

Eine neue Ära des Lichts



Man muss kein Fachmann sein, um sagen zu können, welche Eigenschaften eine optimale Tauchlampe haben sollte: Klein, leicht, handlich, hohe Lichtleistung, lange Brenndauer, sicher und unkompliziert zu transportieren. Dazu am besten noch einen Hochleistungs-Akku, der leicht, wartungsfrei und ruck, zuck geladen ist. Gibt's nicht? Der Weg ist das Ziel und das liegt zum Greifen nahe. In der Lichttechnik bahnen sich Quantensprünge an, gerade für uns Taucher! Ein Blick in die Zukunft von Harald Apelt und Michael Lux

Als zu Beginn des vergangenen Jahres die neue Version der Ostar-LED von Osram Opto Semiconductors angekündigt wurde, ahnten Lichtprofis bereits, was da im Anmarsch war. Als vor wenigen Wochen am Nikolaustag Bundespräsident Horst Köhler einem Forscherteam des Regensburger Unternehmens und des Fraunhofer Instituts den Deutschen Zukunftspreis 2007 verlieh, war es amtlich: Mit der Entwicklung dieser neuen Super-LED war einem deutschen Forscherteam einmal mehr ein ganz großer Wurf gelungen. Als die Verleihung des mit 250.000 Euro dotierten Preises durch alle Nachrichtensendungen lief, haben sich zwei deutsche Produzenten von Unterwasserlampen die Hände gerieben. Michael Bienhaus von mb-sub und Tilly Thomas von TillyTec hatten die Nase frühzeitig richtig im Wind. Sie hatten schon kurz nach der Einführung der das Lichtgeschäft revolutionierenden Ostar-LED begonnen, deren Potenzial für den Einsatz in Tauchlampen auszuloten. Sie besorgten sich die knapp drei Zentimeter großen Lichtbomben und begannen damit zu experimentieren.

“Was macht die 'Ostar' eigentlich so besonders“, fragten sich viele Lichtdesigner und Lampenhersteller, als nach der fast stillen Markteinführung nun im Dezember des vergangenen Jahres mit der Preisverleihung der große Medien- und Marketingknaller folgte.

Photon von mb-sub



Die Ostar-LED hat das Zeug dazu in die Domäne konventioneller Lichtquellen einzudringen und sie grundlegend zu verändern. Die Einsatzbereiche reichen von der Raumbelichtung, Architektur- und Effektbeleuchtung über Strahler und Spots bis hin zur gewöhnlichen Taschenlampe. Eine „eierlegende Wollmilchsau“ in Sachen Lux und Lumen? Osram und Siemens Infineon, die sich mit ihren Unternehmensbereichen Licht- bzw. Halbleitertechnik in der „Opto Semiconductors“ zu einem schlagkräftigen Firmenverbund zusammenschlossen, haben mit neuen technischen Ansätzen und neuen Fertigungstechniken der LED zum endgültigen Durchbruch verholfen. Unterstützung

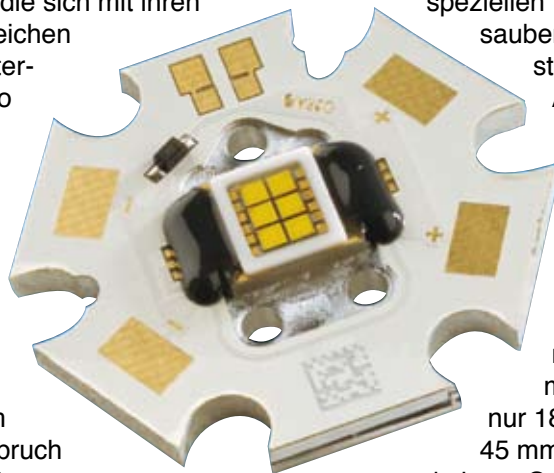
finden sie dabei von den Optik- und Feinmechanikprofis vom Fraunhofer Institut Jena.

