

# Industrielle 3D Sensorik – Wo geht die Reise hin?

## Ein- und Ausblicke in die Entwicklung der 3D-Bildverarbeitung



**Nicht nur die Vision, internationale Leitmesse für Bildverarbeitung Anfang November in Stuttgart, hat es gezeigt, auch die Marktanalysen der führenden Branchenverbände sagen es ganz deutlich: Der Einsatz von 3D-Technologien in der Qualitätssicherung und der Automatisierungstechnik nimmt zu. Wie wird sich die 3D-Sensorik in den nächsten Jahren entwickeln? Dieser Beitrag versucht anhand historischer und aktueller Technologieentwicklungen sowie ökonomischer Faktoren ein Bild zu entwerfen.**

### Historische Entwicklung mit evolutionärer Prägung

3D-Sensorik ist eng an die technische Entwicklung der Bildverarbeitungsmethoden geknüpft, unabhängig davon welches Verfahren zum Einsatz kommt. Viele Innovationen haben den schrittweisen Einzug der Bildverarbeitung in industrielle Anwendungen geebnet, in den 80er Jahren war dies der Schritt von Analogkameras zu CCD Bildsensoren, Anfang der 90er die exponentiell zunehmende Rechenleistung auf erschwinglichen

PC-Systemen. In den letzten 10 Jahren wurde durch schnelle digitale Bildsensorik und entsprechende Elektronik der Weg für 3D-Systeme, insbesondere für Lichtschnittverfahren, weiter geebnet.

Wesentliches Merkmal in dieser historischen Entwicklung ist, dass Messverfahren durch Innovationen in Mainstream-Märkten und die damit verbundene Preisdegression erst praktisch umsetzbar gemacht werden konnten. Neben PC-Rechenleistung und performanten Bildsensoren sind vor allem wesentliche Verbesserungen bei Laserdio-

den und neue Projektionstechniken zu nennen, aber auch strukturelle Faktoren wie z.B. der hohe Verbreitungsgrad von PC-Systemen, die Verfügbarkeit kompetenter Software-Entwickler und die mittelständisch geprägte Struktur dieses Marktes. Die Wertschöpfung der gesamten Branche lag und liegt also in der intelligenten Kombination von Produkten, die primär für andere Märkte entwickelt wurden. Daran wird sich auch in Zukunft nichts ändern.

### Stand der Technik

Aufgrund des großen Feldes der 3D-Messtechnik beschränkt sich die Betrachtung hier auf Sensoren von denen davon ausgegangen werden kann, dass sie zukünftig in größeren Stückzahlen hergestellt werden. Abgesehen von speziellen, teilweise qualitativen, Verfahren (z.B. Deflektometrie, Shape-from-Shading) findet man heute im industriellen Bereich vorwiegend zwei physikalisch unterschiedliche Sensorprinzipien: Triangulation und Kohärenzradar (Weißlichtinterferometrie und Time-of-Flight). Triangulationsbasierte Systeme wiederum können in Lichtschnitt- und Streifenprojektionssysteme unterteilt werden [1]. Laserbasierte Lichtschnittverfahren haben den Vorteil, dass auch bei niedrig reflektierenden und hoch texturieren Oberflächen noch sicher abgetastet werden kann. Allerdings muss dazu das Objekt definiert bewegt werden. Aufgrund des hohen Specklekontrastes ist bei technischen Oberflächen die Messunsicherheit eines einzelnen Punktes physikalisch bedingt in der Größenordnung von zehn Mikrometern (z.B. [2]) und kann nur durch örtliche Mittelung verbessert werden. Streifenprojektionsverfahren hingegen tasten das Objekt durch eine Sequenz aufprojizierter Weißlicht-Muster flächig an, das Messobjekt muss nicht bewegt werden. Die Vorteile dieses Verfahren liegen in der geringeren Messunsicherheit, einer deutlichen höheren Anzahl an verfügbaren Punkten pro Messvorgang und der Möglichkeit größere Flächen zu vermes-

sen. Weißlichtinterferometrie dürfte das universellste Verfahren (sehr hohe Genauigkeit, koaxiale Anordnung) sein, hat aber den entscheidenden Nachteil der langen Messzeit und ist derzeit nicht für produktionsnahe QS-Systeme geeignet.

