

Unsichtbares sichtbar machen

Bei einigen Anwendungen der industriellen Bildverarbeitung kann es schwierig oder sogar unmöglich sein, bestimmte Materialeigenschaften oder Fehler mit herkömmlichen Methoden sichtbar und damit auswertbar zu machen. Polarisationsfilter helfen bei der Fehlerinspektion von Materialoberflächen, welche bisher nicht oder nur mit großem Aufwand zu erkennen waren. Beispiele, in denen Polarisation einen Vorteil bieten kann, sind unter anderem:

- **Das Sichtbarmachen von Spannungen in transparenten Materialien wie Glas oder Kunststoff**
- **Unterdrückung von Reflexionen an spiegelnden Oberflächen**
- **Kontrasterhöhung bei Fasermaterialien, wie beispielsweise Kohlenstofffasern**
- **Kontrasterhöhung bei Oberflächenfehlern, wie Kratzern**

Mit einem neuartigen Bildsensor von Sony, bei dem die Polarisationsfilter direkt auf Sensorebene aufgebracht sind, können diese Vorteile der Polarisation nun deutlich einfacher und kostengünstiger als bisher genutzt werden.



Autor: [Arno Dietz](#)
Field Application Engineer
für Industrial Vision

Inhalt

[1.0 Technische Grundlagen](#)

- [1.1 Polarisation allgemein](#)
- [1.2 Sensor](#)

[2.0 Anwendungsbeispiele](#)

- [2.1 Reflexminimierung an Plastikverpackung mit Vmin Modus](#)
- [2.2 Kontrolle von Restspannungen](#)
- [2.3 Erkennung von Fehlern in Faserstoffen](#)
- [2.4 Erkennung von Fehlern in Blisterverpackungen](#)
- [2.5 Erkennung von Schäden bei Oberflächeninspektion](#)

[3.0 Lösung mit GigEPRO Kameraplattform](#)

- [3.1 GigEPRO mit Sony IMX264MZR](#)
- [3.2 Ausgabebilder der GigEPRO](#)
- [3.3 Inbetriebnahme](#)

[4.0 Über uns](#)