Die Bandbreite der Einsatzmöglichkeiten dieses kleinen technischen Wunderwerks ist in der Tat so vielseitig, dass es nicht verwundert, dass Deutschlands

LED 1000 von TillyTec



Tauchlampenhersteller sich schon frühzeitig ans Werk machten. Herausgekommen sind zwei Tauchlampen mit leicht unterschiedlicher Konzeption, die eines gemein haben: Das Herzstück bildet die neue Ostar-LED. Michael Bienhaus von mb-sub hat mit der Photon eine Stablampe für die „boot“ im Gepäck, die in Verbindung mit einem speziellen Reflektor für einen



sauber gebündelten Lichtstrahl mit 10 Grad Abstrahlcharakteristik sorgt. Sie soll Tageslichtfarbtemperatur besitzen und in der Helligkeit einem 50 Watt Halogenbrenner gleichkommen. Das Ganze mit Minimaßen von nur 185 mm Länge und 45 mm Griffdurchmesser und einem Gewicht von wenig

i Begriffserklärungen

Lumen

Die Maßeinheit des Lichtstroms. Der Lichtstrom ist die abgegebene Gesamtlichtmenge einer Lichtquelle. Eine Kerze erzeugt beispielsweise eine Lichtmenge von ca. 13 Lumen. Bei Tauchlampen ist natürlich die Lichtmenge interessant, die die Lampe vorne verlässt, da hier dann sämtliche Verluste eingerechnet sind. Leider geben Hersteller aber meist nur die max. Lichtstärke des Brenners selbst an. Die wirkliche Lichtstärke ist allerdings abhängig von der Qualität des Brenners und der Effizienz der Bündelung.

Lux

Die Maßeinheit der Helligkeit. Lux ist definiert über eine bestimmte Menge Licht (Lumen) pro Fläche. Es gilt $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm pro m}^2$. Die Helligkeit gibt Auskunft bei einer Lampe über deren Reichweite unterwasser. Vergleichbar sind aber nur Brenner gleichen Typs miteinander, da die Reichweite auch vom Farbspektrum einer Lampe abhängig ist, da Wasser Wellenlängen unterschiedlich absorbiert. Helligkeit messbar in ihrer Einheit lux wird erreicht durch eine mehr oder weniger starke Lichtbündelung. In Tauchlampen ist es gewöhnlich üblich eine Lichtbündelung von 8-12° Abstrahlwinkel zu verwenden und bis zu 90° für Fotolichter.

Binning der LED

LEDs unterliegen bei der Fertigung prinzipbedingt einer relativ großen Streuung was ihre Lichtqualität betrifft. Variationen gibt es in der Helligkeit und der Lichtfarbe als Abweichung vom idealen Weiß. Diese Abweichungen werden vom Hersteller in Bins eingeteilt. Es gibt Bins für die Helligkeit und für die Lichtfarbe. Die Farbabweichung ist meist nur eine leichte Nuance zu einer Farbe hin, kann aber auch stark ins bläuliche Abdriften was einer guten Farbwiedergabe natürlich abträglich ist. Die Helligkeit kann bis zu 50% schwanken bei einigen LED Typen.

Farbspektrum der LED

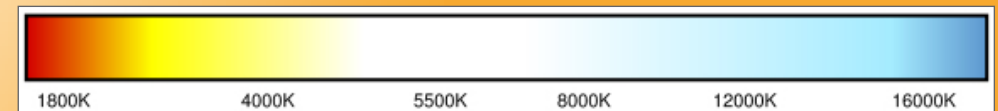
Die weiße LED erzeugt ihr Weiß aus der blauen Farbe ihres Chips und dem gelblichen Phosphor, welches als Mischung im Auge Weiß ergibt (siehe Abb.). Diese Mischung ergibt ein Spektrum mit einem Tal im Bereich der Farbe Zyan. Je höher die Kelvin Zahl der LED desto weniger Rotlichtanteil hat sie meist. Moderne Emittoren haben hier aber inzwischen nachgebessert. Das Spektrum der LED wurde speziell für unser menschliches Auge designed, welches im Bereich Zyan weniger empfindlich ist und schlechter Farben unterscheiden kann. Daher nehmen wir die Schwäche in diesem Farbbereich auch nicht wahr. Dadurch erscheint auch das reflektierte Licht dem Auge annähernd tageslichtähnlich, auch wenn es nur ca. 80% Farbwiedergabe bietet.

