

Was man über Wärmebildkameras wissen sollte

- Eine Übersicht über die bis heute verfügbaren Technologien für Wärmebildkameras -

Einleitung

Wärmebildkameras oder auch TIC´s (Thermal Imaging Cameras) sind Geräte, die die thermische Strahlung - die von allen Gegenständen abgestrahlt wird - in elektronische Signale und anschließend in für das menschliche Auge sichtbare Bilder umwandeln. Diese werden auf einem LCD oder TV Bildschirm dargestellt. Dadurch ist es möglich, auch bei absoluter Dunkelheit zu sehen. Die thermische Strahlung oder auch Infrarotstrahlung wird charakterisiert durch Ihre Wellenlänge. Zum Vorteil für die Feuerwehren, dringt die langwellige Infrarotstrahlung im Gegensatz zum sichtbaren Licht ungehindert durch Rauch und Nebel hindurch. Folglich kann der Feuerwehrmann mit einer TIC durch Rauch und Nebel hindurchsehen.

Infrarotstrahlung wird absorbiert und abgegeben von den Oberflächen der meisten Festkörper und Flüssigkeiten. Wichtig zu wissen ist, dass Infrarotstrahlung nicht direkt durch Wände, Glas oder Wasser dringen kann.

Glas und blanke Metalloberflächen verhalten sich wie Spiegel.

Ein Sonderfall ist gegeben wenn sich z.B. ein Feuer hinter oder in einer Wand befindet. Dann erhitzt sich die Oberfläche der Wand und die Hitze wird in Form von Infrarotstrahlung abgestrahlt. Dies führt beim Betrachter zur Illusion, man könnte mit einer TIC durch Wände hindurchsehen.

Die Applikationen für TIC´s sind vielfältig und gehen weit über die Anwendung bei den Feuerwehren hinaus. Vor allem im Militärbereich, in der Überwachung und im Industriebereich sind TIC´s weit verbreitet. Es kommen immer neue Anwendungen hinzu. Heute gibt es bereits Anwendungen im Automobilbereich.

TIC´s wurden zuerst in den 60´er und 70´er Jahren des letzten Jahrhunderts für militärische Anwendungen und für Labore entwickelt. Die ersten Geräte waren sehr teuer, groß, unhandlich, empfindlich und unzuverlässig. Außerdem war es notwendig, den Sensor z.B. mit flüssigem Stickstoff zu kühlen. Die Ausfälle waren zahlreich und das Bild sehr instabil, aber dennoch ermöglichten diese Geräte dem Militär einen besseren Überblick über den Kriegsschauplatz und der Forschung neue Erkenntnisse.

Seit dem wurde die Technik ständig weiterentwickelt. Vor allem die Entwicklung von Sensoren, die ohne extra Kühlung auskommen (ungekühlte Sensoren) haben der Infrarottechnik zum Durchbruch verholfen und handgehaltene TIC´s erst möglich gemacht. Das Prinzip ist jedoch immer gleich geblieben – thermische Strahlung wird mit Hilfe eines Infrarotsensors in elektronische Signale und anschließend in sichtbare (meist schwarz-weiße) Bilder umgewandelt. Durch spezielle Bildverarbeitungssoftware ist es jedoch auch möglich die erzeugten schwarz-weißen Wärmebilder farbig darzustellen (Falschfarbenbild).

Die Drei Generationen von Wärmebildsensoren

Erste Generation - Vidicon Tube (70´er - 80´er)

Die erste tragbare TIC erzeugte aus dem thermischen Bild mit Hilfe eines ungekühlten Bild-Sensors (Detektor Material: Tri-glycerine Sulphate (TGS)) der in einer Glas-Vakuurröhre (der sog. „Vidicon“ Röhre) eingebaut ist, ein sichtbares Bild. Wie bei allen Kameras wurde auch hier das thermische Bild mit Hilfe einer speziellen Linse (Germanium) fokussiert und in der „Vidicon Röhre“ in elektrische Signale umgewandelt. Die Bildverarbeitungssoftware ermöglichte die Darstellung eines sichtbaren Wärmebildes auf einem Bildschirm.

Diese Kamera war ein riesiger Durchbruch für die Feuerwehren und Rettungsdienste, da sie es das erste mal ermöglichte, mit einem mobilen Gerät durch Rauch und in der Dunkelheit zu sehen.

Die Nachteile waren die geringe und zudem stark temperaturabhängige Empfindlichkeit des Sensors, die eingeschränkte Temperaturbeständigkeit, das instabile Bild und die Anfälligkeit für Bildausfälle („White Outs“) bei plötzlich auftretender Hitze (z.B. Stichflammen) oder sehr hohen Temperaturen. Außerdem waren die Glasröhren empfindlich, bruchgefährdet und deren Lebensdauer begrenzt.

