

WHITEPAPER

KAMERASENSORIK TEIL 3

ALLES EINE FRAGE DES LICHTS

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung	3
2 Einige Fachbegriffe und deren Zuordnung	3
3 Beleuchtungsart.....	4
4 Beleuchtungsrichtung	4
4.1 Hellfeld, partielles Hellfeld und Dunkelfeld	4
5 Beleuchtungstechniken	5
5.1 Auflichtbeleuchtungen	5
5.1.1 Gerichtete koaxiale Beleuchtung	5
5.1.2 Diffuse koaxiale Beleuchtung	7
5.1.3 Telezentrische Beleuchtung.....	8
5.1.4 Hellfeld-/partielle Hellfeld-Beleuchtung	9
5.1.5 Dunkelfeldbeleuchtung	9
5.2 Durchlichtbeleuchtungen	10
5.2.1 Hellfeld-Durchlichtbeleuchtung	10
5.2.2 Telezentrische Beleuchtung.....	11
5.2.3 Dunkelfeld-Durchlichtbeleuchtung	12
5.2.4 Transmissive Beleuchtung	12
6 Farbige Beleuchtung	13
6.1 Beleuchtungen mit speziellen Lichtwellenlängen	14
6.1.1 Farben mit Infrarotlicht „ausblenden“	14
6.1.2 UV-Licht.....	15
7 Gezielte Ansteuerung der Beleuchtung mit Blitzcontrolle.....	16

1 EINLEITUNG

Die potenziellen Einsatzbereiche von Kamerasensoren sind äußerst vielseitig, wobei im Grunde in jeder Applikation die Zielsetzung verfolgt wird, an bestimmten Objekten spezifische Merkmale zu prüfen. Damit diese Aufgabenstellung gelingt, muss die Bildverarbeitung eines Kamerasensors im Sinne einer zuverlässigen Auswertung ein zur Objektprüfung verwertbares Bild erhalten, um bspw. konkrete Objektmerkmale bzw. Prüfmerkmale eindeutig hervorheben respektive erkennen zu können. Eine solche Erkennung ist jedoch nur mit einer kontrastreichen Abbildung möglich, die solche Merkmale deutlich hervorhebt.

Der Beleuchtung kommt somit beim Einsatz von Kamerasensoren eine entscheidende Rolle zu, da sie maßgeblich die Prüfergebnisse in einer Applikation beeinflusst, insbesondere dann, wenn die zu prüfenden Merkmale eines Objektes von Bauteil zu Bauteil variieren. Immerhin hat die korrekte Beleuchtung im Hinblick auf eine konkrete Anwendung mit einem Kamerasensor einen Anteil von schätzungsweise Zweidrittel am Erfolg einer Applikationslösung.

In diesem Zusammenhang ist zu betonen, dass es kein „Standardrezept“ für die Wahl der jeweils richtigen Beleuchtung für eine Applikation gibt. Vielmehr zählen hier vor allem vielfältige Erfahrungen, die aus der Umsetzung von Lösungen für unterschiedliche Einsatzfelder gewonnen wurden.

Grundlegende Kenntnisse zu den Einflüssen verschiedener Beleuchtungen auf die Merkmalsprüfung von Objekten sind hierbei aber durchaus hilfreich. Der 3. Teil der Whitepaper-Reihe zum Thema „Kamerasensorik“ beschäftigt sich aus diesem Grund intensiver mit dieser Thematik.

2 EINIGE FACHBEGRIFFE UND DEREN ZUORDNUNG

Das Thema „Beleuchtung“ ist äußerst komplex. Daher ist es zur Einführung ratsam, einige spezifische Begriffe, deren Bedeutung sowie Zuordnung zueinander zu klären. In diesem Whitepaper wird im Allgemeinen zwischen Beleuchtungsart, Beleuchtungsrichtung und Beleuchtungstechnik unterschieden. Die in diesem Zusammenhang relevanten Fachtermini sind:

Beleuchtungsart

/ Auflicht

/ Durchlicht

Beleuchtungsrichtung

/ Hellfeld, partielles Hellfeld, Dunkelfeld

Beleuchtungstechniken

(auf die einzelnen Beleuchtungstechniken wird in Kapitel 5 näher eingegangen)

3 BELEUCHTUNGSART

Bei der Beleuchtungsart wird generell zwischen einer Auflichtbeleuchtung und Durchlichtbeleuchtung unterschieden. Beim Auflicht befindet sich die Beleuchtung oberhalb einer Objektebene. Bei Durchlicht ist die Lichtquelle als Hintergrundbeleuchtung hingegen unterhalb einer Objektebene angeordnet.

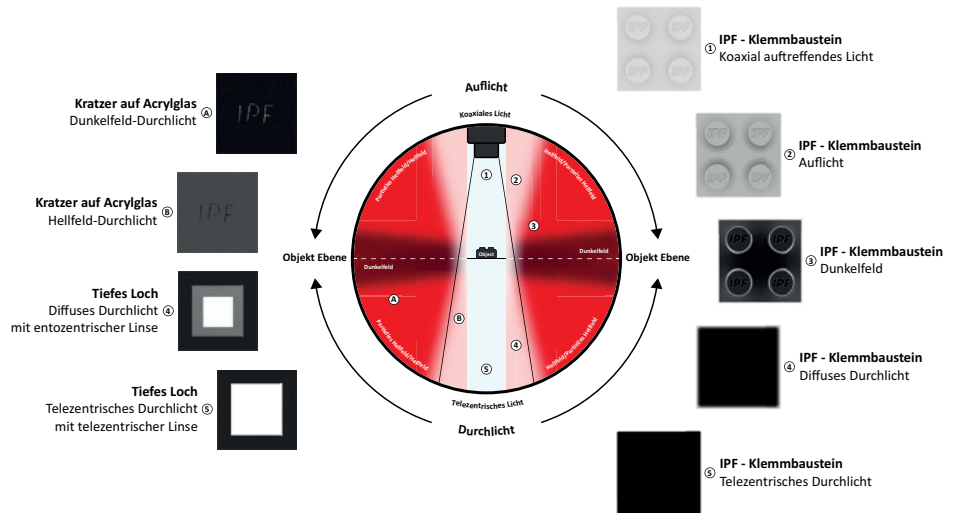


Abb. 1: Position der Beleuchtung und einige Effekte auf die Merkmalsprüfung von Objekten. (Alle Bilder: ipf electronic gmbh)

4 BELEUCHTUNGSRICHTUNG

Sowohl bei Auflicht als auch Durchlicht kann zwischen verschiedenen Beleuchtungsrichtungen differenziert werden. Die Beleuchtungsrichtung beschreibt gewissermaßen den Eintrittswinkel der Lichtstrahlen auf ein Objekt oder eine Objektoberfläche. Je nach Beleuchtungswinkel wird ein Hellfeld, ein partielles Hellfeld oder ein Dunkelfeld erzeugt.

