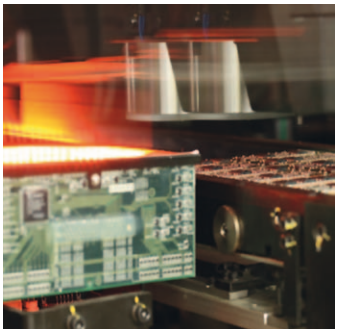
Die Qual der Wahl: 2D- oder 3D-Kamera?

Welche 3D-Kameratechnologie passt für welche Anwendung?

Die dritte Dimension spielt bei Anwendungen der Bildverarbeitung eine immer größere Rolle. Dieses White Paper beschreibt die beliebtesten 3D-Technologien, die es auf dem Markt gibt und zeigt die Stärken und Schwächen auf. Außerdem enthält es Kriterien zur Beantwortung der Frage, ob sich die dritte Dimension überhaupt für die jeweilige Anwendung lohnt.



2D-Kameratechnologie

Als 2D-Kameratechnologien stehen Flächen- und Zeilenkameras zur Verfügung. Flächenkameras erfassen die zu analysierende Szene mit einer einzelnen Aufnahme, wohingegen eine Zeilenkamera ein Scanverfahren anwendet, bei dem das Bild Zeile für Zeile aufgenommen wird. Die Szene wird je nach gewähltem Kameramodell entweder in einem Monochrom-oder einem Farbbild, d.h. in RGB Werten, dargestellt.

Einsatzgebiete

2D-Bildverarbeitung eignet sich immer dann, wenn in der Anwendung ein hoher Kontrast gegeben ist, oder wenn Struktur und Farbe des zu inspizierenden Objekts ausschlaggebend für das Endergebnis sind. Aktuell ist 2D die vorherrschende Technologie wenn es um die Lösung von Bildverarbeitungsaufgaben geht.
Grundsätzlich lassen sich in allen Aufgabenbereichen der Bildverarbeitung, wie Positionserkennung, Detektieren, Messen und Lesen, Anwendungen für 2D-Kameras finden. Typische Einsatzgebiete einer 2D-Kameralösung sind die folgenden:

- Montageprüfung von Objekten mit kontrastreichen Komponenten
- Detektion der Form und Abmessungen von sehr flachen Objekten, bei denen kaum ein Höhenwert gegeben ist
- Detektion von Verschmutzungen auf einem Objekt, insbesondere in einer integrierten Prüfung direkt in der Fertigungslinie
- Überprüfung von Farb- und / oder Druckqualität von z. B. Barcodes auf Verpackungen
- Sortierung von Produkten, die sich anhand ihrer Farbe oder ihres Aufdrucks deutlich voneinander unterscheiden
- Lötstelleninspektion von Leiterplatten

3D-Kameratechnologie

Für das Erfassen der dritten Dimension von Objekten und Szenen stehen mehrere Technologien zur Verfügung, welche unter Punkt „Überblick über die beliebtesten 3D-Technologien“ näher erläutert werden. Unterscheidungsmerkmal zwischen 2D- und den 3D-Technologien ist, dass nicht nur die X- und Y-Werte in einem aufgenommenen Bild sichtbar werden, sondern dass auch Tiefenwerte der aufgenommen Szene oder des Objektes zur Verfügung gestellt werden. Dies eröffnet insbesondere in der Robotik, der Fabrikautomatisierung und auch im Medizinsektor völlig neue Möglichkeiten zum Lösen von komplexen Aufgaben. Aus dem Entertainment-Sektor sind 3D-Lösungen schon gar nicht mehr wegzudenken und es offenbaren sich immer neuere Anwendungen durch den Trend der virtuellen Realität und der Nutzung von 3D-Daten in der Filmproduktion.

