

Machine Vision in der Anlagenautomation

Viele entscheidende Arbeitsvorgänge bei der Herstellung von Produkten - darunter die Prüfung, Ausrichtung, Identifizierung und Montage - erfordern den Einsatz optischer Verfahren. Menschliches Sehen und Reagieren sind jedoch oft langsam und fehleranfällig, sei es aufgrund monotoner Arbeitsabläufe oder Übermüdung. Optische Kontrolle durch Menschen kann in weiten Bereichen automatisierter Fertigungsverfahren durch maschinelles Sehen (Machine Vision) ersetzt werden. Allerdings ist bei der Implementierung von Systemen für die industrielle Bildverarbeitung besonders darauf zu achten, dass sie den spezifischen Anforderungen der jeweiligen Anwendung gerecht werden.

Zwar ist das menschliche Sehen vielseitiger und flexibler als jede Maschine, aber typische Schwächen begrenzen die Produktivität des Faktors Mensch in einer industriellen Umgebung. Monotonie, Ablenkung, Müdigkeit und manchmal sogar böswillige Absicht können die Leistung von Menschen bei visuellen Arbeitsvorgängen, wie z.B. Inspektion, verringern. Eine Anlage, die für solche Arbeitsvorgänge ein Bildverarbeitungssystem einsetzt, bietet demgegenüber viele Vorteile. BV-Systeme sind in der Lage, gleichförmig wiederholte Vorgänge über einen langen Zeitraum schneller, präziser und zuverlässiger auszuführen als Menschen. BV-Systeme helfen, Personalkosten zu senken, Produktionsergebnisse zu verbessern und kostspielige Fehler zu vermeiden, die aufgrund z.B. unvollständiger oder fehlerhafter Montage auftreten können. Ausserdem können sie dabei helfen, Fertigungsprobleme online zu identifizieren und zu beheben, da sie Teil des Steuerungsnetzwerks der Produktionsanlage sind. Unter dem Strich erreicht man damit höhere Produktivität und verbesserte Kundenzufriedenheit, da durchgehend hochwertige Qualitätsprodukte geliefert werden können.

Die Implementierung eines kosteneffizienten Machine Vision-Systems bedarf jedoch sorgfältiger Planung. Die Auswahl der Komponenten und die System-Programmierung müssen dabei sehr genau auf die Anforderungen der jeweiligen Anwendung abgestimmt werden. Außerdem sind bei den Entscheidungen hinsichtlich der Komponentenauswahl nicht nur die anfänglichen Kosten dieser Komponenten zu berücksichtigen. Faktoren wie etwa die erforderliche Zeit für die Systementwicklung, Installation und Integration in die Fertigungsanlage, Kosten für Anwenderschulung und Fortbildung, Projektmanagement, Wartung und Software-Updates und Änderungen tragen zu den Gesamtbetriebskosten des Systems bei. Sie sollten evaluiert werden, bevor die Investition in ein bestimmtes System-Design erfolgt.

Bestimmung der Anforderungen

Einer der ersten Schritte bei der Auswahl eines Machine Vision-Systems für einen automatisierten Produktionsvorgang besteht in der detaillierten Bestimmung der Anforderungen. Dazu müssen vorab einige entscheidende Fragen gestellt werden:

Welche Aufgaben muss das System ausführen?

Unterschiedliche Aufgaben bedingen unterschiedliche Leistungsmerkmale des Machine Vision-Systems. Inspektionsverfahren erfordern die Fähigkeit, Objekte im Detail überprüfen und die Abbildung auswerten zu können und darauf basierend zu entscheiden, ob Produktfehler vorliegen. Bei der Produktmontage ist dagegen die Fähigkeit gefragt, in einem Bild Referenzmarkierungen (Passermarken) zu bestimmen, die dann für die Platzierung und Ausrichtung von Bauteilen verwendet werden. Ein Bildverarbeitungs-System, das zur Durchführung einer ganz bestimmten Aufgabe entwickelt wurde, ist nicht notwendigerweise auch für eine andere Aufgabe gut geeignet.