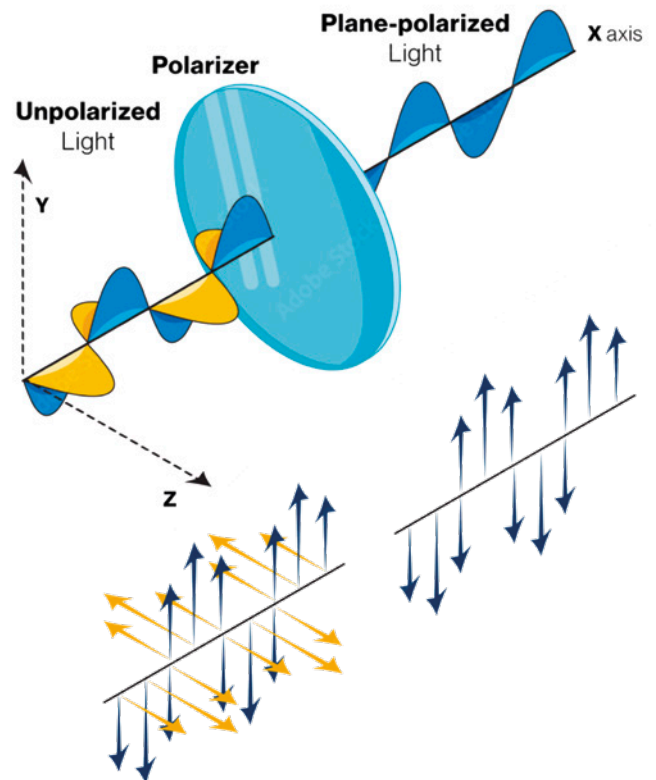
1.0 Technische Grundlagen

1.1 Polarisation allgemein

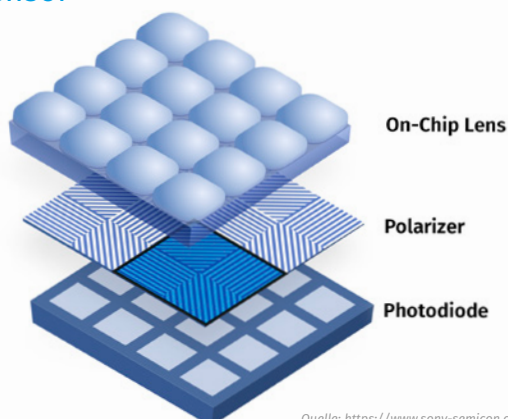
Die Polarisation ist neben dem Spektrum (Farbe) und Amplitude (Helligkeit) eine weitere Eigenschaft von Lichtwellen, welche die Schwingungsrichtung der Lichtwellen beschreibt. Der Großteil der Lichtquellen, wie zum Beispiel die Sonne oder Glühlampen emittieren nichtpolarisiertes Licht. Das heißt, die Wellen schwingen hier in verschiedenen zufälligen Richtungen. Mithilfe eines linearen Polarisationsfilters kann dieses Licht nun polarisiert werden, sodass nur noch Wellen, die in einer bestimmten Richtung schwingen, hindurchgelassen werden. Bei diesem Licht spricht man dann von linear polarisiertem Licht.

Polarisiertes Licht kann auch auf zwei andere Arten entstehen. Zum einen durch Reflexion an nichtmetallischen Oberflächen wie Glas, Kunststoff oder Wasser. Zum anderen durch Lichtbrechung, sprich wenn Licht von einem Medium auf ein anderes trifft. Wie viel Licht dabei polarisiert wird, hängt vom Einfallswinkel ab.

Da Reflexionen in der Bildverarbeitung meistens unerwünscht sind, kann dieser Effekt zur Reflexionsminimierung genutzt werden. Traditionell kommen dabei lineare Polarisationsfilter zum Einsatz, die den polarisierten Anteil des reflektierten Lichts eliminieren. Der Nachteil hierbei ist jedoch, dass die Polarisation je nach Drehlage des Filters nur in einer Richtung gemessen werden kann. Für verschiedene Richtung ist mechanisches Drehen oder Wechseln der Filter notwendig, was mit relativ hohen Kosten und Aufwand verbunden ist. Ein effektives System sollte also mehrere Polarisationsrichtungen gleichzeitig analysieren können. Dies wurde bei einem neuartigen Bildsensor von Sony realisiert, der damit eine einfachere und kostengünstigere Lösung darstellt.



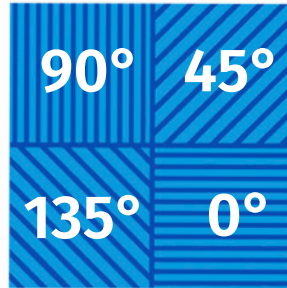
1.2 Sensor



Quelle: <https://www.sony-semicon.com>

Die Besonderheit des Polarisationsensors von Sony besteht darin, dass die Polarisationsfilter, bestehend aus Nanodrahtgittern, nicht wie üblich vor dem Objektiv, sondern direkt auf den Photodioden angebracht sind. Jeweils vier Pixel des Sensors (2x2 Anordnung) werden dabei zu einer Berechnungseinheit zusammengefasst.

Die vier Polarisationsfilter eines Blocks sind dabei in unterschiedlichen Richtungen (0° , 45° , 90° , 135°) angeordnet. Durch dieses Design ist es möglich sowohl den Polarisationsgrad als auch den Polarisationswinkel zu interpolieren. Die verschiedenen Bilder, die daraus berechnet werden können, werden im Kapitel GigEPRO mit IMX264MZR näher beschrieben.