Einsatzgebiete

3D-Bildverarbeitung wird insbesondere immer dann eingesetzt, wenn Volumen, Formen oder die 3D-Position von Objekten analysiert werden sollen. Jedoch können Tiefeninformationen auch bei der Überprüfung von Objekten und Fehlerbildern, die für 2D zu wenig Kontrast, aber einen erkennbaren Höhenunterschied aufweisen, zur Lösung der Aufgabe genutzt werden. Typische Einsatzgebiete einer 3D-Kamera sind die Folgenden:

- Hinderniserkennung und „menschliche“ Navigation von autonom fahrenden Fahrzeugen im industriellen Umfeld wie z. B. Gabelstaplern

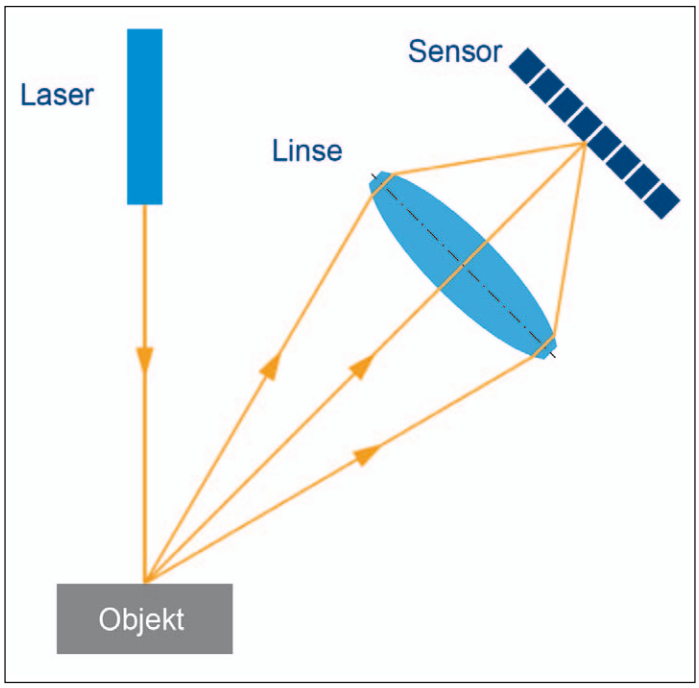
Anforderungen an die Aufgabe	2D	3D
Analyse von Volumen und/oder Formen	-	✓
Struktur und Farbe müssen erkannt werden	✓	-
Gute Kontrastinformationen vorhanden	✓	-
Kontrastinformationen sind schlecht oder nicht vorhanden	-	✓
Höhenunterschiede müssen erkannt werden	-	✓
Positionierungsaufgabe/Detektion in der dritten Dimension	-	✓

Autorin:

Jana Bartels, Product Managerin bei der Basler AG

- Robotergesteuerte Greifaufgaben an Förderbändern oder der „Griff in die Kiste“
- Anwesenheitserkennung, Prüfen und Zählen von Objekten in Behältern/Schachteln, selbst wenn diese keinerlei Kontrast zum Hintergrund aufweisen
- Überprüfung von Position und Anwesenheit von Komponenten auf einer Leiterplatte
- Volumenmessungen von verschiedensten Objekten
- Portionierung von Lebensmitteln wie z. B. Fleischzerteilung

Auch wenn bisher die 2D-Technologie die größere Bedeutung für den Bildverarbeitungsmarkt hat, gibt es einen Trend zu 3D-Lösungen. 3D-Bildverarbeitung wird in den nächsten Jahren insbesondere durch den Trend Industrie 4.0 und die zunehmende Automatisierung immer mehr an Bedeutung gewinnen.



Funktionsprinzip Lasertriangulation

2D oder 3D – hilft die dritte 3. Dimension überhaupt zum Lösen der Aufgaben?

Die Entscheidung ob eine 2D- oder eine 3D-Kameratechnologie zum Lösen der jeweiligen Inspektionsaufgabe genutzt werden sollte, muss ganz am Anfang und wohl überlegt getroffen werden. Diese Frage ist bei einigen Anwendungen sehr einfach zu entscheiden, da sich die Anforderungen sehr klar darstellen. Bei anderen Anwendungen hingegen können sowohl 2D- als auch 3D-Technologien funktionieren, bieten jedoch unter Umständen ganz unterschiedliche Vor- und Nachteile. Diese müssen verstanden werden, um sie dann wieder zielgerichtet nutzen und die beste Lösung auswählen zu können.

