

Beleuchtung ist das A und O!

Auswahl der geeigneten Beleuchtung für Anwendungen in der industriellen Bildverarbeitung

Die Bedeutung der geeigneten Beleuchtung für ein Bildverarbeitungs-System wird häufig unterschätzt. Dabei ist die Auswahl der richtigen Lichtquelle ausschlaggebend für die Qualität der Bildaufnahme und kann die anschließende Bildauswertung stark vereinfachen. Dieses Tutorial gibt einige Hilfestellungen, die passende Beleuchtung zur jeweiligen Aufgabe zu finden.

Die Entscheidung, wann und warum eine spezielle Beleuchtung für eine bestimmte Bildverarbeitungs-Anwendung am besten geeignet ist, erfordert viel Erfahrung. Häufig bestimmt die Beleuchtung, wie zuverlässig ein Bildverarbeitungs-System arbeitet und wie störanfällig das Prüfergebnis bezüglich Änderungen der Umgebungsbedingungen ist. In vielen Fällen vermeidet man mit einer optimierten Beleuchtung eine teure und zeitaufwändige Bildbearbeitung und erzielt zudem ein besseres und stabileres Ergebnis.

Da Kameras längst nicht so flexibel und anpassungsfähig sind wie das menschliche Auge, muss die Beleuchtung optimiert werden, damit eine Kamera Objekte »erkennen« kann, die das menschliche Auge selbst unter ungünstigen Bedingungen einfach sieht. Kameras »sehen« Objekte jedoch nicht, sondern erfassen nur das Licht, das die Objekte reflektieren. So erscheint z. B. eine hochglänzende Metallkugel jeweils unterschiedlich, wenn sie mit einem Spot, einem Ringlicht oder einer Hintergrund-Beleuchtung beleuchtet wird. Ebenso wird Licht von einem Kugellager anders reflektiert als von einem glatten, weißen Etikett oder einer Leiterplatte. Deshalb sind bei unterschiedlichen Aufgaben auch unterschiedliche Lichttechniken für die optimale Ausleuchtung erforderlich.

In den frühen Jahren der Bildverarbeitung wurden Beleuchtungen oft in Handarbeit für jede Anwendung angepasst. Es ist jedoch heute meist zielführender und günstiger, auf Serien-Beleuchtungen zurückzugreifen.

Wichtige Entscheidungskriterien

Für die Entscheidung, welche Beleuchtung für eine bestimmte Aufgabe am besten geeignet ist, müssen viele Aspekte berücksichtigt werden. Der Anwender muss sich fragen, ob es sich um eine Monochrom- oder eine Farbanwendung handelt, welche Geschwindigkeit bei der Applikation erreicht werden muss, wie groß die zu beleuchtende Fläche ist, wie das Objekt in Bezug auf Geometrie, Struktur, Reflexionsgrad und Farbe beschaffen ist oder auch welche Betriebsdauer der Beleuchtung erforderlich ist. Auch mechanische Einschränkungen und die vorliegenden Umweltbedingungen, z. B. in Bezug auf das Tages- oder Streulicht im Umfeld des geplanten Systems, müssen bei der Auswahl bedacht werden.

Für Bildverarbeitungs-Anwendungen werden üblicherweise folgende Beleuchtungs-Arten eingesetzt:

- Glühlampen
- Gasentladungslampen
- LED-Beleuchtungen
- Laser-Beleuchtungen

Der Trend geht hierbei in 2D-Bildverarbeitungs-Anwendungen eindeutig hin zu LED-Beleuchtungen. Die Vorteile der LED liegen unter anderem in der deutlich höheren Lebensdauer von bis zu 50.000 Stunden, einer einfachen Ansteuerung, ihrer mechanischen Robustheit, ihren kleinen Abmessungen, dem flexiblen Design von Beleuchtungs-Bauformen sowie den geringeren Betriebskosten und einem guten Preis/Leistungsverhältnis. Im Bereich von Ringleuchten und ähnlichen Beleuchtungs-Bauformen hat sich die LED daher inzwischen bereits als das am häufigsten eingesetzte Leuchtmittel der Bildverarbeitung etabliert.

