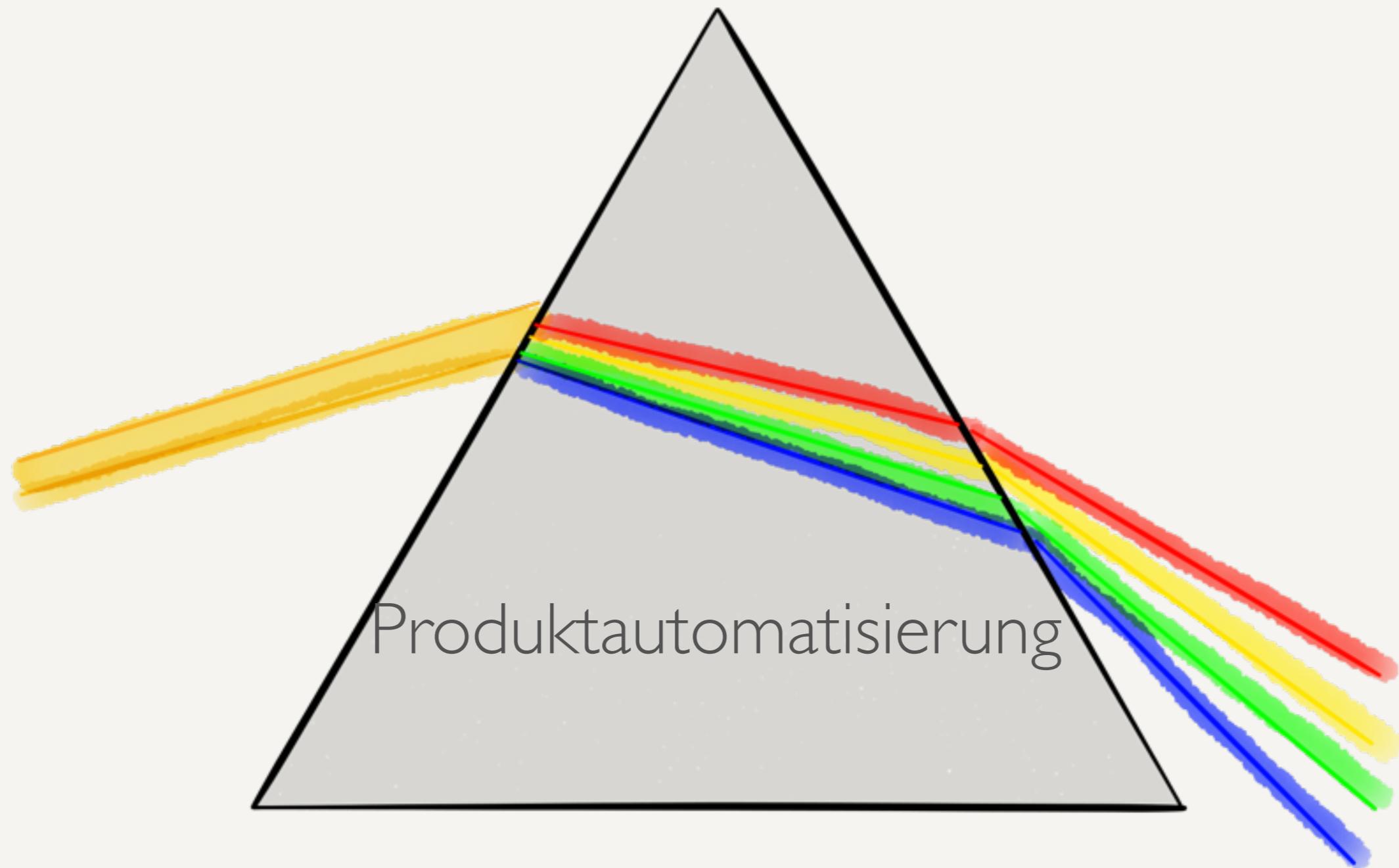


# Photonik

## Technische Nutzung von Licht



# Überblick

- Produktionsautomatisierung mit Hilfe optischer Messungen ist ein riesiges Feld.
- Standard-Module werden an Produkt-spezifische Bedingungen angepasst.
- Jede Produktionslinie ist ein eigenes Messverfahren.
- Der Grad der Anpassung schwankt von ‚minimal‘ bis ‚Neuentwicklung‘.
- Optische Entfernungsmessung
- Maschinelles Sehen
- Spektrale Messungen

# Optische Entfernungsmessung

## Messung

- Laufzeit-Messung
- Phasenlage
- Laser-Triangulation

## Messgröße

- Entfernung
- Form
- Lage
- Geschwindigkeit

[http://de.wikipedia.org/wiki/Abstandsmessung\\_%28optisch%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Abstandsmessung_%28optisch%29)

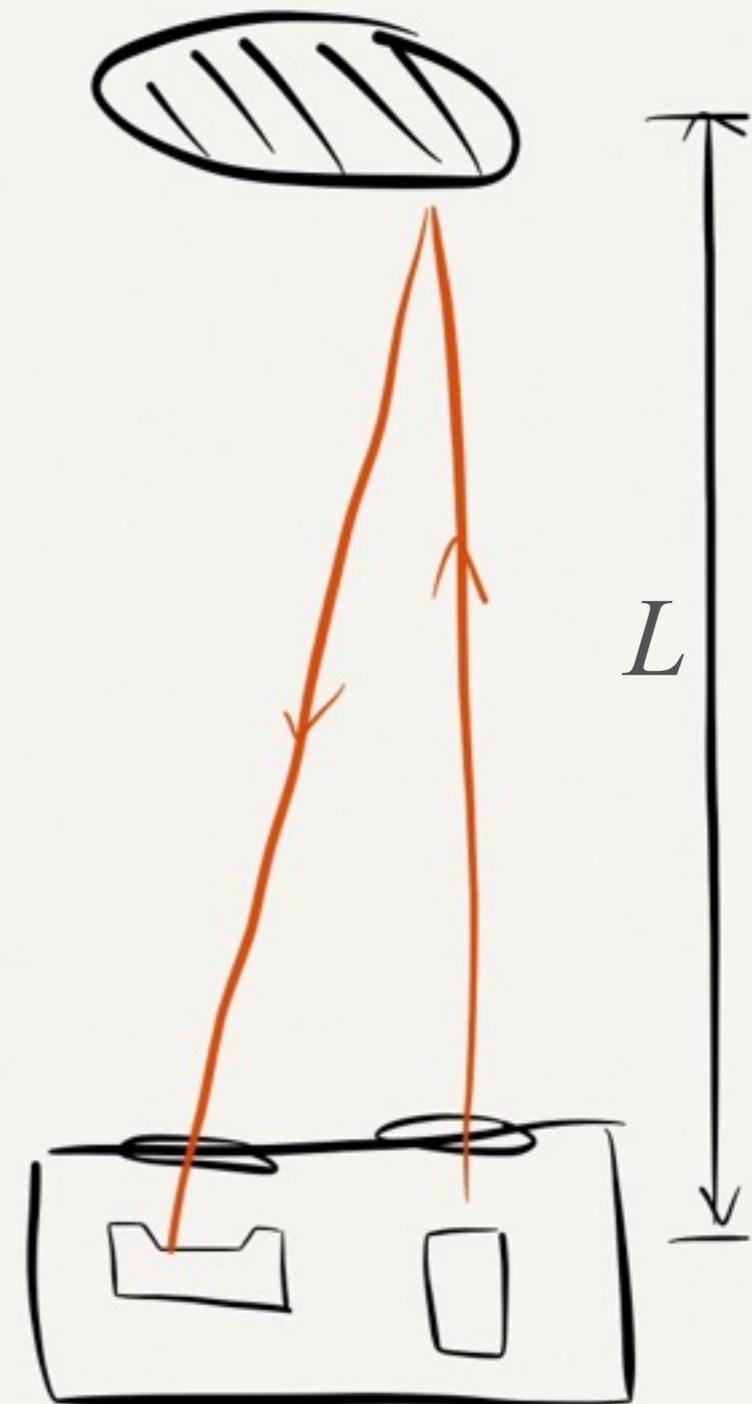
# Laufzeitmessung

# Laufzeit-Messung

- Licht wird zu einem Objekt ausgestrahlt und der Reflex detektiert.
- Die Laufzeit des Lichtes gibt die Entfernung an:

