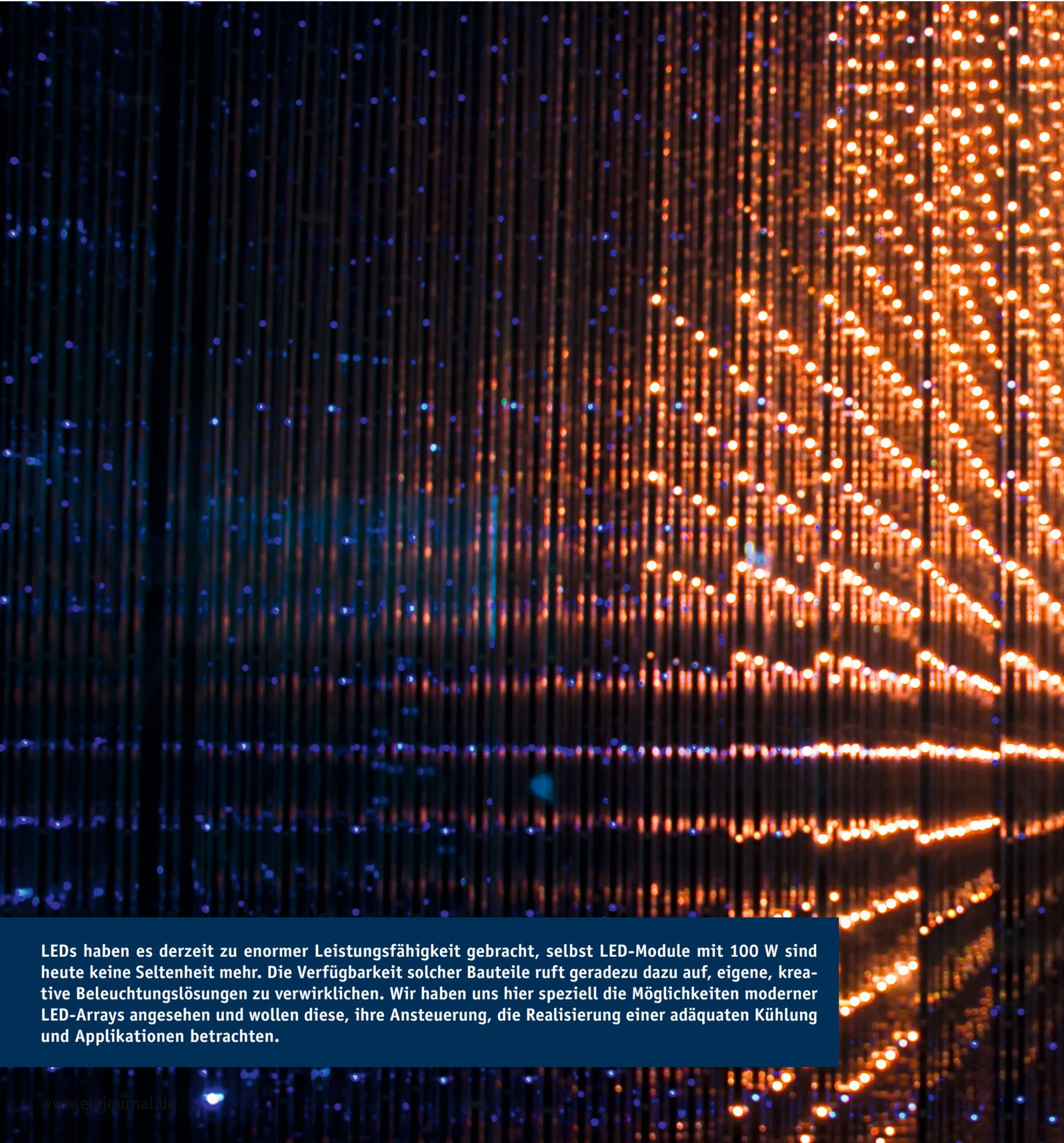




LED-Beleuchtung selbst gebaut

A large background image of a dense LED light display. The lights are arranged in vertical columns, with some columns showing a gradient from blue to orange. The lights are out of focus, creating a bokeh effect.

