
#### Off-axis diffuse „D“

Norm ISO/IEC 29158:2020



#### On-axis diffuse 90° „90“

Norm ISO/IEC 29158:2020

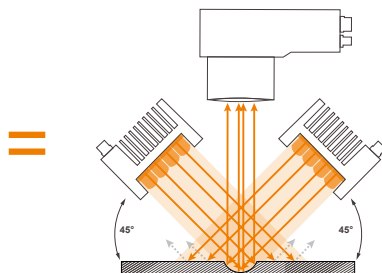


#### Tilted coaxial lighting and camera (TCL)\*

Norm ISO/IEC 29158:2020

- 30° „30CS“
- 45° „45CS“
- 60° „60CS“

\* Hinweise: spezielle Hard-/Software notwendig;  
Ringbeleuchtungen für TCL geeignet



#### Medium angle 45° / Low angle 30°

Norm ISO/IEC 15415:2011/  
15416:2016:

- four direction: „45Q“, „30Q“

Norm ISO/IEC 29158:2020:

- four direction: „30Q“
- two direction: „30T“
- one direction: „30S“

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-form-  
Shading

## 6. Beleuchtungstechnik zum normgerechten Lesen (Validierung) und Verifizieren von Codes

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

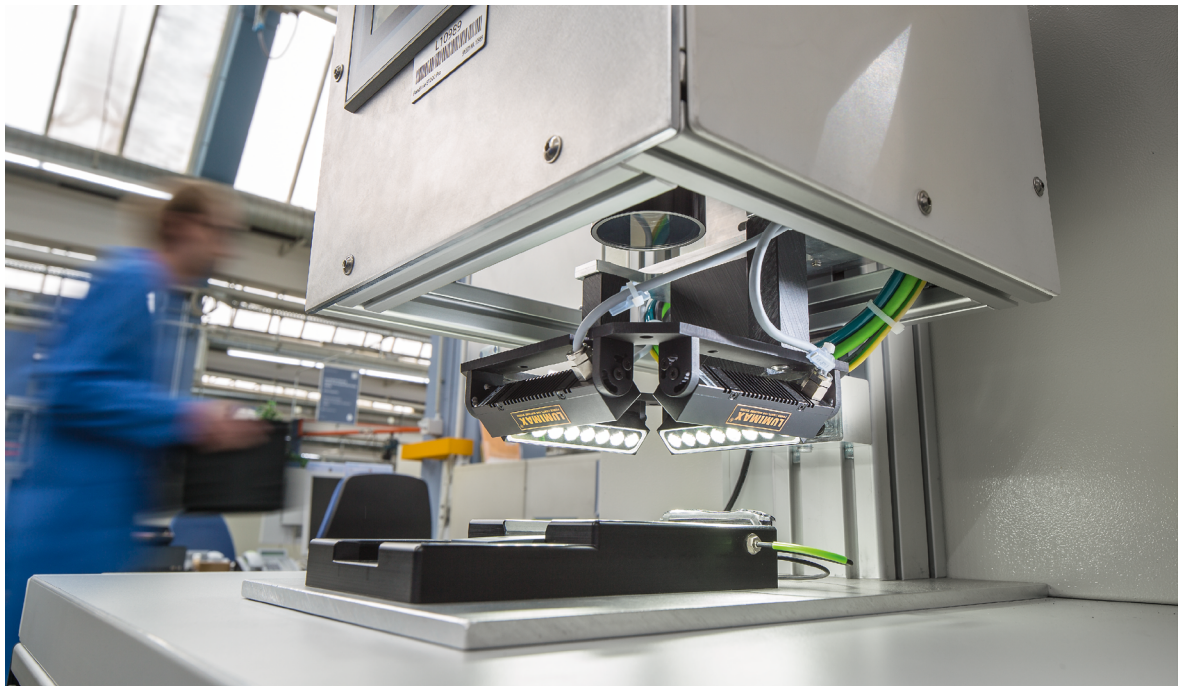
Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-from-  
Shading