4.1 HELLFELD, PARTIELLES HELLFELD UND DUNKELFELD

In einem Hellfeld werden die Strahlen einer Lichtquelle bei Auflicht von einer Objektoberfläche reflektiert und direkt auf die Kameraoptik projiziert. Bei Durchlicht entsteht das Hellfeld, indem die Lichtstrahlen von unten direkt durch ein transparentes Objekt oder z. B. durch eine Bohrung im Objekt hindurch zur Kameraoptik geleitet werden. Strenggenommen kann ein 100-prozentiges Hellfeld aber nur durch eine telezentrische Beleuchtungstechnik (siehe Kapitel 5) erzeugt werden.

Daher ist es im Zusammenhang mit der Beleuchtungsrichtung notwendig, noch ein „partielles Hellfeld“ einzuführen, da bspw. bei Auflicht durch eine gerichtete oder diffuse koaxiale Beleuchtungstechnik ein partielles Hellfeld in den Randbereichen eines Objektes entsteht und ein Hellfeld im Bereich der Objektmitte, wenn sich ein Prüfling unmittelbar unterhalb der Kameraoptik befindet.

Beleuchtungen, die ein Dunkelfeld erzeugen, arbeiten sowohl bei Auflicht als auch Durchlicht mit einer Art Streiflicht. Das Licht einer seitlich zur Objektebene positionierten Lichtquelle streift hierbei gewissermaßen über die Objektebene hinweg. Unebenheiten auf einem Prüfling, aber auch Gravuren oder Oberflächenfehler lenken bspw. bei Auflicht die von der Seite auftreffenden Lichtstrahlen zu einem Großteil in Richtung Kameraoptik ab, sodass sich solche Merkmale in einem kontrastreichen Bild als helle Bereiche deutlich hervorheben. Die restliche Objektoberfläche wird stattdessen im Kamerabild eher dunkel dargestellt, da von ihr keine bzw. nahezu keine Reflexion der Lichtstrahlen in Richtung Kameraoptik stattfindet.

5 BELEUCHUNGSTECHNIKEN

Im Hinblick auf die Beleuchtungstechniken existieren eine Vielzahl an unterschiedlichen Lösungen für Auflicht und Durchlicht. Genau dieser Umstand macht die Kamerasensorik (abgesehen vom Kamerasensor selbst, der möglichen Objektivwahl und der überaus leistungsfähigen Parametriersoftware zu diesen Geräten) so vielseitig im Einsatz, aber auch problematisch, was die Entwicklung einer optimalen Lösung für eine spezifische Applikation anbelangt. Nachfolgend werden die verschiedenen Techniken für Auflicht- und Durchlichtbeleuchtungen vorgestellt.

5.1 AUFLICHTBELEUCHTUNGEN

Bei Auflicht wird zwischen folgenden Beleuchtungstechniken unterschieden:

- / gerichtete koaxiale Beleuchtung
- / diffuse koaxiale Beleuchtung
- / telezentrische Beleuchtung
- / Hellfeld-/partielle Hellfeldbeleuchtung
- / Dunkelfeldbeleuchtung

Der Begriff „koaxial“ beschreibt, dass das Licht gleichachsig zur Kameraoptik abgestrahlt wird. Die Lichtquelle ist somit quasi um die Optik der Kamera herum angeordnet, bspw. in Form einer Ringbeleuchtung.

5.1.1 GERICHTETE KOAXIALE BELEUCHTUNG

Bei der gerichteten koaxialen Beleuchtung wird das Licht parallel zur Achse der Kameraoptik auf ein Objekt projiziert. Da heutzutage ausnahmslos LEDs bzw. LED-Arrays als Lichtquelle eingesetzt werden, integrieren z. B. die bei Auflicht genutzten Beleuchtungstechniken mitunter einen Diffusor, eine Streuscheibe oder eine matte Abdeckung vor der Lichtquelle (z. B. bei Ringleuchten), um eine möglichst homogene Lichtverteilung auf einer Prüffläche zu erzielen. Das austretende Licht wird dabei direkt auf die Objektebene abgestrahlt.

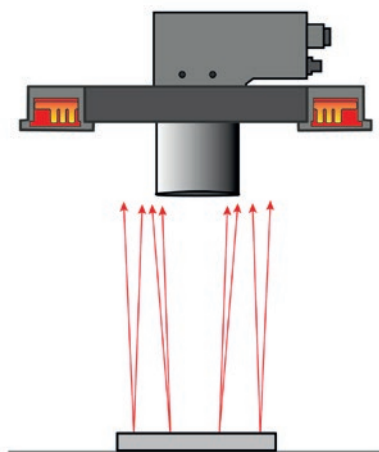


Abb. 2: Gerichtete koaxiale Beleuchtung.

Die gerichtete koaxiale Beleuchtung mit Auflicht ist besonders für Prüfobjekte mit einer ebenen bzw. glatten, reflektierenden oder glänzenden Oberfläche geeignet. Beispiele hierfür sind Unterlegscheiben (z. B. zur Prüfung des Objektdurchmessers) oder Elektronikbauteile, an denen z. B. die Vollständigkeit von Kontakten kontrolliert werden soll.