LEDs haben es derzeit zu enormer Leistungsfähigkeit gebracht, selbst LED-Module mit 100 W sind heute keine Seltenheit mehr. Die Verfügbarkeit solcher Bauteile ruft geradezu dazu auf, eigene, kreative Beleuchtungslösungen zu verwirklichen. Wir haben uns hier speziell die Möglichkeiten moderner LED-Arrays angesehen und wollen diese, ihre Ansteuerung, die Realisierung einer adäquaten Kühlung und Applikationen betrachten.



Gemeinsam stark

Immer öfter fallen in der letzten Zeit kleine LED-Module auf, die nicht mehr auf einer einzelnen Hochleistungs-LED basieren, sondern auf einer Anordnung mehrerer kleiner LEDs, die jede für sich eine Leistung von ca. 1 bis 1,2 W haben. Dies bringt mehrere Vorteile. Zum einen kann die Verteilung mehrerer Einzelchips auf einer etwas größeren Grundfläche der metallisierten Platinen durchaus Vorteile bei der Verlustwärmeabfuhr haben. Durch die Verteilung der Lichtabstrahlung auf mehrere Chips erreicht man dazu auch einen insgesamt höheren Abstrahlwinkel der Anordnung gegenüber einem einzelnen Chip, der zum Erreichen eines ähnlichen Abstrahlwinkels mit einer internen und ggf. sogar externen Optik ausgestattet werden muss. **Bild 1** zeigt eine leistungsmäßig vergleichbare Anordnung eines Arrays gegenüber einem Einzelchip, der allerdings auch nur einen Abstrahlwinkel von 45° gegenüber dem Array mit 120° hat.

Ordnet man mehrere solcher Mehrchip-Arrays zu einer größeren Fläche an, erreicht man auch eine deutlich verbesserte Flächenabstrahlung als mit nur wenigen punktförmig strahlenden LEDs. Selbst die hochleistungsfähigen COB-LEDs (COB = Chip on Board, **Bild 2**, hier sind viele LED-Chips auf einem gemeinsamen Substrat eng nebeneinander zu einem Array zusammengeschaltet) erreichen solch eine Flächenabstrahlung nicht ohne Zusatzoptik und Reflektor.

Wir wollen uns einmal am Beispiel der interessanten und sehr weit entwickelten Lumitronix-SmartArray-LED-Module (**Bild 3**) [1] mit der Technik und den Möglichkeiten solcher LED-Module und einigen Anwendungen beschäftigen.

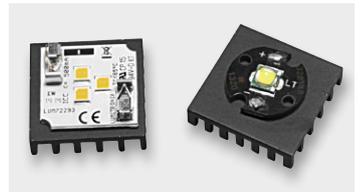


Bild 1: Array- und Einzelchip-LED im Vergleich. Beide liefern ca. 3 W Lichtleistung.

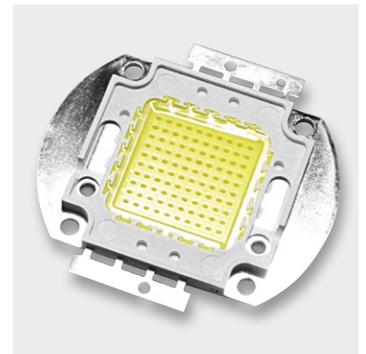


Bild 2: COB-LED, hier ein 100-W-Exemplar



Best.-Nr. J7-11 74 27

Best.-Nr. J7-11 74 29

Best.-Nr. J7-11 74 32

Best.-Nr. J7-11 74 35

Bild 3: Die kompakten SmartArray-Module sind zu beliebigen Leuchtenanordnungen ausbaubar.

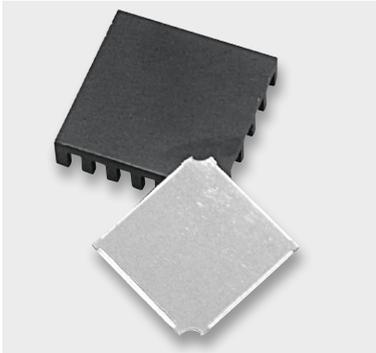


Bild 4: Die SmartArray-Module sind bereits mit selbstklebender Wärmeleitfolie bestückt.

