

# Thermische Belastung bei LEDs charakterisieren

*Durch ihre hohe Blendwirkung lässt sich die Umgebung einer LED nicht direkt beobachten. Stattdessen kommen Wärmebildkameras zum Einsatz, um das Bauteile-Umfeld der LED zu analysieren.*

FRANK RIEDEL UND KLAUS HÖING \*

Gerade bei heutigen LED-Arrays ergibt sich aufgrund der zwischenzeitlich sehr hohen Lichtausbeute eine sehr hohe Blendwirkung, so dass die Umgebung der LED und die darum angeordneten Bauelemente bei eingeschaltetem Leuchtmittel nicht zu beobachten sind. Selbst drastische Farbveränderungen sind an den Bauteilen nicht mehr erkennbar und werden erst offensichtlich, wenn die LEDs abgeschaltet oder gar defekt sind. Mit thermographischen Methoden und Wärmebildkameras kann diese Hürde genommen werden. Der wesentliche Vorteil: Die Wärmebildkamera wird im grellen Gegenlicht nicht blind und kann Hot Spots auch direkt neben einer alles überstrahlenden LED erkennen.

Hintergrund für diese Tatsache ist, dass die LED im sichtbaren Wellenlängenbereich von 0,4 bis 0,7  $\mu\text{m}$  abstrahlt, während die abgegebene Wärmestrahlung vom mensch-

lichen Auge nicht erfasst werden kann. In der Realität gibt es keine reinen Schwarzen Körper, die das ganze Spektrum absorbieren bzw. das komplette Spektrum abstrahlen.

## Die Oberfläche des Messobjektes entscheidet

Im Bild 1 ist der schematische Zusammenhang der jeweiligen absorbierten, reflektierten und emittierten Leistung zu sehen, die dann auf die Linse der Wärmebildkamera trifft. Die Transmission der Messobjekte kann vernachlässigt werden, weil nur die Oberfläche des Messobjektes entscheidend ist. Dabei zeigt sich, dass die Infrarotstrahlung von der Oberflächentemperatur abhängt. In der Realität hat man es jedoch nicht mit dem

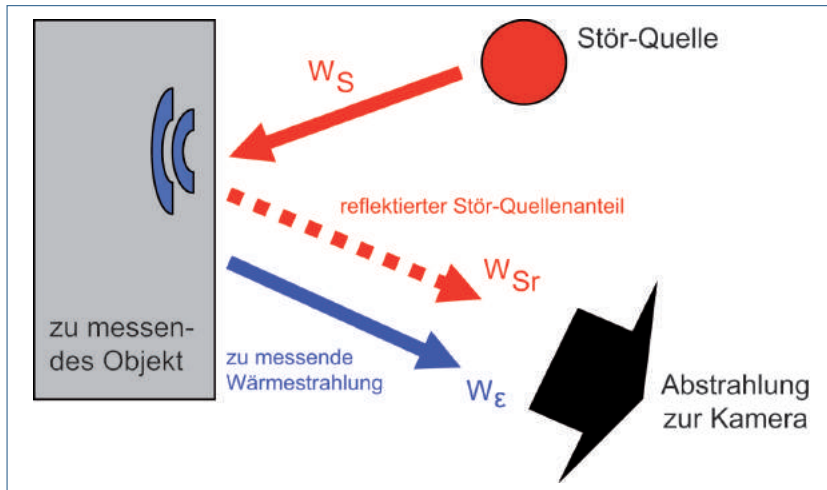
„idealen“, schwarzen Körper zu tun, sondern durch die unterschiedlichen Materialien und Oberflächen-Beschaffenheiten ergibt sich durch die Berechnung der Oberflächen-Temperatur der Emissionsgrad  $\epsilon$ . Eine Störstrahlung  $W_{st}$  aus der Umgebung, die am Objekt reflektiert wird  $W_{sr}$ , wird das Ergebnis ebenfalls beeinflussen. Selbst die umgebende Luft-Temperatur und deren relative Feuchtigkeit haben Einfluss auf die Temperaturmessung des beobachteten Objekts, denn ist die Distanz zwischen einem weit entfernten Objekt im Freien (ein Haus) und der Kamera groß, so muss auch dieser Effekt berücksichtigt werden. Für Objekte wie ein LED-Array oder ein LED-Band sind die Aufnahmedistanzen eher kurz und so kann eine erste Bestimmung des Emissionsgrades durch Referenz- oder Vergleichsmessungen mit bekannten Oberflächen- oder Kontaktfühlern erfolgen. Eine Thermogra-