### Einfache Integration

Die Beleuchtung und ihre Anordnung zum Prüfobjekt ist ein wichtiger Faktor, wenn es um das normgerechte Lesen und Verifizieren von Codes geht. Um eine normgerechte, reproduzierbare und einfache Integration der Beleuchtung in die Anlagenumgebung zu gewährleisten, gibt es die LUMIMAX<sup>®</sup> Montagesysteme. Eine besondere Möglichkeit zur Montage einer Koaxial- oder Dombeleuchtung bietet der LUMIMAX<sup>®</sup> Verifikations-Adapter. Über diesen wird die Beleuchtung nicht nur befestigt, sondern auch definiert ein- und ausgeschwenkt. Kamera, Optik und Beleuchtung können optimal eingestellt und im Anschluss der Schutztubus montiert werden, ohne dass etwas an den Einstellungen verändert werden muss. Dazu wird die Beleuchtung einfach ausgeschwenkt, der Schutztubus problemlos montiert und anschließend die Beleuchtung wieder an die exakte Einrichtposition zurückgeschwenkt. Weiterhin gewährleistet der LUMIMAX<sup>®</sup> Verifikationsadapter einen reproduzierbaren Aufbau über alle Lesestationen.

Auch für die LUMIMAX<sup>®</sup> LED Balkenbeleuchtungen gibt es ein intelligentes Montagesystem. Diese können als vier-, zwei-, und einseitige Beleuchtung in einem Montagerahmen verbaut werden. Für die normgerechten 45° und 30° Winkel gibt es bereits gekennzeichnete Fixierpunkte, mit denen das normgerechte Einrichten gewährleistet wird. Darüber hinaus kann der Winkel in 7,5° Schritten von 0° – 90° verändert werden. Dieses Montagesystem lässt sich ebenfalls an dem LUMIMAX<sup>®</sup> Verifikationsadapter befestigen und ermöglicht so ein einfaches Ein- und Ausschwenken der Beleuchtung an eine definierte normgerechte Position.



Verifikations-Station zur manuellen Qualitätskontrolle von Data Matrix Codes



Kapitel 1 - Der Einfluss des Beleuchtungswinkels

Kapitel 2 - Wellenlängen

Kapitel 3 - Optische Filter

Kapitel 4 - Blitzen vs. Permanent

Kapitel 5 - Fluoreszenzanwendungen

Kapitel 6 - Beleuchtungstechnik zum  
normgerechten Lesen und Verifizieren von Codes

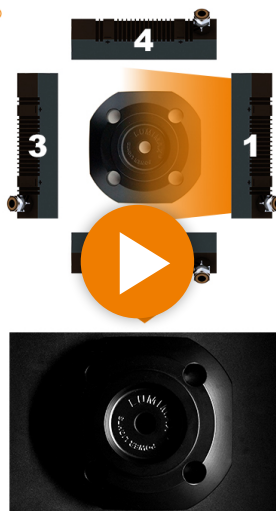
**Kapitel 7 - Beleuchtungstechnik für Shape-from-Shading**

## 7. Beleuchtungstechnik für Shape-from-Shading Anwendungen

Die zuverlässige automatisierte Inspektion schwieriger Oberflächen gilt als Königsklasse der Bildverarbeitung. Dazu gehört das Detektieren von Oberflächendefekten genauso wie das Erkennen von Prüfmerkmalen. Allerdings ist das, was der Mensch oft bereits auf den ersten Blick erkennt, für das Bildverarbeitungssystem eine der größten Herausforderungen. Kleinste Defekte und Merkmale auf einer Oberfläche zu erfassen, ist für sich schon eine anspruchsvolle Aufgabe. Verschiedenste Formen, Texturen, Farben, Oberflächenveränderungen und Reflexionseigenschaften erschweren die Auswertung zusätzlich. Doch wo die klassische Bildverarbeitung an ihre Grenzen stößt, setzt Shape-from-Shading an – eine perfekte Symbiose aus Bildverarbeitungssystem und Beleuchtung.