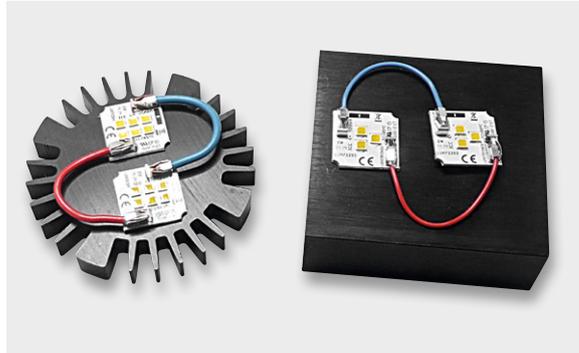


Bild 5: Die SmartArray-Module werden über Federklemmen angeschlossen.



Bild 6: 100-W-COB-LED auf einem zwangsbelüfteten Kühlkörper, so passt solch eine Leuchte auch in kompaktere Scheinwerfer.

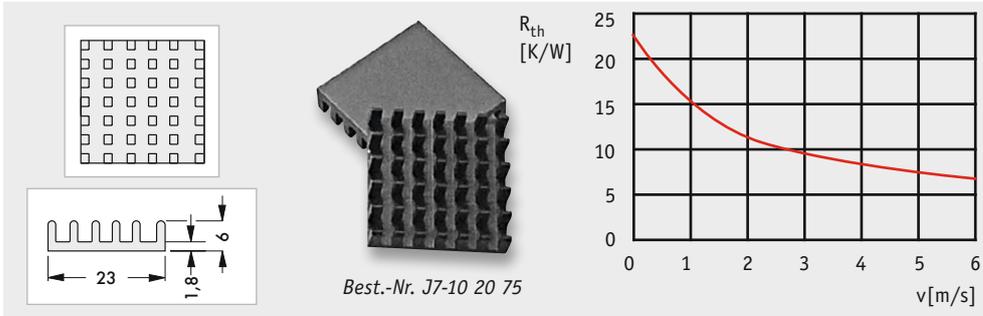


Bild 7: Der passende Kühlkörper für die 3,1-W-SmartArray-LED

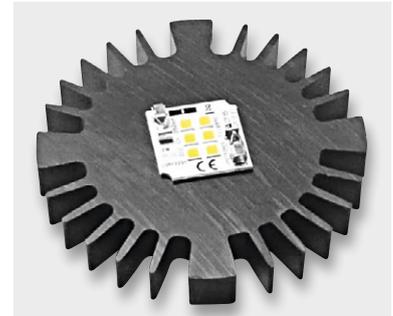


Bild 8: Das 6,5-W-Modul auf einem Fischer-Sternkühlkörper

Die je nach Leistung nur 19 x 19 mm bis 28 x 28 mm großen Module sind mit sehr leistungsfähigen Nichia-LEDs, je nach Modell in Warmweiß oder Neutralweiß, bestückt, die jeweils mit einer Leistung um 1 W für die Größe schon recht leistungsfähig sind. Die Module sind mit 3 bis 16 dieser LEDs bestückt und erreichen so Leistungen zwischen 3,1 und 17,5 W, was vergleichbaren Glühlampenleistungen zwischen 25 und 100 W entspricht.

Raffinierte Module

Die Module sind einzeln oder in quasi beliebig großen Gruppen einsetzbar, so kann man eigene Leuchten ganz nach Wunsch bauen. Einzig limitierender Faktor ist hier der mit steigender LED-Leistung ebenfalls steigende Aufwand für die Kühlung und deren Platzbedarf. Auch muss man sich dann Gedanken um die Luftführung bzw. Belüftung machen.

Die Module sind bereits mit einer selbstklebenden Wärmeleitfolie (Bild 4) versehen, so dass man sie auch ohne speziellen Wärmeleitkleber direkt auf einem Kühlkörper befestigen kann. Kleine Aussparungen ermöglichen die zusätzliche Befestigung mit Schrauben. Die Verschraubung sollte man in der Praxis auch benutzen, damit unter allen Bedingungen der vollflächige Kontakt zur Kühlfläche gewährleistet bleibt.