Phosphor

Phosphor ist ein chemisches Element, welches durch Strahlung (hier blaues Licht) angeregt selbst Licht ausstrahlt (gelblich). Anwendung u.a. im Röhrenfernseher zur Erzeugung der Farben.

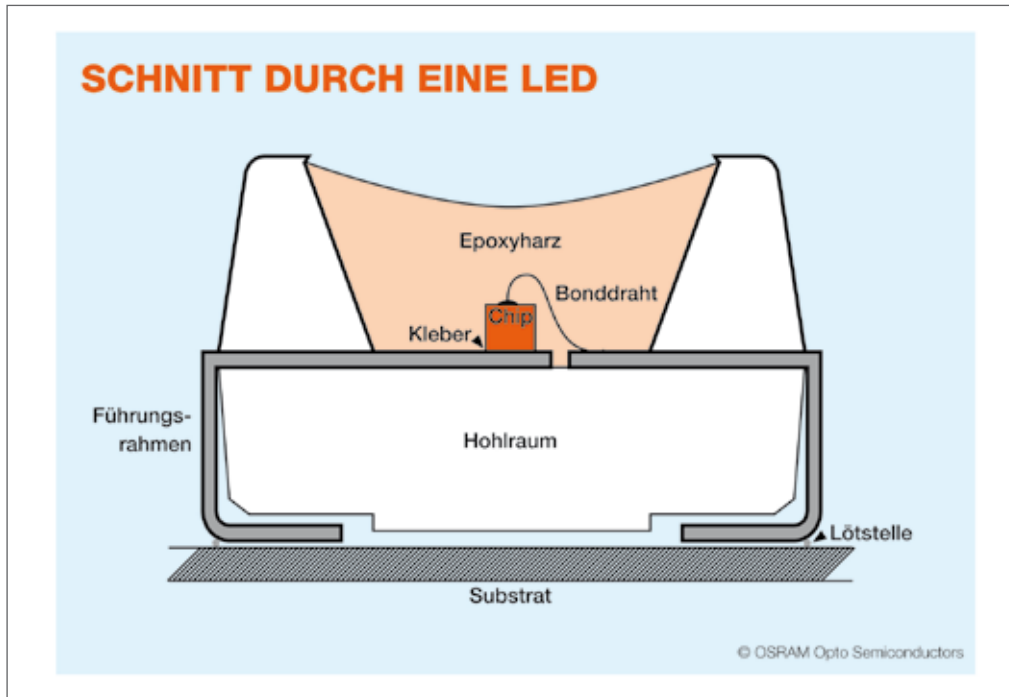
Kelvin

Kelvin ist die Einheit der Lichtfarbe. Sie reicht bei künstlichen Lichtquellen von 2000 °K (rötliches Weiß) über 5500° (Tageslicht/neutral Weiß) bis 10.000°K (blaues Licht). Details siehe Illustration unten.



mehr als 500 Gramm. Innovation hat ihren Preis. In diesem Fall sind es flotte 472 Euro für das gute Teil.

TillyTec hat seine neue, auf der Ostar basierende Lampe natürlich in sein bestehendes Lampensystem integriert. Und zwar in Form eines neuen Lampenkopfes mit dem Namen LED 1000. Als erster Tauchlampenhersteller geht er noch einen Schritt weiter in Richtung Modularität und bietet gleichzeitig die Ostar als Modul für alle seine bestehenden 12V Halogenköpfe an, so dass durch einen einfachen Austausch von Brenner und Reflektor gegen ein spezielles Ostar-Modul samt Reflektor jede alte Halogenlampe sofort auf den modernsten Stand der Technik gebracht werden kann – egal wie alt sie ist! Er benutzt dazu ebenfalls einen etwas größeren, wechselbaren Reflektor für die Lichtbündelung, der durch den Stelling fokussierbar bleibt. Die Lichtleistung ist dadurch vergleichbar mit großen HID Lampen bei nur 22 Watt Verbrauch.