Diese Kameras waren zusätzlich mit mechanischen Blenden zur Regelung der Helligkeit ausgestattet, um Bildausfälle zu minimieren. Dennoch war das runde Bild bei weitem nicht so klar und kontrastreich wie bei späteren Generationen von TIC´s. Diese Kameras wurden bis Ende der 90´er Jahre verkauft. Die unzureichende Bildqualität, die nicht ausreichende Zuverlässigkeit und Empfindlichkeit der Glas-Vakuurröhre hat diese erste Generation mittlerweile vom Markt verdrängt.

Zweite Generation – Ferroelectric Motor (BST Focal Plane Array) (80´er – 90´er)

Die zweite Generation von TIC´s ist ausgestattet mit ungekühlten ferroelektrischen „Focal Plane Array = FPA“ Sensoren (Detektor Material: Barium Strontium Titanate kurz BST), die von Texas Instruments/Raytheon hergestellt werden.

Ein FPA ist vom Prinzip her ein Silizium-Chip auf dem eine Schicht aufgebracht wird, die empfindlich für infrarote Strahlung ist. FPA´s sind ein weiterer Meilenstein in der Infrarottechnik, da für die Herstellung auf herkömmliche Verfahren und Herstellungsprozesse zurückgegriffen werden kann, die in der Halbleiterindustrie entwickelt und erprobt wurden. Eine Glas-Vakuurröhre ist nicht mehr notwendig.

Das thermische Bild wird über ein Germaniumobjektiv auf das FPA (BST-Sensor) fokussiert. Der Sensor ist in 320 Zeilen und 240 Spalten unterteilt. Das ergibt 76.800 individuelle Bildpunkte oder Pixel. Jedes Pixel erzeugt ein elektrisches Signal abhängig von der auftreffenden thermischen Energie. Eine Elektronik und eine Bildverarbeitungssoftware wandeln diese Signale in ein schwarz/weiss Bild um.

Um die Intensität der auf den Sensor auftreffenden thermischen Energie zu regeln und Bildausfälle durch Überstrahlung oder plötzliche auftretende Hitze (sog. White Outs) zu vermeiden, ist die BST Kamera zusätzlich mit einer mechanischen Blende ausgestattet. Diese Blende ist manuell bedienbar oder automatisch (z.B. Dräger Talisman C plus) ausgeführt.

Eine Eigenschaft von BST-Sensoren wie auch der „Vidicon Röhren“ ist, dass diese nur Signale abgeben, wenn sich die Intensität der auftreffenden Energie ändert. Aus diesem Grunde ist zur dynamischen Signalerzeugung vor dem Sensor eine rotierende Scheibe oder Chopper angebracht, die sich mit 30 Umdrehungen pro Minute dreht.

Als Nebeneffekt der sich drehenden Scheibe (Chopper) kann es auch bei den BST TIC's leichte Bildstörungen und Reflexe geben. Zum Beispiel werden schwarze Ränder um sehr heiße Objekte sichtbar („Halo Effekt“). Der BST Sensor kann nur 30mal pro Sekunde ein Bild erzeugen. Ein BST Sensor funktioniert als ein 8-Bit System und kann daher maximal 256 (2 hoch 8) Graustufen darzustellen. Dies kann beim Betrachten von Objekten, die sehr hohe Temperaturunterschiede aufweisen, dazu führen, dass der Kontrast bzw. der dynamische Bereich nicht mehr ausreicht.

Vorteile der BST Kamera gegenüber der Vidicon-WBK sind die größere Empfindlichkeit und deutlich geringere Anfälligkeit für Überhitzung. Ein weiterer Vorteil ist, dass das Bild rechteckig ist, während das Bild bei der Vidicon TIC rund (und damit kleiner) ist. Zudem ist das Bild der BST-Kameras wesentlich schärfer und klarer als das der ersten Generation. Da die Kameras ohne Glas-Vakuurröhre auskommen, sind sie wesentlich robuster und daher viel geeigneter für den rauen Feuerwehralltag. Der darstellbare Temperaturbereich (dynamischer Bereich) und die Empfindlichkeit sind wesentlich größer. Das macht es möglich, auch in Räumen mit sehr kleinen Temperaturunterschieden Konturen und Gegenstände zu erkennen. Die Lebensdauer der BST-Sensoren ist praktisch unbegrenzt, das Gewicht und der Stromverbrauch sind deutlich geringer als bei den „Vidicon“ Röhren.