2.0 Anwendungsbeispiele

2.1 Reflexminimierung an Plastikverpackung mit V_{\min} Modus



Grauwertbild



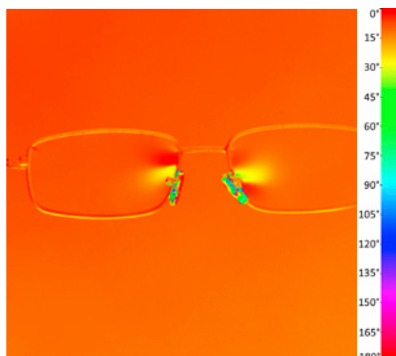
Reflexionsminimiertes Bild

Mithilfe des Modus zur Reflexionsminimierung (vgl. Kapitel 3.2) können Lichtreflexe an spiegelnden Oberflächen reduziert werden. In diesem Beispiel wird deutlich, welchen Vorteil das bringen kann, wenn durch eine transparente Verpackungsfolie Barcodes oder Text gelesen werden soll.

2.2 Kontrolle von Restspannungen

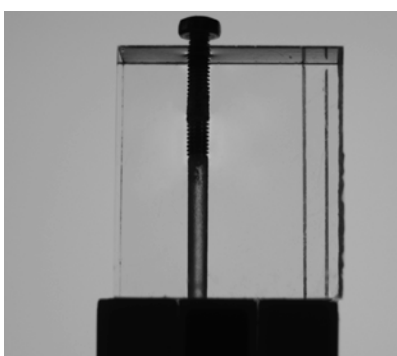


Grauwertbild

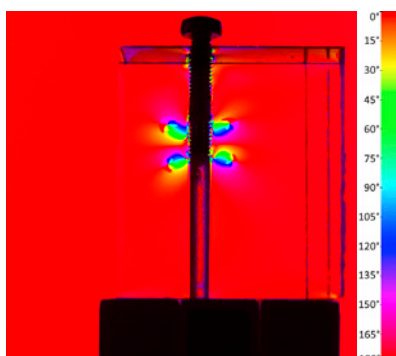


Falschfarbenbild

Polarisationseigenschaften können genutzt werden, um Spannungen in Glas oder Plastik sichtbar zu machen. Am Beispiel der Brille wird deutlich, wie im Bereich der Nasenpads Spannungen im Glas auftreten. Im zweiten Beispiel wurde eine Schraube in einen Acrylblock gedreht. Auch hier werden starke Spannungen sichtbar, die mit einem normalen Monochromsensor nicht erkennbar sind.