Was sind die zentralen optischen Leistungsmerkmale des Systems?

Die Kamera und das Objektiv des BV-Systems müssen den Leistungsanforderungen entsprechen. Bei der Auswahl von Kamera und Objektiv sind Faktoren wie das kleinste abzubildende Objekt oder der kleinste Fehler, der erkannt werden soll, die erforderliche Messgenauigkeit, die Bildgröße (Sichtfeld), die Geschwindigkeit der Bilderfassung und -Verarbeitung und der Bedarf von Farbbildungen zu berücksichtigen. (Siehe Box – Die Bildqualität ist entscheidend)

Welche Umgebungsbedingungen sind vorhanden?

Bestimmte Kamertypen sind besser für statische Aufnahmen geeignet, während andere Kameras bessere Ergebnisse bei der Erfassung von Objekten in einem linearen Bewegungsablauf liefern. Temperatur, Feuchtigkeit, Vibrationen und andere Faktoren stellen besondere Anforderungen an die Konstruktion des Systems wie auch an die Montageverfahren. Außerdem kann der im System vorhandene Platz die Auswahl an Kameras und Objektiven einschränken.

Neben den physischen Anforderungen des Systems sollten die Entwickler auch die operativen Anforderungen berücksichtigen. Zu den entscheidenden Fragen zählen hierbei:

Wer wird das System programmieren?

Sind betriebsintern keine Fachkräfte zur Konfiguration des Systems vorhanden, ist der Anwender auf externe Unterstützung angewiesen, um an der Programmierung des Machine Vision-Systems Änderungen vorzunehmen oder Fehler zu beheben. Besondere Bedeutung erhält die Programmierung, wenn das System in regelmäßigen Abständen modifiziert werden muss, weil etwa eine neue Produktreihe überprüft oder eine Verbindung zu einer anderen Maschine hergestellt werden muss. Bei einem System, das für nur eine bestimmte Aufgabe eingerichtet wurde und deshalb bei jeder neuen Anforderung vom Systemintegrator neu konfiguriert werden muss, kann es sein, dass die gesamte Fertigungsanlage eine längere Zeit abgeschaltet werden muss, während die Änderungen am BV-System durchgeführt werden. Ein System, das ausreichend Flexibilität bietet und schnelle Anpassungen durch das Bedienpersonal gestattet, verursacht vielleicht in der Entwicklung höhere Kosten, hilft jedoch später, teure Stillstandzeiten zu reduzieren.

Mit welchen Geräten muss das Machine Vision-System gekoppelt werden?

Ein Machine Vision-System, das lediglich einen Magnet aktiviert, um Fehlteile vom Fließband zu entfernen, ist viel einfacher zu implementieren als eines, das zusätzlich Messergebnisse zur Qualitätskontrolle an das Firmennetzwerk sendet oder abhängig von Prüfergebnissen Fertigungsanlagen steuert. Und ein System, das Menschen als Anwender informiert und einbeziehen muss, stellt andere Anforderungen als ein System, das nur mit anderen Maschinen interagiert.

Welche Information muss das System bereitstellen?

Bildverarbeitungssysteme werden in der Fabrikautomation nur selten als Stand-Alone-Geräte eingesetzt. Vielmehr müssen sie zu vielen Zwecken Information an andere Bereiche des Fertigungsbetriebs weiterleiten. So erfordert z.B. die Rückverfolgbarkeit bei Qualitätsaspekten ein BV-System, das Messwerte protokolliert bzw. an die Betriebsleitung weiterleitet. Bei stark kontrollierten Betriebsabläufen wie etwa der Herstellung von Pharmaprodukten kann es erforderlich sein, jeden Zugriff und jede Veränderung der Konfiguration des Machine Vision-Systems zu protokollieren, und die entsprechenden Daten an ein gesichertes Laufwerk im Firmennetzwerk zu übermitteln.