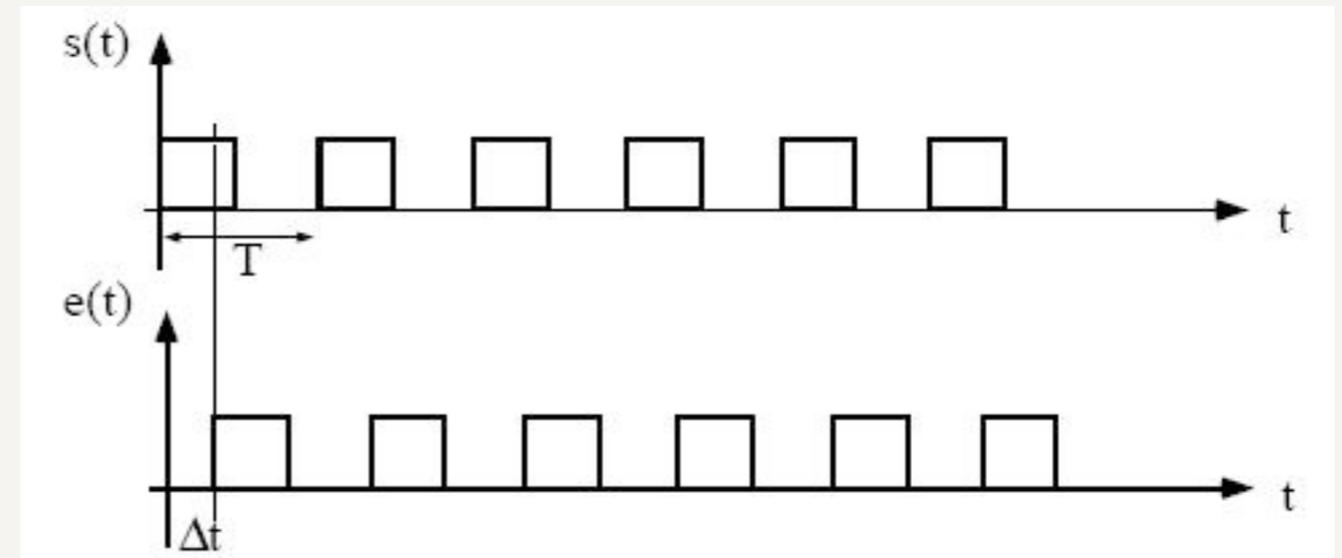
$$L = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \Delta t$$

- Für kurze Entfernungen sind schnelle Elektroniken notwendig.
- Merke: eine Nanosekunde ist ein Lichtfuß



# Phasenmodulation

- Für praktische Zwecke wird das ausgesandte Licht mit Frequenzen im RF-Bereich moduliert.
- Amplitudenmodulation: Rechteckpulse
- Einfache Modulation und Phasendetektion
- Häufige Mittelung erhöht Messgenauigkeit
- Maximale Entfernung durch Länge des Pulses begrenzt.



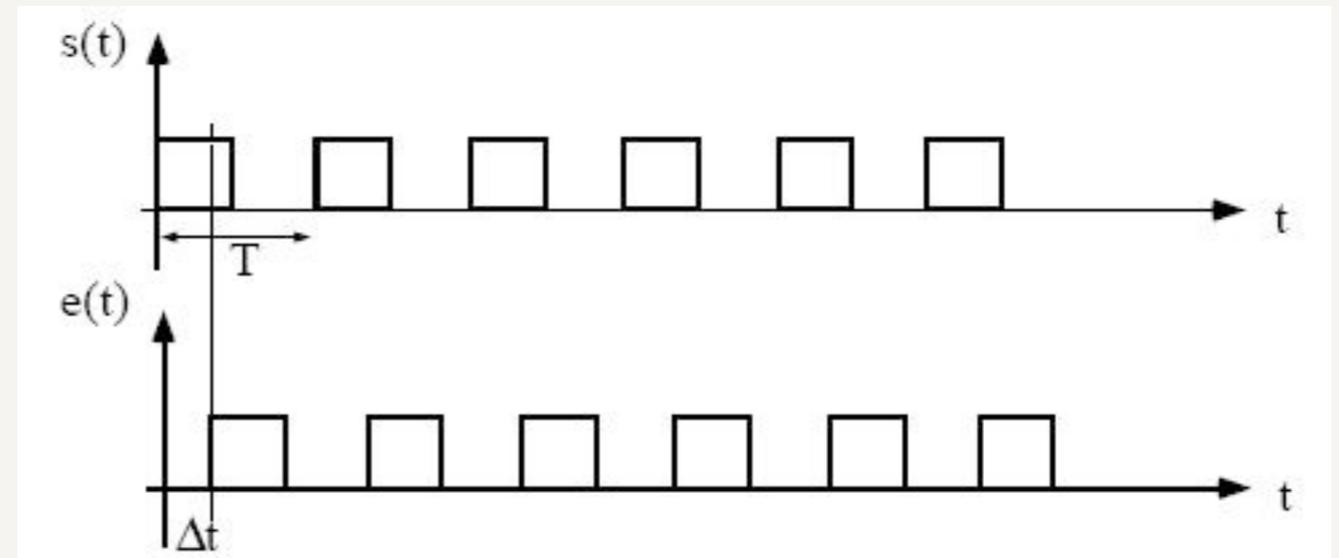
- 250 m Messbereich
- $\pm 1$  mm Auflösung



Bosch Laser-Entfernungsmessung

# Aufgabe

- Welcher Pulslänge entspricht die Entfernung von 250m?
- Welchem zeitlichen Auflösungsvermögen entspricht +/- 1mm?
- Wie ist die zeitliche Messdynamik?
- Wie wird die erreicht?



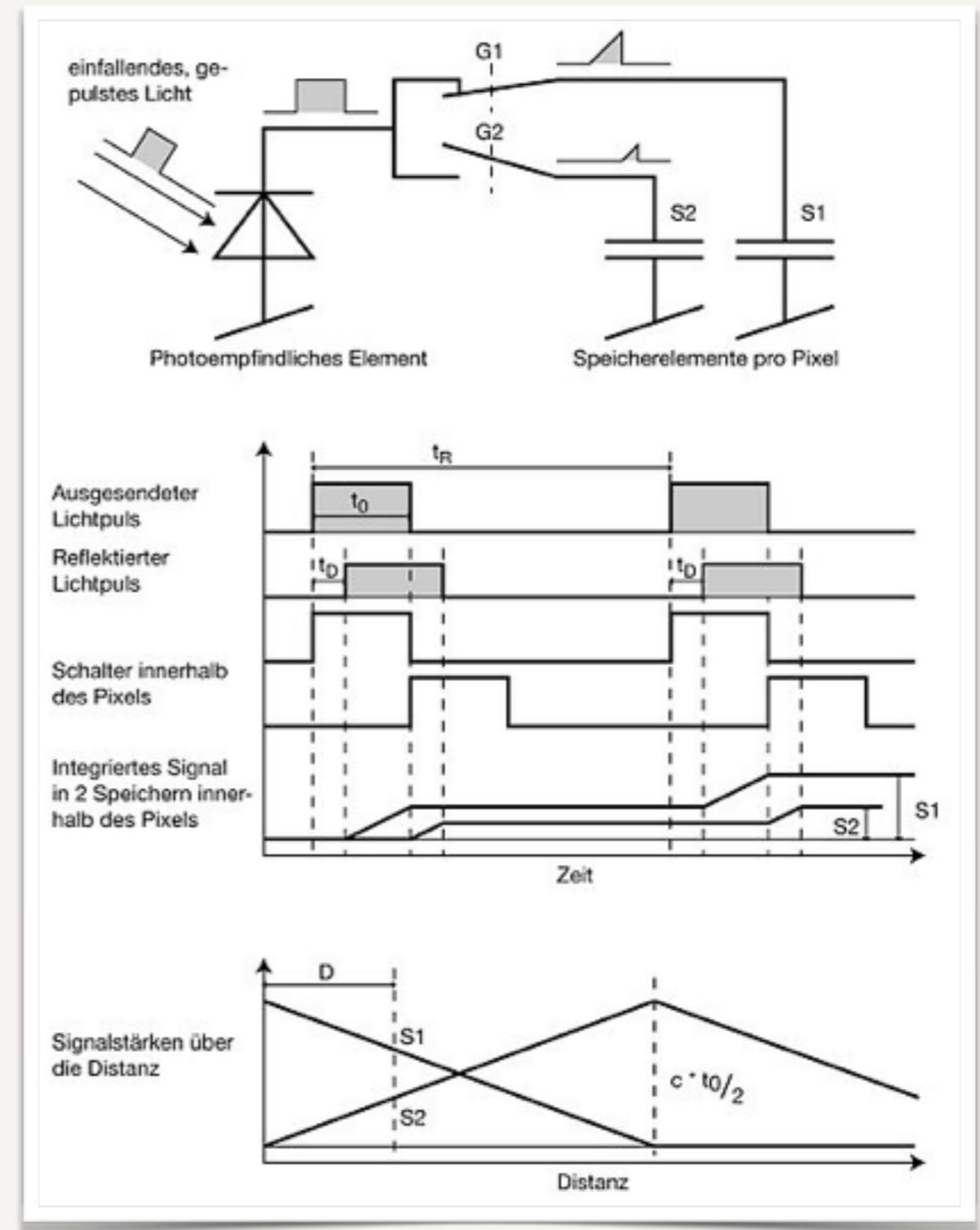
- 250 m Messbereich
- +/- 1mm Auflösung



Bosch Laser-Entfernungsmessung

# TOF-Kamera

- TOF: *Time-of-flight*.
- Laufzeitmessung ist in jedes Pixel integriert.
- Das Licht wird rechteckig gepulst abgestrahlt.
- Jedes Pixel hat zwei Ladungsspeicher, die durch den Photostrom zeitlich versetzt geladen werden.
- Das Verhältnis der beiden Signale zueinander liefert die Entfernung.
- Signal wird über viele Male gemittelt.