### Kosten- und andere Barrieren

Allein in Europa gibt es mehrere hundert Hersteller von Bildverarbeitungshardware und -software, deren Umsatz deutlich unter 10 Mio. EUR liegt. Der Grund hierfür dürfte in den relativ niedrigen Eintrittsbarrieren liegen, aber auch in dem hohen Spezialisierungsgrad mit dem die einzelnen Firmen ihre Kunden zu adressieren versuchen. Ähnlich verhält es sich mit Systemintegratoren (SI): allein in Deutschland gibt es mehr als 400. Die Folge davon ist, dass die relative Marktmacht eines einzelnen Spielers eher gering ist, was zu oft Preiskämpfen untereinander führt und geringe Einkaufsmacht nach sich zieht. Diese Situation zwingt viele Hersteller und SI dazu weitere Nischen zu bedienen. Für die Entwicklung von Lösungen, die einen breiteren Markt adressieren, fehlen die finanziellen Ressourcen.

SI und in Einzelfällen auch Endkunden als Abnehmer von 3D Systemen werden zwei Ziele verfolgen: erstens die Lösung von technischen Problemstellungen für ihre Kunden unter bestimmten, oft harten Preisvorgaben und zweitens eine möglichst kosteneffiziente Realisierung dieser Lösung. Bereits diese beiden Aspekte erzeugen bei vielen SI Stirnrunden: Wann ist eine 3D- gegenüber einer traditionellen BV-Lösung sinnvoll? Was kostet mich das „Anfassen“ einer neuen Technologie? Die natürliche Reaktion von SI auf 3D-Systeme ist Skepsis, in vielen Fällen Ablehnung solange die Möglichkeit besteht die Problemstellung mit vertrauten Methoden ggf. auch unter Inkaufnahme niedrigerer Margen zu bearbeiten. Selbst in Fällen, wo eine 3D-Lösung zwingend notwendig, ist scheuen sich viele vor allem kleinere SI vor der Annahme eines solchen Projekts. Oft verhindert eine Kostenbarriere bedingt durch die Einarbeitung in ein spezifisches 3D-System (insbesondere Einarbeitung in Softwareschnittstellen, Anpassung bestehender SW-Komponenten, Finden und Implementieren einer QS-Strategie) schwarze Zahlen bei einem Projekt. Viele SI sehen auch Risiken sich an ein spezifisches System zu binden weil offen bleibt ob und wann interne Entwicklungen in weiteren Projekten multipliziert werden können.

Als Folge dieser Kompetenzlücke bei SI findet man heute häufig Anbieter von 3D-Systemen die vorwärts integriert haben, d.h. sowohl Hersteller von 3D-Systemen sind als auch ganze 3D-Projekte bearbeiten. Zum Vergleich: Kein Kamerahersteller würde das heute tun.