Welche Anforderungen werden an die Anwender gestellt?

Das Ausmaß, in dem Menschen in den Betrieb und die Steuerung des BV-Systems eingreifen können, hat Auswirkungen auf viele Systemkomponenten, besonders die Software. Müssen Prüfkriterien (z.B. erlaubte Toleranzbereiche) regelmäßig von den Anwendern geändert werden, muss die Software Änderungen erlauben. Die Software sollte aber auch Mechanismen aufweisen, die die Eingabe falscher Werte sowie den unbefugten Zugriff oder die Manipulation von Parametern verhindern. Das Software-Design bedingt schliessliche auch Art und Umfang der erforderlichen Anwenderschulung sowie die einfache Durchführung von Systemwartung und eventuellen Änderungen.

Aufbau eines Machine Vision-Systems

Die Antworten auf diese operativen und funktionellen Fragen hängen von der jeweiligen Anwendung ab. Zugleich aber verfügen alle Machine Vision-Systeme für Anlagenautomation über einige gemeinsame, grundlegende Merkmale und Eigenschaften. Alle Systeme sind darauf ausgerichtet, einen Gegenstand oder einen Vorgang abzubilden oder zu überprüfen; sie arbeiten meistens ständig mit der schnellsten praktisch möglichen Geschwindigkeit. Alle Systeme haben folgenden Ablauf gemeinsam:

- Positionierung des Objekts bzw. der Kamera, damit die Kamera das Objekt oder den Vorgang erfassen kann.
- Aufnehmen eines Bildes mit einer Kamera.
- Verarbeitung der Bilddaten.
- Auslösen von Aktionen basierend auf den Ergebnissen der Bildverarbeitung.
- Weiterleitung der Ergebnisse an die Anwender und andere Systeme.

Aufgrund dieser Gemeinsamkeiten kann die Analyse einer ganz bestimmten Anwendung (hier die Inspektion von Objekten auf einem Fließband) dabei helfen, das Verfahren zu verdeutlichen, anhand dessen Entwickler ein passendes Machine Vision-System für ihre Anwendung konzipieren können.

Die wichtigsten Komponenten eines Inspektionssystems enthalten, wie in Abbildung 1 gezeigt, eine Zuführvorrichtung, ein Bilderkennungssystem, ein Reaktionssystem sowie Sensoren, die die Bilderfassung und die Systemantwort auslösen. Die Zuführvorrichtung positioniert das Objekt zur Überprüfung. Das Bilderkennungssystem, das aus Kamera, Optik, Beleuchtung und der eigentlichen Bildverarbeitungseinheit besteht, erfasst und verarbeitet das Objektbild um festzustellen, ob Produktfehler vorliegen. Das Reaktionssystem führt die erforderliche Aktion aus und übermittelt die Ergebnisse an die Operatoren oder andere Systeme. Die Sensoren lösen die Bilderkennungs- und Reaktionssysteme aus und stellen fest, ob sich ein Objekt in der richtigen Position auf der Zuführvorrichtung befindet, damit das System seine Aufgabe ausführen kann.

Der erste Schritt bei der Entwicklung eines Inspektionssystems besteht in der Festlegung, wie die Objekte vor der Kamera platziert werden sollen. In unserem Beispiel handelt es sich beim Transportmechanismus um ein Förderband, das die Objekte mit einer konstanten Geschwindigkeit am Machine Vision-System vorbeiführt. Andere Zubring-Vorrichtungen wären z.B. ein Roboterarm, eine Zuführeinrichtung oder Fabrikarbeiter, die den Gegenstand im Offline-Verfahren in einer Kontrollstation überprüfen. Die Auswahl der Zuführvorrichtung stellt oft den schwierigsten Teil des Designs einer Anlage dar, da der Zuführmechanismus eine Einschränkung für die anderen Systemkomponenten (wie Kamera, Beleuchtung, Sensoren und Aktoren) bildet.