Neben den neuen Lampen der großen Tauchlampenhersteller gibt es schon seit einiger Zeit ein privates DIY Lampenbauprojekt im Web: www.tauchfunzel.de, welches auch bereits auf der neuen Ostar aufbaut und eine beeindruckende Zahl von vier der neuen LED-Typen in einer kleinen und handlichen Lampe vereint. Erwartungsgemäß fällt da auch die gewaltige Leistung von über 3.200 Lumen Lichtleistung aus, die selbst die größten Riffe taghell bekommen sollte und damit selbst die großen HID Lampen in den Schatten stellt.

Alle Lampen profitieren dabei von den guten Lichteigenschaften des neuen LED Multichip-Emitters, der mit 6.000-6.500 Kelvin eine Tageslicht ähnliche Lichtfarbe bietet und dank des besonderen Lichtspektrums einer weißen LED über eine sehr gute Reichweite unter Wasser verfügt. Da kommen selbst die HID Brenner mit ihrer bläulichen Lichtfarbe und deutlich schlechterer Farbwiedergabe nicht mehr mit.

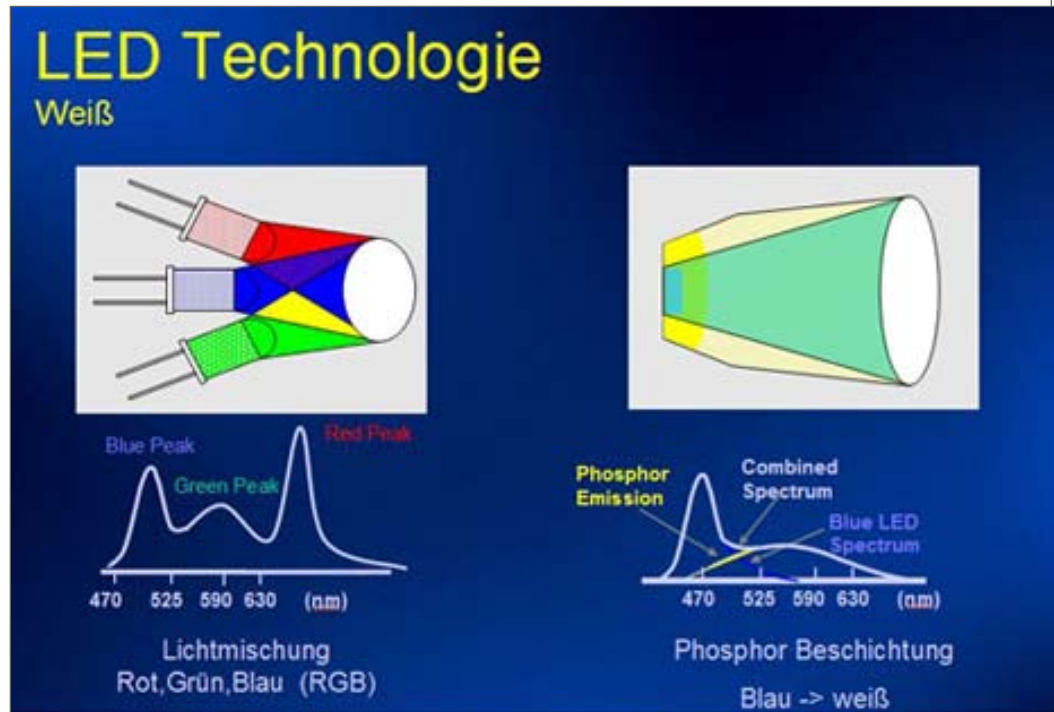
Aber wie kam es überhaupt zu dieser neuen Super-LED, die gerade in Begriff ist, nicht nur die Tauchlampenbranche zu revolutionieren? Was steckt hinter ihrer Leistung? Werfen wir dazu zunächst einen Blick auf die Anfänge der weißen LED und deren Eigenschaften: Angefangen hat alles mit der Entdeckung der blauen Leuchtdiode. Sie ist auch heute noch die Basis der weißen Hochleistungs-LED. Damals hatte eine Leuchtdiode noch eine Lichtleistung von weniger als 0,1 Lumen pro Watt und taugte bestenfalls um Schaltzustände in Instrumenten anzuzeigen. Schnell war man in der Lage die Effizienz des Halbleiters zu erhöhen und gleichzeitig