### Treiber für 3D

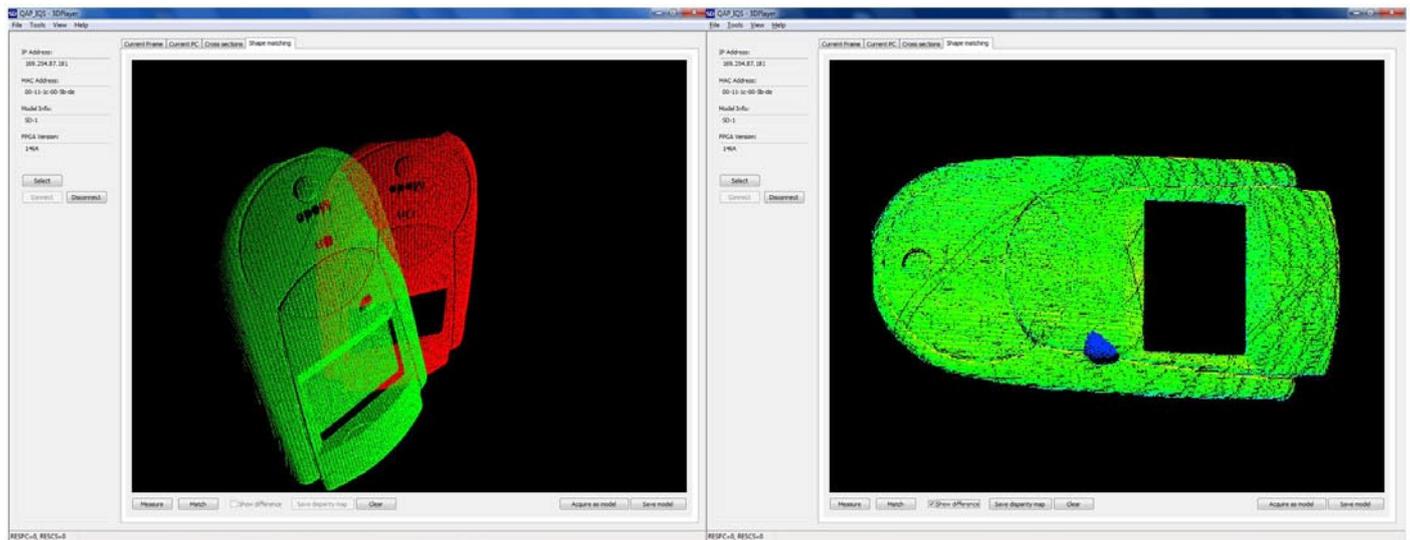
Mehrere Faktoren werden in Zukunft zu weiter zunehmendem Nullfehler/6-Sigma-Qualitätsdenken führen: durch stetig steigendes Fertigungsoutsourcing von Teilkomponenten, die nicht zur Kernkompetenz eines Unternehmens gehören entstehen immer mehr Schnittstellen im Netzwerk von OEMs und Zulieferern. Zweitens sind Unternehmen bestrebt hohe Kosten und Imageverlust durch Qualitätsprobleme zu minimieren. Die systematische Einführung einer 100% Prüfung in Produktionsanlagen wird die Konsequenz sein. 3D-Methoden werden hier eine wichtige Rolle spielen. Auch die zunehmende Integration hybrider Komponenten und Miniaturisierung wird den Bedarf an 3D Messtechnik steigern.

Wo wirtschaftlich sinnvoll wird der Automatisierungsgrad weiter zunehmen, z.B. komplexe, durch Roboter ausgeführte Materialbewegungen (der bekannte „Griff in die Kiste“), die schnelles 3D Sehen und -Erkennen erfordern.

### Zukünftige Entwicklung

Die genannten Verfahren werden sich „evolutionär“ weiterentwickeln. Mit der Verfügbarkeit von leistungsfähigeren LED-Projektoren wird die flächige Antastung weiter an Bedeutung gewinnen, da sie keine Objektbewegung erfordert und damit schneller und flexibler in der Anwendung ist. Die heute etablierten Lichtschnittverfahren werden für weniger komplexe Anwendungen, z.B. Anwesenheitskontrolle, Schweißnahtkontrolle, etc. eingesetzt werden. Falls hochauflösende sehr schnelle CMOS-Bildsensoren zu realistischen Preisen verfügbar werden, könnte auch die Weißlichtinterferometrie im Inline-Bereich an Bedeutung gewinnen. TOF-Systeme werden aufgrund der limitierten räumlichen Auflösung vorwiegend in Bereichen Fahrerassistenz und z.B. in der Robotik für Hinderniserkennung sowie im Gaming-Bereich zum Einsatz kommen.

Eine Schlüsselrolle wird der Software zukommen. Bisher ist es vergleichsweise schwierig aus den 3D-Rohdaten (der Punktwolke) schnell für die Prozesskontrolle/Qualitätssicherung relevante



Beispiel einer echtzeitnahen Qualitätskontrolle von Plastikgehäusen mit ShapeDrive Sensoren und Shape Matching, links: Referenz (Rot), gemessenes Teil mit Fehler (Grün), rechts: als Bild vorliegende Höhendifferenz nachdem beide Teile geometrisch überlagert wurden, die Fehlstelle ist blau gekennzeichnet, grün bedeutet eine Abweichung kleiner 50 µm, Prozessorate < 1s.