Der Anschluss der Module erfolgt werkzeuglos über Federklemmen, man muss also keine Verbindungen löten. Die Verbindungen können über starre, aber auch über flexible Leitungen erfolgen. Dabei sollte man flexible Leitungen im Sinne der Betriebssicherheit mit Aderendhülsen versehen. Die Federklemmen fassen Leitungen zwischen 0,4 und 1,5 mm Durch-

messer. Die Leitungen sind dabei jederzeit wieder lösbar – einfach etwas drehen und herausziehen. Bild 5 zeigt als Beispiel jeweils zwei so verbundene Module.

Knackpunkt Kühlung

LEDs wie die hier betrachteten sind Leistungshalbleiter und mit einer bei höheren Leistungen erheblichen Verlustleistung behaftet, die als Abwärme über geeignete Kühleinrichtungen abgeführt werden muss. Dabei muss es nicht gleich so eine aufwändige Lösung sein wie beim im Bild 6 zu sehenden 100-W-COB-Modul, das auf einem großen Rippenkühlkörper mit massivem Kupferkern thront, der zudem im Extremfall noch einen Lüfter zugeschaltet bekommt.

Allerdings erfordern bereits die kleinen 6,5-W-SmartArray-Module eine sorgfältige Dimensionierung des Kühlkörpers. Während für die kleinsten Module der Reihe, die 3,1-W-Module, ein Kühlkörper mit einem Wärmewiderstand < 24,5 K/W reicht (Bild 7 zeigt einen passenden Kühlkörper mit seiner Kennlinie), ist für größere Anordnungen und vor allem höhere Lichtleistungen ein etwas höherer Aufwand erforderlich. So benötigt das 6,5-W-Array schon einen Kühlkörper mit < 11 K/W, der von uns dazu empfohlene Kühlkörper Fischer SK70 mit 2,2 K/W könnte theoretisch mehrere dieser Module tragen, in der Praxis sollte man sich jedoch eher auf die thermisch sichere Seite begeben, zumal wenn man in der endgültigen Leuchtenkonstruktion keine definierte Luftkonvektion realisieren kann. Bild 8 zeigt diesen Kühlkörper mit einem 6,5-W-Modul. Überhaupt sollte man Leistungs-LEDs eine eher überdimensionierte Kühlung spendieren, damit die Lebensdauer der LED



Best.-Nr. J7-01 15 64

Bild 9: Auf einem massiven Strangkühlkörper lassen sich mehrere LED-Module montieren.

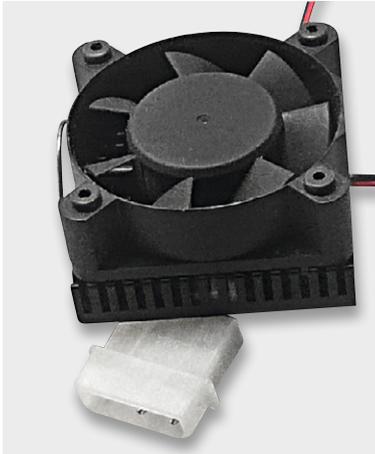


Bild 10: Bei aktiver Kühlung kann der eigentliche Kühlkörper kompakter ausfallen.

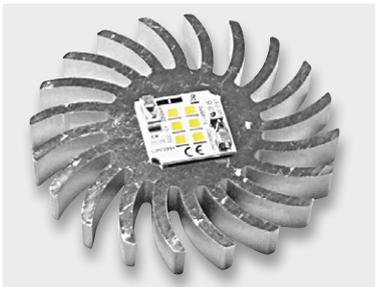


Bild 11: Der Kühlkörper kann auch ein Designelement der Leuchte sein.

auch voll genutzt werden kann. Denn thermische Überlast durch zu schwach dimensionierte Kühlung und/oder bis an die äußerste Grenze gefahrener Betriebsstrom sind die Hauptausfallursachen für industriell hergestellte LED-Leuchtmittel.

Für Anordnungen mehrerer Module auf einer größeren Fläche bieten sich Strangkühlkörper wie der in Bild 9 gezeigte Fischer SK99 an.