Nach Auswahl der Zuführung können die Entwickler das geeignete Verfahren auswählen, das die Bildaufnahme durch das Bildverarbeitungssystem auslöst und das Reaktionssystem zu einer bestimmten Aktion veranlasst. Im Fall eines Förderbands könnte ein geeigneter Sensor aus einer Lichtschranke bestehen, die jedes Mal ein Signal erzeugt, wenn ein Gegenstand diese Schranke passiert. Bei anderen Zuführvorrichtungen könnten Näherungsschalter oder eine frei programmierbare Steuerung (PLC - Programmable Logic Controller) als Sensoren eingesetzt werden. Natürlich ist auch das manuelle Auslösen des Mechanismus durch einen Mitarbeiter eine Option.

Die Bilderfassung und -verarbeitung und die Auswertung der Ergebnisse gehören zu den Aufgaben des Machine Vision-Systems. Das System bestimmt, ob sich das überprüfte Objekt innerhalb des akzeptierten Toleranzbereichs befindet und veranlasst das Reaktionssystem zu einer entsprechenden Aktion. Ein separater Vision-Controller wie z.B. das Dalsa IPD Vision Appliance kann die Bildverarbeitung und -auswertung übernehmen. Diese Funktionen können aber auch in eine intelligente Kamera integriert werden.

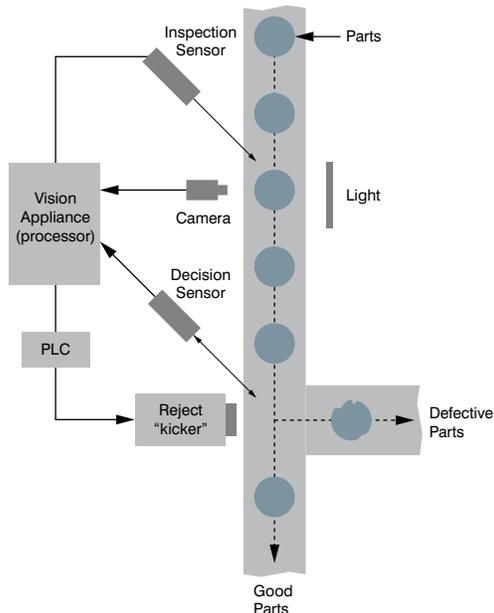


Abbildung 1 - Ein Machine Vision-Inspektionssystem benötigt eine Zuführ-Vorrichtung und einen Mechanismus zur Umsetzung von Aktionen, wenn defekte Teile vorliegen.

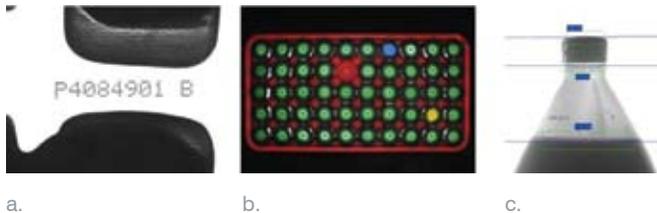


Abbildung 2 - Machine Vision-Anwendungen wie z.B. das Lesen von Prüfcodes (a), das Erkennen von Verpackungsinhalt (b) und das Überprüfen der Füllhöhe bei Flaschen (c) stellen unterschiedliche Anforderungen an die Bildaufnahme, Beleuchtung und Software.

Die zu bewertenden Parameter und die Objekteigenschaften haben weitgehende Auswirkungen auf die Anforderungen an Kamera, Optik und Beleuchtung im Machine Vision-System sowie an die Bildverarbeitungssoftware. Abbildung 2 zeigt einige typische Anwendungen. Das Lesen von Prüfcodes (2a) erfordert geringen Arbeitsabstand, frontale Beleuchtung und eine Software zur optischen Zeichenerkennung. Die Überprüfung eines verpackten Wasserbelüfters (2b) erfordert die Ansicht der gesamten Verpackung und Farbbildung. Die Kontrolle der Füllhöhe einer Flasche mit Reinigungsmittel (2c) erfordert Gegenlichtbeleuchtung und die Fähigkeit, die Position der Oberfläche der Flüssigkeit zu bestimmen.