Shape-from-Shading beruht auf der Trennung von Textur und Topografie des Prüfobjekts. Dazu wird die zu prüfende Region mit mehreren Bildaufnahmen aus unterschiedlichen Richtungen beleuchtet. Jede Aufnahme spiegelt die richtungsabhängige Schattierung der Oberfläche wieder. Durch Licht und Schatten erhält man die Höhen- und Tiefeninformationen, die zur Weiterverarbeitung benötigt werden. Die einzelnen Aufnahmen werden anschließend miteinander verrechnet und liefern als Ergebnis die topografischen Informationen des Prüfobjekts. So entsteht eine fast schon 3-dimensionale Darstellung der betrachteten Oberfläche. In einer klassischen Bildaufnahme beeinflussen Farbunterschiede, Helligkeitsveränderungen, Texturmerkmale und Oberflächenveränderungen wie z. B. Rost die Auswertung. Mit Shape-from-Shading werden diese Störfaktoren weitestgehend ausgeblendet, erhalten bleiben 3D-Informationen der Oberfläche. Schon wenige Mikrometer hohe oder tiefe Defekte und Merkmale werden sichtbar. Das errechnete Ergebnisbild kann schnell und zuverlässig mit Standard-Bildverarbeitungs-Algorithmen wie OCR-Erkennung oder einer Kantendetektion ausgewertet werden.

**LUMIMAX®**



**SHAPE FROM SHADING**



Video abrufbar unter: <https://www.iimag.de/lumimax/wissen/videos/video-shape-from-shading.html>

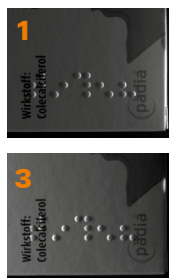
### Typische Anwendungen für Shape-from-Shading sind:

- Oberflächeninspektionen auf stark glänzendem Untergrund
- Kontrolle von Schlagzahlen, Prägungen, Gravuren
- Lesen von genadelten oder gelaserten Zeichen und Codes
- Kanteninspektionen
- Bestückungskontrollen, z. B. beim Fügen verschiedener Kunststoffteile
- Typ- und Lagekontrollen

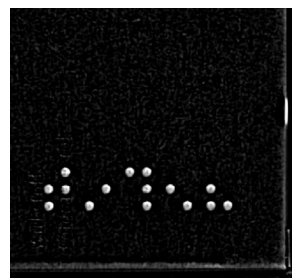
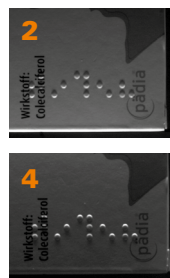
Beispielsweise ist **Braille-Schrift auf einer bedruckten Medikamentenverpackung** durch die Trennung von Topografie- und Farbinformationen deutlich vom mehrfarbigen Untergrund unterscheidbar und einfach zu kontrollieren:



Klassische Bildaufnahme mithilfe einer LED-Dunkelfeldbeleuchtung



Shape-from-Shading Bildaufnahme mithilfe von 4 Miniaturbalken der LSB-Serie



Im Ergebnis hebt sich die Braille-Schrift deutlich vom Untergrund ab

Einfluss des Beleuchtungswinkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs. Permanent

Fluoreszenz-anwendungen

Beleuchtungstechnik zum Lesen und Verifizieren von Codes

Beleuchtungstechnik für Shape-form-Shading

## 7. Beleuchtungstechnik für Shape-from-Shading Anwendungen

Einfluss des Beleuchtungswinkels

Aber auch schwierigere Oberflächen, z. B. Gußteile, stark reflektierende oder geschliffene Metalle, lassen sich durch Shape-from-Shading so darstellen, dass Merkmale wie Prägungen oder Schlagzahlen sicher ausgewertet werden können.