Laserdioden basieren auf dem gleichen Prinzip wie klassische LEDs. Durch zusätzliche optische Resonatoren erzeugen sie ein wesentlich schmalbandigeres Licht, das zudem auch kohärent ist. Mittels eines durch den Laser erzeugten Lichtmusters auf dem Objekt und einer Kamera lassen sich bei bekanntem

DIE AUTORIN

SOPHIE PERROT

Sophie Perrot arbeitet seit 2001 bei STEMMER IMAGING in Puchheim und ist dort als Produktmanagerin für alle Beleuchtungs-Komponenten des Bildverarbeitungs-Unternehmens verantwortlich. Ihre praktische Erfahrung in diesem Bereich stellt sie den Kunden von STEMMER IMAGING u. a. durch die Erstellung von Machbarkeitsstudien zur Verfügung, wo sie die optimale Beleuchtung für die jeweilige Anwendung testet und Empfehlungen für die Kunden erarbeitet.



Sophie Perrot
STEMMER IMAGING GmbH
Gutenbergstr. 9-13
82178 Puchheim, Deutschland
Tel.: +49 (0)89 80902-226
Fax: +49 (0)89 80902-116
E-Mail: s.perrot@stemmer-imaging.de
Website: www.stemmer-imaging.com

Winkel zwischen Laser und Kamera Höhenunterschiede und Profile an einem Prüfobjekt vermessen. Aus diesem Grund werden Laser-Beleuchtungen in der Bildverarbeitung häufig in 3D-Anwendungen eingesetzt.

Um ein für die später eingesetzte Bildverarbeitungs-Software verwertbares Bild zu erzeugen, muss die Beleuchtung so ausgewählt werden, dass die relevanten Merkmale für die Kamera sichtbar sind. Die wichtigsten Einflussfaktoren sind dabei:

- Die Wellenlänge des Lichts
- Ausbreitung und Geometrie des Lichts
- Die Oberfläche des Prüfobjekts
- Die Steuerung der Beleuchtung
- Der Beleuchtungs-Winkel

Der Beleuchtungswinkel stellt den wahrscheinlich wichtigsten Faktor dar und wird daher im Folgenden genauer erläutert.

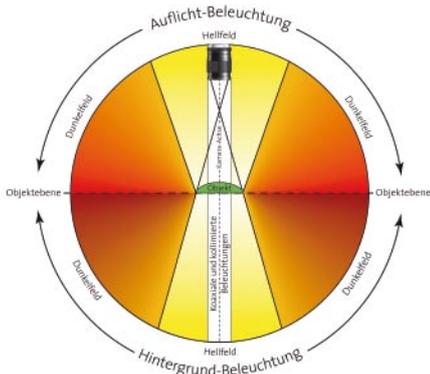


ABB. 1: Darstellung der Beleuchtungswinkel.

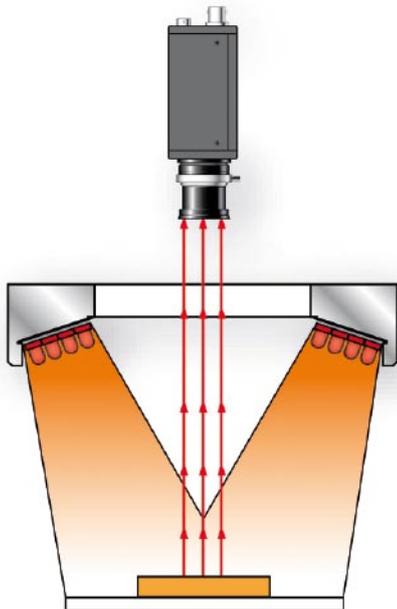


ABB. 2: Prinzip der Hellfeld-Beleuchtung.



ABB. 3: Darstellung einer Münze mit Hellfeld- (links) und Dunkelfeldbeleuchtung.