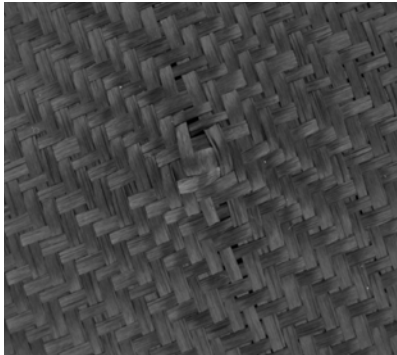


Grauwertbild

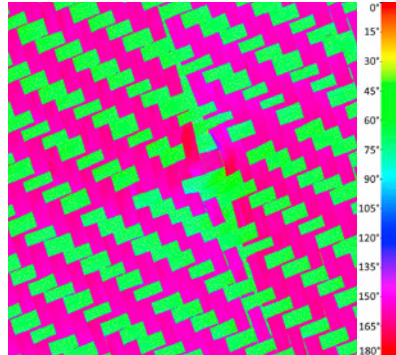


Falschfarbenbild

2.3 Erkennung von Fehlern in Faserstoffen



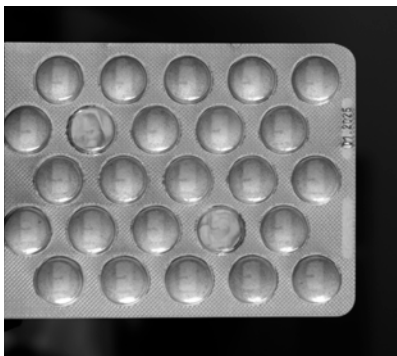
Grauwertbild



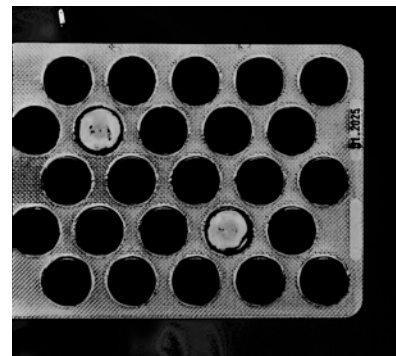
Falschfarbenbild

Auch bei Fasermaterialien bringt ein Polarisationsensor deutliche Vorteile. So können wie hier im Beispiel gezeigt die Faserrichtungen klar getrennt werden. Somit kann die Streifenbreite einfach vermessen oder Materialfehler detektiert werden.

2.4 Erkennung von Fehlern in Blisterverpackungen



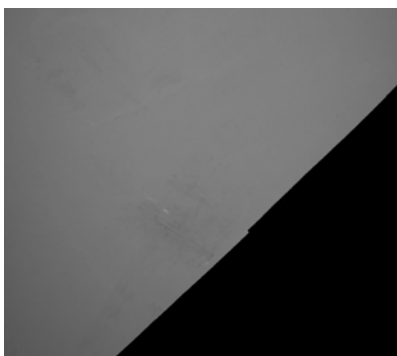
Grauwertbild



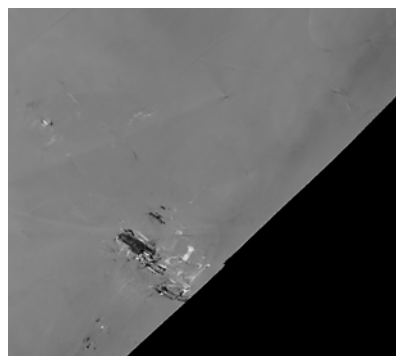
Reflexionsminimiertes Bild

Bei der Detektion von fehlenden Tabletten in Blisterverpackungen ist der Polarisationsensor ebenfalls hilfreich. Im Grauwertbild ist der Unterschied zwischen gefüllten und leeren Behältern nur sehr gering und schwer zu detektieren. Im Bild zur Stärke der Polarisation (DoLP) ist dagegen ein sehr hoher Kontrast zwischen Tabletten und Aluminiumfolie zu sehen, was die Detektion sehr einfach macht.

2.5 Erkennung von Schäden bei Oberflächeninspektion



Grauwertbild



Polarisationswinkelbild

Die Detektion von Oberflächenfehler sind ein weiteres Anwendungsbeispiel, bei dem der Polarisationsensor Vorteile bieten kann. So ist hier die Beschädigung der Plastikfolie im Grauwertbild kaum sichtbar, wohingegen sie im Polarisationswinkelbild deutlich hervortritt.