Wellenlängen

Herzstück des Verfahrens ist eine ausgeklügelte Bildverarbeitungsalgorithmik. Wie der Name „Shape-from-Shading“ vermuten lässt, spielen Licht und Schatten wie so oft in der Bildverarbeitung eine entscheidende Rolle. Trotz spezieller Softwarealgorithmen ist und bleibt die Beleuchtung eine der wichtigsten Komponenten bei der Entstehung eines Bildes. Insbesondere bei diesem Verfahren, welches anhand verschiedener Schattenbilder Höhen- und Tiefeninformationen ermittelt, ist die Anordnung der Beleuchtung zu Kamera und Prüfobjekt entscheidend für ein optimales Ergebnis.

Optische Filter



Es können dabei verschiedene Aufsichtbeleuchtungen eingesetzt werden. Voraussetzung ist, dass sich die Beleuchtungen in einzelnen Segmenten umlaufend um das Prüfobjekt schalten lassen.

Unter Beachtung des Materials, der Oberflächeneigenschaften und der Größe des Prüfobjektes sowie des Arbeitsabstandes kommen typischerweise folgende Beleuchtungen infrage:

Blitzen vs. Permanent

- im Quadrat / Rechteck angeordnete Balkenbeleuchtungen,
- segmentweise schaltbare Ring-, Dunkelfeld- oder Dombeleuchtungen.

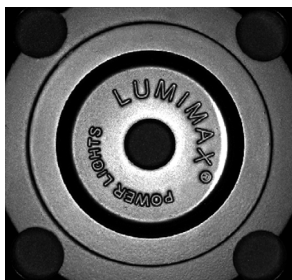
Fluoreszenz-anwendungen

Sehr flexibel können Balkenbeleuchtungen verwendet werden. Diese lassen sich frei anordnen und problemlos in Position, Abstand und Winkel an die jeweilige Aufgabenstellung

Geeignete Beleuchtung für Shape-from-Shading Anwendungen: LUMIMAX<sup>®</sup> Miniatur-Balkenbeleuchtungen in vierseitiger Montagehalterung

anpassen. Eine solche Beleuchtungsanordnung, beispielweise aus 4 Miniaturbalken der LSB-Serie, ermöglicht eine maximale Flexibilität bei einer gleichzeitig lichtstarken Ausleuchtung. Mit einem sehr flachen Abstrahlwinkel erzeugt man selbst bei kleinsten Oberflächenveränderungen einen Schattenwurf. Liegen die Merkmale hingegen verdeckt, z. B. im Inneren eines Rings, kann die Beleuchtung etwas höher und in einem steileren Winkel angeordnet werden.

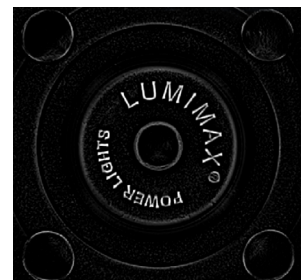
### Beispiel: Gefräste Zeichen im Inneren eines Metallteils



Klassische Bildaufnahme mithilfe einer LED Ringbeleuchtung



Shape-from-Shading Bildaufnahme mithilfe von 4 Miniaturbalken der LSB-Serie



Im Ergebnis heben sich die gefrästen Zeichen deutlich ab

Doch nicht alle Oberflächen lassen sich mit dieser Anordnung optimal beleuchten. Auf stark glänzenden und reflektierenden Flächen bilden sich die Stoßkanten der einzelnen Balkenbeleuchtungen ab. In diesen Fällen ist eine geschlossene Beleuchtungslösung von Vorteil.