auch die Lebensdauer der sie umgebenden Materialien. Silikon spielte dabei eine entscheidende Rolle, wodurch eine Lebensdauer von über 100.000 Stunden erreicht wurde – das entspricht 10 Jahren Dauerlicht. Trotzdem altern LEDs sehr langsam, indem im Halbleiter vorhandene Defekte immer größer werden. Sie verlieren kontinuierlich ca. 30 Prozent ihrer Leuchtkraft nach der vom Hersteller angegebenen Lebensdauer. Im Gegensatz zu HID oder Halogen, fallen sie nach ihrer Lebensspanne nicht einfach aus, sondern brennen noch lange, lange weiter - werden dabei aber dunkler. Sie sind das robusteste Leuchtmittel, das wir derzeit kennen. Die ersten weißen LEDs blieben nicht lange so „funzlig“ und haben sehr schnell durch immer kürzere Innovationszyklen an Effizienz zugelegt. Inzwischen hat man eine blaue LED entwickelt mit einer Strom-Umwandlungseffizienz von gewaltigen 70 Prozent

(Cree Inc.). Die Phosphor-Effizienz wird bei der weißen LED noch abgezogen, so dass wir im Moment bei der hellsten LED im besten Fall (Cree, XR-E) auf cirka 120 Lumen/Watt kommen. Der theoretisch maximale Wert liegt bei 320 Lumen aus einem Watt Strom, wenn der gesamte Strom in Licht umgewandelt und keine Wärme erzeugt würde. Lange Zeit wusste man nicht einmal, warum gerade die blaue LED so effizient ist. Die Grundlagen dazu werden immer noch erforscht und fließen in die Produktion jeder neuen Generation mit ein. Den Markt der High Power LEDs hat letztendlich Lumiled mit ihrer Luxeon-Baureihe begründet. Sie waren die ersten LED-Macher, die bis zu 100 Lumen aus drei Watt erzeugen konnten (Luxeon III) und somit auch Tauchlampen möglich machten, die man Ernst nehmen konnte. Vorher gab es nur Sammlungen aus vielen kleinen 5mm-LEDs, die nur ein breites, diffuses Licht mit sehr wenig

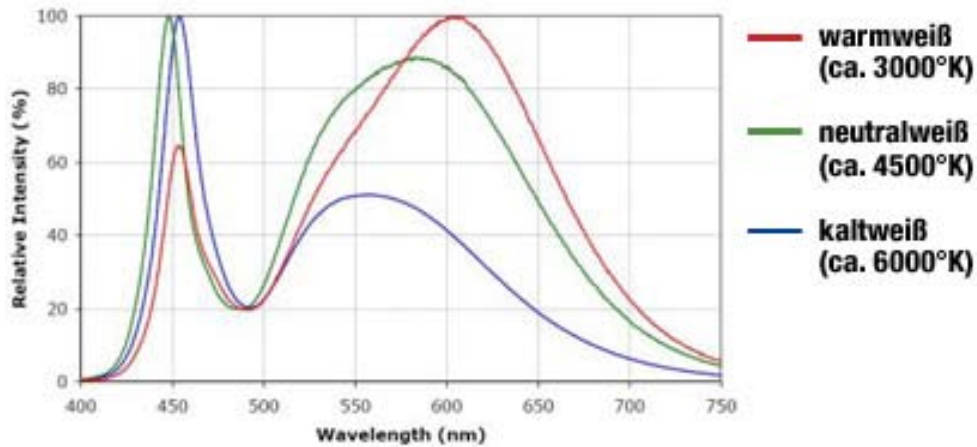
Leuchtkraft abgeben – sie haben in Tauchlampen eigentlich nichts mehr verloren.