3.0 Lösung mit GigEPRO Kameraplattform

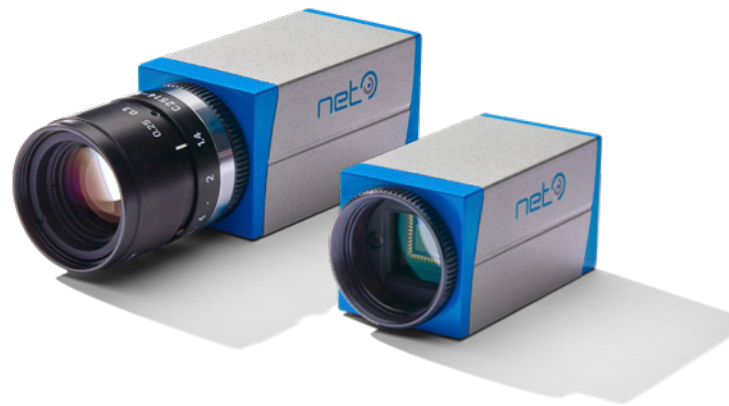
3.1 GigEPRO mit Sony IMX264MZR

Um aus dem Rohbild des Sensors (siehe Kapitel Technische Grundlagen) Ergebnisbilder zu erhalten, ist es in der Regel notwendig, diese auf einem Host-PC mit entsprechenden Bildverarbeitungsbibliotheken zu berechnen. Nur mit diesen Ergebnisbildern können Polarisationsseigenschaften, wie zum Beispiel Polarisationsgrad oder -winkel zur weiteren Auswertung verwendet werden.

NET hat den Polarisationsensor IMX264MZR von Sony in die **GigEPRO** Kamera integriert. Die Besonderheit der GigEPRO Kamera besteht darin, dass eigene Algorithmen dank des NET Open Camera Concepts schon in der Kamera prozessiert werden können. Damit ist die GigEPRO ideal geeignet, um die Berechnung der Ergebnisbilder vom Host-PC in den FPGA der Kamera zu verlagern. Dadurch wird keine zusätzliche Softwarebibliothek für die Berechnung benötigt und die Ergebnisbilder können direkt aus der Kamera ausgegeben werden. Das spart Entwicklungsaufwand, CPU-Rechenleistung und Softwarekosten.

Je nach Bedarf kann zwischen verschiedenen Ausgabebildern gewählt werden. Die bekanntesten sind hierbei zum einen der DoLP-Modus (Degree of Linear Polarisation), bei dem der Polarisationsgrad als Grauwert codiert im Bild gespeichert wird. Zum anderen der AoLP (Angle of Linear Polarisation) Modus, bei dem der Winkel im Grauwert des Ergebnisbildes gespeichert wird. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit verschiedene Falschfarben Modi auszugeben, in denen diese Eigenschaften für das menschliche Auge besser sichtbar sind und die daher für eine erste Betrachtung besser geeignet sind. Weiterhin gibt es einen Modus, in dem Reflexionen unterdrückt werden und somit ein möglichst reflexionsarmes Bild dargestellt wird. Falls eine eigene Berechnung des Ergebnisbildes gewünscht wird, können natürlich auch die Rohbilder sowie Stokes-Bilder ausgegeben werden. Die verschiedenen Ausgabebilder sowie die zugrunde liegende Prozessierung wird im folgenden Abschnitt näher erläutert.

GigE^{PRO}



Technische Daten:

Bildsensor:	IMX264MZR
Auflösung:	2464 x 2056
Format:	2/3"
Pixelgröße:	3,45 µm
Bildwiederholrate:	23 (Mono 8), 8 (RGB 8)
Shutter:	Global

3.2 Ausgabebilder der GigEPRO

S_0

Das im S_0 -Modus berechnete Bild entspricht einem unpolarisierten Grauwertbild, wie es von einer Kamera mit einem herkömmlichem Monochrom-Sensor entstehen würde. Jeder Pixel wird hierbei aus dem Mittelwert der Intensitäten der 4 Pixel einer Berechnungseinheit des Sensors bestimmt. Eine Berechnungseinheit besteht dabei aus einem 2x2-Array mit den jeweils vier Polarisationsrichtungen.