Zur Überprüfung, ob sich eine 2D- oder eine 3D-Lösung für die anvisierte Aufgabe eignet, ist es hilfreich, nach einer Kriterienliste vorzugehen und die folgenden Punkte bzgl. der Applikation zu betrachten:

Überblick über die beliebtesten 3D-Technologien

Genauso wie sich bei der 2D-Bildverarbeitung Flächen- und Zeilenkameras einsetzen lassen, um den Bedürfnissen der unterschiedlichen Anwendungen gerecht zu werden, gibt es auch bei der 3D-Bildverarbeitung verschiedene Technologien. Die zurzeit am Häufigsten eingesetzten sind:

- Stereovision und strukturiertes Licht
- Lasertriangulation
- Time-of-Flight

Jede der Technologien basiert auf einem anderen Prinzip zum Erfassen der dritten Dimension und jede dieser Technologien weist wiederum Vor- und Nachteile auf. Auch hier ergänzen sich die Technologien und es ist abhängig von den Bedürfnissen der jeweiligen Anwendung, welche am besten geeignet ist. Im folgenden Abschnitt wird darauf näher eingegangen.

Stereovision und strukturiertes Licht

Stereovision arbeitet nach dem Prinzip des menschlichen Augenpaars. Zwei Kameras werden genutzt um zwei 2D-Bilder eines Objekts aufzunehmen. Dabei wird die gleiche Szene aus zwei verschiedenen Positionen aufgenommen und die Tiefeninformation mit Hilfe des Triangulationsprinzips zu einem dreidimensionalen Bild zusammengesetzt.

Stereovision verwendet Bilddaten von zwei regulären 2D-Flächenkameras um Tiefenwerte der Szene herzuleiten. Auf Basis der Positionen der Kameras und dem Wissen über die Geometrie der Anwendung werden die Bilder rektifiziert. Nach der Rektifizierung werden über einen Matching-Algorithmus korrespondierende Punkte im rechten und linken Bild gesucht und ein Tiefenbild der Szene erzeugt. In welchem Arbeitsabstand dieses Verfahren funktioniert, hängt dabei von der sogenannten Baseline, dem Abstand zwischen den beiden Kameras, ab und variiert daher.

Eine Möglichkeit zur Verbesserung der Performance eines Stereosystems ist es, strukturiertes Licht zu der Stereo-Lösung hinzuzufügen. Durch eine Lichtquelle, die geometrische Helligkeitsmuster auf die Szene projiziert, werden die Messergebnisse genauer und die Nachteile der Stereoskopie hinsichtlich homogener Flächen und wenig Licht deutlich reduziert. Durch eine Kalibrierung des Projektors zu der Kamera kann sogar auf den Einsatz einer zweiten Kamera verzichtet werden.

Typische Einsatzgebiete von Stereovision und strukturiertem Licht

Mit Stereovision lassen sich recht hohe Genauigkeiten erzielen. Mit unkooperativen Oberflächen hat Stereovision keine großen Probleme, jedoch werden immer einige Referenzmarken oder zufällige Muster auf dem Objekt benötigt. Für den Einsatz im Produktionsumfeld eignet sich diese Technik aus diesem Grund in der Regel nicht sehr gut. Stereovision ist häufig in der Koordinatenmesstechnik, der 3D-Vermessung von Objekten und Arbeitsräumen für Applikationen mit Industrie-, Service- oder Robotersystemen sowie bei der 3D-Visualisierung von für den Menschen gefährlichen oder unzugänglichen Arbeitsbereichen anzutreffen. Des Weiteren eignen sich Stereosysteme sehr gut für den Einsatz in Messsystemen für den Outdoorbereich wie z. B. in einem Sägewerk zum Vermessen und Inspizieren von Baumstämmen.

Unter Hinzunahme von strukturiertem Licht wird Stereovision jedoch auch für Industrieanwendungen, wie z. B. die Vermessung von Objekten wieder interessant, wenn die hohe Prozessorlast, der komplexe Installationsaufwand sowie höhere Kosten tolerierbar sind.

Lasertriangulation

Beim Verfahren der Lasertriangulation wird eine Kombination aus 2D-Kamera und einer Laserlichtquelle eingesetzt. Der Laser projiziert bei diesem Verfahren Linien oder Punkte auf die Szene vor der Kamera.

Die Laserlinie bzw. die Laserpunkte erscheinen auf den Objekten vor der Kamera und werden von einer 2D-Kamera aufgenommen. Ändert sich jetzt die Entfernung des Messobjektes vom Sensor durch ein Bewegen der Kamera über das Objekt, oder durch eine Bewegung des Objektes, z. B. durch ein Fließband, so ändert sich auch der Winkel, unter dem die Laserlinien oder die Laserpunkte beobachtet werden und damit auch deren Position im Kamerabild. Aus den Positionskoordinaten im Bild wird die Entfernung des Objektes von der Laserlichtquelle berechnet.