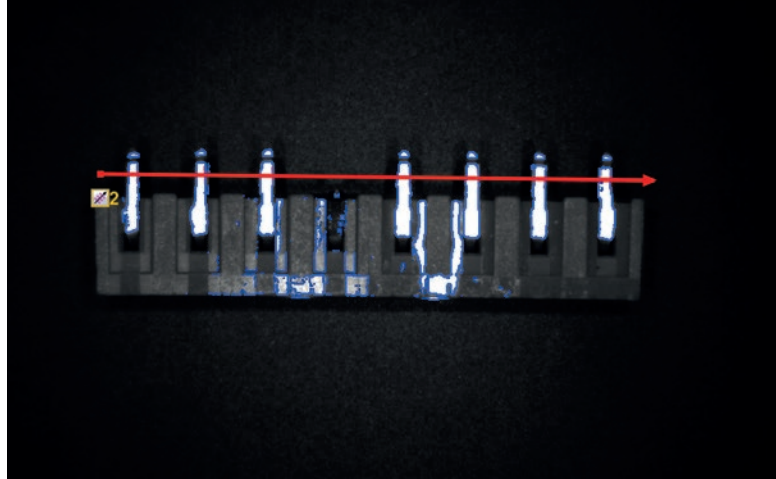


Abb. 3: Prüfung der Vollständigkeit von Kontakten auf einem Elektronikbauteil mit einer gerichteten koaxialen Auflichtbeleuchtung.

Das Portfolio von ipf electronic an Zusatzleuchten für Kameras ist breitgefächert, sodass es für nahezu jede Aufgabenstellung eine passende Lösung gibt. So eignen sich für gerichtete koaxiale Beleuchtungen bspw. die LED-Ringleuchten der **Reihe ER**. Eine Version der Ringleuchten verfügt z. B. über einen sehr kleinen Öffnungswinkel von 20°. Darüber hinaus steht ein besonders kompaktes Modell zur Verfügung, das sich direkt an einem Kameraobjektiv befestigen lässt.

Speziell für besonders kleine Bauräume hat ipf electronic die LED-Spotleuchten der **Reihe ES16** mit einem Durchmesser von nur 16mm im Angebot, die selbst in sehr beengten Einbausituationen ausreichend Platz finden. Das Licht der Spotleuchten lässt sich über das Objektiv fokussieren und bei Bedarf unscharf stellen, um eine höhere Lichtstreuung zu erzielen. Durch den im Kabel integrierten Blitzcontroller (siehe Kapitel 7 zur Funktion von Blitzcontrollern) sind die Leuchten zudem im Dauer-, Schalt- und Blitzbetrieb einsetzbar. Die LED-Leuchten eignen sich nicht nur für Auflicht-Anwendungen, sondern auch für Applikationen, die eine seitliche Beleuchtungsrichtung bis hin zur Erzeugung eines partiellen Hellfeldes erfordern (siehe hierzu Kapitel 5.1.4).



Abb. 4: Besonders kompakte LED-Spotleuchte der Reihe ES16.

5.1.2 DIFFUSE KOAXIALE BELEUCHTUNG

Eine diffuse koaxiale Beleuchtung lässt sich z. B. durch eine entsprechend diffuse Abdeckung auf einer Ringleuchte realisieren. Das austretende Licht wird dabei ungerichtet bzw. stark gestreut auf die Objektebene abgestrahlt.

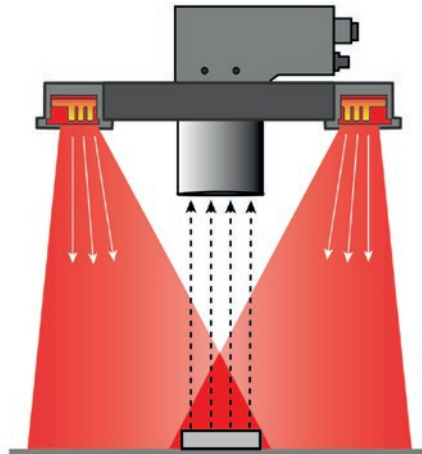


Abb. 5: Diffuse koaxiale Beleuchtung.

Mit dieser Beleuchtungstechnik wird ein diffuses und somit sehr homogenes Licht erzeugt, das sich ideal für reflektierende Objekte mit unebener Oberfläche eignet. Hierzu ein Beispiel: Wird bei der Prüfung eines glänzenden Rohres eine gerichtete Aufrichtbeleuchtung gewählt, dann reflektiert der Scheitelpunkt des Objektes (Bereich der Rohrmitte) das meiste Licht in Richtung Kameraoptik. Die Randbereiche des Rohres sind auf dem Kamerabild hingegen als dunkle Zonen dargestellt, da von ihnen kaum noch Lichtreflexionen in den Erfassungsbereich der Kameraoptik gelangen. Dies kann sich u. U. negativ auf das Prüfergebnis auswirken, da bspw. der Übergang vom Rohrrand zu einem Hintergrund nicht mehr kontrastreich und somit klar erkennbar ist. Eine diffuse koaxiale Beleuchtung erzielt stattdessen eine bessere Lichtverteilung auf dem gesamten Objekt, sodass auch die Randbereiche des Rohres im Kamerabild eindeutiger zu erkennen sind. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass die Beleuchtung deutlich größer ist als das Prüfobjekt. Als Alternative hierzu lässt sich aber auch eine besondere Beleuchtungsbauf orm verwenden, die, ähnlich einem Tunnel, leicht gebogen ist.

Für komplexere reflektierende Objekte wie etwa Folien, Kronkorken für Flaschen oder Datenträger (Blue-Rays, CDs, DVDs) eignet sich die sogenannte Dome-Beleuchtung, die eine äußerst gleichmäßige Ausleuchtung eines Prüfobjektes ermöglicht (z. B. die Leuchten der **Reihe EE**). Da die über dem Dome positionierte Kameraoptik zur Abbildung der Objektebene mit dem Prüfling eine Öffnung benötigt, ist normalerweise auf dem Kamerabild im Objektzentrum ein dunkler Bereich zu sehen, von dem das Licht der Beleuchtung nicht reflektiert wird. Um diesen Effekt zu vermeiden, integrieren besonders hochwertige Dome-Beleuchtungen mitunter eine seitlich zur Kameraoptik installierte Lichtquelle, die das Licht über einen Strahlteiler in Richtung Objektebene lenken.