S_{012} (Stokes 0, 1, 2)

Stokes-Parameter sind ein Satz von drei Werten die den Polarisationszustand elektromagnetischer Wellen beschreiben (der 4. Wert für zirkular polarisiertes Licht spielt hier keine Rolle, da der Sensor hierfür nicht sensitiv ist). Diese Parameter dienen primär zur Weiterverarbeitung und nicht zur visuellen Darstellung. Die drei Stokes-Parameter werden in jeweils einem Bildkanal gespeichert, die dann später wieder getrennt werden können. Die Stokes Parameter S_0 , S_1 und S_2 werden aus den Intensitätswerten der 4 Pixel pro Berechnungseinheit des Sensors bestimmt.

$$S_0 = \frac{I_{0^\circ} + I_{45^\circ} + I_{90^\circ} + I_{135^\circ}}{2} \quad \begin{aligned} S_1 &= I_{0^\circ} - I_{90^\circ} \\ S_2 &= I_{45^\circ} - I_{135^\circ} \end{aligned}$$

DoLP (Degree of Linear Polarisation)

Der **DoLP** Modus berechnet ein Bild, in dem die Stärke der Polarisation in einem Tonwert von 0 bis 255 abgebildet ist. Je dunkler der Pixel, desto weniger und je heller der Pixel, desto stärker ist das Licht hier polarisiert. Die Berechnung erfolgt aus den Stokes-Parametern nach folgender Formel.

$$DoLP = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}}{S_0}$$

AoLP (Angle of Linear Polarisation)

Der **AoLP** Modus erzeugt ein Bild, das die Polarisationsrichtung von 0° bis 180° als Tonwert von 0 bis 255 abbildet. Es ist zu beachten, dass hier am Übergang zwischen 0° und 180° scheinbare Artefakte auftreten, da der Winkel kontinuierlich ist, der Tonwert aber zwischen 255 und 0 springt. Ist dieses Verhalten für den Anwendungszweck nicht erwünscht, sollte stattdessen der Modus Map für die Winkeldarstellung verwendet werden. Die Berechnung erfolgt aus den Stokes-Parametern nach folgender Formel.

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{S_2}{S_1} \right)$$

V_{min}

Dieser Modus erzeugt ein reflexionsreduziertes Bild erstellt. Da reflektiertes Licht zu einem großen Teil polarisiert ist, können diese Reflexionen minimiert werden, indem aus jeder 2x2-Berechnungseinheit das Pixel mit dem niedrigsten Tonwert verwendet wird.

Map

Im Map-Modus wird ein Falschfarbenbild im HSV-Farbraum erzeugt, das für eine erste Betrachtung eines Objekts nützlich ist, da hier die Polarisierungseffekte besonders anschaulich dargestellt werden. Für diesen Modus gibt es drei Varianten (MapType), die sich durch unterschiedliche Belegung der HSV-Kanäle Farbwert, Farbsättigung und Hellwert unterscheiden. Die Modi erzeugen verschiedene, visuelle Ergebnisse, die je nach Anwendung unterschiedlich geeignet sind. Die Kanalbelegungen der MapTypes sind in folgender Tabelle aufgeführt.

MapType	H (Hue)	S (Saturation)	V (Value)
0	AoLP	255	255
1	AoLP	255	DoLP
2	AoLP	DoLP	S ₀

Mix

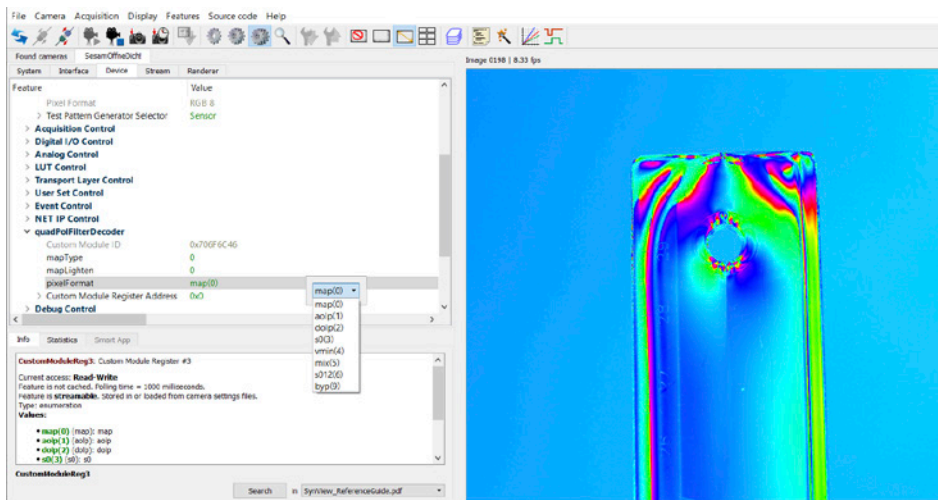
Dieser Modus dient primär zur Weiterverarbeitung per Software und nicht zur visuellen Darstellung. Das AoLP-, DoLP- und S₀-Bild werden jeweils in einem Bildkanal gespeichert. Diese Kanäle können per Software wieder getrennt und weiterverwendet werden.