<http://de.wikipedia.org/wiki/TOF-Kamera>

# TOF-Kamera

- TOF: *Time-of-flight*.
- Laufzeitmessung ist in jedes Pixel integriert.
- Das Licht wird rechteckig gepulst abgestrahlt.
- Jedes Pixel hat zwei Ladungsspeicher, die durch den Photostrom zeitlich versetzt geladen werden.
- Das Verhältnis der beiden Signale zueinander liefert die Entfernung.
- Signal wird über viele Male gemittelt.



<http://de.wikipedia.org/wiki/TOF-Kamera>

# Beispiel: Microsoft Kinect

- 220 000 Pixel
- z.B. 550x400
- Infrarot-Beleuchtung
  - Arbeitet im dunkeln
  - Durch Tageslicht und Lichtquellen ungestört
- Räumliche Auflösung ca. 2.5cm

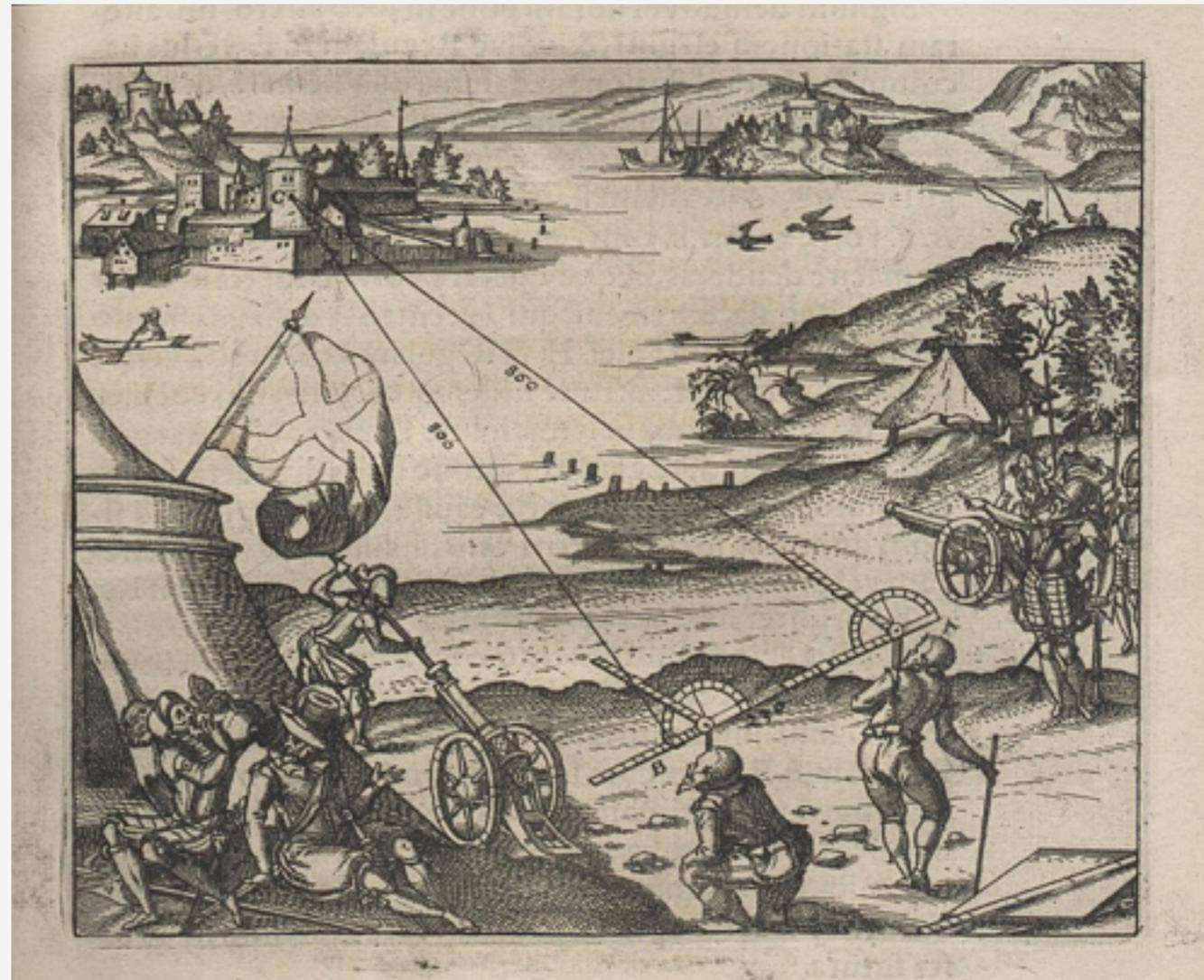


<http://techcrunch.com/2013/10/02/how-microsoft-built-the-cameras-in-the-upcoming-kinect/>

# Lasertriangulation

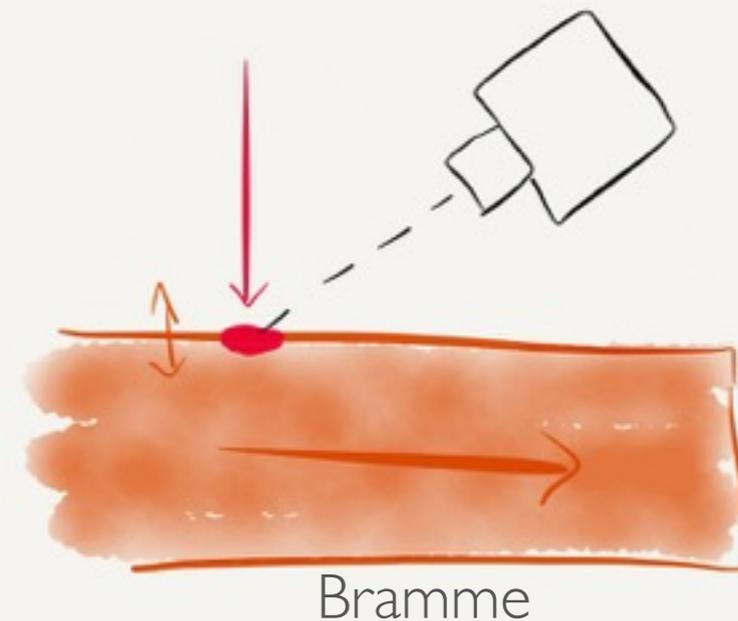
# Triangulation

- Triangulation wird zur Entfernungsmessung genutzt.
- Ein Dreieck ist mit drei Informationen (Längen oder Winkel) vollständig bestimmt.
- Hier: Basislänge und zwei Winkel die gemessen werden.



# Laser-Triangulation

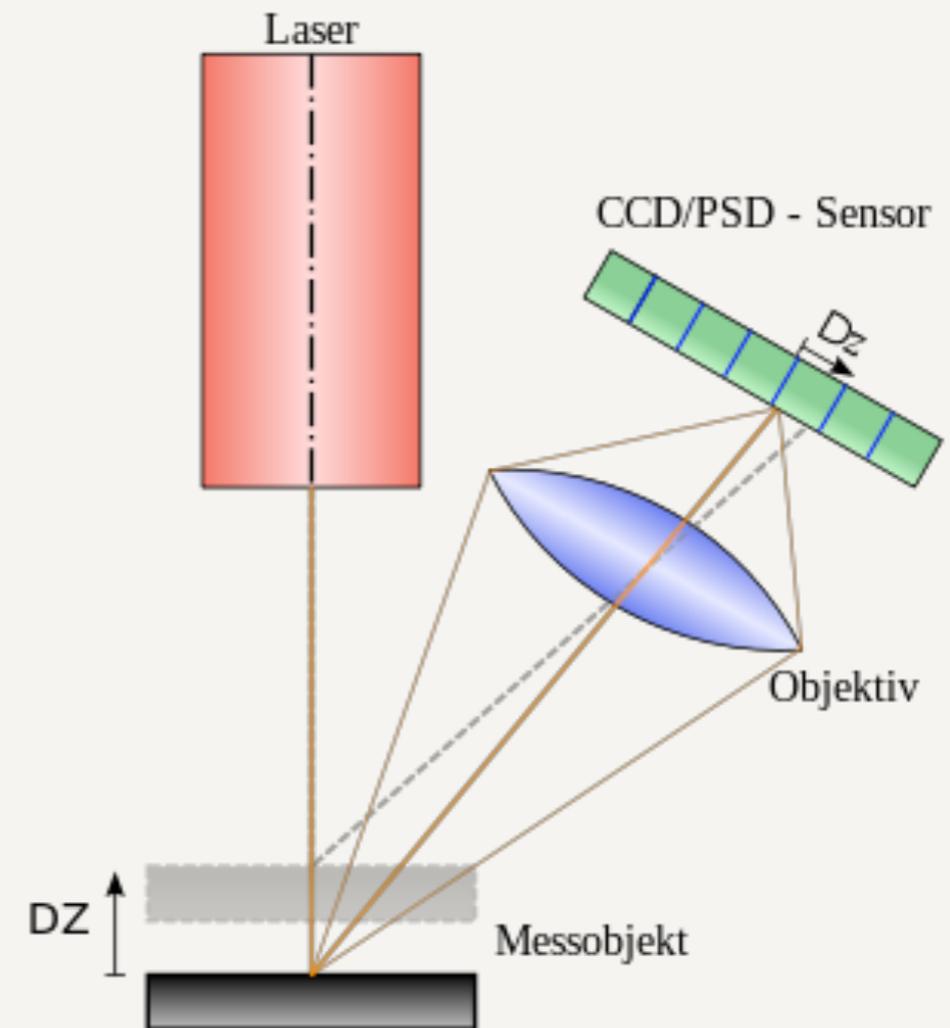
- Laser erzeugt einen Lichtfleck auf einem Objekt.
- Der Lichtfleck wird unter einem Winkel von einer Kamera beobachtet.
- Bei Versatz des Objektes in z-Richtung ändert sich der Blickwinkel, und damit die Position auf dem Sensor (Zeile / Bild)
- Wird zur Lageprüfung von Brammen bei der Stahlherstellung eingesetzt.