Nachdem ein geeignetes Machine Vision-System ausgewählt und die Entscheidungskriterien festgelegt wurden, gilt es in einem letzten Schritt festzulegen, wie das System auf seine Entscheidungen reagiert. In unserem Beispiel veranlasst der Vision-Controller einen PLC, Ausschussteile von dem Fließband auf ein anderes

Fördersystem zu stoßen, während die fehlerfreien Teile den PLC passieren. Der Controller kann zudem die Ergebnisse zu Zwecken der Rückverfolgung und Qualitätskontrolle an die Betriebsleitung schicken.

Zuverlässige Integration in die Werksumgebung

Fabrikfachkräfte und Fertigungsspezialisten müssen die grundlegenden Aspekte des Designs eines Machine Vision-Systems verstehen, haben jedoch selten eingehende Fachkenntnisse oder Erfahrung in der Entwicklung von Systemen für maschinelles Sehen. Der Auswahl des externen Anbieters bzw. eines Systemhauses kommt deshalb besondere Bedeutung zu, wenn die effiziente Integration des Machine Vision-Systems in die Automationsumgebung gewährleistet sein soll. Es gibt eine Reihe unmittelbarer wie auch langfristiger Faktoren, die es zu berücksichtigen gilt, da sie Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit und die Gesamtbetriebskosten des Bildverarbeitungssystems haben.

Einer der ersten Faktoren, der zu beachten ist, besteht in der Abstimmung der sich manchmal widersprechenden Anforderungen des Systemdesigns und der Betriebslaufzeit. Zur Kontrolle der Entwicklungskosten sollte die Aufgabe des Systems klar definiert und eingegrenzt werden. Dadurch wird die Entwicklung und Programmierung vereinfacht, während zugleich Komponenten wie die Kamera, das optische System und die Beleuchtung optimiert werden können. Um die Gesamtbetriebskosten des Systems zu senken, muss allerdings auch Erwägungen hinsichtlich der Betriebslaufzeit des Systems Priorität eingeräumt werden. Dies kann jedoch die Komplexität des Designs und der Entwicklungsarbeit erhöhen.

Ein wesentlicher Aspekt hinsichtlich der Betriebslaufzeit, der Auswirkungen auf das Design hat, ist die Übertragbarkeit des Systems, also die Fähigkeit, das System für den Einsatz an einer anderen Fertigungslinie neu zu konfigurieren oder eine Anpassung an leichten Veränderungen in der Produktionsumgebung oder den Spezifizierungen vorzunehmen. Ein System, das auf eine einzige Aufgabe ausgerichtet ist und klar umgrenzte Spezifizierungen aufweist, ist zwar einfacher zu entwickeln, erfordert jedoch selbst bei geringfügigen Änderungen im Betriebsablauf einen Rückgriff auf die Dienste des Systemanbieters. Das Design eines flexiblen und erweiterbaren Systems erfordert demgegenüber größere Anstrengungen, gibt dem Anwender jedoch die Möglichkeit, selbst Anpassungen an sich verändernde Bedingungen vorzunehmen. Eine Unterstützung durch den Systemanbieter ist dann nicht zwingend nötig, was Zeit und Geld spart.