Beleuchtungs-Arten

Es gibt zwei wesentliche Beleuchtungs-Arten, die in Abbildung 1 dargestellt werden: Die Auflicht-Beleuchtung, bei der sich die Beleuchtung auf der gleichen Seite wie die Kamera befindet, und die Hintergrund-Beleuchtung, bei der die Lichtquelle hinter dem Prüfobjekt angeordnet ist. Diese Techniken können in folgende Segmente unterteilt werden:

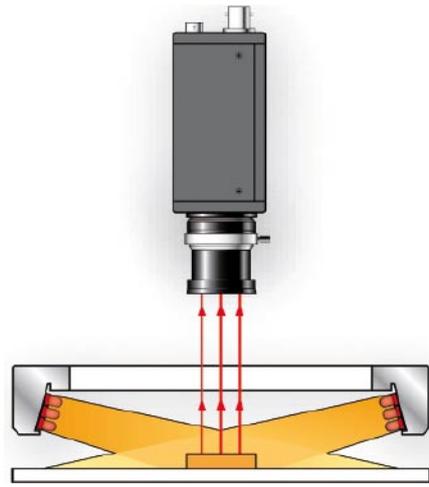


ABB. 4: Prinzip der Dunkelfeldbeleuchtung.

Auflicht-Beleuchtung

- Hellfeld-Beleuchtungen
- Dunkelfeld-Beleuchtungen
- Koaxiale Beleuchtungen (inkl. erweiterte und gerichtete Koaxial-Beleuchtung)
- Spezielle diffuse Beleuchtungs-Techniken (z. B. Dome-Beleuchtungen)

Hintergrund-Beleuchtung

- Hellfeld-Hintergrund-Beleuchtungen
- Dunkelfeld-Hintergrund-Beleuchtungen
- Koaxiale und kollimierte Hintergrund-Beleuchtungen

Wenn man sich zur Verdeutlichung vorstellt, dass das Prüfobjekt durch einen perfekten und planen Spiegel ersetzt wird, so werden mit Hellfeld alle Arten von Beleuchtungen bezeichnet, bei denen die Strahlen der Lichtquelle von der Spiegeloberfläche direkt auf die Optik reflektiert werden. Das Licht einer Dunkelfeld-Beleuchtung wird hingegen an den Unebenheiten der Objekteoberfläche gestreut und in die Richtung der Optik abgelenkt. Diese prinzipiellen Beleuchtungs-Arten können mit verschiedenen Produkttypen realisiert werden, die im Folgenden näher beschrieben werden.

Hellfeld-Beleuchtungen

Hellfeld-Beleuchtungen sind die am häufigsten verwendete Technik für die Ausleuchtung von rauen, wenig reflektierenden Objekten. Der Begriff Hellfeld definiert die Einbauposition der Beleuchtung. Wenn eine Kamera so positioniert ist, dass sie auf einen planen Spiegel ausgerichtet ist, dann ist das Hellfeld der Bereich, bei dem sich das reflektierte Licht vollständig im Sichtfeld der Kamera befindet. Abbildung 2 zeigt den typischen Aufbau einer Hellfeld-Beleuchtung (hier ein Ringlicht) mit Kamera und Prüfobjekt. Abbildung 3 (links) zeigt das re-

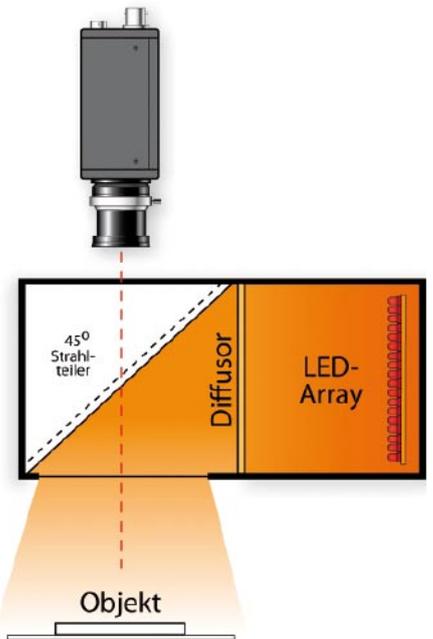


ABB. 5: Prinzip einer Standard-Koaxial-Beleuchtung.

sultierende Kamera-Bild am Beispiel einer Münze.

