



Durchblick bei Optik

Welche Kriterien bei der Objektiv-Auswahl beachtet werden sollten

In der Bildverarbeitung ist bei der Auswahl des geeigneten Objektivs mehr zu beachten als nur der Bildausschnitt und der Arbeitsabstand. Investiert man etwas Zeit in die Auswahl der Optik und berücksichtigt man weitere, vermeintlich nicht so wichtige Parameter, kann und wird ein aufgenommenes Bild wesentlich an Qualität gewinnen.

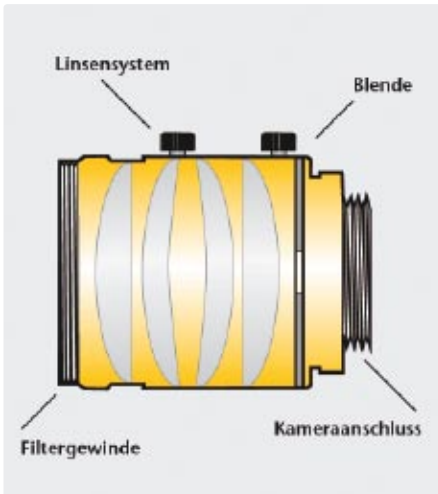
Die Ergebnisqualität einer Bildverarbeitungs-Applikation ist immer das Produkt aus der Qualität der verwendeten Einzelkomponenten, wie z. B. der Beleuchtung, der Optik, der Kamera und der Auswerte-Software. Ist die Qualität einer Komponente nicht ausreichend, wird sich das folglich auch negativ auf das Ergebnis auswirken. Weisen jedoch alle Einzelkomponenten eine gute Qualität auf, lässt sich die Aufgabenstellung in der Regel einfacher umsetzen. Das Objektiv stellt als Schnittstelle zwischen Realität und deren Abbild eine zentrale Komponente dar und sollte daher besonders beachtet werden. Die Aufgabe des Objektivs ist es, die Realität möglichst sachlich und unverfälscht in die Virtualität zu transferieren. Der folgende Artikel erklärt die wichtigsten Kenndaten von Objektiven und ermöglicht so, das für eine bestimmte Anwendung am besten geeignete Objektiv auszuwählen.

Aufbau des Objektivs

Das Objektiv besteht aus mehreren Linsen, die in der Summe die Brennweite bestimmen. Zudem umfasst das Objektiv noch die Blende, einen Kameraanschluss und ein Filtergewinde. Zur besseren Übersicht über die verschiedenen Ausführungen der Objektive können diese in Gruppen unterteilt werden. Die erste Gruppe bilden die Standardobjektive, d.h. Objektive mit einem Brennweitenbereich von ungefähr 4–75 mm.

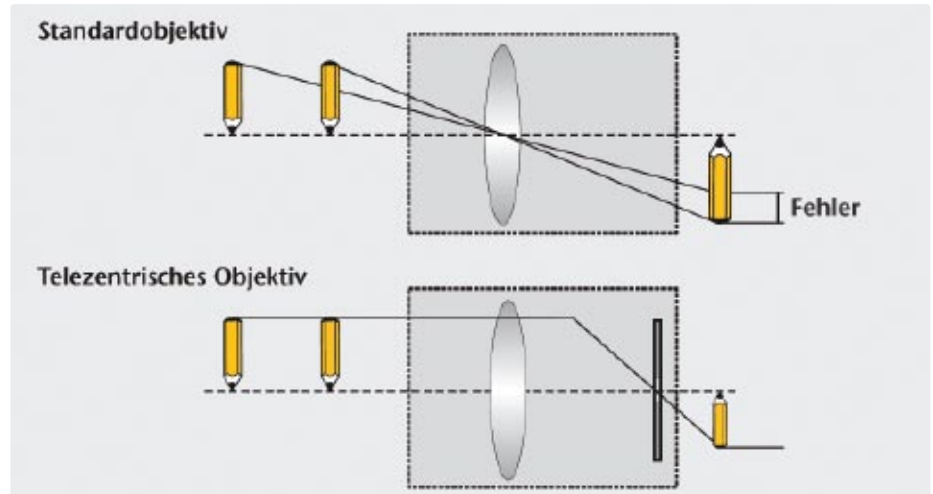
- Weitwinkelobjektive haben einen Bildwinkel, der höher ist als der Blickwinkel des menschlichen Auges (rund 60°).
- Normalobjektive weisen als Brennweite die Diagonale des Sensors aus. Der Bildwinkel eines Normalobjektivs beträgt daher 53°. In der Praxis spricht man von Normalobjektiven bei einem Bildwinkel von rund 40–50°.