Und schließlich kann man, je nach Einsatzort, auch leistungsfähige Arrays auf einem relativ kleinen Kühlkörper betreiben, wenn man diesen aktiv kühlt. Dabei bieten sich vor allem bereits aufeinander abgestimmte CPU-Kühler wie der in Bild 10 gezeigte an. Der Lüfter kann dabei auch durch eine Temperatursteuerung nur bedarfsweise zugeschaltet werden. Für eine kompakte Außen-, Keller- oder Schuppenleuchte ist so eine Konstruktion durchaus eine Option, da hier die Geräuschentwick-

lung keine Rolle spielt. Aber diese Art der Kühlung dürfte eher die Ausnahme sein.

Kühlkörper können durchaus auch dekorativ sein, wie Bild 11 zeigt, bei bestimmten Leuchtdesigns durchaus eine Option.

Schließlich kommt z. B. bei der Umrüstung einer vorhandenen Leuchte auch deren bisheriges Innenleben für die Kühlung in Frage. In Bild 12 sehen wir ein solches Beispiel. Hier wurde eine bisher mit zwei Kompaktleuchtstofflampen versehene Werkstatt-Lampenleuchte mit insgesamt zehn 1-W-Einzelchip-LEDs versehen, die mittels eines speziellen Wärmeleitklebers (Bild 13) direkt auf den Reflektor der Leuchte geklebt wurden. Dass eine so umgerüstete, aber aufgrund der nun entfallenen bzw. extern in das Vorschaltgerät ausgelagerten Netzstromversorgung ungefährliche Leuchte ihre Zulassung verliert, sei hier am Rande bemerkt – also nichts für den Einsatz in der Firma, sondern eher für den selbst zu verantwortenden Privateinsatz. Bietet die umzubauende Leuchte ein ausreichend großes Metallgehäuse mit nicht zu geringer Wanddicke an, kann man das LED-Array auch direkt auf eine (plane) Fläche des Gehäuses kleben. Das Beispiel in Bild 14 zeigt eine solche Leuchte im etwas nostalgischen Gewand in einem Schuppen. Hier ist ein 13-W-Array eingebaut, für den Einsatzzweck mehr als ausreichend.

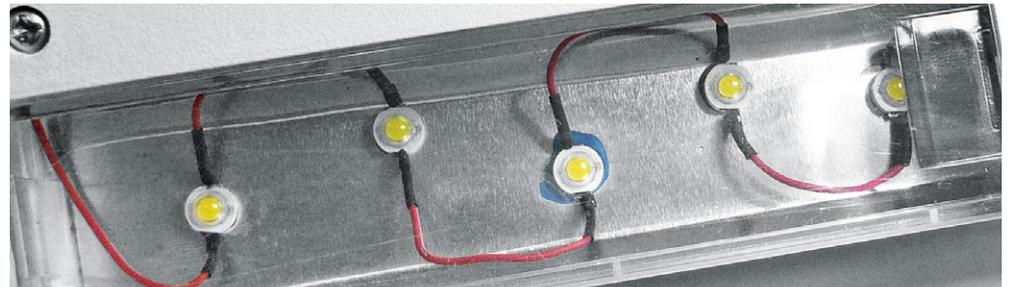


Bild 12: Hier dient der Reflektor einer umgerüsteten Leuchte als Kühlblech.

LED-Kühlung

Leistungsstarke LEDs sind auch Leistungshalbleiter, deren Verlustleistung in Wärme umgesetzt wird, die vom Bauelement abgeführt werden muss. Dies erfolgt passiv über geeignete Kühlflächen oder Kühlkörper und/oder aktiv durch Belüftungseinrichtungen, z. B. Lüfter.

Für die Berechnung der erforderlichen Kühlung ist der Wärmewiderstand eines Kühlkörpers zu bestimmen, der unter dem folgend gezeigten Berechnungswert des Wärmewiderstands des Systems liegen muss. Dabei spielen die für den Chip definierte Arbeitstemperatur (die nicht überschritten werden darf), die Umgebungstemperatur, die Leistung, der Übergang zwischen Chip, Wärmeleitfolie und Kühlkörper sowie die abgegebene Strahlungsleistung eine Rolle.