Dunkelfeld-Beleuchtungen

Diese in Abbildung 4 gezeigte Technik wird vor allem zur Hervorhebung von Oberflächendefekten, Kratzern oder Gravuren eingesetzt. Dunkelfeld-Beleuchtungen sind normalerweise in Form von flachen Ringlichtern gebaut, die sehr nah am Prüfobjekt angebracht werden müssen. Im Gegensatz zu Hellfeld-Beleuchtungen zielt das Licht, das von der Oberfläche des Prüfobjekts reflektiert wird, auf Positionen außerhalb des Sichtfeldes der Kamera. Als Dunkelfeld-Beleuchtung können große Ringlichter, Spotlights und Linienlichter verwendet werden. Abbildung 3 (rechts) zeigt die Münze nun bei Verwendung einer Dunkelfeld-Beleuchtung.

Standard-Koaxial-Beleuchtungen

Diese Beleuchtungsart (Abbildung 5) wird zur Ausleuchtung von reflektierenden Oberflächen eingesetzt. Mit Hilfe eines Strahlteilers oder eines halbdurchlässigen Spiegels wird dabei das von einer seitlich angebrachten Lichtquelle kommende Licht abgelenkt und parallel zur optischen Achse der Kamera auf das Objekt projiziert. Die Technik der Koaxial-Beleuchtung ist ideal für Objekte mit ebener, reflektierender oder glänzender Oberfläche, die kein oder ein sehr geringes Profil aufweisen, oder auch für Oberflächen mit diffusem Hintergrund. Beispiele dafür sind die Prüfung von Lei-

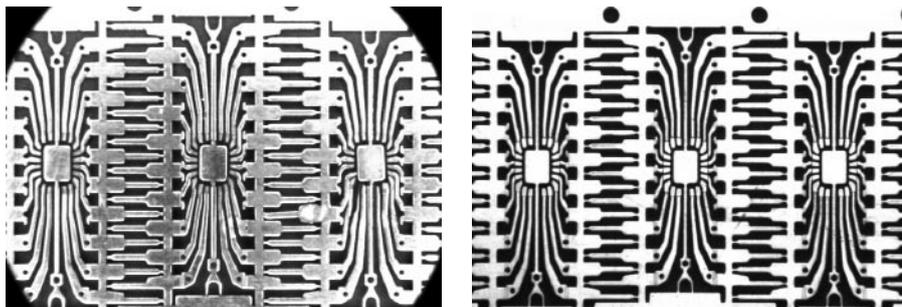


ABB. 6: Ein reflektierendes Objekt, das mit einem Ringlicht beleuchtet wird, weist in der Mitte einen dunklen Bereich auf (links). Das gleiche Objekt unter einer koaxialen Beleuchtung wird gleichmäßig ausgeleuchtet (rechts).



ABB. 8: Aufdruck auf einer Folienverpackung beleuchtet mit einem Ringlicht (links). Der gleiche Aufdruck beleuchtet mit einer Advanced-Koaxial-Beleuchtung (rechts).

terplatten (Abbildung 6), reflektierenden Aufklebern, polierten Silizium-Wafern sowie Druckinspektionen.

Advanced-Koaxial-Beleuchtungen

Durch eine zusätzliche Reflexionskammer gelangt das Licht bei dieser Beleuchtungstechnik nicht direkt von der Lichtquelle über den halbdurchlässigen Spiegel zum Objekt. Dieser Aufbau bietet den Vorteil von noch homogenerem Licht (Abbildung 7). Besonders eignet sich diese Art der Beleuchtung für unebene Oberflächen, die ein ausgeprägtes Profil aufweisen, wie beispielsweise zerknitterte Folien (Abbildung 8), Schraubengewinde, bestückte Leiterplatten oder geformte Kunststoffteile.