Alle Hersteller von BST Wärmebildkameras nutzen die gleiche BST Sensoreinheit. Der Unterschied in der Bildqualität und der Performance wird lediglich durch die Auslegung der nachgeschalteten Elektronik, die Art der Bildverarbeitungssoftware sowie durch die Ergonomie und Gestaltung der Kamera bestimmt.

Die BST-Technik wurde ständig weiterentwickelt und reicht mittlerweile fast an die ersten Mikrobolometer-Kameras heran. Im Gegensatz zu den MB-Kameras sind die Ausführbeschränkungen für BST-Kameras nicht so ausgeprägt.

Auch im Hinblick auf die hohe Robustheit, Hitzebeständigkeit, Zuverlässigkeit, die gute Bildqualität und das Preisniveau sind BST Wärmebildkameras noch immer weit verbreitet.

Außerdem werden heute einige Kameras mit weiteren Ausstattungsmerkmalen wie Bildspeicher, manuellen Einstellmöglichkeiten oder Farbdisplay angeboten.

Dritte Generation – Microbolometer (90´er)

Microbolometer (MB) sind ein weiterer Schritt nach vorn in bezug auf die Haltbarkeit und Performance von Wärmebildkameras. Honeywell und andere Unternehmen entwickelten diese Technik streng geheim Mitte der achtziger Jahre. Weil für Militäranwendungen konzipiert, war diese Technologie zunächst nicht für zivile Anwendungen zugänglich. Erstmals verfügbar waren Microbolometer für zivile Anwendungen erst nach 1992 – jedoch zunächst nur in den USA. Feuerwehrcameras mit MB-Sensoren kamen erst Ende der neunziger Jahre auf den Markt - zunächst nur in den USA und dann auch in Europa. Erste Anbieter waren Cairns (Cairns Viper) und MSA (Evolution 4000).

Außerhalb der USA (auch in Europa) können MB-Kameras auch heute nur mit einer Exportlizenz (muss für jeden MB Sensor eingeholt werden) verkauft werden. Das Verfahren zur Erlangung dieser Lizenz ist zum Teil aufwändig und langwierig.

Es ist nicht zu erwarten, daß die Exportbeschränkungen in naher Zukunft (auch gerade nach dem 11.09.2001) wesentlich gelockert werden.

Microbolometer erzeugen wie bei der zweiten Generation, ein sichtbares Bild, indem das thermische Bild über ein Germaniumobjektiv auf ein ungekühltes Focal Plane Array (FPA) fokussiert wird.

Das thermische Bild wird durch den Sensor erst in elektrische Signale und dann mit Hilfe einer Bildverarbeitungssoftware in ein sichtbares Bild umgewandelt, welches auf einem Bildschirm (z.B. LCD) dargestellt wird. Im Gegensatz zum BST Sensor führt die thermische Strahlung beim Microbolometer zu einer Widerstandsänderung und nicht zu einer Kapazitätsänderung. Das bedeutet, dass der Microbolometer Sensor auch ein Signal bei gleichbleibender Strahlungsintensität abgibt (z.B. unbewegtes Bild). Eine sich bewegende Scheibe (Chopper) ist daher nicht notwendig. Umso höher die Temperatur, umso höher das elektrische Signal und umso weißer wird das Pixel dargestellt. Wegen der erhöhten dynamischen Empfindlichkeit, kann der Microbolometer bis zu 60-mal pro Sekunde ein neues Bild abgeben. Dies führt zu einem weicheren und klareren Bild.

Mit den MB Kameras wurde auch das erste mal die Farbdarstellung bei FW-Kameras eingeführt d.h. heiße Bereiche (bzw. gesättigte Bereiche des Bildes) können rot eingefärbt dargestellt werden. Diese gibt einen schnellen visuellen Überblick über die Szene.

Die Helligkeitskontrolle wird bei MB-Kameras durch die digitale Signalverarbeitung sichergestellt und arbeitet nahezu ohne bewegliche Teile oder andere mechanische Systeme. Allerdings kommen auch Microbolometer Kameras nicht gänzlich ohne bewegte Teile aus. Sie benötigen meist eine kleine Blende in Strahlengang - auch „Shutter“ genannt - zum regelmäßigen re-kalibrieren des

Bildes/Sensors (ca. alle 60 sek). Der Kalibriervorgang führt zum kurzzeitigen Einfrieren des Bildes (bis zu 2 sek).

Microbolometer eignen sich aufgrund Ihrer Performance sehr gut für Feuerwehrcameras.