- Als Teleobjektiv werden Objektive mit einem Bildwinkel von weniger als 40° bezeichnet. Unter der zweiten Gruppe werden Zoom-Objektive zusammengefasst. Die Begriffe Zoom-Objektiv und Vario-Objektiv bezeichnen allerdings ein und denselben Objektivtyp. Bei dieser Art kann die Brennweite verstellt werden, wobei die Schärfe konstant bleibt. Eine Sonderform der Zoom-Objektive ist das Variofocal-Objektiv, das aufgrund einfacherer, billigerer Bauweise während des Zoomvorganges die Schärfe nicht beibehält. Bei Zoom-Objektiven wird in der Regel die kleinste und größte Brennweite angegeben. Zusätzlich geben einige Hersteller auch die Relation zwischen den beiden Grenzbrennweiten an, z. B. 10-fach Zoom bei 10–100 mm Brennweite. Telezentrische Objektive bilden die dritte Gruppe, bei denen die Bildstrahlen parallel zur optischen Achse verlaufen. Das Objekt wird dadurch unabhängig von der Position zum Objektiv immer mit einem bestimmten Verhältnis zum Original abgebildet und es entsteht bei unterschiedlichen Arbeitsebenen kein Messfehler wie bei Standardobjektiven, bei denen die Bildstrahlen divergent verlaufen. Denn das bedeutet, dass die Abbildungsgröße eines Objektes auf der Bildebene vom Abstand zum Objektiv abhängig ist. Ist nun bei einer Messaufgabe der Abstand von Objekt zu Objektiv nicht konstant, wird das Messergeb-



Das Objektiv setzt sich aus mehreren Linsen zusammen, die in Summe die Brennweite bestimmen. Zudem umfasst das Objektiv noch die Blende, einen Kameraanschluss und ein Filtergewinde.

nis fehlerhaft, sobald man die kalibrierte Ebene verlässt. Durch den parallelen Strahlengang ist die maximale Größe des Objekts bei telezentrischen Objektiven allerdings auf den Durchmesser der Eingangslinse des Objektivs beschränkt. Dieser beträgt in der Regel einige Zentimeter. Maximal sind Objektive mit einem Bildfeld von bis zu 35 cm in der Diagonale erhältlich. Eine weitere Gruppe bilden die Makro-Objektive oder -systeme, die ein Objekt im Maßstab 1:1 oder vergrößernd auf der Bildebene abbilden. Prinzipiell kann jedes Objektiv durch Verringerung des Arbeitsabstandes mit Hilfe von Zwischenringen oder Nahlinsen als Makro-Objektiv verwendet werden. Durch diese zusätzlichen Komponenten nehmen allerdings bildfeldabhängige Fehler deutlich zu, beispielsweise die Verzeichnung. Echte Makro-Objektive wurden speziell auf geringe Arbeitsabstände hin entwickelt, wodurch die bildfeldabhängigen Fehler auf ein Minimum reduziert werden. Sie haben in der Regel eine kleinere minimale Blendenöffnung als Standard-Objektive, um die prinzipiell größere Schärfentiefe bei geringen Arbeitsabständen auszugleichen. Zusätzlich verringert eine kleine Blendenöffnung eventuelle Bildfehler, verursacht aber auch automatisch eine geringere Lichtempfindlichkeit. Makro-Objektiv-Systeme erlauben dem Anwender, sich aus einem Systembaukasten ein speziell für die jeweilige Anwendung optimiertes Makro-Objektiv zusammenzustellen. Basis für ein solches Makro-Objektiv ist ein Grundkörper, der die wesentlichen Eigenschaften wie Festbrennweite oder Zoom, Schärfeneinstellmöglichkeiten, Blende oder Lichteinspiegelung definiert. Ein Adapter bestimmt die Vergrößerung, die jedoch auch durch den Arbeitsabstand beeinflusst wird. Der Arbeitsabstand wird mit Hilfe der dritten Komponente, der Frontlinse, definiert. Bei einigen Systemobjektiven kann der Anwender auch zwischen verschiedenen Kameraanschlüssen auswählen. Makro-Objektive erreichen eine bis zu 400-fache Vergrößerung.