So bietet ein flexibles System für maschinelles Sehen eine Reihe von Optionen zur Kommunikation mit der Maschinenausstattung anderer Anbieter, mit den Anwendern und dem Fertigungsunternehmen, anstatt auf die anfänglichen Anforderungen begrenzt zu sein. Zu den physischen Schnittstellen können digitaler Input/Output für festverdrahtete Verbindungen zu den Fotosensoren, Statusanzeigen, PLCs und Steuergeräten gehören. Serielle Schnittstellen ermöglichen eine Kommunikation mit PLCs, Bewegungsreglern, Automationsanlagen und Sensorbildschirmen. Das System könnte ferner Ethernet mit TCP/IP für eine Verbindung zum Unternehmen und anderen Vorrichtungen bieten und weitere Protokolle und Standardsprachen (z.B. Modbus und Profibus) unterstützen. Zudem verwendet ein flexibles System ein modulares Hardware-Design, um problemlos Systemkomponenten ersetzen, erweitern oder modifizieren zu können.

Neben der Flexibilität sollten die Anwender von industriellen Bildverarbeitungssystemen auch auf die einfache Erweiterbarkeit des Systems achten. So kann es zum Beispiel nützlich sein, eine System-Software auszuwählen, die Zugriff auf eine Bibliothek mit Funktionen zur Bildverarbeitung und -analyse ermöglicht. Zusätzliche Features neben den Mindestfunktionen können bei der Bewältigung kurzfristig auftretender Probleme hilfreich sein und künftige Modifikationen oder Erweiterungen am Aufgabenbereich des Machine Vision-Systems erleichtern. Eine Erweiterbarkeit der Hardware zu vertretbaren Kosten (wie z.B. die Möglichkeit, Kameras hinzuzufügen oder die Kamera-Auflösung zu ändern) kann von großem Nutzen sein, wenn in Zukunft Änderungen der Systemanforderungen notwendig werden sollten.

Der Systemwartung kommt ebenfalls große Bedeutung zu - insbesondere den Software-Updates. Im Lauf der Zeit werden schnellere und präzisere Algorithmen sowie neue Kommunikationsprotokolle angeboten und es stehen Erweiterungen und Bugfixes für Betriebssysteme zur Verfügung. Im Idealfall führt das zuständige Systemhaus derartige Updates an der Software des Machine Vision-Systems kostenlos oder gegen eine geringe Bezahlung durch.

Die Berücksichtigung all dieser leistungsbezogenen, operativen und zukunftsorientierten Erwägungen mag als beängstigende Aufgabe erscheinen, allerdings sichert ihre Beachtung nachhaltige Vorteile. Industrielle Bildverarbeitung stellt eine bedeutende technische Komponente dar, die bei der Verbesserung der Qualität und Produktivität von Fertigungsstraßen in der Anlagenautomation eine wichtige Rolle spielt. Die sorgfältige Definition der Aufgabe des Machine Vision-Systems, das Verstehen seiner Leistungskriterien und technologischen Beschränkungen und die Planung der Systemintegration in den Produktionsablauf bilden unverzichtbare Schritte für die erfolgreiche Entwicklung eines Systems für maschinelles Sehen. Durch die Auswahl einer Lösung, die sowohl den unmittelbaren Bedürfnissen als auch langfristigen Anforderungen gerecht wird, können zudem die Gesamtbetriebskosten minimiert und der Lebenszyklus des Systems maximiert werden.

Box - Die Bildqualität ist entscheidend

Bei Anwendungen für Anlagenautomation gibt es große Unterschiede. Ein zentraler Aspekt, der alle Anwendungen gleichermaßen betrifft, ist die Bildqualität der Machine Vision-Systeme. Die Bildqualität hat direkte Auswirkungen auf die Fehlerfreiheit und Präzision, mit der das System seine Aufgaben ausführt. Die Anforderungen an die Bildqualität erfordern also besondere Aufmerksamkeit. Ansonsten könnte es passieren, dass das System versucht, einen Arbeitsvorgang auszuführen, der hohe Präzision erfordert, dazu aber Aufnahmen mit niedriger Bildqualität verwendet. Die Bildqualität wird von drei zentralen Systemkomponenten beeinflusst: der Kamera, der Optik und der Beleuchtung.