Einsatzgebiet von Laserscannern

Lasertriangulation ist immer in solchen Anwendungen das Mittel der Wahl, bei denen eine sehr hohe Genauigkeit gefordert ist. Auch bei unkooperativen Oberflächen mit starken Reflexionen in Kombination mit schwierigen Lichtverhältnissen sollte auf die Laser-

triangulation gesetzt werden. Eine Vermessung von hoch reflektierenden Blechteilen im sub-Millimeter Bereich wäre beispielsweise eine typische Anwendung für die Lasertriangulation. Als weiteres Beispiel ließe sich das Sortieren von Glasflaschen nennen, bei denen wenig Kontrast vorhanden ist.

Time-of-Flight- oder Lichtlaufzeit-Verfahren

Das Lichtlaufzeitverfahren ist eine sehr effiziente Technologie, um Tiefendaten zu gewinnen und Entfernungen zu messen. Eine Lichtlaufzeitkamera liefert zwei Arten von Informationen für jedes Pixel: den Intensitätswert, ausgegeben als Grauwert, und den Abstand des Objektes von der Kamera, nämlich den Tiefenwert.

Beim Lichtlaufzeitverfahren gibt es zwei verschiedene Methoden, das Continuous-Wave- und das gepulste Time-of-Flight-Verfahren.

Continuous-Wave-Verfahren

Das Continuous-Wave-Verfahren basiert auf der Messung der Phasenlage einer helligkeitsmodulierten Lichtquelle. Diese Methode ist ausgereift und funktioniert mit Standardelektronik. Die Sensoren, die bei diesem Verfahren genutzt werden, sind relativ groß und verfügen über eine geringe Auflösung.

Time-of-Flight-Verfahren

Das gepulste Time-of-Flight-Verfahren ermittelt die Entfernung aus der Laufzeit vieler einzelner Lichtpulse. Das erfordert sehr schnelle und präzise Elektronik um auf eine Genauigkeit im ±1-cm-Bereich zu gelangen. Durch den technischen Fortschritt ist die Erzeugung präziser Lichtpulse, sowie deren exakte Vermessung mit hoher Auflösung inzwischen zu vertretbaren Kosten möglich. Das gepulste Time-of-Flight-Verfahren wird sich daher rasant weiter entwickeln, da auch hier der Trend zu hohen Auflösungen nicht zu vernachlässigen ist.

Eine Time-of-Flight-Kamera ist ein kompaktes System ohne bewegliche Teile und besteht aus den folgenden Komponenten:

- einer integrierten Lichtquelle
- einem integrierten Objektiv und
- einem Time-of-Flight-Sensor

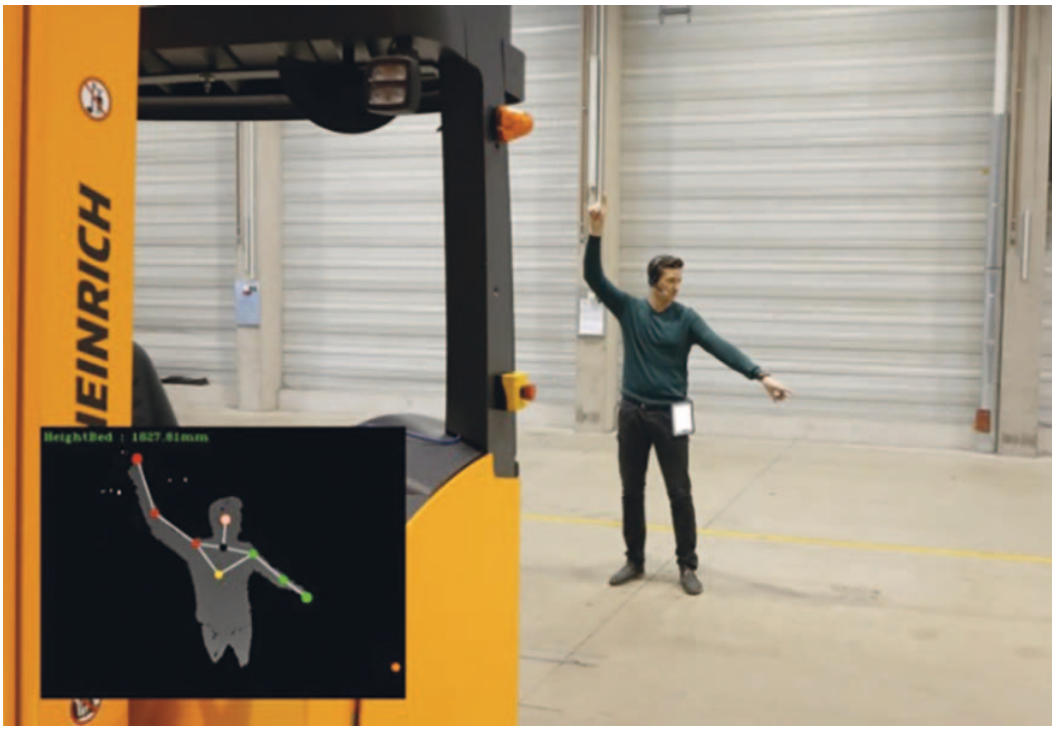
Die Lichtquelle sendet Lichtpulse oder auch kontinuierliches Licht aus. Dieses Licht trifft auf ein Objekt und wird zurück zur Kamera reflektiert. Das integrierte Objektiv sorgt dafür, dass das zurückgeworfene Licht in den Sensor gelangt. Vereinfacht dargestellt, wird auf Basis der Laufzeit, die das Licht unterwegs war, bis es wieder auf den Sensor getroffen ist, die Entfernung und somit der Tiefenwert für jeden einzelnen Pixel berechnet. Dieses Verfahren macht eine einfache und echtzeitfähige Darstellung von Punktwolken/Tiefenkarten möglich und liefert zudem ein Intensitätsbild und ein Konfidenzbild, beides zum gleichen Zeitpunkt aufgenommen.