Strahlengang eines Standardobjektivs (oben) und eines telezentrischen Objektivs (unten)



Tritt eine Vignettierung auf, wird bei größeren Sensoren das gewonnene Bild in den Ecken dunkler.

Kennzahlen und Auswahlkriterien

Lichtstärke: Die Lichtstärke eines Objektivs beschreibt, wie viel der Originalhelligkeit eines Gegenstandes auf die Bildebene (den Sensor) übertragen wird. In der Praxis wird die Lichtstärke oft mit der größten Blendenöffnung (kleinste Blendenzahl) verwechselt. Allerdings gibt die Blendenzahl nur das Verhältnis zwischen Brennweite und der wirksamen Öffnung des Objektivs wieder. Es ist also ein rein geometrischer Wert. Die Glasgüte der verwendeten Linsen wird hierbei nicht berücksichtigt. In der Praxis bestehen bei der Lichtdurchlässigkeit der für die Objektive verwendeten Linsen keine gravierenden Unterschiede, sodass die kleinste Blendenzahl durchaus als Hinweis für die Lichtstärke des Objektivs verwendet werden kann.

Brennweite: Die Brennweite bezeichnet den Abstand zwischen Bildebene (Sensor), an dem sich parallele Lichtstrahlen zu einem Brennpunkt bündeln, und dem Mittelpunkt des Linsensystems, auch optischer Mittelpunkt genannt. Sie bestimmt bei einem Objektiv, zusammen mit dem Aufnahmeformat (Sensorgröße) bzw. dem Bildkreis, den Bildwinkel und somit den Bildausschnitt. Die für eine Aufnahmesituation notwendige Brennweite errechnet sich durch folgende Formel:

$$\text{Brennweite} = \frac{\text{Sensorgröße}}{\text{Bildausschnitt}} \cdot \text{Arbeitsabstand}$$

Sensorgröße: Jedes Objektiv kann auf der bildgebenden Seite nur eine gewisse Fläche ausleuchten. In der Regel sind die sogenannten Bildkreisdurchmesser den Sensorgrößen angepasst. Ein 2/3"-Objektiv beispielsweise leuchtet einen 2/3"-Sensor komplett aus und ist auch für kleinere Kamerasensoren geeignet. Bei größeren Sensoren wird das gewonnene Bild in den Ecken dunkler. Es tritt eine Vignettierung ein. Da Objektive in der Regel im Zentrum verzeichnungärmer sind, kann durch die Wahl eines Objektivs mit größerem Bildkreisdurchmesser auf einfache Weise die Genauigkeit einer Vermessung erhöht werden.

Arbeitsabstand: Der Arbeitsabstand ist die Strecke zwischen der Frontlinse des Objektivs und dem aufzunehmenden Objekt. Objektive sind durch den kleinsten zulässigen Arbeitsabstand (MOD) definiert und können, ausgehend von diesem Abstand, in der Regel bis ∞ eingestellt werden.

Objektivanschluss: In der Bildverarbeitung finden lediglich drei unterschiedliche Objektivanschlüsse Verwendung.

- C-Mount ist der mit Abstand am häufigsten verwendete Kameraanschluss. Es handelt sich hierbei um einen Gewindeanschluss. Der Durchmesser beträgt 1" (2,54 cm). Die Steigung des Gewindes beträgt 1/32" pro Gewindengang. Das Auflagemass, d.h. der Abstand zwischen Sensor und dem Flansch des Objektivgewindes, beträgt 0,69" (17,526 mm). Durch den lichten Durchmesser von 1" (minus Materialstärke des Objektivgewindes) können nur Sensoren bis zu einer bestimmten Abmessung mit C-Mount-Gewinden kombiniert werden. Die tatsächliche Größe eines noch verwendbaren Sensors hängt vom Objektiv ab und ist bei der Spezifikation des Objektivs aufgeführt.
- Kommen größere Sensoren zum Einsatz, wie es beispielsweise bei Zeilenkamera-Anwendungen häufig der Fall ist, benutzt man in der Regel das sogenannte Nikon-F-Mount. Es handelt sich um einen Bajonettanschluss, der

jedoch noch so robust wie der C-Mount-GeWINDEANSCHLUSS ist. Dieser Objektivan-schluss hat einen inneren Durchmesser von 44 mm und ist somit für große Sensoren geeignet. In der Regel haben Bildverarbeitungskameras keine Steuerung für Objektive. Bei der Auswahl eines Objektivs ist daher darauf zu achten, dass alle Einstellmöglichkeiten des Objektivs manuell verfügbar sind.