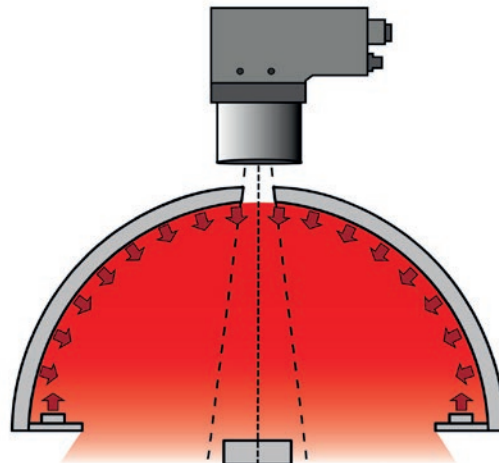


Abb. 6: Dome-Beleuchtung mit koaxialer Lichtquelle.

Eine besondere Form der diffusen Beleuchtung ist der sogenannte Flat-Dome. Die flache Leuchte liefert ein ungerichtetes Licht, das sich äußerst gleichmäßig auf einer Objektoberfläche verteilt. Vor allem glänzende, unebene Objektoberflächen, die zudem noch während der Prüfung in ihrer Lage variieren, lassen sich mit dieser Beleuchtungstechnik sehr gut inspizieren. Ein Nachteil besteht jedoch darin, dass man diese Beleuchtungslösung sehr nahe an ein Objekt heranführen muss, um auswertbare Bildergebnisse zu erzielen.

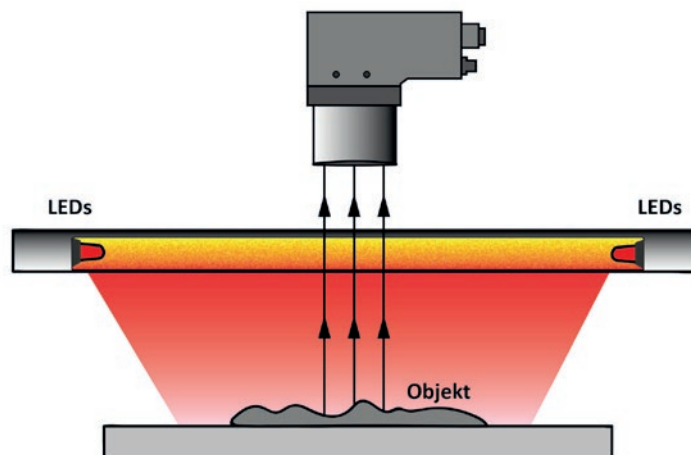


Abb. 7: Flat-Dome-Beleuchtungen ermöglichen eine äußerst gleichmäßige Lichtverteilung auf einer glänzenden, unebenen Objektoberfläche.

5.1.3 TELEZENTRISCHE BELEUCHTUNG

Bei dieser Beleuchtungstechnik haben die Lichtstrahlen im Gegensatz zu einer gerichteten oder diffusen koaxialen Beleuchtung keinen Öffnungswinkel. Stattdessen treffen die Lichtstrahlen bspw. aufgrund einer speziellen Richtoptik parallel zur Kameraoptik auf ein Prüfobjekt.

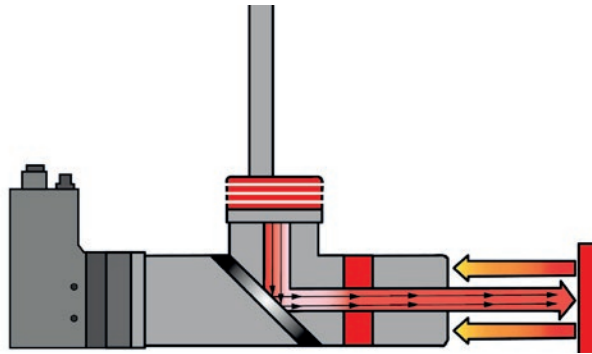


Abb. 8: Telezentrische/kollimierte Beleuchtung. Die Strahlen der Lichtquelle werden über eine Richtoptik gebündelt und treffen parallel zur Kameraoptik auf eine Prüfobjekt.

5.1.4 HELLFELD-/PARTIELLE HELLFELD-BELEUCHTUNG

Die bislang beschriebenen Beleuchtungstechniken für Aufricht können als Hellfeldbeleuchtungen bzw. als partielle Hellfeld-Beleuchtungen bezeichnet werden, da mit ihnen im Grunde die direkte Reflexion der Lichtstrahlen von einem Prüfobjekt respektive einer Objektoberfläche ausgewertet wird. Wie bereits in Kapitel 4.1 betont, erzeugt eigentlich nur die telezentrische Beleuchtungstechnik bei Aufricht ein „echtes“ Hellfeld, da hier die Lichtstrahlen hauptsächlich von der Objektoberfläche in Richtung Kameraoptik reflektiert werden. Dabei ist die reflektierte Lichtmenge sehr stark von der Oberflächenstruktur abhängig, wobei sich bei einer optimalen Ausleuchtung kontrastreiche Abbildungen der Oberflächenstruktur ergeben.

5.1.5 DUNKELFELDBELEUCHTUNG

Dunkelfeldbeleuchtungen werden zumeist in einem sehr geringen Abstand zu einem Prüfobjekt positioniert und bestehen bspw. aus flachen Ringlichtern, Linienlichtern oder sogenannten Spotlights. Diese Form der Beleuchtung kommt sehr häufig zur Detektion von Fehlern auf Objektoberflächen (z. B. Kratzer oder Riefen) oder etwa bei der Prüfung von Gravuren zum Einsatz. Das von einem Prüfobjekt reflektierte Licht wird bei der Dunkelfeldbeleuchtung mit Aufricht zu einem Großteil auf Bereiche außerhalb der Kameraoptik gelenkt. Lediglich die Reflexionen der Lichtstrahlen von den Objektunebenheiten werden von der Kameraoptik erfasst, wodurch Fehler, Defekte oder spezifische Objektmerkmale im Kamerabild als helle Bereiche gut erkennbar sind.