\* Frank Riedel  
... ist bei dataTec für den technischen Support,  
Spezialgebiet Wärmebildkameras

Klaus Höing  
... ist für das technische Marketing bei dataTec  
verantwortlich.



**Thermische Belastung:** Mit Hilfe einer Wärmebildkamera lässt sich das Umfeld einer LED untersuchen. Die hohe Blendwirkung hat keinen Einfluss auf das Ergebnis.



**Bild 1:** Schematische Darstellung der Bedingungen bei Messaufnahmen mit einer Wärmebildkamera wobei  $W_\epsilon$  der emittierte Leistungsanteil (je nach Emissionsgrad) und  $W_{Sr}$  der reflektierte Störleistungsanteil ist, die von der Kamera aufgenommen werden.

phie-Kamera misst also nicht direkt die Temperatur, sondern nimmt die ihr angebotene Strahlungsleistung, die Emissionsstrahlung  $W_\epsilon$  und den reflektierten Störstrahlungsanteil  $W_{Sr}$ , auf. Die Berechnung der Temperatur findet erst in der Kamera über die eingebaute Elektronik statt.

### Vergleichs- und Temperaturmessung bei der LED

Die Vergleichsmessung wird typischer Weise in der Produktion oder der Qualitätssicherung eingesetzt. Die erste Baugruppe, das „Golden Device“, wird thermographisch unter festgelegten Rahmenbedingungen vermessen und dokumentiert. Dieses Thermo-

graphiebild dient als Erstmuster, oft auch als „Nullmessung“ bezeichnet. Alle Folgemessungen sollten gleich oder sehr ähnlich aussehen – der Farbverlauf und die Farbverteilung dienen als Thermografemuster und mit der Kamera oder einer Auswertesoftware lassen sich die Unterschiede zwischen der Nullmessung und der realen Messung quantifizieren und darstellen. Je nach Kameramodell sind Temperaturunterschiede bis 30 mK detektierbar.

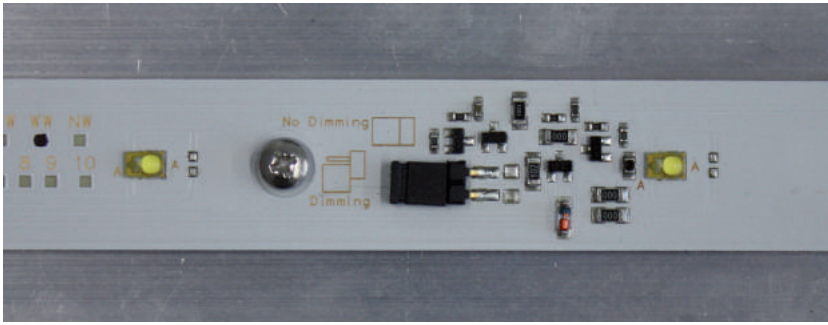
Die Temperaturmessungen der Bauelemente und Baugruppen werden unter bestimmten Rahmenbedingungen vorgenommen. Zunächst müssen der Emissionsgrad der wichtigen und interessierenden Bauteile

## Die historischen Grundlagen der Thermografie

Sir William Herschel (1738 – 1822), Hof-Astronom bei König Georg III. von England und Entdecker des Uranus, war auf der Suche nach entsprechend gefärbten Gläsern, um die Sonne zu beobachten. Dabei bemerkte er, dass mit Abhängigkeit vom Spektrum des Lichts eine Wärmestrahlung einhergeht und dass deren Maximum außerhalb des sichtbaren Spektrums liegt. Entsprechende Versuche, wonach er durch die Newtonsche Prismenanordnung die Farbanteile des Sonnenlichts aufspaltete und durch das sich ergebende Spektrum langsam ein Thermometer durchführte, zeigte sich, dass die Temperatur stetig anstieg, je

weiter man das Thermometer in den roten Spektralbereich verschiebt. Er erkannte auch, dass Glas nur ein Teil des von der Sonne abgestrahlten Spektrums hindurch lässt.