[http://de.wikipedia.org/wiki/Abstandsmessung\\_%28optisch%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Abstandsmessung_%28optisch%29)

# Laser-Triangulation

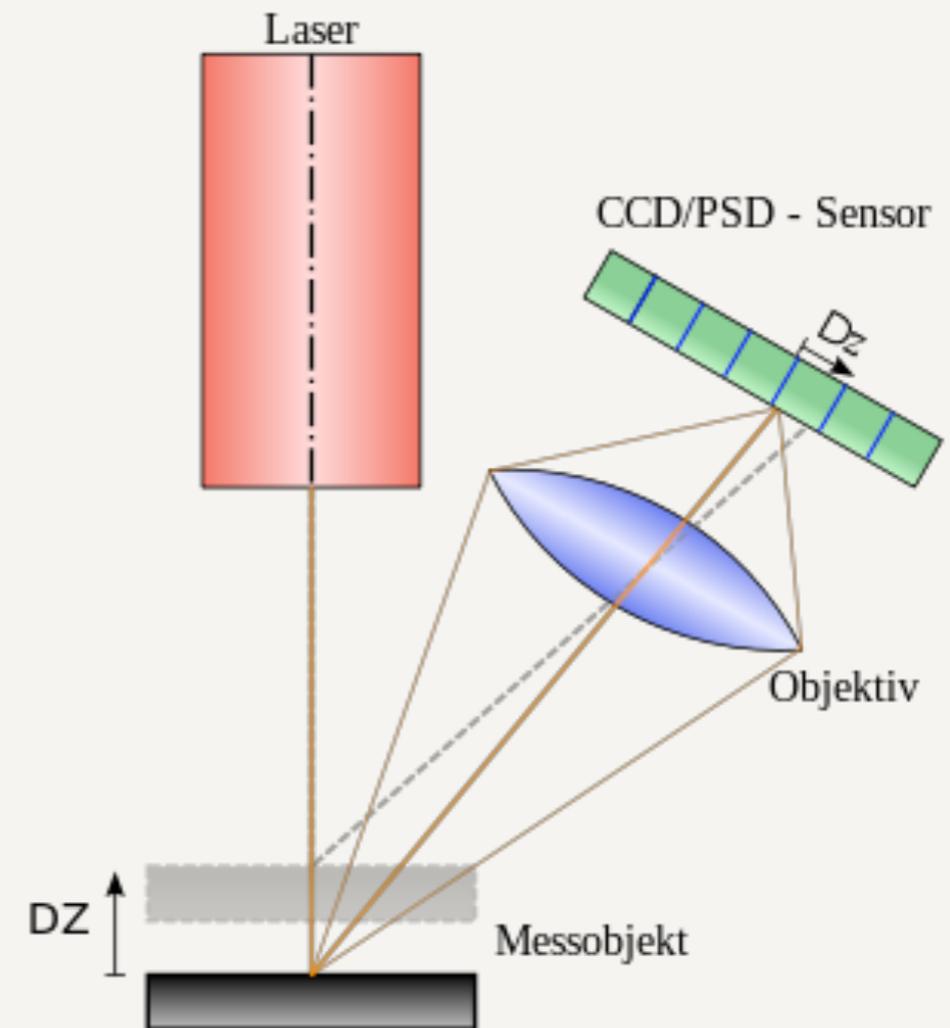
- Laser erzeugt einen Lichtfleck auf einem Objekt.
- Der Lichtfleck wird unter einem Winkel von einer Kamera beobachtet.
- Bei Versatz des Objektes in z-Richtung ändert sich der Blickwinkel, und damit die Position auf dem Sensor (Zeile / Bild)
- Wird zur Lageprüfung von Brammen bei der Stahlherstellung eingesetzt.



[http://de.wikipedia.org/wiki/Abstandsmessung\\_%28optisch%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Abstandsmessung_%28optisch%29)

# Aufgabe

- Berechnen Sie einen analytischen Zusammenhang zwischen dem Brammenversatz  $dz$  und dem Pixelversatz  $dx$  der Kamera.
- Machen Sie eine Skizze und überlegen Sie, welche Größen relevante Systemparameter sind.
- Nehmen Sie dann Werte für die Größen an und setzen diese in die Formeln ein. Nehmen Sie eine Brennweite für die Kamera an und berechnen den sich ergebenden Pixelversatz.

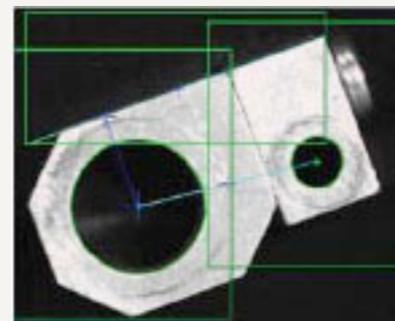
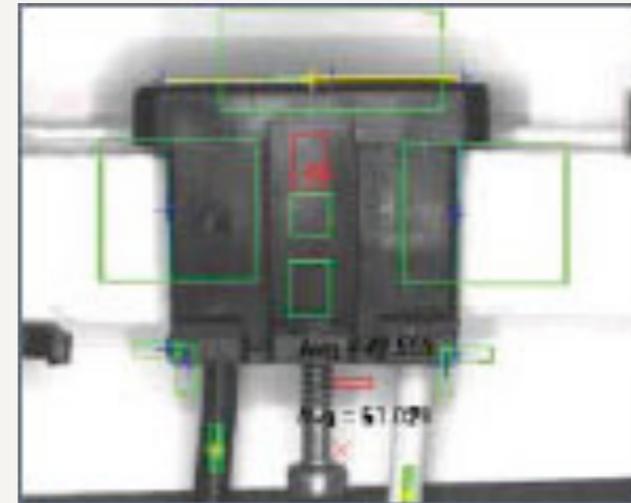


[http://de.wikipedia.org/wiki/Abstandsmessung\\_%28optisch%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Abstandsmessung_%28optisch%29)

# Maschinelles Sehen

# Maschinelles Sehen

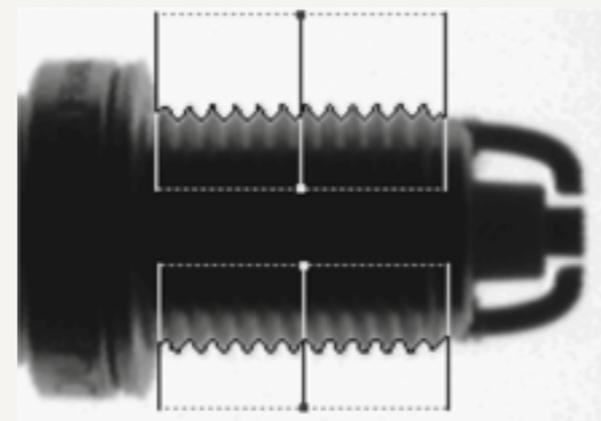
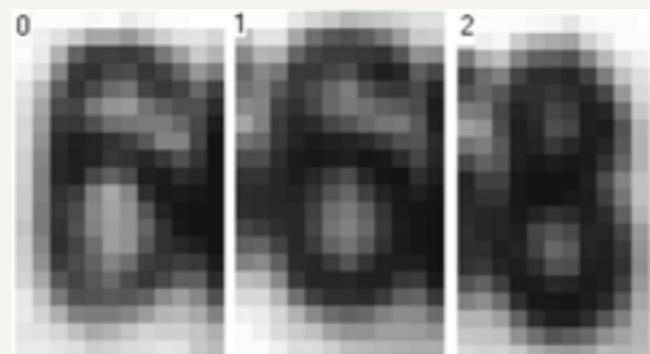
- Anwesenheit
- Vollständigkeit
- Form- und Lageprüfung
- Fehlererkennung
- Barcodes und OCR:
  - Variantenmanagement
  - Rückführbarkeit (traceability)



<http://www.microscan.com/en-us/technology/MachineVisionSystems.aspx>

# Maschinelles Sehen

- Über die FH-Bib bei Springerlink Zugriff auf ein praktisches Lehrbuch über Maschinelles Sehen.
- Beispiel Zündkerze: Anwesenheit, Texterkennung, Gewindetiefe