Kollimierte Koaxial-Beleuchtungen

Sind die Strahlen in einem Lichtbündel parallel, so spricht man von kollimiertem Licht. Die Verwendung von gerichteten Lichtquellen ist besonders nützlich, um flache Defekte und Beulen auf ebenen, reflektierenden Oberflächen zu erkennen. In Abbildung 9 passiert das Licht einer punktförmigen Lichtquelle eine Richt-Optik, die einen parallelen Lichtstrahl erzeugt. Das Licht wird von den ebenen Bereichen der Objektoberfläche Richtung Optik reflektiert, daher erscheinen diese Bereiche im Bild hell. Weist die Oberfläche jedoch Vertiefungen oder Erhebungen auf, so wird das Licht außerhalb des Sichtfeldes der Op-

tik reflektiert und diese Stellen erscheinen im Bild als dunkle Bereiche. Das Beispiel der auf verschiedene Arten ausgeleuchteten Batterie in Abbildung 10 zeigt diesen Effekt deutlich.

Dome-Beleuchtungen

So genannte Dome-Beleuchtungen (Abbildung 11) ermöglichen eine gleichmäßige Ausleuchtung des Prüfobjekts, um komplexe, spiegelnde Formen wie z. B. Kugellager, bedruckte Folienverpackung oder CDs zu beleuchten. Bilder, die mit einer solchen Dome-Beleuchtung aufgenommen werden, weisen meist einen dunkleren Bereich in der Mitte des Bildes auf, da die Beleuchtung eine Öffnung für die Kamera erfordert. Um diesen Effekt zu vermeiden, wurden Dome-Beleuchtungen weiterentwickelt und mit Koaxial-Beleuchtungen kombiniert.

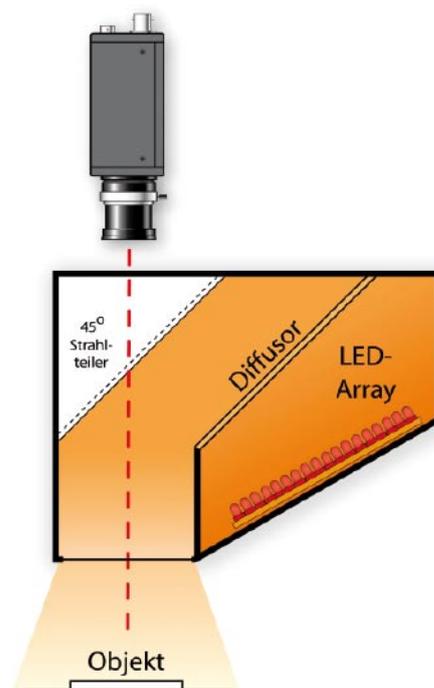


ABB. 7: Schema einer Advanced-Koaxial-Beleuchtung.

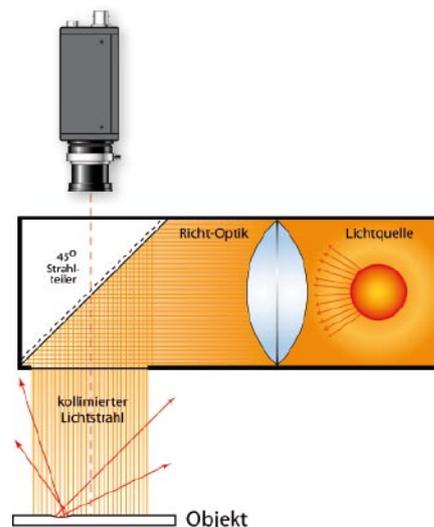


ABB. 9: Prinzip einer kollimierten Koaxial-Beleuchtung.



ABB. 10: Das Bild zeigt eine Batterie mit flachen Dellen, beleuchtet mit einer Standard-Koaxial-Beleuchtung (links) und einer kollimierten Beleuchtung (rechts).