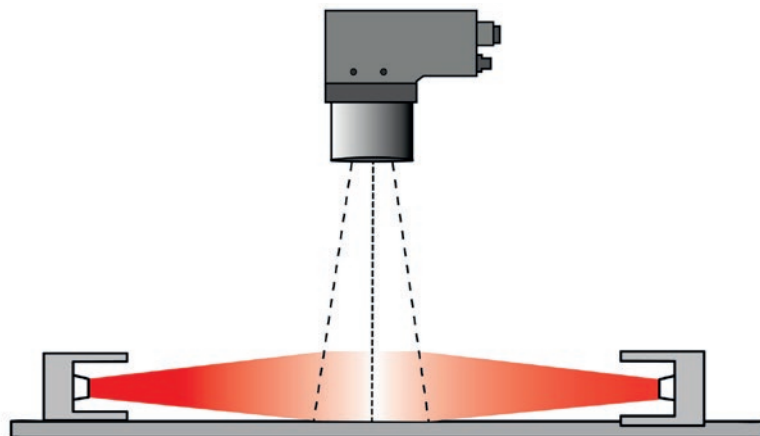


Abb. 9: Dunkelfeldbeleuchtungen werden zumeist in einem sehr geringen Abstand zu einem Prüfobjekt positioniert und bestehen bspw. aus flachen Ringlichtern, Linienlichtern oder sogenannten Spotlights.



Abb. 10: Abbildung eines Klemmbausteins bei einer Dunkelfeldbeleuchtung (links). Im Vergleich hierzu der gleiche Baustein bei einer Hellfeldbeleuchtung (rechts). Die Konturen des Bausteins heben sich bei einer Dunkelfeldbeleuchtung kontrastreich zum Hintergrund ab.

Dunkelfeldbeleuchtungen lassen sich bspw. mit den LED-Ringleuchten der **Reihe EF** von ipf electronic realisieren. Für Dunkelfeldbeleuchtungen eignen sich zudem LED-Linienleuchten der **Reihe EL**, wobei dann insgesamt vier dieser Linienleuchten rechteckig um die Objektebene angeordnet sein müssen.

5.2 DURCHLICHTBELEUCHTUNGEN

Bei Durchlicht- bzw. Hintergrundbeleuchtungen wird zwischen folgenden Beleuchtungstechniken unterschieden:

- / Hellfeld-Durchlichtbeleuchtung (diffuse oder gerichtete Durchlichtbeleuchtung)
- / Telezentrische Beleuchtung
- / Dunkelfeld-Durchlichtbeleuchtung
- / Transmissive Beleuchtung

5.2.1 HELLFELD-DURCHLICHTBELEUCHTUNG

Bei der Hellfeld-Durchlichtbeleuchtung wird ein Prüfobjekt von unten bzw. von hinten so angeleuchtet, dass die Strahlen der Lichtquelle in Richtung Kameraoptik geleitet werden. Auf diese Weise wird eine Art Schattenbild vom Prüfobjekt erzeugt, bei dem der Objekthintergrund als heller Bereich in der Bilddarstellung des Kamerasensors zu erkennen ist. Diese Beleuchtungstechnik wird zumeist verwendet, wenn an Objekten bspw. das Vorhandensein von Merkmalen (etwa Ausstanzungen oder Bohrungen) geprüft werden soll, ohne jedoch hohe Maßanforderungen an das Prüfergebnis zu stellen. Für eine Hellfeld-Durchlichtbeleuchtung kommen in der Regel Lichtquellen mit diffuser Beleuchtung zum Einsatz, wie z. B. die LED-Flächenleuchten der **Reihe ED**.

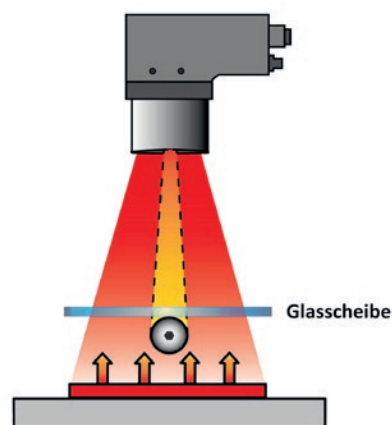


Abb. 11: Beispiel für eine diffuse Durchlichtbeleuchtung, die eine Art Schattenbild von einem zu prüfenden Objektmerkmal erzeugt. Die Beleuchtung besteht hier aus einer flächigen, sehr nahe am Prüfling positionierten Lichtquelle.

Eine klassische Anwendung für eine Hellfeld-Durchlichtbeleuchtung ist bspw. die Prüfung von Kunststoff-Spritzteilen. In diesem Zusammenhang wird anhand des Schattenwurfs der Prüflinge im Kamerabild kontrolliert, ob die Teile einwandfrei gefertigt sind oder aber bspw. bestimmte Produktbereiche fehlen bzw. im Vergleich zur gewünschten Form Veränderungen aufweisen, weil sie im Spritzwerkzeug nicht korrekt ausgespritzt wurden. Die Teileprüfung gibt in einem solchen Fall Auskunft über einen einwandfreien Spritzprozess, vor allem zu Beginn einer Produktion, wobei hier u.a. Faktoren wie die Temperatur des Kunststoffes, die Werkzeugtemperatur und der Spritzdruck etc. eine entscheidende Rolle spielen.

5.2.2 TELEZENTRISCHE BELEUCHTUNG

Telezentrische Beleuchtungstechniken liefern bei Durchlicht eine exakte Abbildung der Prüfobjekte, weitestgehend frei von Beugungseffekten, und werden daher vor allem für exakte Messaufgaben eingesetzt.

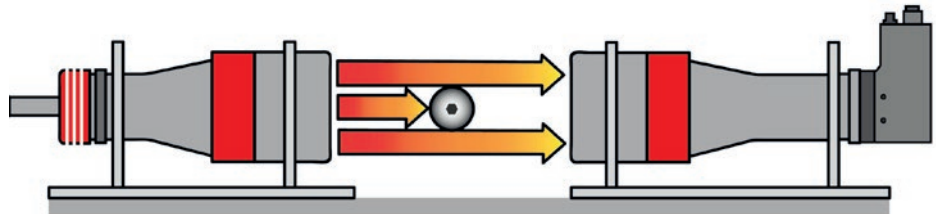


Abb. 12: Telezentrische Durchlichtbeleuchtung für eine kontrastreiche Ausleuchtung ohne störendes Streulicht in Kombination mit einem telezentrischen Objektiv.