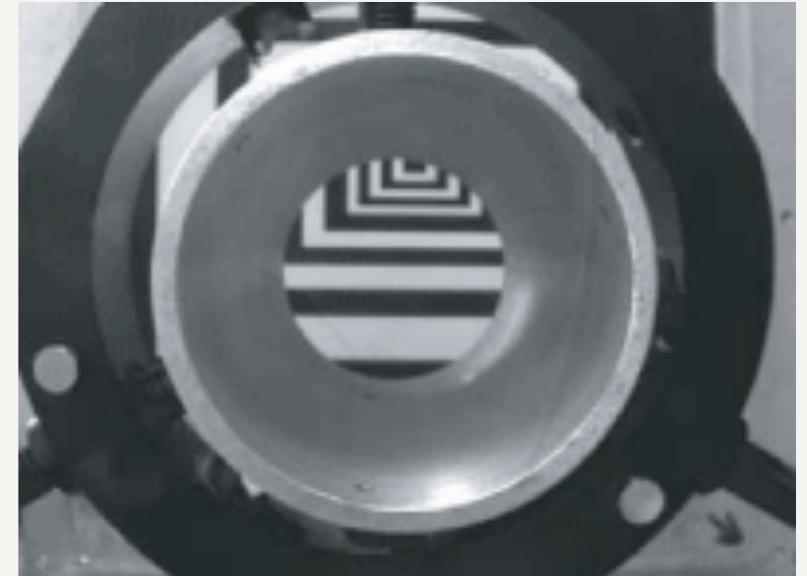


<http://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-13097-7/page/1>

# Telezentrisch

- Bei einem normalen Objektiv wird das Objekt mit zunehmenden Abstand kleiner abgebildet ( $1/b = 1/g - 1/f$ ).
- Bei einem telezentrischen Objektiv ist die Größe unabhängig vom Abstand.
- Wie der Unterschied zwischen perspektivischer und orthogonaler Projektion.
- Wird in der Produktion zur Kontrolle geometrischer Größen (Größe, Position) eingesetzt.

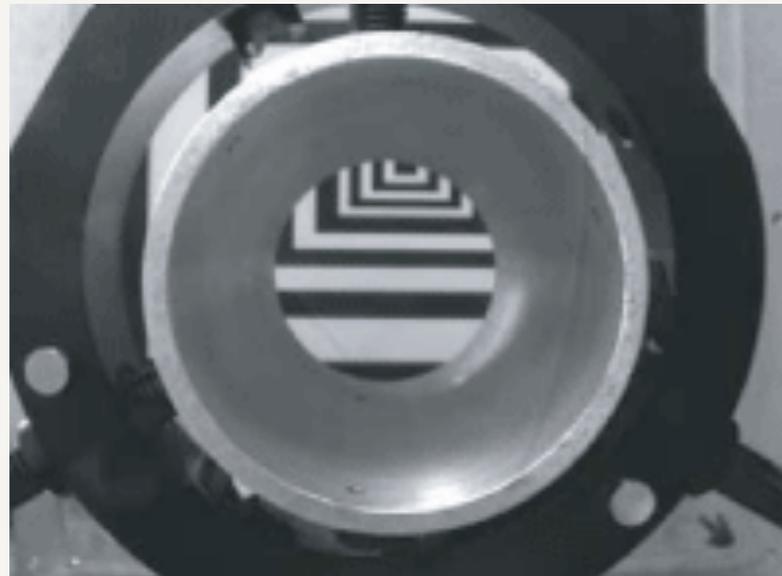
„Normales“ Objektiv



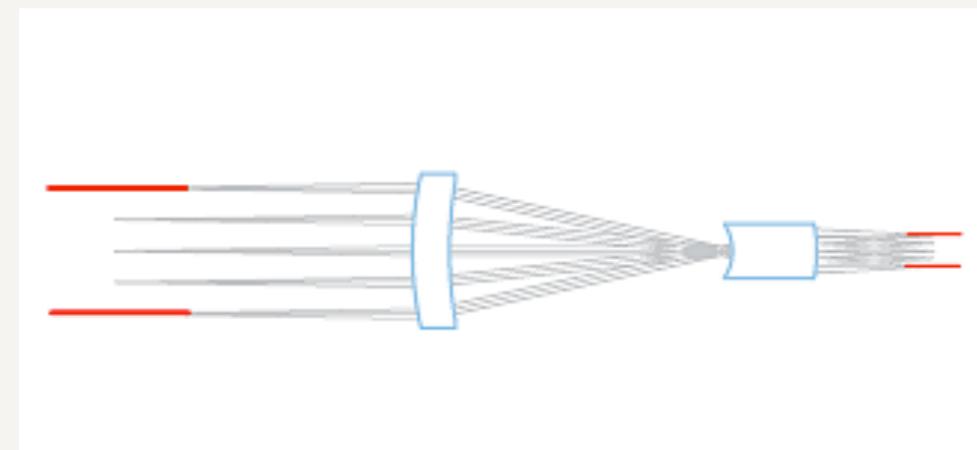
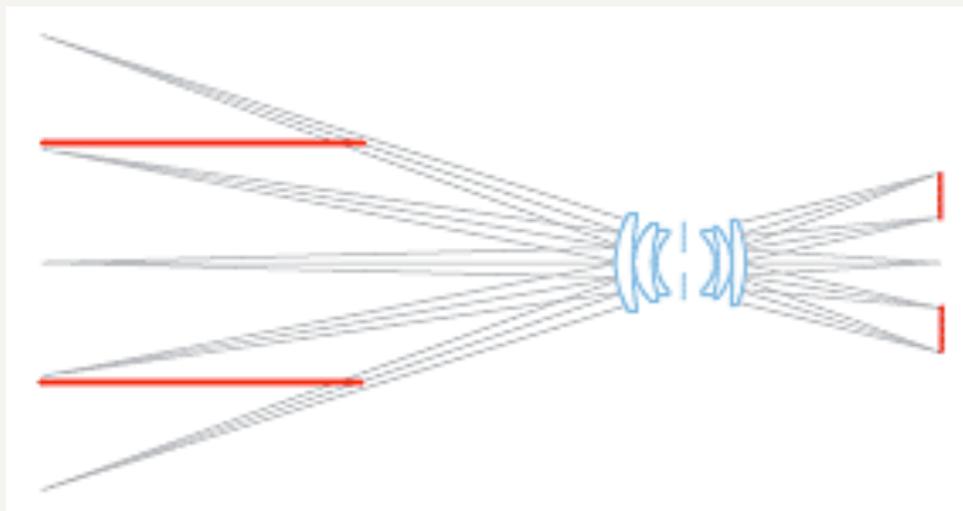
Telezentrisches Objektiv

# Telezentrisch

„Normales“ Objektiv



Telezentrisches Objektiv

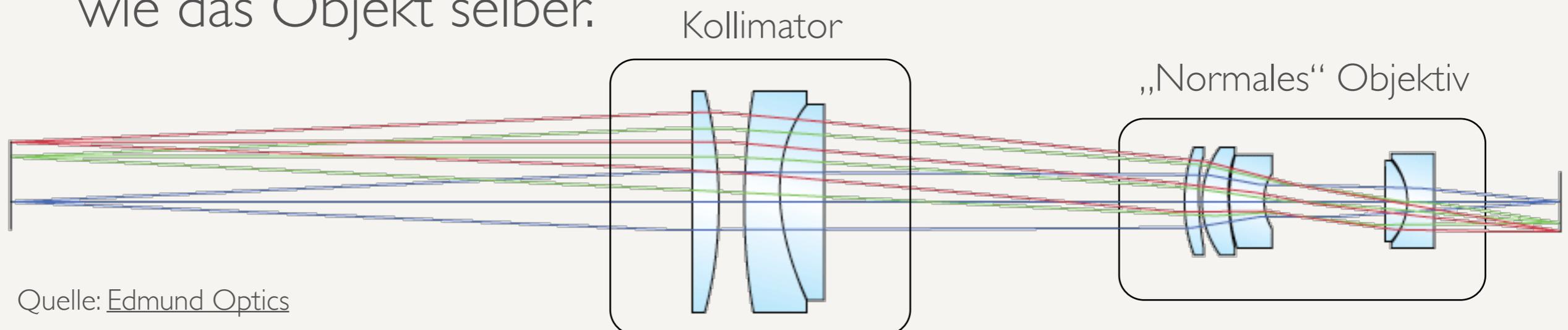
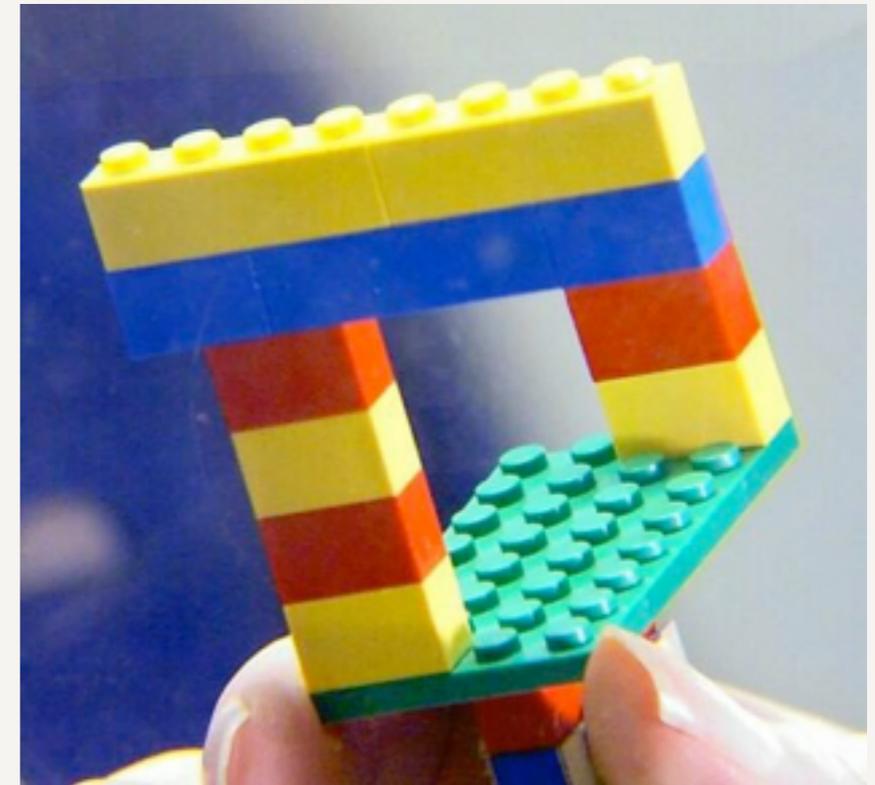