Andere Forscher jener Zeit entdeckten dann, dass die Kristalle des NaCl diesen Effekt nicht aufweisen. Heutige Objektive von Wärmebildkameras werden aus dem Element Germanium gefertigt, da dieses Material nur eine sehr kleine Filterwirkung für die Wärmestrahlung aufweist. Das Spektrum für Wärmebildkameras umfasst den Wellenlängenbereich der Infrarot-Strahlung von ungefähr 2  $\mu\text{m}$  bis 13  $\mu\text{m}$ .



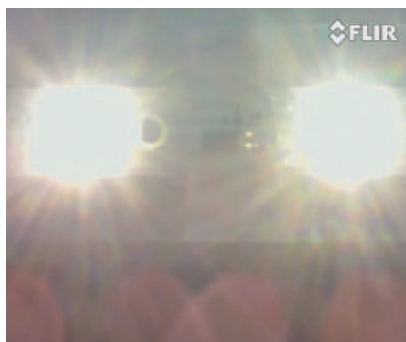
**Bild 2:** Reales Bild eines LED-Arrays, mit der Lage der LEDs und ICs zueinander. Das Array ist stromlos.

und auch die reflektierten Störstrahlungsanteile aus der Raumumgebung bestimmt werden. Daher ist es wichtig, dass immer gleiche Ausgangsbedingungen herrschen, um unnötige Referenzmessungen zu vermeiden. Die gefundenen Referenzwerte werden in die Kamera eingegeben, aus der diese dann die entsprechenden Temperaturen (Temperatur eines Messpunktes oder einer Messfläche) errechnet und auf dem Display der Kamera anzeigt. Über die mitgelieferte Software kön-

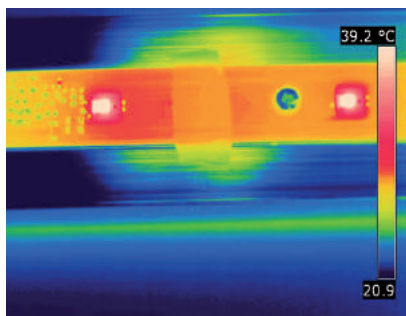
nen die Temperaturen ausgelesen und in entsprechenden Diagrammen dargestellt werden. Das Bild 2 zeigt ein LED-Array, auf dem die Anordnung der Bauelemente und LEDs zu sehen ist.

### Reales und Wärmebild werden übereinandergelegt

Alle folgenden thermographischen Bilder beziehen sich auf dieses LED-Array. Zur leichteren Orientierung lassen sich die beiden



**Bild 3:** Gleiches LED-Array und Bildausschnitt wie Bild 4 mit leuchtenden LEDs. Durch die Überstrahlung und Blendung können die Bauteile nur noch erahnt bzw. nicht mehr erkannt werden.



**Bild 4:** Zeigt den Einfluss einer Störstrahlung – in diesem Fall einer Hand, die ca. 30 cm über die Anordnung gehalten wurde.

## PRAXIS WERT

### Den Referenzpunkt richtig setzen

Beim Umgang mit einer Wärmebildkamera muss davon Abschied genommen werden, dass scheinbar gleiche Objekte auch den gleichen Emissionsgrad aufweisen. Thermische Strahlung ist nicht sichtbar und daher ist genau darauf zu achten, dass der Referenzpunkt richtig gesetzt ist und seine Temperatur richtig bestimmt wurde. Die Messpunkte und die zugehörigen Emissionsgrade müssen vor Inbetriebnahme bestimmt und in die Kamera eingegeben werden. Erst dann lassen sich Temperaturangaben zu den einzelnen Messpunkten machen. Ferner ist bei Messungen darauf zu achten, dass die Farbskala sich nicht ändert, wohl aber die zugeordnete Temperatur, die durch den Emissionsgrad bestimmt wird. Störquellen gilt es zu minimieren, beispielsweise durch Abschirmen und die Messsituation ist möglichst konstant zu halten.