1. Sie erzeugen sehr klare und detailreiche Bilder ohne „Halo-Effekt“ (schwarze Ränder um heiße Objekte)
2. Sie haben fast keine beweglichen Teile (kein Chopper sondern nur eine kleine „Shutter“-Blende zur Re-Kalibrierung) und eine extreme Haltbarkeit.
3. Sie haben ein 12-bit System mit 4.096 Graustufen im Gegensatz zu 8-bit / 256 Graustufen in BST Kameras. Dies führt zu einem Bild mit einem großen Kontrast und darstellbaren Temperatur Bereich (dynamischen Bereich).
4. Eine direkte Temperaturmessung in jedem Pixel ist möglich
5. Helligkeitskontrolle ohne mechanische Blende nur durch digitale Signalverarbeitung.
6. Farbdarstellung im Bild ist möglich.

Ein Nachteil der Microbolometer Sensoren ist eine geringere Temperaturfestigkeit im Vergleich zu BST Sensoren. Die maximale Arbeitstemperatur des Sensormoduls (Temperatur innerhalb der Kamera, nicht Außentemperatur!!!) beträgt ca. 60°C für Microbolometer und mehr als 70°C für BST Sensoren. Das bedeutet, dass bei hoher Hitze Microbolometer Kameras eher ausfallen können als BST Kameras. Ein weiterer Nachteil ist das kurzzeitige Einfrieren des Bildes beim Re-Kalibriervorgang (nach schließen / öffnen der „Shutter“-Blende).

Die erste Generation der Mikrobolometer-FPA's wurde auf Basis der Vanadium Oxid Technologie hergestellt (z.B. BAE Systems, Boeing) und hatte 320 Zeilen und 240 Reihen (76.800 Pixel.) Gewicht und Größe der MB-Kameras der ersten Generation sind in etwa auf dem Niveau von BST-Kameras

Der Preis dieser MB Kameras liegt deutlich höher als der der BST Kameras.

Die MB-Technik wurde/wird ständig weiterentwickelt (siehe vierte Generation). Mittlerweile wird die erste Generation der MB-Kameras bereits durch die zweite Generation abgelöst (siehe unten).

Vierte Generation – Microbolometer mit 160 x 320 (ab 2000)

Eine Weiterentwicklung sind Microbolometer Sensoren mit 160 x 120 Pixel oder 19.200 Bildpunkten auf Basis von Vanadium Oxid (VOx) oder amorphen Silizium (a-Si). TIC's mit diesen neuen Microbolometer Sensoren zeichnen sich durch eine geringere Größe, geringeres Gewicht (ca. 1,2 kg), geringeren Stromverbrauch und vor allem durch einen deutlich günstigeren Verkaufspreis aus. Die Wärmebilder sind nicht ganz so klar und detailreich wie die der großen MB-Kameras (320x240) aber für den Feuerwehreinsatz durchaus ausreichend.

Auch die Farbdarstellung und Temperaturmessung (mit Balken- oder Digitalanzeige) gehört bei diesen Kameramodellen zur Ausstattung.

Kameras mit diesen Sensoren sind seit 2001/2002 auf den Markt z.B. Bullard T3, Dräger Talisman Spirit, MSA Evolution 5000. Derzeit geht der Trend deutlich hin zu diesen kompakten und leichten Kameras.

Weitere Entwicklungen

Im Jahr 2003 hat Dräger mit der Talisman Elite die erste Kamera mit Microbolometer Sensor aus Basis Amorphem Silizium (a-Si) mit 320x240 Bildpunkten auf den Markt gebracht. Die Kamera hat trotz der großen Anzahl Bildpunkte eine kompakte Bauweise (wie die vierte Generation) und ein geringes Gewicht (ca. 1,3 kg).

Ein Trend aus den USA ist die Aufspaltung der handgehaltenen WBK's in 2 Nutzergruppen: Kameras mit hoher Auflösung (320x240 Pixel) und großem Bildschirm (z.B. für Einsatzleiter, Fahrzeuge) und kleine, leichte Kameras mit geringerer Auflösung (160x120 Pixel) mit kleinerem Bildschirm (z.B. für Angriffstrupp).

Ausblick

In Zukunft wird die Entwicklung von MB-Sensoren weitergehen. Die Sensoren, die Elektronik und die Optik werden immer kleiner und der Stromverbrauch geringer, sodass auch die MB-Kameras immer kleiner und leichter werden können.

Gleichzeitig dürften verbesserte Prozesse und Verfahren in der Sensorproduktion zu geringeren Kosten für die Sensoren und damit auch zu geringeren Preisen der Endgeräte führen.

Dräger Safety AG & Co. KGaA
Lübeck, August 2004

Christian Schultz
Produktmanagement Head Protection