Von ipf electronic steht hierzu die LED-Spotleuchte **AO000480** im Aluminiumgehäuse mit Frontscheibe aus Glas zur Verfügung.

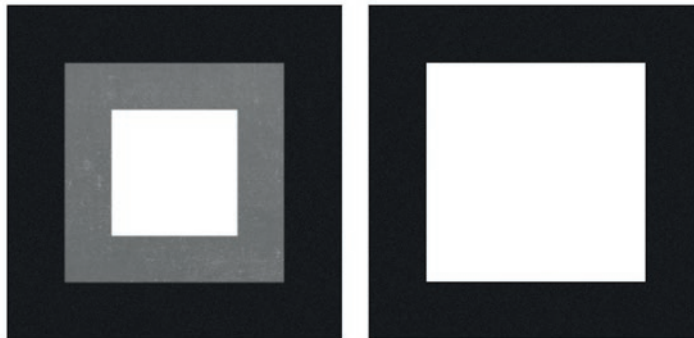


Abb. 13: Tiefes Loch: diffuses Durchlicht (entozentrisches Objektiv) (links) und telezentrisches Durchlicht (telezentrisches Objektiv) (rechts).

Wird ein Objekt mit einer Standard-Durchlichtbeleuchtung von hinten angestrahlt, verändert sich sein Schattenbild bzw. das Schattenbild des Prüfobjektes mit zunehmendem Abstand der Beleuchtung zum Objekt (Siehe Abbildung „Tiefes Loch“ links). Das Schattenbild ist aufgrund der Ablenkung bzw. Beugung der Lichtstrahlen an der Objektkante nicht mehr klar abgegrenzt. Dieser Effekt wird um so schwächer, je telezentrischer das Licht (kollimiertes Strahlenbündel) ist.

5.2.3 DUNKELFELD-DURCHLICHTBELEUCHTUNG

Mit dieser Beleuchtungstechnik lassen sich bspw. gewisse spezifische Oberflächenmerkmale von transparenten Objekten sehr gut hervorheben. Ein Beispiel hierfür sind etwa Kratzer auf einer Plexiglasscheibe. Bei einer Dunkelfeld-Durchlichtbeleuchtung werden die Kratzer auf der Objektoberfläche im Kamerabild als helle, deutlich erkennbare Bereiche dargestellt, die sich kontrastreich und damit eindeutig vom Rest der Plexiglasscheibe abheben, der in der Bildausgabe der Kamera als dunkler Bereich visualisiert ist.

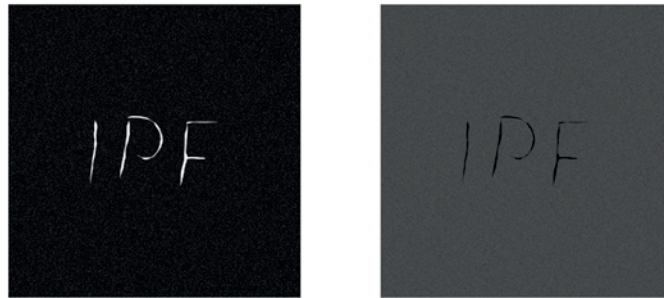


Abb. 14: Kratzer auf einer Plexiglasscheibe. Links: Bei einer Dunkelfeld-Durchlichtbeleuchtung treten die Artefakte als helle Bereiche deutlich hervor. Rechts: Hellfeld-Durchlichtbeleuchtung.

5.2.4 TRANSMISSIVE BELEUCHTUNG

Diese Beleuchtungstechnik stellt eine besondere Form der Dunkelfeld-Durchlicht-Beleuchtung dar, weil das Licht seitwärts in ein transparentes Objekt quasi injiziert wird. Der Prüfling fungiert somit gewissermaßen als Lichtleiter, durch den das Licht passieren kann. Defekte, wie Risse, Riefen, Kratzer, aber auch Verformungen sind im Kamerabild sehr gut erkennbar, da sich an ihnen das Licht bricht, wobei die Lichtstrahlen zur Kameraoptik reflektiert werden.

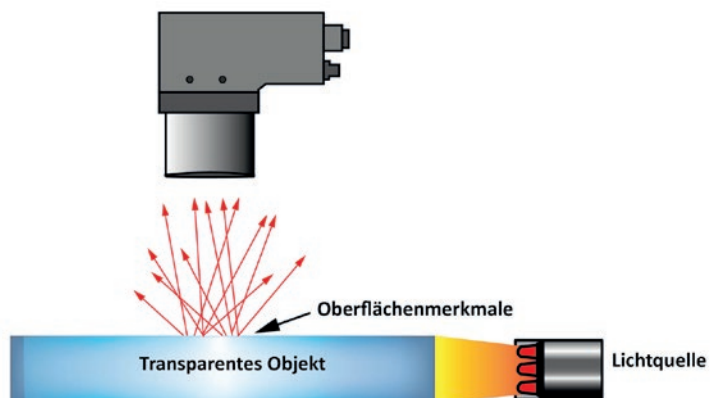


Abb. 15: Transmissive Beleuchtung: Über eine Lichtquelle wird das Licht quasi in ein transparentes Prüfobjekt injiziert.

6 FARBIGE BELEUCHTUNG

Wenn über den erheblichen Einfluss von Beleuchtungen auf die Prüfergebnisse beim Einsatz von Kamerasensoren die Rede ist, dann muss auch auf das Thema „farbige Beleuchtung“ eingegangen werden, da eine farbige Beleuchtung zur Prüfung spezifischer Produktmerkmale ebenfalls die Darstellung in einem Kamerabild und damit die Auswertung beeinflussen können. Selbst bei einer monochromen Bildgebung eines Kamerasensors lassen sich durch verschiedenfarbige Beleuchtungen (z. B. blau, grün oder rot) spezifische Farben hervorheben oder aber unterdrücken. Der durch eine bestimmte farbige Beleuchtung erzeugte Kontrast im Kamerabild kann sehr hilfreich sein, um relevante Objektmerkmale zu unterscheiden.