Die vereinfachte Berechnung:

$$R_{th} < \frac{85^{\circ}\text{C} - T_a}{P \times 0,7}$$

R_{th} = Wärmewiderstand des Kühlkörpers in K/W

T_a = Umgebungstemperatur, wir setzen hier 30 °C an

P = Leistung des LED-Moduls; der Faktor 0,7 resultiert aus der abgegebenen Strahlungsleistung von 30 %

Da auch der Übergang der Wärmeleitfolie in das Ergebnis eingeht, wird dieser mit 0,8 K/W einbezogen.

Auf dieser Basis erfolgt die Berechnung für das Array-Modul, z. B. das 6,5-W-Modul, wie folgt:

$$R_{th} \leq \frac{85^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}}{6,5 \text{ W} \times 0,7} - 0,8$$

$$R_{th} \leq 11,28 \text{ K/W}$$



Bild 13: Hält zuverlässig – Zweikomponenten-Wärmeleitkleber



Bild 14: Schuppenleuchte mit 13-W-Smart-Array – überstrahlt im Foto die gesamte Umgebung

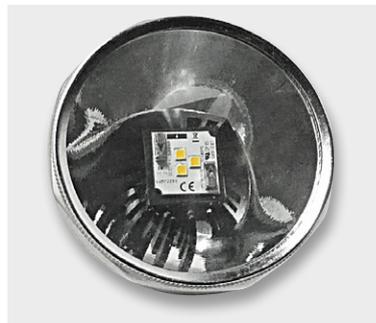


Bild 15: 3,1-W-SmartArray-Modul in den Lampenkopf einer Stabtaschenlampe eingebaut



Bild 16: Kleine Leseleuchte mit neuem Innenleben



Bild 17: Pendelleuchtenkugel mit 6,5-W-SmartArray, daneben die ursprüngliche Bestückung, eine 40-W-Halogenlampe

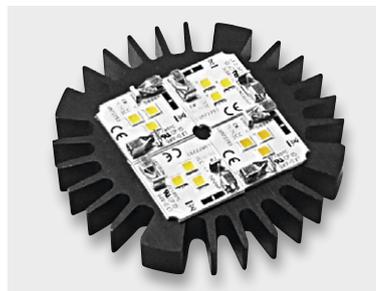


Bild 18: Vier kleine Module, auf einem Kühlkörper verteilt, bringen eine breitere und homogenere Lichtabstrahlung.

Wie man den richtigen Kühlkörper für ein bestimmtes LED-Array findet, zeigt das für die hier diskutierte Arrays durchgeführte Berechnungsbeispiel unter „Elektronikwissen“.

Anwendungen

Die SmartArray-Module lassen sich aufgrund ihrer geringen Größe und des noch verhältnismäßig geringen Kühlbedarfs nicht nur in selbst gebaute Beleuchtungen, sondern auch in viele vorhandene Leuchten einbauen. In den Bildern 15 bis 17 sind drei solche Lösungen zu sehen. Die Kühlkörper mit den aufgeklebten und möglichst auch verschraubten Arrays werden dabei jeweils in den Leuchtenkörper bzw. den vorhandenen Reflektor eingeklebt. Diese Arrays eignen sich auch hervorragend für den Einbau in die beliebten Up-down-Außenwandleuchten, hier werden einfach zwei Module oben und unten auf einen Sternkühlkörper geklebt.

Bild 18 zeigt noch eine spezielle Anordnung von vier 3,1-W-Modulen. Dies ist der Vorteil der Array-Module – man kann sie beliebig kombinieren. Hier wurden zwecks besserer Flächenabstrahlung eben vier 3,1-W-Module statt zweier 6,5-W-Module angeordnet. Man sieht also, dass der Fantasie beim Leuchten-

design keine Grenzen gesetzt sind. Noch ein Wort zu den Lichtfarben. Viele Menschen mögen zumindest zu Beginn der Bekanntschaft mit LED-Beleuchtungen weder das warmweiße Licht der LEDs noch das neutrale oder gar tageslichtweiße Licht von LEDs. Die Lichtindustrie reagiert darauf als Teillösung mit in der Lichtfarbe einstellbaren Leuchten. Im Selbstbaubereich kann man dies in gewissen Grenzen ebenfalls tun, indem man Chips bzw. Arrays unterschiedlicher Lichtfarben einbaut und diese einzeln dimmbar macht. Allein schon die Mischung von Warm- und Neutralweiß-Chips auf möglichst engem Raum wird oft als bessere Lösung empfunden als eine der Lichtfarben allein. Gerade bei unseren Arrays bietet sich solch eine Mischbestückung geradezu an.