<http://www.opto-telecentric.com/tutorial-telezentrische-objektive.html>

# Telezentrisch

<http://www.lhup.edu/~dsimanek/3d/telecent.htm>

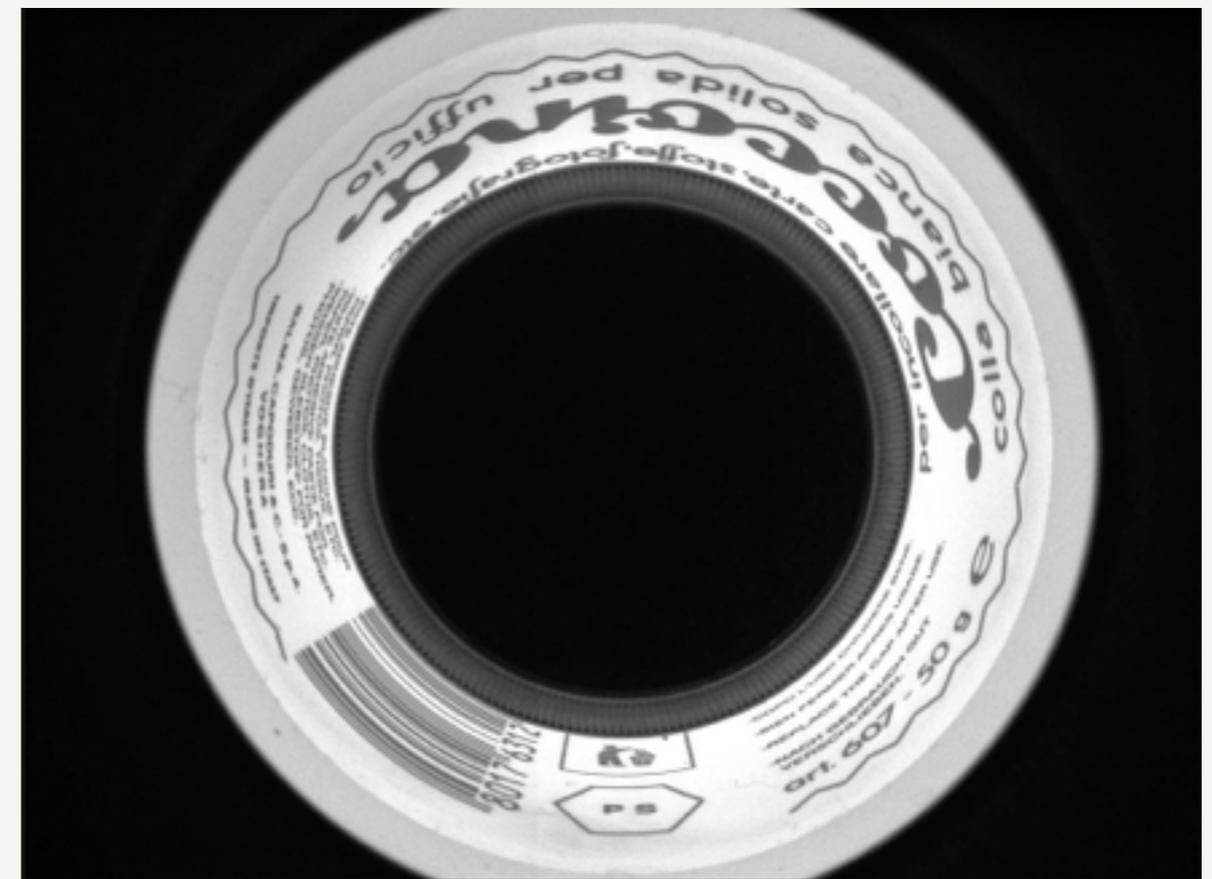
- Zweiteiliger Strahlengang:
  1. Parallelisierung der Objektstrahlen
  2. Abbildung mit einem normalen Objektiv
- Die Eintrittsapertur des Objektivs muss so groß sein wie das Objekt selber.



Quelle: [Edmund Optics](#)

# Perizentrisch

- Gleichzeitige Abbildung eines Gegenstands von oben und der Seite.
- Ermöglicht in der Produktion die Erfassung aller Seiten eines Objekts mit einer einzigen Kamera.
- s. Detail: Barcode ist von oben lesbar:



<http://www.opto-telecentric.com/perizentrische-objektive.html>

s. auch diese [Galerie bei Flickr](#)

# Perizentrisch

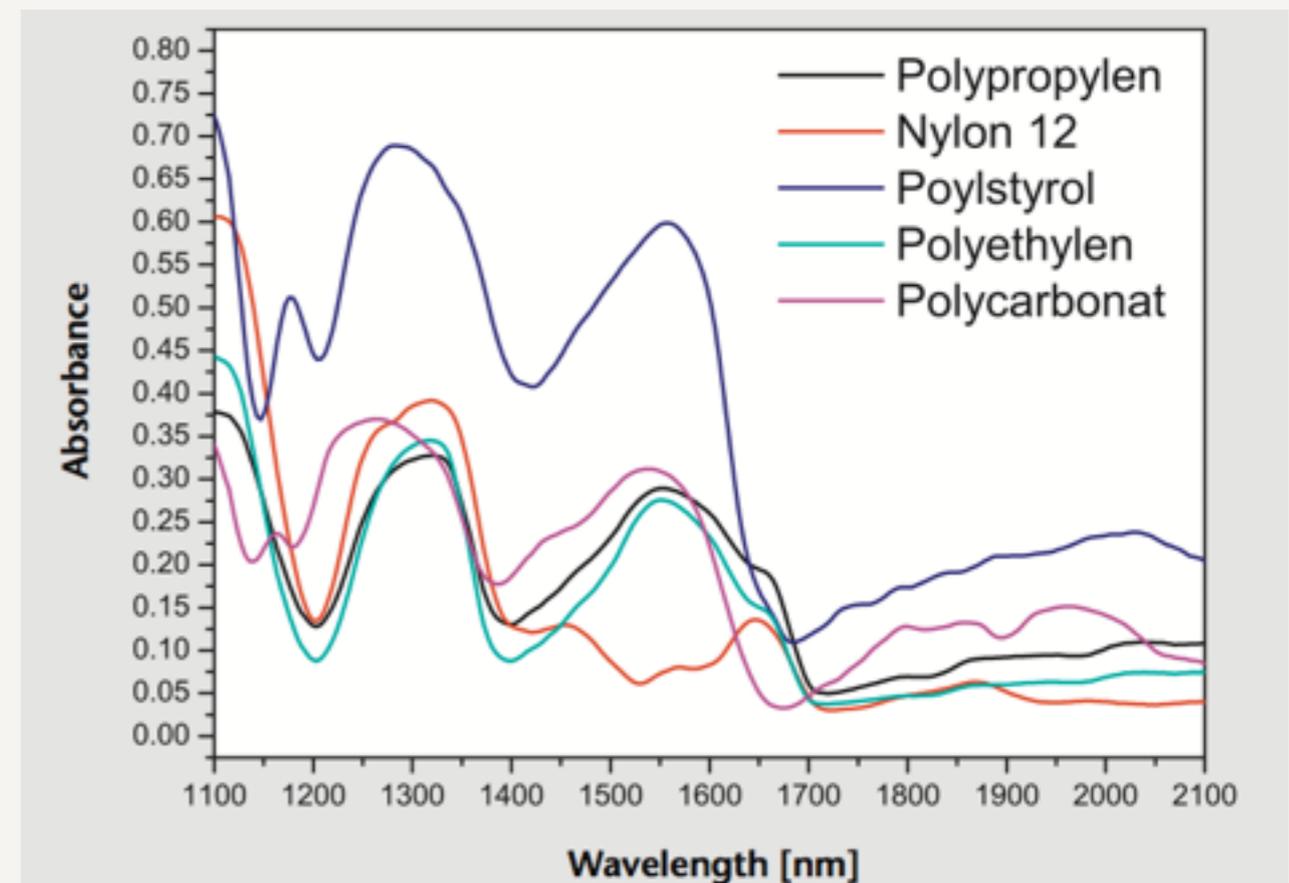
- Eintrittsapertur des Objektivs muss größer sein als das Objekt.