Byp

Dieser Bypass-Modus liefert das Rohbild des Sensors ohne jegliche Vorverarbeitung. Damit ist die volle Flexibilität gegeben, mit eigener Software alle Berechnungen selbst durchzuführen.

3.3 Inbetriebnahme

Aufgrund der zuvor beschriebenen Integration der Polarisationsalgorithmen in die GigEPRO Kamera, ist die Anwendung denkbar einfach. Der Anschluss und die Bildakquisition erfolgt wie bei einer herkömmlichen GigE Vision Kamera. Die Stromversorgung kann über PoE (Power over Ethernet) oder ein externes Netzteil über das IO-Kabel erfolgen. Durch die Integration in unsere Software Schnittstelle **Synview** können die Polarisierungseinstellungen direkt darüber gesteuert werden. Unter dem Abschnitt **quadPolFilterDecoder** befindet sich das **pixelFormat**, mit dem man zwischen den zuvor beschriebenen Bildausgabemodi gewählt werden kann.



Die Einstellungen **mapType** und **mapLighten** sind nur im **pixelFormat** Modus **map** aktiv. Der **mapType** verändert die Kanäle des Ausgabebildes wie in Kapitel 3.2 beschrieben. Da bei **mapType** 1 und 2 oft relativ dunkle Bilder entstehen, besteht die Möglichkeit, diese mit **mapLighten** aufzuhellen.

4.0 Über uns

Wer wir sind

NET ist ein führender Hersteller von individuellen Kameralösungen für die Industrie und Medizintechnik. Seit 1996 haben wir uns auf die Entwicklung innovativer Smart Vision Lösungen spezialisiert, die weltweit zum Erfolg unserer Kunden beitragen.

Was wir tun

Unsere Aufgabe ist es, mit Vision einen Beitrag zum Anwendungserfolg unserer Kunden zu leisten. Wir sehen im Bild viel mehr als nur eine Abbildung bzw. Visualisierung. Das mit unseren Kameras erzielte Bildergebnis ermöglicht nutzbringende Mensch-Maschine-Interaktionen in der Medizin, eine Arbeits erleichterung sowie ein Mehr an Sicherheit und Effizienz für den Menschen in der Industrie.

Wie Kunden profitieren

NETs Expertise als Produkthanbieter innovativer Kameralösungen für spezifische Markt- und Kundenanforderungen stützt sich auf unser Fachwissen über Technologien und deren Potenziale für Kunden in der Praxis. Dadurch tragen wir zu deren Vermarktungserfolg bei. NETs mittelständisch geprägte Organisation ermöglicht kurze Entscheidungswege, um situativ richtig und schnell weltweit auf Kundenwünsche eingehen zu können.

Wie wir arbeiten

Das Anwendungswissen unserer Mitarbeiter in Verbindung mit einer individuellen lösungsorientierten Beratung ist unsere Kernkompetenz. Sie drückt aus wie wir arbeiten. Wir sehen die gewachsenen, langjährigen Geschäftsbeziehungen zu vielen Kunden als Bestätigung unserer Arbeitsweise. Unser Augenmerk liegt auf nachhaltigen Visionslösungen.