Typische Einsatzgebiete von Time-of-Flight

Time-of-Flight-Kameras eignen sich für Anwendungen, in denen ein hoher Arbeitsabstand, hohe Geschwindigkeit und geringe Komplexität gefragt sind. Wenn diese Eigenschaften gefordert sind und ein geringes Budget wichtiger ist als Genauigkeit bis auf Millimeter, ist das gepulste Time-of-Flight-Verfahren die richtige Wahl. Prädestiniert für Time-of-Flight (ToF)-Kameras sind Volumenmessungen in der Logistik, Palettier- und De-Palettieraufgaben sowie autonom fahrende Fahrzeuge im Logistikumfeld. Des Weiteren ergeben sich neue spannende Aufgaben für ToF-Kameras im medizinischen Umfeld für die Positionierung und die Überwachung von Patienten. Im industriellen Bereich eignen sich Systeme mit ToF-Kameras aufgrund ihrer relativ geringen Tiefengenauig- keit eher für gröbere Aufgaben wie z.B. Pick- und Place-Applikationen von größeren Objekten. Außerdem sind sie für Robotersteuerungen einsetzbar oder für das Vermessen und der Lageerkennung von großen Objekten, z.B. in der Automobilfertigung.

Vergleich der aufgeführten 3D-Technologien

Wie bereits aus Punkt „Überblick über die beliebtesten 3D-Technologien“ zu erkennen ist, gibt es nicht „die eine“ perfekte 3D-Technologie zum Lösen aller Vision-Anwendungen, die die dritte Dimension benötigen. Es muss immer eine Abwägung der Anforderungen erfolgen, um die optimale Technologien auswählen zu können. Die unten stehende Tabelle zeigt noch einmal die Performance der einzelnen Technologien in Bezug auf wichtige Kriterien einer Applikation.



Time-of-Flight Kameras in einem smarten Gabelstapler zur Lagerautomatisierung

	Stereovision	Strukturiertes Licht	Laserscanner	Time-of-Flight
Reichweite	Mittel bis weit	Mittel	Kurz	Weit
XY-Auflösung	Mittel	Mittel	Unterschiedlich	Hoch
Tiefengenauigkeit	Mittel bis sehr genau in kurzen Arbeitsbereichen	Mittel bis sehr genau in kurzen Arbeitsbereichen	Sehr hoch	Mittel
Software-Komplexität	Hoch	Mittel	Hoch	Gering
Echtzeitfähigkeit	Gering	Gering bis mittel	Gering	Hoch
Verhalten bei geringem Licht	Schwach	Gut	Gut	Gut
Außenbereich	Gut	Schwach	Mittel	Im Moment schwach[1]
Kompaktheit	Mittel	Mittel	Schwach	sehr kompakt
Materialkosten	Mittel	Hoch	Hoch	Mittel bis gering
Gesamtbetriebskosten	Hoch	Mittel bis hoch	Hoch	Mittel bis gering

[1] wird sich aber dank der neuen Sensorengeneration in den nächsten Jahren steigern

Welches ist die richtige 3D-Technologie für meine Anwendung?