# Spektrale Messungen

# Spektrale Messungen

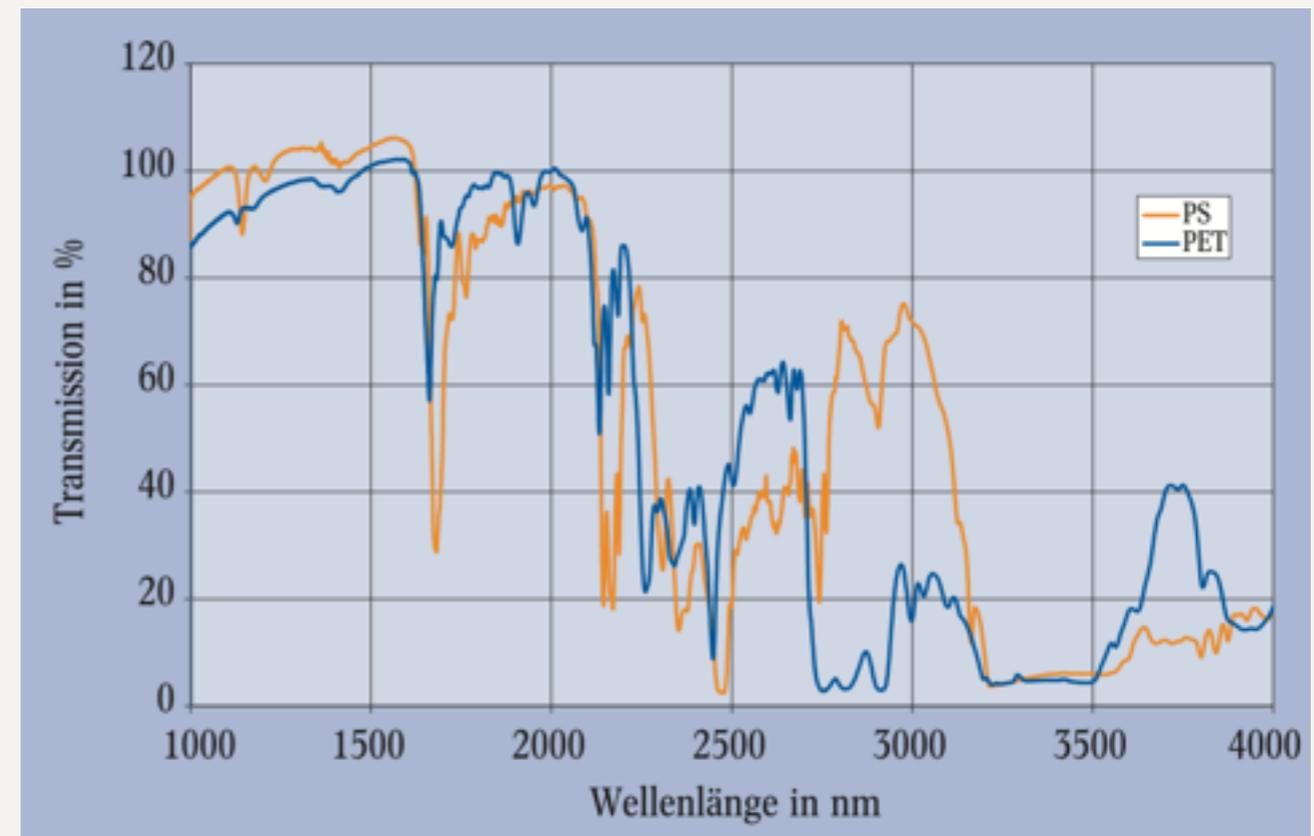
- Im nahen Infrarot-Bereich zeigen viele Materialien unterschiedliche Absorptions- und Reflexionsspektren.
- Chemische, lebensmittel-technische und pharma-zeutische Produkte.
- Fest, flüssige und gasförmige Stoffe.
- Viele Möglichkeiten der Qualitätssicherung und Produktionsautomatisierung.



<http://www.polytec.com/de/loesungen/prozessanalytik/>

# Mülltrennung

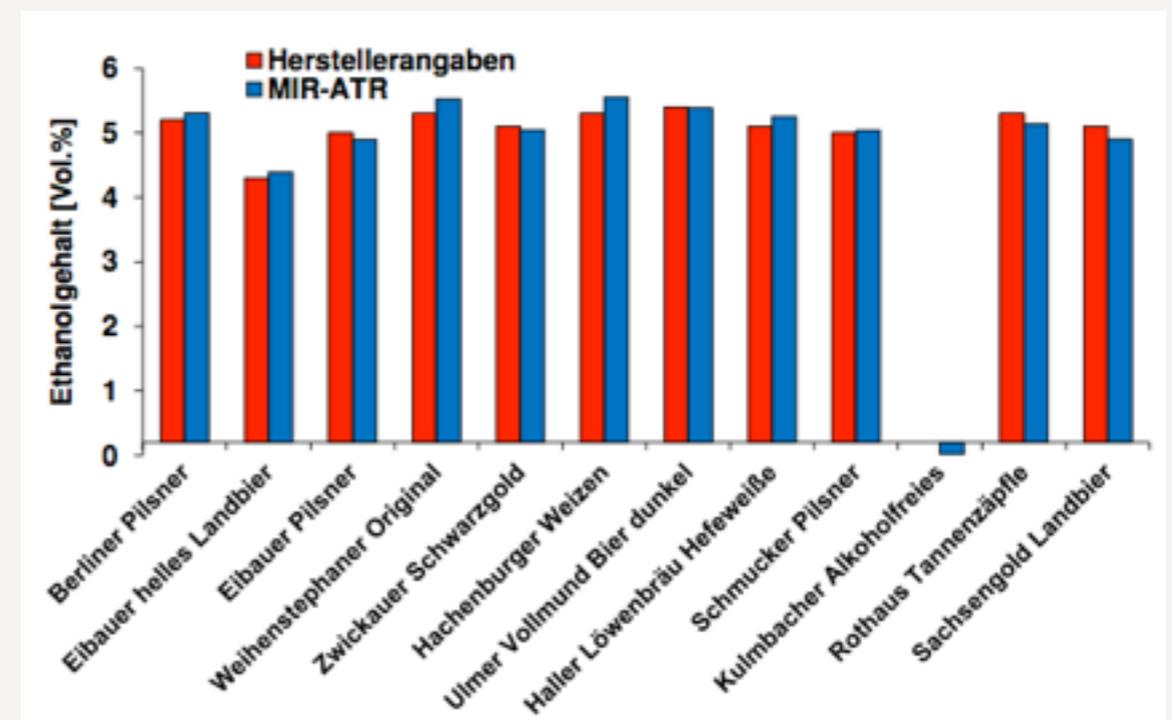
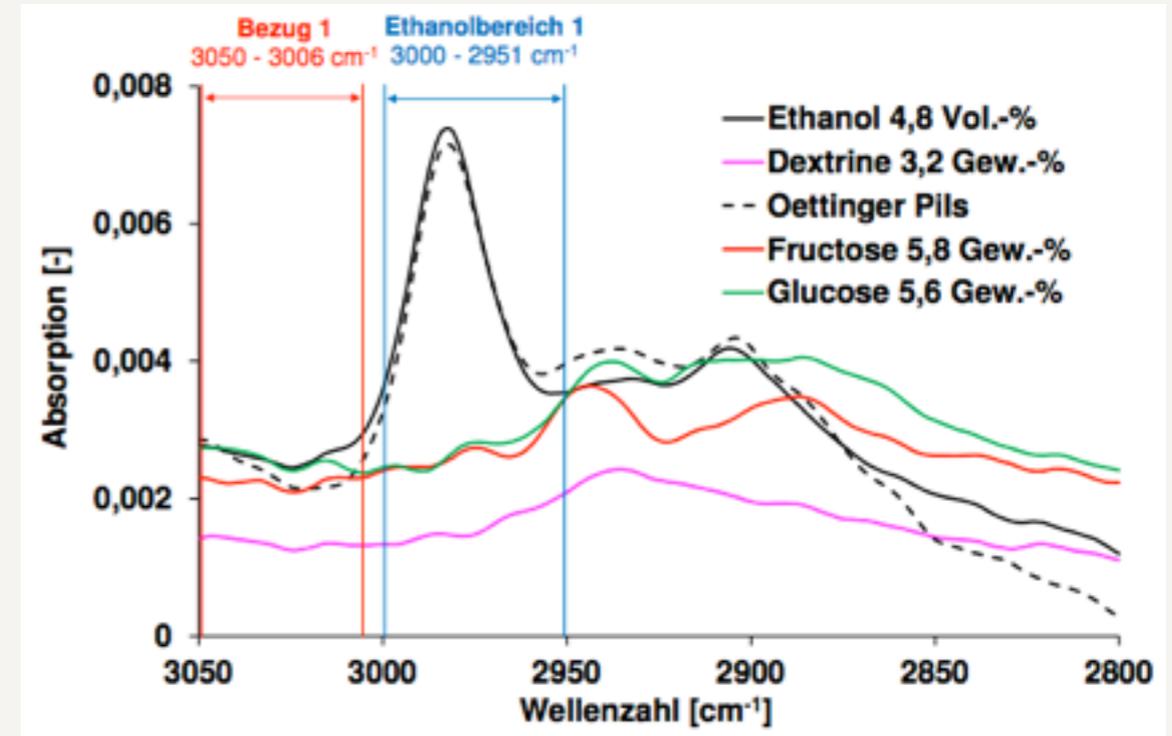
- Lageerkennung über Kamera
- IR-“Fingerabdruck“
- Druckluftgebläse sortiert in unterschiedliche Behälter.
- Nacheinander können PE, PP, PS und PET sortiert werden.