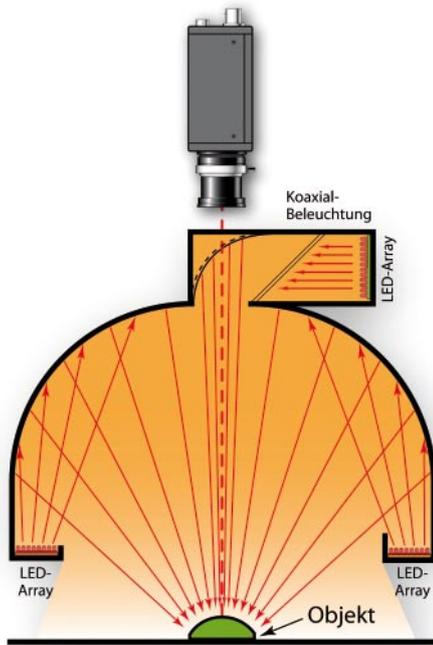


ABB. 11: Schema einer Dome-Beleuchtung.

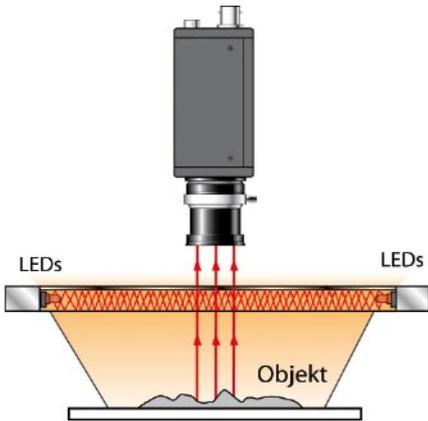


ABB. 12: Prinzip der Lichtstrahlen bei einer Flat Dome Beleuchtung.

Eine weitere Methode, um eine diffuse, gleichmäßige Ausleuchtung zu erzielen, stellt der Einsatz von so genannten Flat Domes dar (Abbildung 12). Diese spezielle Form einer Auflicht-Beleuchtung vereint die Vorteile von koaxialen Auflicht-Beleuchtungen mit denen von herkömmlichen Dome-Beleuchtungen. Ein Flat Dome ermöglicht eine ganzflächige, schattenfreie Ausleuchtung unterschiedlichster Objekte. Durch die Verwendung einer speziellen Lochschablone auf dem Diffusor wird eine optimale Lichtstreuung sichergestellt und gleichmäßiges, diffuses Licht auf die zu prüfenden Objekte verteilt. Zusätzlich bietet diese Art der Beleuchtung den Vorteil, auch bei sehr beengtem Bauraum eingesetzt werden zu können.

Beispiele für mögliche Einsatzgebiete dieser Bauformen sind die Überprüfung von Blisterverpackungen oder die Kontrolle von Stanzungen auf glänzenden Oberflächen. Allgemein eignet sich diese Technik



ABB. 13: Prüfung des Füllstands einer Flasche bei Verwendung einer Haushalts-Beleuchtung (links) und einer starken Durchlicht-Beleuchtung (rechts).

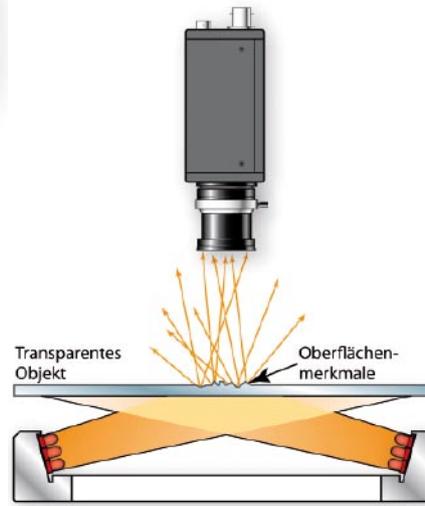


ABB. 14: Prinzip der Dunkelfeld-Hintergrund-Beleuchtung.

für alle Anwendungen, die eine gleichmäßige, schattenfreie, diffuse Ausleuchtung gekrümmter, unebener Oberflächen erfordern.

Durchlicht: Wenn das Licht von hinten kommt

Wie eingangs erläutert, ist die Lichtquelle bei den so genannten Hintergrund-Beleuchtungen hinter dem Prüfobjekt angeordnet. Auch für diese Technik existieren verschiedene Bauformen mit unterschiedlichen Besonderheiten und bevorzugten Einsatzgebieten.