Hierzu ein Beispiel zur Prüfung von Buntstiften. Nehmen wir an, in einer Applikation soll das Vorhandensein eines blauen Stifts in einem Malkasten kontrolliert werden. Zur Prüfung wird blaues Licht verwendet. Trifft das blaue Licht auf eine mehrfarbige Fläche oder mehrfarbige Objekte, wie die Stifte in diesem konkreten Beispiel, dann wird lediglich dieses Licht von den Blauanteilen der Materialoberfläche, in diesem Fall dem blauen Buntstift, reflektiert. Je mehr Blauanteile der zu erfassende Gegenstand hat, desto mehr Licht wird reflektiert, sodass dessen Oberflächenbereiche heller abgebildet werden. In der Kameraaufnahme ist der blaue Stift im Malkasten im Vergleich zu den andersfarbigen Stiften kontrastreich dargestellt und somit eindeutig zu identifizieren. Rote Flächen erscheinen aus diesem Grunde unter Einsatz von blauem Licht extrem dunkel, wie ebenfalls in der Abbildung deutlich erkennbar ist.

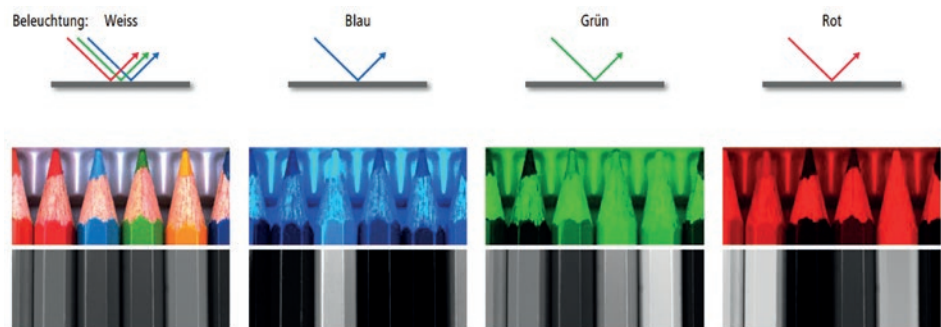


Abb. 16 (Abb. 16): Einfluss farbiger Beleuchtungen bei der Prüfung von Buntstiften. Selbst bei monochromer Bildgebung des Kamerasensors tritt bei blauem Licht der blaue Buntstift deutlich hervor.

6.1 BELEUCHTUNGEN MIT SPEZIELLEN LICHTWELLENLÄNGEN

Ultraviolett- oder Infrarotlichtquellen sind in diesem Zusammenhang in gewisser Weise besondere Beleuchtungstechniken, da deren Wellenlängen (UV-Licht: 100nm bis 380nm, Infrarotlicht: 780nm bis 1mm Wellenlänge) zur Hervorhebung ganz spezifischer Prüfmerkmale eingesetzt werden. Insbesondere Aufnahmen mit Monochrom-Kameras erzielen hierbei gleichermaßen interessante wie aufschlussreiche Ergebnisse wie die folgende Abbildung verdeutlicht.

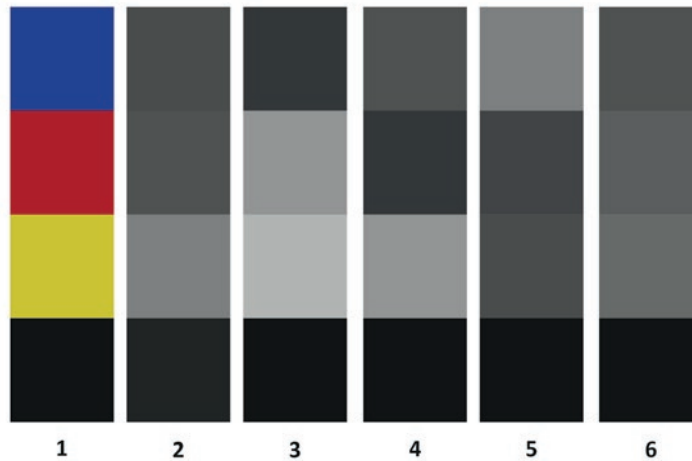


Abb. 17: Einfluss verschiedenfarbiger Beleuchtungen auf die Darstellung farbiger Flächen (1): 2 weiße Beleuchtung, 3 rote Beleuchtung, 4 grüne Beleuchtung, 5 blaue Beleuchtung. Durch die Beleuchtung mit Infrarotlicht (6) werden alle Farben außer Schwarz nahezu eliminiert.

6.1.1 FARBEN MIT INFRAROTLICHT „AUSBLENDEN“

Infrarotlicht wird insbesondere bei der Prüfung von Aufdrucken zu Mindesthaltbarkeitsdaten oder Barcodes auf Nahrungsmittelverpackungen, aber auch weiteren wichtigen Kennzeichnungen auf anderen Produktverpackungen genutzt. Derartige Kennzeichnungen sind in der Regel in Schwarz auf Verpackungen gedruckt oder alternativ geprägt. Da vor allem Lebensmittelverpackungen überdies über ein „ansprechendes“ Produktdesign in Form von farbigen Abbildungen, Labels und Schriftzügen verfügen, wird die Erkennung der in solchen Designs integrierten Kennzeichnungen für einen Kamerasensor erschwert. Infrarotlicht eliminiert jedoch nahezu alle Farben bei monochromer Bildgebung, wodurch sich die bei der Prüfung störenden Designhintergründe einer Verpackung ausblenden lassen. Die schwarze Produktkennzeichnung ist indes im Kamerabild deutlich erkennbar. Im Hinblick auf die verwendeten Druckfarben ist jedoch Vorsicht geboten, da auch manche schwarze Farbe unter IR-Beleuchtung quasi unsichtbar wird.



Abb. 18: Farbaufnahme (links) und Aufnahme eines Joghurtbechers mit einer Monochromkamera unter Weißlicht (Mitte). Mit Infrarotlicht wird das farbige Design bis auf die schwarze Beschriftung nahezu vollständig ausgeblendet (rechts).