Kriterien abzuleiten. Mit der schnellen Implementierung von Shape Matching-Algorithmen, d.h. der schnellen Überlagerung der Messpunkte mit Referenzdaten, wurde hier ein wichtiger erster Schritt getan. Grundsätzlich gilt auch hier, dass dem Anwender möglichst einfach zu handhabende, richtig strukturierte Software zur Verfügung gestellt wird.

technische Anwendungen. Dieser Trend wird sich fortsetzen.

Mit zunehmender Anzahl an erfolgreichen 3D-Projekten wird die Nachfrage nach 3D weiter ansteigen, allerdings nicht sprunghaft. Integratoren können und werden sich durch 3D als Differenzierungskriterium mittelfristig Wettbewerbsvorteile verschaffen, sofern sie in der Lage sind 3D-Lösungen intern und für ihre Kunden kosteneffizient umzusetzen. Ansonsten werden die Integratoren eine eher passive Rolle einnehmen.

Die Hersteller von 3D-Systemen müssen umgekehrt die Komplexität aus den Produkten nehmen sowie geeignete Methoden zur Verfügung stellen, dass für SI solche Systeme einfach und schnell integrierbar werden. Erfolgreiche Hersteller werden offene 3D-Systeme anbieten (standardisierte SW-Schnittstellen, Portfolio von Standard 3D-Verarbeitungsmethoden). Damit wird das Risiko bei den SI gemindert sich an einen Hersteller zu binden. Von SI entwickelte SW-Bausteine können direkt oder mit geringen Modifikationen verwendet werden.

ShapeDrive hat einen auf Streifenprojektion basierenden Sensor entwickelt der mehreren aktuellen Marktbedürfnissen nahekommt: ein schnelles, integriertes und offenes 3D-System bei Kosten nur noch etwas über denen von regulären Kameras.

### Ausblick

Mittelfristig werden sich alle Beteiligten der Wertschöpfungskette, also Hersteller, VARs, Integratoren und Endkunden an einen Tisch setzen und einen „Baukasten“ bestehend aus Hardware- und

Softwareschnittstellen, Messmethoden, Softwaretools sowie Messmittel-Richtlinien definieren. Die Motivation hierfür ist, Endkunden und Systemintegratoren mehr Sicherheit in der Anwendbarkeit zu geben.

Es könnte zukünftig mehrere Tendenzen zur Konsolidierung/Konzentration geben: 1. Vertikale Integration (SI kauft HW- und SW Hersteller zu, um seiner lösungsorientierten Strategie gerecht zu werden), und 2. Horizontale Integration (Kamerahersteller kauft 3D-Systemhersteller zur Nutzung von Einkaufspotentialen und Synergien im Marktauftritt). Ob solche größeren Veränderungen stattfinden hängt davon ab, ob Anwendungen für 3D-Systeme mit einem vergleichsweise großen Marktpotential entstehen, so dass sich eine Konzentration als ökonomisch sinnvoll erweist.

Robot Vision könnte bei aller Komplexität eine solche Anwendung sein.

### Literatur

- [1] Norbert Bauer (Hrsg.), „Handbuch zur industriellen Bildverarbeitung“, Fraunhofer Allianz Vision, 2. Auflage, 2008.
- [2] Gerd Häusler, „Three Dimensional Sensors – Potentials and Limitations“, in Handbook of Computer Vision and Applications, 1999.



ShapeDrive Sensor

### Neue Märkte und Anwendungen

Der Bedarf an 3D-Systemen ist echt und wird nicht von einer zunehmend erwachsenen BV-Industrie herbei gepredigt. Noch in den 90ern traute man sich nur bei schwerwiegenden, kostspieligen Qualitätsthemen aufgrund der hohen Projektkosten und Komplexität über 3D nachzudenken. Heute können Systeme realisiert werden die nur einen Bruchteil kosten und wesentlich performanter sind. Damit werden neue Märkte für 3D geschaffen. Beispiele dafür sind die Lebensmittelindustrie oder auch medizin-

► **Autor**  
Dr. Matthias Rottenkolber, CTO

► **Kontakt**  
ShapeDrive GmbH, Stockdorf  
Tel.: 089/454612-46  
Fax: 089/454612-48  
info@shape-drive.com  
www.shape-drive.com