Stromlieferanten

Die Zeiten, zu denen LED-Anordnungen mit einem Vorwiderstand betrieben wurden, sind – bis auf spezielle Anordnungen wie LED-Streifen und Anzeige-LEDs – weitgehend vorbei. Denn bei höheren Leistungen muss auch der Vorwiderstand entsprechend belastbar ausgelegt sein, das stößt schnell an Grenzen. Bei LED-Streifen behilft man sich hier noch mit

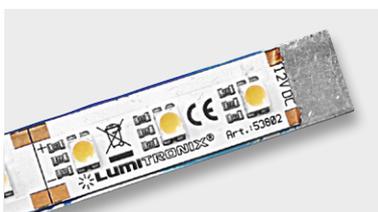


Bild 19: Bei LED-Streifen werden zur besseren Lastverteilung mehrere Widerstände je LED eingesetzt.



Bild 20: LED-Vorschaltgerät mit Konstantstromausgang



Bild 21: Speziell für den LED-Betrieb ausgelegte Netzteile gibt es in vielen Größen und Bauformen bis hin zum Hutschienennetzteil.

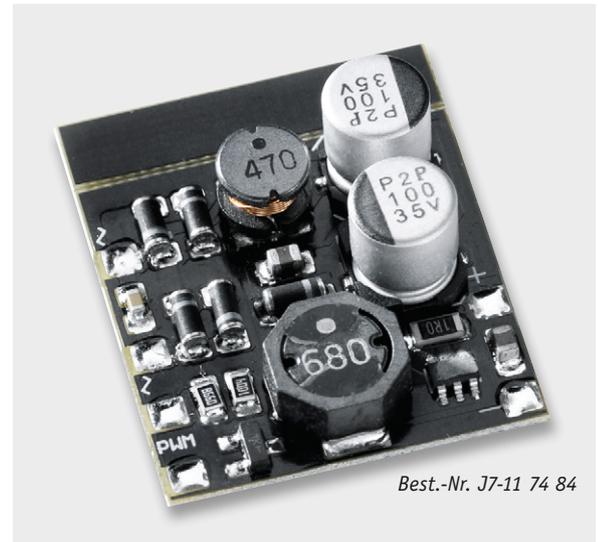


Bild 22: Typische Konstantstromquelle für die Versorgung von LEDs

einer Lastverteilung über mehrere Vorwiderstände, wie Bild 19 zeigt. Gegen unsere LEDs auf den Array-Platinen sind die auf den LED-Streifen verbauten LEDs aber eher geringerer Leistung, da hat der Vorwiderstand, solange man konstante Spannung liefert, noch seine Berechtigung.

Ansonsten greift man heute zur sicheren Konstantstromquelle (KSQ). Diese liefert einen konstanten, definierten Betriebsstrom an die LED, und zwar entsprechend deren Datenblattvorgaben. Dies hat den Vorteil, dass bei Spannungsbetrieb mitunter für die LED „tödliche“ bzw. stark die Lebensdauer verkürzende Spannungsschwankungen keinen Einfluss haben. Der ausgegebene Strom bleibt stets konstant. Derartige Konstantstromquellen gibt es in großer Vielfalt. Entweder sind diese direkt in ein Netzgerät integriert (Bild 20), oder man greift zu einem speziell für LED-Betrieb ausgelegten Netzgerät (Bild 21, das erfordert – z. B. gegenüber Halogenlampennetzteilen – keine Mindestlast) und zu einer für den benötigten LED-Strom, z. B. 350 oder 500 mA, ausgelegte Konstantspannungsquelle, die meist auf einem Schaltwandler basiert (Bild 22). Bei deren Einsatz ist zu beachten, dass die Ein- und Ausgangsleitungen nicht zu lang werden, da hierüber mitunter im Schaltwandler erzeugte Störfrequenzen ausgegeben werden können. Dies gilt insbesondere für selbst gebaute oder billig direkt importierte Wandler, die nicht immer ausreichend gegen Störaussendung ausgelegt sind.