Wie aber erzeugt man das weiße Licht mit einer LED? Das Prinzip des Fernsehers ist es, weiß aus den drei Grundfarben rot-grün-blau durch additive Farbmischung zu erzeugen. Man könnte nun auf die Idee kommen, das



Gleiche mit LEDs zu versuchen und erhält auch tatsächlich weißes Licht für das Auge. Strahlt man nun ein farbiges Objekt damit an, so stellt man fest, dass die meisten Farbnuancen einfach verschluckt werden. Das liegt an der Tatsache, dass farbige LEDs nur in einem sehr schmalen Bereich des sichtbaren Lichtspektrums strahlen. Bereiche, die von den drei RGB-LEDs nicht abdeckt sind, werden nicht wiedergegeben. Die Farbwiedergabe ist so sehr schlecht. Pfiffige Ingenieure haben trotzdem diesen Weg gewählt um eine Lichtquelle zu entwickeln, die in punkto Farbwiedergabe alle anderen in den Schatten stellt. Sie wurde ausschließlich entwickelt und gebaut, um das Gemälde der Mona Lisa im Louvre mit möglichst perfekter Farbwiedergabe zu erleuchten und erreicht eine Wiedergabequalität von gewaltigen

95% gegenüber dem Tageslicht. Möglich wurde dies, indem man mehrere unterschiedliche LED- Farben zu einer weißen kombinierte. Hier waren es sieben LEDs in einer geheim gehaltenen Mischung. Allerdings geht man bei der weißen LED nicht diesen sehr aufwändigen Weg. Basis ist immer ein blauer LED-Chip, der mit einer speziellen Phosphormischung dünn beschichtet wird. Angeregt durch das blaue Licht leuchtet der Phosphor in einem breiten Bereich des Lichtspektrums und ergibt in unserem Auge zusammen mit dem Blau das weiße Licht. Daher ist beim Spektrum der weißen LED immer der Peak im Blauen und der breite Phosphor „Berg“ charakteristisch. Durch Variationen der Phosphordicke können nun LEDs mit mehr oder weniger Rotanteil im Spektrum erzeugt werden.



Man gliedert die weiße LED daher in warmweiß (rot), welches dem bekannten Halogenlicht entspricht, neutralweiß (grün) und kaltweiß (blau). Leider nimmt die Effizienz der LED mit steigendem Rotlichtanteil immer mehr ab, sodass für

eine Tauchlampe, bei der die Lichtstärke primär wichtig ist, meistens der kaltweiße Typ mit dem besten Lumen-pro-Watt-Verhältnis zum Einsatz kommt. Dafür haben die warmweißen Typen die beste Farbwiedergabe und sind erste Wahl für

das Wohnzimmer der Zukunft. Für Tauchlampen allerdings brauchen wir möglichst viel Licht und auf diesem Sektor hat sich im letzten Jahr sehr viel getan. Vorreiter eine neuen LED-Generation war Cree Inc. mit ihrem überaus effizienten blauen Chip, dem EZ1000. Er steckt in Cree's eigener XR-E LED. Auch in den Mitbewerberlampen von Seoul (P4) und Edison (KLC8) wird diese LED verbaut. Die Abweichung in der Konstruktion ist nur die eigene Phosphormischung. Es ist daher nicht verwunderlich, dass die Lichtausbeute dieser im Moment hellsten Single-Chip-Emitter relativ vergleichbar ist. Die Revolution liegt viel mehr darin, dass Cree in der Lage war, die Effizienz seines blauen Chips dermaßen zu steigern, dass der Platzhirsch Lumiled mit seinen Luxeons mal eben um 200% überboten wurde. Auf einmal liefert also eine 3W-LED das doppelte Licht, überholt im Handstreich die Halogentechnik und zieht mit HID gleich! So sind die neuen Emitter eine optimale Basis für sehr helle Backuplampen und liefern mit guter Optik durchaus Hauptlampenqualitäten mit bis zu 200 Lumen echter Lichtleistung. Aber auch Lumiled schläft nicht und hat mit seiner Rebel-LED nachgelegt, ohne bislang den Anschluss zu finden.