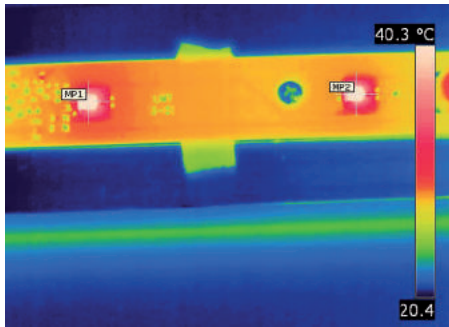
Bilderarten miteinander vergleichen. Ein Grund, dass Flir bei einigen Kameras das Übereinanderlegen von einem realen Bild und dem Wärmebild implementiert hat. Für genaue Temperaturbestimmungen muss der Emissionsgrad des zu messenden Objektes bestimmt werden, indem man die Temperatur mittels eines Messfühlers misst, den Messpunkt mit der Kamera anpeilt und den Emissionsgrad so einstellt, dass die beiden Temperaturwerte gleich sind. Das Wärmebild Bild 4 zeigt den Einfluss einer Störstrahlung. Das LED-Array ist eingeschaltet. Bewegt man die Hand in ca. 30 cm Abstand über die Anordnung, so kann man im Bild die reflektierte Störstrahlung der Hand erkennen – auf der erwärmten Plantine ist sie nicht sichtbar. Je höher die Objekttemperatur relativ zur Störstrahlung wird, desto geringer wird dieser Einfluss.

Aber es ist noch auf eine andere Beobachtung aufmerksam zu machen. Schaut man sich das Bild 4 genau an, erkennt man die stromführenden Leitungen auf der Platine. Sie erwärmen sich durch den Stromfluss leicht und werden durch den Lack hindurch sichtbar. Mit Bild 5 wird eine andere Methode aufgezeigt, den Emissionsgrad zu bestimmen. Kennt man den Emissionsgrad eines Gegenstandes – in diesem Fall ist es ein schwarzes Isolierband – so lässt sich ein Messpunkt auf diesem Isolierband als Referenzpunkt definieren. Das Isolierband hat einen Emissionsgrad von  $\epsilon = 0,9$ . Im Bild 5 sind die Enden des quer zur Platine geklebten Isolierbandes zu erkennen, da sie in den Aluminium-Kühlkörper reichen. Auf der Platine ist das Isolierband nicht mehr zu erkennen, was darauf hinweist, dass das Band und die Platine einen annähernd gleichen Emissionsgrad aufweisen.

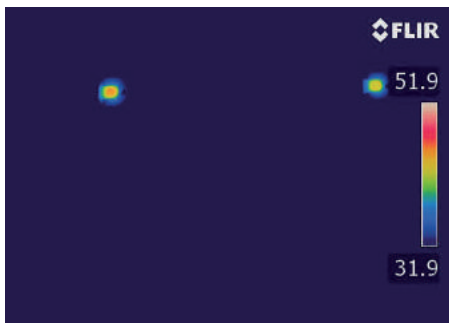
### Die Temperaturunterschiede sichtbar machen

Mit der Wärmebildkamera lassen sich die beiden Messpunkte MP1 und MP2 einrichten (Bild 5), die sich in diesem Fall genau im hellen Zentrum der beiden LEDs befinden. Der Unterschied zwischen diesen beiden Messpunkten auf den beiden LEDs beträgt gerade 2,3 °C bei einem Temperaturniveau von ca. 46 °C. Werden nun weitere LED-Arrays für Qualitätssicherungsaspekte aufgenommen, können sie gegen dieses Golden Device vermessen werden. Mit der mitgelieferten Software lassen sich die Temperaturunterschiede eines Bildes gegen das Golden Device darstellen. Engt man die Temperaturskala (Level und Span) ein, so werden die Temperaturunterschiede sichtbar (Bild 6). Es ist genau die Messung wie in Bild 5, jedoch mit dem Unterschied, dass