Beleuchtungstechnik für Shape-from-Shading



## 7. Beleuchtungstechnik für Shape-from-Shading Anwendungen

Eine ringförmige Beleuchtung, die in 4 oder mehr Segmenten ansteuerbar ist und in Abhängigkeit des Reflexionsverhaltens der Prüfoberfläche mit verschiedenen starken Diffusoren ausgerüstet werden kann, ist hier eine gute Alternative. Ebenso können stark glänzende oder spiegelnde Teile mit einer Domebeleuchtung optimal beleuchtet werden. Dunkelfeldbeleuchtungen eignen sich aufgrund ihres sehr gerichteten Lichts hingegen für Oberflächenveränderungen mit sehr geringer Tiefe bzw. Höhe.

Angesichts der Komplexität des Themas und der Schwierigkeit, mögliche Ergebnisse im Vorherein ohne Tests zu ermitteln, sollte für jede Aufgabenstellung die optimale Beleuchtungsanordnung im Bildverarbeitungslabor erarbeitet werden. Denn nur mit der richtigen Beleuchtung lassen sich so eine Vielzahl von Aufgabenstellungen schnell und sicher lösen.

Einfluss des  
Beleuchtungs-  
winkels

Wellenlängen

Optische Filter

Blitzen vs.  
Permanent

Fluoreszenz-  
anwendungen

Beleuchtungs-  
technik zum  
Lesen und  
Verifizieren von  
Codes

Beleuchtungs-  
technik für  
Shape-form-  
Shading



## Glossar

- **Bestrahlungsstärke**  
Sie beschreibt die gesamte elektromagnetische Energie oder optische Strahlungsenergie, die auf die beleuchtete Fläche trifft. Die Angabe erfolgt in Watt pro Quadratmeter. Bei dieser Betrachtungsweise wird die Empfindlichkeit des Auges komplett außer Acht gelassen.
- **Brewster-Winkel**  
Der Brewster-Winkel, auch Polarisationswinkel genannt, beschreibt den Winkel, bei welchem von nicht polarisiertem Licht nur noch die senkrecht zur Einfallsebene polarisierten Lichtanteile reflektiert werden. Das unpolarisierte Licht wird also, sofern es in einem entsprechenden Winkel auf die Oberfläche auftrifft, als linear polarisiertes Licht von der Oberfläche reflektiert.
- **Jitter**  
Als Jitter wird eine zeitliche Schwankung oder auch ein sogenanntes „Taktzittern“ in digitalen Signalen bzw. bei deren Übertragung bezeichnet. Durch das Jittern kommt eine Ungenauigkeit in der Übertragung des Signals zustande.
- **Lambert-Strahler**  
Der Lambert-Strahler ist ein Strahler, bei dem die Strahldichte über das gesamte Leuchtfeld nach allen Richtungen konstant ist.
- **Planckscher Strahler**  
Ein Schwarzer Körper (auch: Schwarzer Strahler, Planckscher Strahler, idealer schwarzer Körper) ist eine idealisierte thermische Strahlungsquelle. Die Idealisierung besteht darin, dass solch ein Körper alle auftretende elektromagnetische Strahlung jeglicher Wellenlänge vollständig absorbiert. Gleichzeitig sendet er Wärmestrahlung aus, deren Intensität und spektrale Verteilung unabhängig von der Beschaffenheit des Körpers und seiner Oberfläche sind und nur von seiner Temperatur abhängen. Seine Wärmestrahlung ist bei gleich großer Fläche in jedem Wellenlängenbereich stärker als die eines jeden realen Körpers gleicher Temperatur. Solche Körper dienen als Grundlage für theoretische Betrachtungen sowie als Referenz für praktische Untersuchungen elektromagnetischer Strahlung. (Quelle: [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de), 2018)





## **Kontakt**

iiM GmbH measurement + engineering  
Neuer Friedberg 5  
98527 Suhl

Tel.: (+49 ) 3681 / 455 19-0  
Fax: (+49 ) 3681 / 455 19-11  
Web: [www.iimAG.de](http://www.iimAG.de)  
E-Mail: [info@iimAG.de](mailto:info@iimAG.de)

**[www.lumimax.de](http://www.lumimax.de)**