6.1.2 UV-LICHT

UV-Licht hat die Eigenschaft, bestimmte Materialien zum Leuchten anzuregen, sodass diese im Prüfbild eines Kamerasensors erkennbar werden. In diesem Zusammenhang spielen die Begriffe „Lumineszenz“ und „Fluoreszenz“ eine zentrale Rolle. Lumineszenz entsteht als optische Strahlung beim Übergang von einem durch UV-Licht angeregten Zustand zum Urzustand eines Materials, wobei infolge der Fluoreszenz während der Anregung Licht emittiert wird. Die Prüfung eines spezifischen Materials oder Objektes mit UV-Licht setzt demnach dessen „Vorbehandlung“ mit einem Fluoreszenzmittel voraus. Das erwähnte Leuchten eines Materials klingt jedoch kurze Zeit nach der Bestrahlung mit UV-Licht wieder ab (Urzustand). Hinzu kommt, dass das von fluoreszierenden Materialien emittierte Licht über eine geringere Energie verfügt als das vom Material absorbierte Licht. Obwohl daher die Fluoreszenz mit dem bloßen Auge wahrnehmbar ist, muss sie nicht unbedingt von einem Kamerasensor erkannt werden. Der Grund: Das Leuchten ist im Vergleich zur Lichtstärke des UV-Lichts schwächer, wodurch das UV-Licht die Fluoreszenz in der Kameraaufnahme überstrahlt. Um solche Effekte zu vermeiden, empfehlen sich beim Einsatz von UV-Lichtquellen spezielle Filter sowohl für das Kameraobjektiv, als auch für die Beleuchtung.

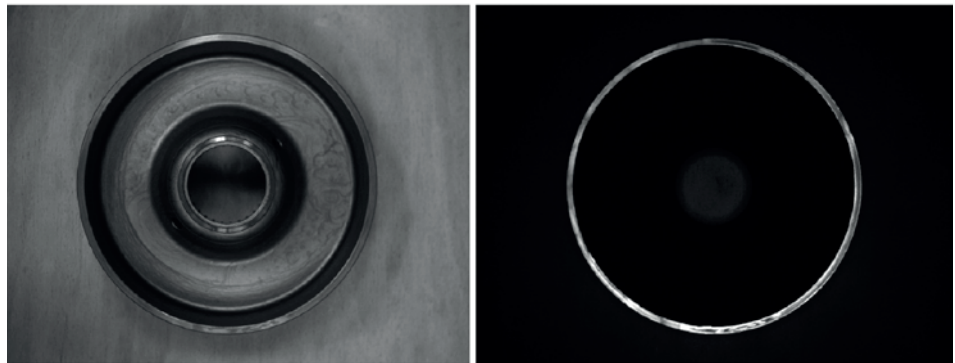


Abb. 19: Monochrom-Aufnahme eines Lagerschafts unter Weißlicht und mit UV-Licht (rechts) bei Vorbehandlung des äußeren Schafrings mit einem Fluoreszenzmittel.

7 GEZIELTE ANSTEUERUNG DER BELEUCHTUNG MIT BLITZCONTROLLER

Nahezu jede Beleuchtungsart lässt sich mit einem Blitzcontroller ansteuern. Solche Lösungen werden in der Regel immer dann eingesetzt, wenn bei sehr kurzen Kameraverschlusszeiten eine hohe Lichtintensität der Beleuchtung benötigt wird. Mit dem Blitzcontroller **AO000655** von ipf electronic für die Hutschienenmontage können bis zu vier LED-Kanäle separat oder gekoppelt angesteuert werden.



Abb. 20: Der Blitzcontroller **AO000655** ermöglicht es, bis zu vier LED-Kanäle separat oder gekoppelt anzusteuern.

Die Konfiguration des Controllers erfolgt über eine Modbus-Schnittstelle. Ein windowsbasierter Client unterstützt die einfache Parametrierung sowie Integration der Lösung und hält überdies fertige „Sequence-Modi“ für spezielle Anwendungen wie z. B. das „Shape-from-Shading“ bereit.

„Shape-from-Shading“ ist ein neigungs- und krümmungsmessendes 3D-Verfahren, das in der automatisierten Qualitätskontrolle insbesondere für Inline-Oberflächeninspektionen eingesetzt wird.

Der Controller bietet einen stromgeregelten Modus für Dauerlicht sowie einen spannungsgeregelten Modus für kurze, präzise und leistungsstarke Blitze.

Nachfolgend zwei Beispiele, die eine Vorstellung davon geben, welche Möglichkeiten der Blitzcontroller im Einsatz mit Ringleuchten von ipf electronic bietet.

So lassen sich mithilfe des Controllers an der LED-Ringleuchte **ER1D7530** (11W Leistung, Arbeitsbereich von 100-300mm) feinstufig und sehr exakt vier Farben unabhängig voneinander (Rot, Grün, Blau und Weiß) ansteuern.

Neben den einzelnen Farbkanälen Rot, Grün und Blau ist Weiß als separater Kanal verfügbar, wodurch sich die Lichtfarbe nicht nur additiv erzeugen lässt. Hierdurch ist für Weiß eine gleichmäßige spektrale Verteilung gewährleistet, die für zusätzliche Helligkeit sorgt.



Abb. 21: An der **ER1D7530** lassen sich im Zusammenspiel mit dem Blitzcontroller sehr exakt und feinstufig vier Farben ansteuern.

Die Ringleuchte **ER1D7130** mit einem Arbeitsbereich von 75-200mm hat über den Blitzcontroller **AO000655** individuell und somit unabhängig voneinander ansteuerbare Viertel-Segmente. Somit können bspw. Prüfobjekte aus unterschiedlichen Winkeln angeleuchtet und deren dreidimensionale Eigenschaften beurteilt werden. Eine typische Anwendung hierfür ist das bereits weiter oben erwähnte „Shape-from-Shading“.



Abb. 22: Mit der **ER1D7130** können Prüfobjekte aus unterschiedlichen Winkeln angeleuchtet werden, um deren dreidimensionale Eigenschaften zu beurteilen.

© Dieses White Paper ist urheberrechtlich geschützt. Die Verwendung des Textes (auch in Auszügen) sowie der Bildmaterialien in diesem Dokument ist nur mit schriftlicher Genehmigung der ipf electronic gmbh gestattet. Änderungen vorbehalten.

ipf electronic gmbh
info@ipf.de • www.ipf.de

Änderungen vorbehalten! Stand: Juni 2024