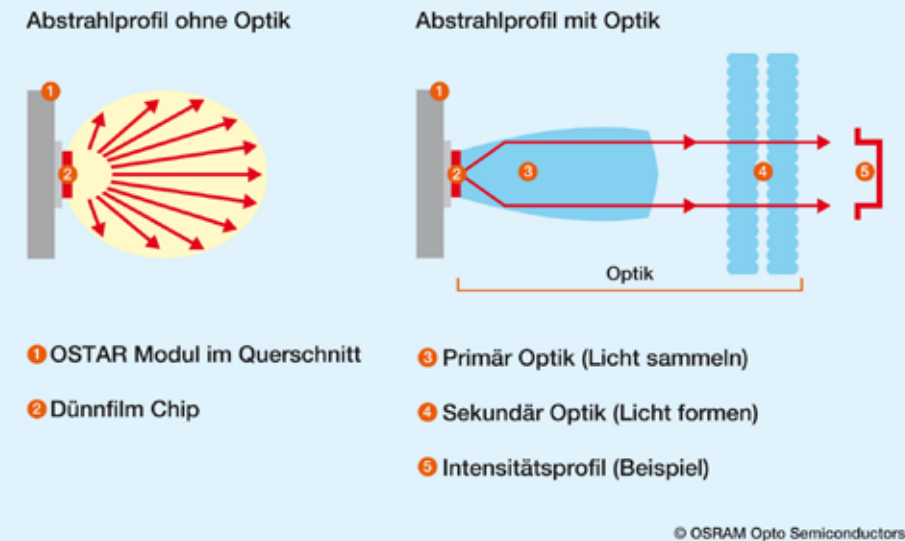
Typs können bis zu 80 Lumen liegen – beim Einkauf knausern, heißt also am falschen Ende sparen. Und hat man dann doch einen hellen Typ in der Lotterrie erwirbt, steht und fällt die Lampe mit ihrer Optik. Die bislang ausschließlich verwendeten Plastik-Optiken (TIR Optik) haben prinzipbedingt deutliche Verluste bei der Lichtbündelung von beobachteten 15-50%. Typisch ist ihr diffuser Hotspot mit wenig bis keinem Streulicht. Hier zeigen die neuen Ostar-Lampen, dass es anders geht und setzen dabei auf bewährte Reflektortechnik, speziell angepasst an das Abstrahlverhalten einer LED. Erreicht wird dadurch die typische Lichtverteilung eines Reflektors mit einem eng fokussierten, hellen Hotspot und breiter Corona für eine brauchbare Seitenausleuchtung. Das Vorurteil der diffusen LED ist damit ausgeräumt. Ein guter Reflektor liefert einen klaren Leuchtpunkt, fokussiert sauber und verfügt über eine unschlagbare Effizienz von über 98%.