Hellfeld-Hintergrund-Beleuchtung

Hinter dem Objekt platzierte Hellfeld-Hintergrund-Beleuchtungen, oft auch Durchlicht-Beleuchtungen genannt, erzeugen ein Schattenbild des Objekts. Dieser Aufbau wird normalerweise eingesetzt, um Bohrungen zu überprüfen, oder wenn durchscheinende Objekte hellere und dunklere Abweichungen im Prüfbereich aufweisen.

Diese Technik wird beispielsweise bei der Prüfung des Füllstands einer Flasche einge-

DIE FIRMA

STEMMER IMAGING

Puchheim, Deutschland

STEMMER IMAGING ist Europas größter Anbieter von Bildverarbeitungs-Technologie mit Niederlassungen in vier Ländern und Entwickler der führenden Software-Plattform Common Vision Blox. Das Unternehmen stellt seinen Kunden alle Komponenten und Dienstleistungen zur Verfügung, die zur Realisierung von zuverlässigen Bildverarbeitungs-Lösungen für nahezu jede Branche erforderlich sind. Die Kunden von STEMMER IMAGING profitieren dabei von einer europaweit einzigartigen Vielfalt an Bildverarbeitungs-Produkten führender Hersteller auf dem neuesten Stand der Technik.

www.stemmer-imaging.com

setzt (Abbildung 13). Das erste Bild wurde unter Verwendung einer normalen Haushalts-Beleuchtung aufgenommen. Beim zweiten Bild wurde eine starke Durchlicht-Beleuchtung eingesetzt, die ein klares Bild der Flüssigkeitsoberfläche erzeugt. Diese erscheint nun als dunkle Linie und kann leicht von der Kamera erfasst werden. Ein anderer üblicher Einsatzbereich für Durchlicht-Beleuchtungen ist die Anwesenheitskontrolle, bei denen z. B. die zu prüfenden Bauteile in ein Binärbild umgewandelt werden, um die Erkennung simpler Defekte wie verbogene oder fehlende Drähte zu vereinfachen.

Dunkelfeld-Hintergrund-Beleuchtungen

Bei dieser Technik wird eine Dunkelfeld-Beleuchtung hinter einem transparenten Objekt platziert, um Oberflächeneigenschaften hervorzuheben (Abbildung 14). Sie kann bei transparenten Objekten z. B. aus Glas oder Plastik genutzt werden, um Defekte wie Kratzer zu entdecken, oder um die Qualität von geprägter oder gravierter Schrift zu überprüfen. Bei dieser Beleuchtungs-Art werden alle Oberflächendetails als helle Artefakte vor einem dunklen Hintergrund dargestellt.

Dunkelfeld-Beleuchtungen bieten viele Vorteile: Sie erlauben einen geringen Arbeitsabstand zwischen Optik und Prüfobjekt und verhindern, dass Streulicht von der Oberfläche reflektiert wird und in die Kamera gelangt. Diese Art der Hintergrund-Beleuchtung eignet sich außerdem zur wahlweisen Überprüfung der Ober- oder



ABB. 15: Mit Hilfe einer Dunkelfeld-Hintergrund-Beleuchtung sind alle Merkmale und Kratzer dieser Glasschüssel klar erkennbar.

Unterseite eines transparenten Objekts. Bilder, die mit einer Dunkelfeld-Hintergrund-Beleuchtung erzeugt werden, zeichnen sich durch einen sehr starken Kontrast aus, der die nachfolgende Bildverarbeitung vereinfacht. Das Beispiel einer durchsichtigen, auf der Innenseite stark verkratzten Glasschüssel (Abbildung 15) macht diese Aussage deutlich.

Kollimierte Hintergrund-Beleuchtungen

Diese Art der Beleuchtung bezeichnet man auch als telezentrische Beleuchtung, denn hierbei wird ein kollimiertes Strahlenbündel erzeugt (Abbildung 16). Sie eignet sich besonders für Messaufgaben, die eine homogene Ausleuchtung ohne störendes Streulicht erfordern, und erzeugt einen klaren Umriss, sogar bei durchsichtigen Gegenständen.