[http://www.pro-physik.de/details/physikjournalIssue/1089825/Issue\\_7\\_2002.html#1092547](http://www.pro-physik.de/details/physikjournalIssue/1089825/Issue_7_2002.html#1092547)

# Biersorten-Analyse

- Vermessung unterschiedlicher Spektral-Bereiche zur Bestimmung des Ethanol-Gehaltes in Bieren.



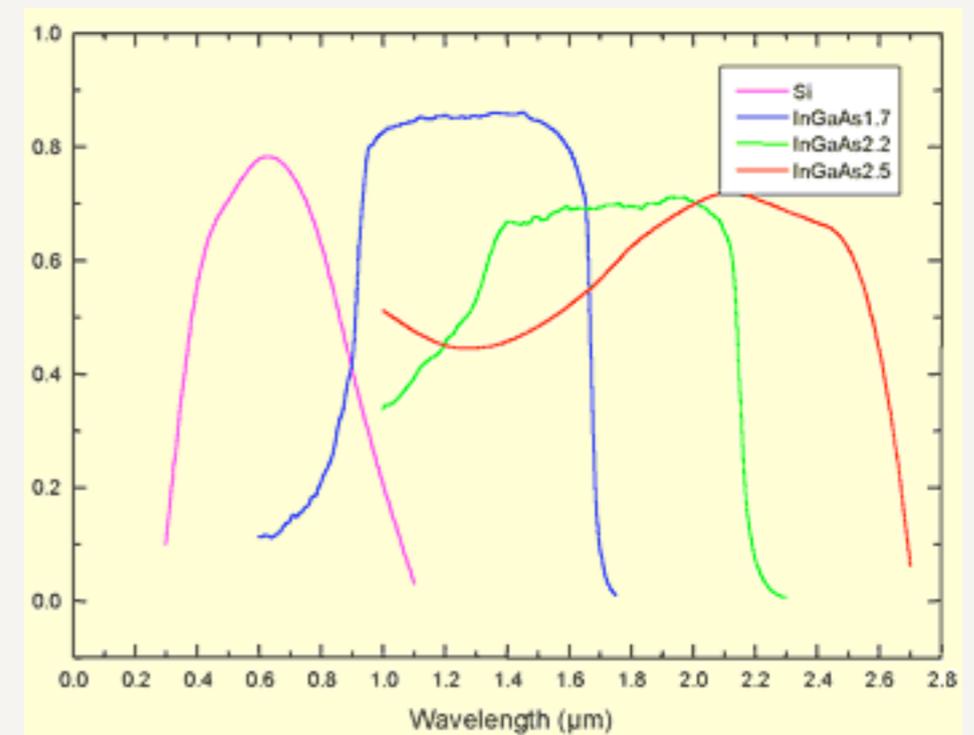
<http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2012/3517/>

# IR-Kameras

Polytec



- InGaAs-Sensor
- Bandlücke bei ca. 0.7 eV
- Max. Wellenlänge einstellbar zwischen 1.7  $\mu\text{m}$  und 2.6  $\mu\text{m}$ .
- Wird als ‚short-wave IR‘ bezeichnet.



<http://www.sensorsinc.com/GaAs.html>

# IR-Kameras

- Erkennung von Obst mit Druckstellen.
- Füllstanderkennung
- Wassergehalt (z.B. Textilindustrie)
- Wafer-Inspektion
- Überprüfung von Sicherheitsmerkmalen
- Auch für Kunststoff-



# Gemälde-Analyse

- Unterzeichnungen von Gemälden werden sichtbar.

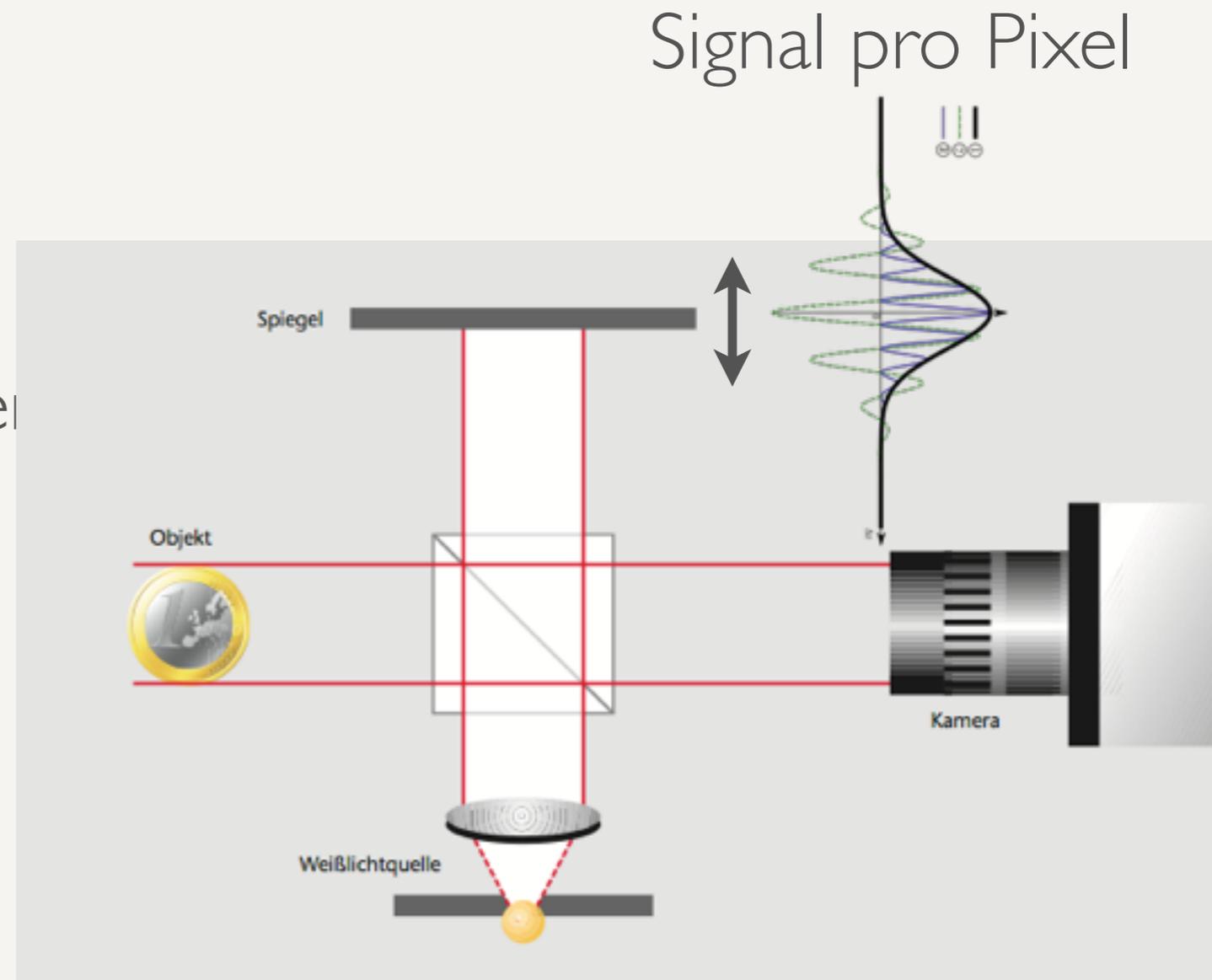


Sichtbares Licht

IR-Licht

# Weißlichtinterferometrie

- Überlagerung zweier Strahlengänge: Objekt und Referenzspiegel.
- Unterschiede in der optischen Weglänge führen zu Interferenzen.
- Spiegel wird im Abstand durchgescannt.
- Pro Pixel gibt es ein variierendes Interferenzmuster



<http://www.polytec.com/de/produkte/oberflaechenmesssysteme/>

# Weißlichtinterferometrie

- Möglichkeit in die Produktionslinie integriert zu werden.
- Maßhaltigkeit kann so während der Produktion überprüft werden.
- Ebenheit, Form, Höhe und Stufen, Oberflächenstruktur, ...