Es gibt nicht die eine, perfekte Lösung für jede Anwendung. Deshalb muss jede Anwendung neu hinsichtlich ihrer Anforderungen und der dazu passenden Technologie evaluiert werden. Zunächst muss entschieden werden, ob 2D oder 3D bei der Lösung verwendet werden soll. Wenn die Wahl auf eine Lösung fällt, die die dritte Dimension benötigt, muss anschließend anhand der Anforderungen der Anwendung und der Vor-und Nachteile der jeweiligen 3D-Technologie die passende Technologie gewählt werden.

Es ist wichtig, noch einmal die Kriterien und Rahmenbedingungen für die Anwendung zu skizzieren. Durch eine Auflistung der Rahmenbedingungen und Anforderungen wird klarer, welche Technologien überhaupt in Frage kommen.

Folgende Punkte sollten geklärt werden:

- Welche Anforderungen an die Genauigkeit hat meine Anwendung? (sub-mm, mm oder cm)
- Wie ist die Oberflächenbeschaffenheit der Objekte? (kooperativ / unkooperativ)
- Was für einen Arbeitsabstand muss das System erfüllen?
- Welche Systemgeschwindigkeit wird gefordert?
- Muss das System echtzeitfähig sein?
- Welche Anforderungen an die Installation und das Setup habe ich? Darf das Setup komplex sein oder muss er sehr einfach umzusetzen und zu integrieren sein?
- Welches Gesamtbudget ist für die Applikation vorgesehen? (Gesamtbetriebskosten)
- Wie hoch dürfen die Kosten für die 3D-Lösung als Einzelkomponente sein?
- Wird die Anwendung im Innen- oder Außenbereich mit direktem Sonnenlichteinfall verwendet?

Nach der Auflistung der wichtigsten Anforderungen müssen diese priorisiert werden, um die Wichtigsten herauszufinden. Dieses gelingt am Besten, wenn man sich folgende Frage stellt: Auf was kann ich verzichten und für welche anderen Vorteile würde ich das tun?

Fazit

Es gibt bei der Wahl der Technologien für die Bildverarbeitung keine 100%ige Sicherheit, die einzig richtige Technologie zu finden. Selbst bei der Wahl zwischen einer 2D- oder 3D-Technologie gibt es nicht immer eine definitive Lösung. Die Bildverarbeitung und die Applikationen dahinter sind oftmals so komplex, dass je nach Anwendung individuell entschieden werden muss. Jede Anwendung ist anders – was bei der einen Anwendung eher eine B-Priorität aufweist und zu Gunsten anderer Faktoren etwas niedriger spezifiziert werden kann, ist bei einer anderen Anwendung die Top-Priorität, die dann auch für einen höheren Preis oder Nachteilen bei anderen Faktoren zwingend erfüllt sein muss.

Die erste Entscheidung zur Wahl der richtigen Technologie muss zwischen 2D oder 3D getroffen werden. Erst nach dieser Entscheidung kann beschlossen werden, welche 2D-Kamera – beispielsweise Flächen- oder Zeilenkamera – oder welche 3D-Technologie die geeignetste ist.

Wichtig ist hierbei, dass stets die Gesamtheit der Kosten einer solchen Investition, die über ihren kompletten Lebenszyklus hinweg anfallen, betrachtet wird und nicht nur die Kosten der Einzelkomponenten. Es können hohe Kosten in der Installation des Systems und der Softwarelösung anfallen, über die eine vermeintlich günstige Einzelkomponente hinwegtäuscht.

In der Umsetzung von Lösungen zur Bildverarbeitung wird 3D mehr und mehr an Nachfrage gewinnen. Insbesondere die Industrie 4.0 und die stetig zunehmende Automatisierung in allen Bereichen der Industrie und auch unseres täglichen Lebens führen zu diesem Anstieg. Zudem können auch existierende 2D-Lösungen von der dritten Dimension profitieren und das System effizienter machen.

■ *Basler AG*
sales.europe@baslerweb.com
www.baslerweb.com