Man sollte jedem LED-Array eine eigene KSQ gönnen. Theoretisch könnte man auch an eine entsprechend leistungsfähige KSQ mehrere Arrays parallel anschließen, fällt jedoch nur eine LED aus, sterben alle anderen Arrays den LED-Tod durch Überstrom.

Dimmen

Vielfach möchte man eine Leuchte dimmen. Das ist bei den meisten Konstantstromquellen dank integriertem PWM-Eingang möglich. Bei der PWM-Steuerung wird der Strom für die LED einfach in sehr schneller, für das Auge nicht registrierbarer Folge (im hohen Hz- bzw. im kHz-Bereich) ein- und ausgeschaltet. Je nachdem, wie lang oder kurz die Abschaltphasen sind, entsteht ein wechselnder Helligkeitseindruck. Je länger ausgeschaltet wird, desto dunkler wird die LED-Leuchte gestellt.

PWM-Quellen gibt es viele. Das beginnt bei einer einfachen Schaltung mit dem bekannten Timerschaltkreis NE555, auf dem viele PWM-Regler wie der in Bild 23 gezeigte (der auch direkt LEDs treiben kann) basieren und geht bis zu den beliebten Mikrocontrollern, etwa in Form eines Arduino-Boards (Bild 24). Hier fungiert dann die KSQ als gesteuerter Treiber. Ein Hinweis auch hier zum Abschluss: Die PWM-Leitung zwischen PWM-Generator und KSQ darf ebenfalls nicht zu lang sein, denn auch hier kann es zu erheblichen Störaustrahlungen mit weithin registrierbaren HF-Störungen kommen.

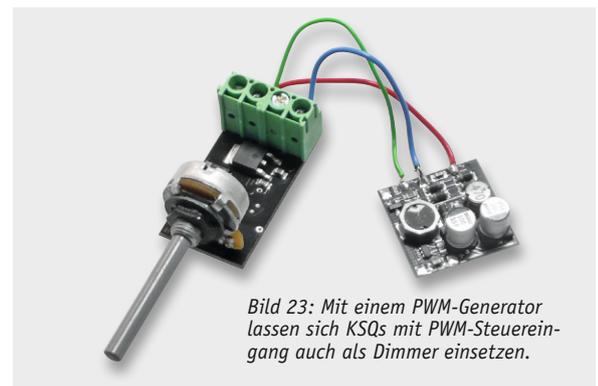


Bild 23: Mit einem PWM-Generator lassen sich KSQs mit PWM-Steuereingang auch als Dimmer einsetzen.

Für Weiterführendes zum Thema LED-Praxis empfehlen wir am Schluss unser LED-Sonderheft „LED Special“ [2]. Hier finden sich neben Theorie zum LED-Einsatz und wissenschaftlicher Betrachtung des Themas Licht auch zahlreiche Bauvorschläge für LED-Eigenbauprojekte. **ELV**

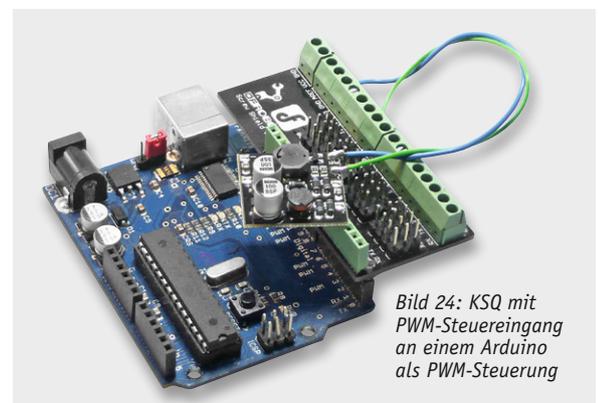


Bild 24: KSQ mit PWM-Steuereingang an einem Arduino als PWM-Steuerung



Weitere Infos:

Geben Sie in unserem Web-Shop einfach die Web-Codes im Suchfeld ein, um zur Artikelbeschreibung zu gelangen:

[1] Webcode #1344

[2] Webcode #1345