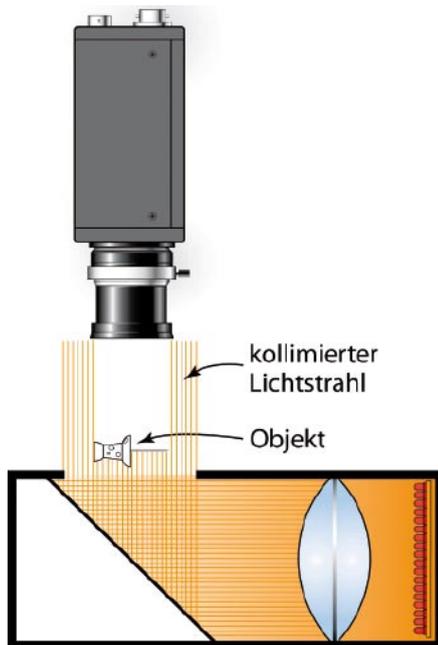


ABB. 16: Schema einer kollimierten Hintergrund-Beleuchtung.

Transmissive Beleuchtung

Eine besondere Form der Dunkelfeld-Hintergrund-Beleuchtung stellt die Transmissive Beleuchtung dar (Abbildung 17). Das Licht wird dabei in ein durchsichtiges Objekt injiziert und tritt nur an den Stellen aus, wo es auf Oberflächendefekte wie z. B. Kratzer, Risse oder Verformungen trifft. Anwendungsbeispiele finden sich u.a. bei der Prüfung von geätztem Glas oder ähnlichen Objekten.

Fazit

Dieser kleine Exkurs in die Welt der industriellen Beleuchtungs-Technik zeigt, dass die Wahl der optimalen Beleuchtung erst nach genauer Definition der Aufgabe erfolgen kann und häufig viel Erfahrung erfordert. Die intensive Kommunikation zwischen Anwender und Technologieanbieter ist im Allgemeinen der Weg zur optimalen Lösung.

Dieser Artikel wurde aus Inhalten des „Handbuchs der Bildbearbeitung“ von Stemmer Imaging zusammengefasst. Dieses Handbuch kann über die Firma in Deutsch oder Englisch bezogen werden.

Quelle der in diesem Artikel verwendeten Abbildungen: Stemmer Imaging.

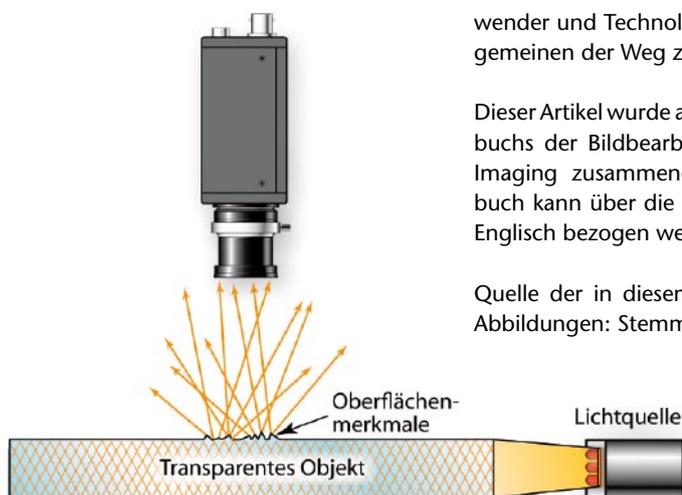


ABB. 17: Prinzip der Transmissiven Beleuchtung.



Großformat Serie
XT300




- für Objektfelder bis 231x231 mm
- geringe Verzeichnung <0,5%
- gleicher Arbeitsabstand von 400 mm für alle Vergrößerungen
- C-Mount oder M42x1
- lichtstark F#5.0



Besuchen Sie uns!
Stand B01
Halle 4
09.-11.11.2010

www.silloptics.de
info@silloptics.de