- Der dritte mögliche Anschluss ist das CS-Mount. Mechanisch handelt es sich hierbei um einen C-Mount-Anschluss, wobei das Auflö-gemaß 5 mm kleiner als beim C-Mount-Objek-tiv ist. Eine C-Mount-Kamera kann nicht an ein CS-Mount-Objektiv angeschlossen werden. Umgekehrt kann aber ein C-Mount-Objektiv durch den Einsatz eines 5 mm-Zwischenrin-ges an eine CS-Mount-Kamera angeschlossen werden.

Auflösungsvermögen: Das Auflösungsvermögen eines Objektivs wird in Linienpaaren pro mm (lp/mm) angegeben. Der Wert gibt an, wie viele Linienpaare auf 1 mm Sensorfläche dargestellt werden können, sodass diese gerade noch optisch unterschieden werden können. Man geht typischerweise davon aus, dass ein Linienpaar dann noch aufgelöst werden kann, wenn der Kontrast wenigstens 30 % beträgt. Wenn nun ein Objektiv eine Auflösung von 50 lp/mm hat, wird eine Linie durch ein Pixel von 10 µm Ab-

messung dargestellt. Besitzt das Pixel beispiels-weise 5 µm Kantenlänge, wird die Gesamtauflösung des Systems durch die Auflösung des Objektivs beschränkt. Bei der Auswahl des Objektivs sollte man darauf achten, dass das Auflösungsvermögen nicht kleiner ist als die Auflö-sung des Kamerasensors.

In der Regel nimmt das Auflösungsvermögen zum Rand des Objektivs hin ab. Je nach Ob-jektiv kann die Abnahme bis zu 50 % betragen. Möchte man die höchste Auflösung eines Ob-jektivs nutzen, sollte man ein Objektiv für den nächst größeren Sensor wählen, da dann nur die Linsenfläche im Zentrum des Objektivs genutzt wird, welche prinzipiell die höhere Auflösung be-sitzt.

Objektivfehler: Da eine Linse nicht zu 100 % der theoretischen Form entspricht, wird Licht je nach Durchtritt durch die Linse nie im gleichen Winkel abgelenkt. Die Lichtstrahlen treffen sich daher nicht exakt im Brennpunkt, sodass die sphärische Aberration auftritt. Diese zeigt sich in einem etwas verschwommenen Bild. In der Regel ist die Abweichung am Rand der Linsen an größten. Um Messfehler in der Auswertung der industriellen Bildverarbeitung möglichst gering zu halten, sind Objektive mit möglichst geringer sphärischer Aberration, sogenannte Asphärische Objektive, zu wählen. Alternativ hierzu kann man ein Objektiv wählen, das eine wesentlich größere

Sensorfläche als die des verwendeten Sensors ausleuchtet, um die Randbereiche der Linsen im Objektiv nicht zu verwenden.

Wird Licht unterschiedlicher Wellenlänge beim Ein- und Austritt unterschiedlich stark abgelenkt, zeigt sich dies durch ein etwas verschwommenes Bild und durch Farbartefakte an den Farb-kanten im Bild. Die chromatische Aberration kann durch die Verwendung von Linsen mit un-terschiedlichem Brechungsverhalten reduziert werden.

Verzeichnung: Die Verzeichnung bewirkt, dass gerade Linien auf der Bildebene gekrümmt wie-dergegeben werden. Bei Weitwinkelobjektiven wird das Bild tendenziell tonnenförmig wieder-gegeben, bei Teleobjektiven eher kissenförmig, während bei guten Standardobjektiven nahezu keine Verzeichnung zu erkennen ist. Die meis-ten Bildverarbeitungsprogramme haben Mo-dule, um die Verzeichnung rechnerisch zu korri-gieren. (agry)

Autor

Dipl.-Ing. Hendrik Schumann

KONTAKT ■■■

Polytec GmbH, Waldbronn
Tel.: +49 7243 604 180
bv@polytec.de · www.polytec.de/bv