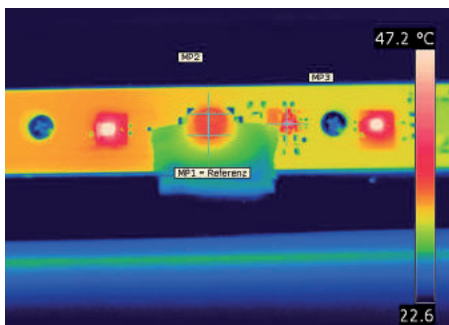
die Temperaturskala eingengt wurde, damit werden die einzelnen Konturen unterschiedlicher Temperatur sichtbar. Deutlich ist zu erkennen, dass die linke LED um ca. 2 °C wärmer wird. Diese Temperaturunterschiede werden mit unterschiedlichen Farbzusordnungen sichtbar gemacht. Je feiner die Auflösung der Kamera, desto besser sind die Details erkennbar.



**Bild 5:** Wärmebild der beiden LEDs und Vermessen des Temperaturunterschiedes zwischen den beiden Oberflächentemperaturen der LEDs. Farblich kann man mit dieser Einstellung so auf den ersten Blick keinen Unterschied erkennen. Die Messpunkte (MP1 und MP2) geben einen Anhaltspunkt für den Temperaturunterschied.



**Bild 6:** Dieses Bild geht aus Bild 7 hervor, wenn die Temperaturskala (Level/ Span) eingengt wird. Temperaturunterschiede werden durch Farbänderungen leichter erkennbar.



**Bild 7:** Temperaturmessung mit der Wärmebildkamera, wobei Messpunkt 3 einen von den anderen Messpunkten abweichenden Emissionsgrad aufweist. Auch mit der Farbskala ist nicht erkennbar, dass der Temperaturunterschied über 13 °C beträgt.

Für die Messung von Temperaturen muss für alle Messpunkte der Emissionsgrad des Messobjektes bekannt sein. Diesen gilt es vorher zu ermitteln, was durch zwei Methoden durchgeführt werden kann – zum einen durch die Temperaturmessung mit einem Messfühler und dem folgenden Abgleich des Emissionsgrades in der Kamera, bis die gemessene und die durch die Kamera angezeigte Temperatur gleich sind, zum anderen durch den direkten Vergleich des Messobjektes mit einem anderen bekannten Gegenstand, dessen Emissionsgrad gleich dem des mit der Kamera zu messenden Objektes ist.

### Gleiche Farbskala und sich ändernde Temperaturskala

Ein Hinweis sei an dieser Stelle erlaubt: Vergleicht man Bild 6 mit Bild 5 so gibt es blau eingefärbte Bereiche, die nicht gleichbedeutend mit „kalt“ zu verwechseln sind. Dazu vergleiche man die Temperaturen am unteren Ende der Skala. An diesem Punkt muss der Anwender, der beginnt sich mit Wärmekameras auseinanderzusetzen, umdenken. Die Farbskala bleibt immer gleich – die zugeordnete Temperaturskala ändert sich!

In Bild 7 sind drei Messpunkte zu sehen, wobei der Referenzpunkt durch einen halb mit einem Isolierband abgedeckten Bauteil definiert wurde. Auch hier ist der Emissionsgrad  $\epsilon_{\text{ref}} = 0,9$  von Isolierband und dem Bauteil gleich MP 2; die beiden gemessenen Temperaturen des Bauteils sind gleich. Anders ist die Situation bei Messpunkt MP3. Das hier vermessene Bauteil hat einen ganz anderen Emissionsgrad von  $\epsilon_{\text{MP3}} = 0,7$ . Hier lag die Oberflächen-Temperatur des Bauteils bei einer Temperatur von 47,7 °C. Vergleicht man Messpunkte MP2 und MP3, so kann aufgrund der Farbskala kein Temperaturunterschied festgestellt werden. Der Unterschied in diesen beiden Messpunkten geht in den Farbnuancen unter. Der Unterschied der Emissionsgrade dieser beiden Punkte ist erheblich: Die Temperatur von MP3 liegt bei 47,7 °C, während die Temperatur von MP2 mit 34 °C bestimmt wurde. // HEH