Die Kamera ist im Machine Vision-System für die Bilderfassung zuständig. Zu den wichtigsten Parametern der Kamera zählen die Größe ihres Sensors, die Auflösung in Pixel, die Art des Sensors (Flächen- oder Zeilensensor oder TDI: Time Delay and Integration) sowie die Sensortechnologie: CCD oder CMOS. (Zusätzliche

Information über verschiedene Kamerasensoren finden Sie im Dalsa-Whitepaper: Applications Set Imager Choices). Die Geschwindigkeit des Sensors, die Farbtauglichkeit und die Empfindlichkeit für Wellenlängen, die für das menschliche Auge unsichtbar sind, können bei einigen Anwendungen ebenfalls eine bedeutende Rolle spielen.

Bei herkömmlichen Endgeräten wird das Objektiv als Bestandteil der Kamera betrachtet. Bei Machine Vision-Systemen bildet die Optik hingegen eine separate Komponente mit eigenen Spezifikationen. Zu den wichtigsten Merkmalen des optischen Systems gehören der Objektstand, das Gesichtsfeld, die Auflösung, die Lichtstärke und die maximale Größe des unterstützten Kamerasensors. Zu den weiteren Faktoren, die die Bildqualität beeinträchtigen können, gehören unter anderem die Objektivmaterialien und reflexionsfreie Beschichtungen.

Die Beleuchtung stellt eine der wichtigsten Komponenten von Systemen für die industrielle Bildverarbeitung dar. Falsche oder ungenügende Beleuchtung eines Objekts oder einer Szene kann zu einem drastischen Anstieg der Fehlerrate bei Machine Vision-Systemen führen. Die ideale Beleuchtung für eine Anwendung hängt stark von der jeweiligen Aufgabe ab, die ausgeführt werden soll, sowie von den mechanischen und optischen Eigenschaften der zu prüfenden Objekte.

Glücklicherweise gibt es einige allgemeine Richtlinien, die Entwickler von Systemen für maschinelles Sehen befolgen können. Eine Empfehlung besteht darin, für gleichmäßige Beleuchtung zu sorgen, da das System Unregelmäßigkeiten in der Beleuchtung als Fehler des Objekts selbst wahrnehmen könnte. Sowohl die räumliche als auch die zeitliche Konstanz ist dabei wichtig. Ändert sich z.B. die Intensität der Beleuchtung über einen längeren Zeitraum, kann dies ebenfalls zu erhöhten Fehlerraten führen; den Grund für eine derartige langsam ansteigende Fehlerhäufigkeit zu finden, ist meist schwieriger als die Feststellung von ungleichmäßiger Beleuchtung in der Szene selbst.

Eine zweite generelle Empfehlung besteht darin, die Beleuchtung der Szene so zu wählen, dass sie diejenigen Merkmale (z.B. Referenzmarkierungen oder Fabrikationsfehler) verdeutlicht, die überprüft oder gemessen werden sollen; dies bedeutet bei Machine Vision-Systemen erhöhten Kontrast. So ist bei einer Anwendung, bei der eine Passermark auf einer Objektfläche erkannt werden soll, eine frontale Beleuchtung ideal, die Schatten und Spiegelungen vermeidet. Soll das System hingegen Fehler in einer Glasscheibe erkennen, ist eine Gegenlichtbeleuchtung durch das Glas hindurch das Mittel der Wahl.

Und schließlich sollte die Beleuchtung unerwünschte Stör- und Hintergrundeffekte abschwächen. Überbelichtete Aufnahmen erschweren die Identifizierung und Gewinnung der gewünschten Information und erhöhen die Fehleranfälligkeit. Ebenso können Hintergrundeffekte wie z.B. Reflexe und Schatten die Erkennung wichtiger Merkmale beeinträchtigen und zu Fehlern bei der Erkennung führen. Je einfacher das Bild ist, desto zuverlässiger sind die Bildverarbeitung und die gewonnenen Informationen.