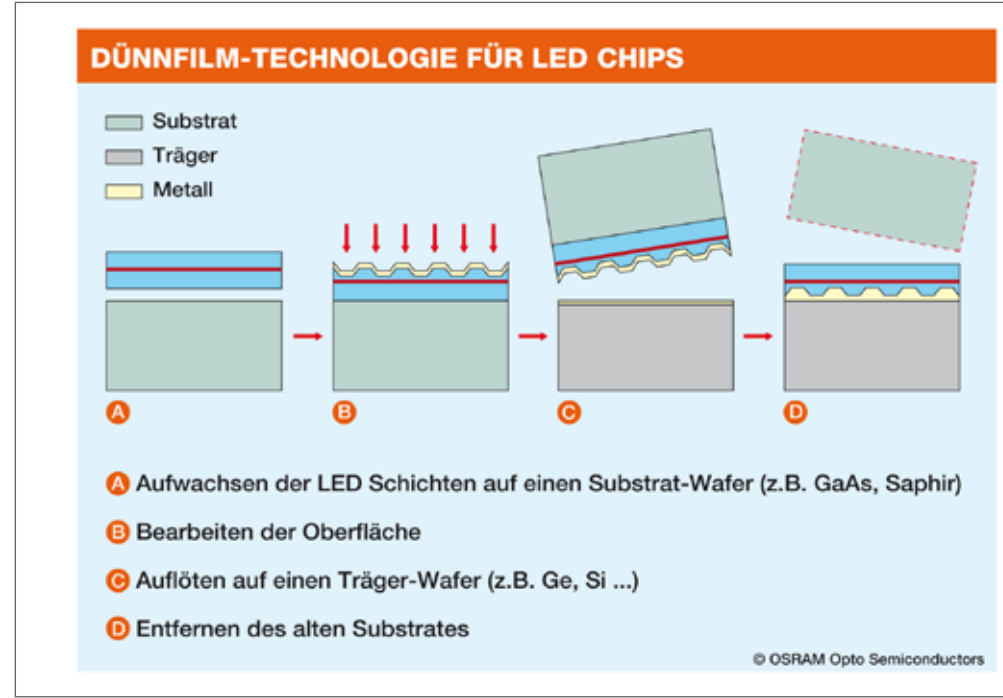
Einen ähnlichen Schritt nach vorne hat Osram mit der Ostar getan. Im Vergleich zu den Vorgängertypen haben die Entwickler es geschafft, die Effizienz mehr als zu verdoppeln und haben die Ostar damit ebenfalls auf HID-Niveau gehoben. Sie gingen andere Wege zu ihrem Ziel: Osram perfektionierte die Dünnschichttechnik. Der Ostar verhalf ihre einzigartige Produktionsweise zu diesem Durchbruch, der vom Bundespräsidenten mit dem Zukunftspreis 2007 bedacht wurde.

Aber die beste LED nützt nichts, solange ein schlechtes Binning gewählt wurde oder die Plastikoptik nichts taugt und so das meiste Licht verpufft. Binning nennt man bei der LED eine Klassifizierung nach Leuchtstärke und Farbabweichung vom idealen Weiß. Der Hersteller gibt stets nur die maximal hellste Helligkeitsstufe für seinen LED-Typ an (z.B. Seoul P4 mit 240 Lumen). Zwischen der hellsten und dunkelsten LED des gleichen

Der Trick dieser LED besteht darin, dass hinter dem emittierenden Chip eine reflektierende Metallschicht aufgebracht wird, die das sonst verlorene rückwärtige

EINE MASSGESCHNEIDERTE OPTIK: OPTIMALE LICHTNUTZUNG





Licht mit nach vorne wirft und nutzbar macht. Das Ganze kombiniert Osram mit seiner bereits bewährten Packaging-Technik und integriert sechs dieser Hochleistungs-LED Chips in einem Emitter bei einer Packungsdichte, die in der Industrie ihresgleichen sucht. Eine Packungsdichte, die schwer zu meistern ist, da hier nicht nur die Wärme eines Chips nach hinten abgeführt werden muss, sondern von sechs Chips und deren Wärmequellen dicht nebeneinander. Dies alles führt trotz der relativ großen, leuchtenden Fläche für eine LED zu einer ausgezeichneten Leuchtdichte auf kleinstem Raum. Eine schärfere Bündelung auf weitaus kleinerer Fläche, wie sie für HID oder gar Halogen benötigt wird, ist das Ergebnis. Die Ostar steht damit weltweit bei den Multichip-Emittern einsam an der Spitze, wenn sehr viel Licht

auf sehr kleinem Raum benötigt wird. Ein Hightech-Produkt „Made in Germany“!

Zusammen mit einem sehr farbstabilen und farblich homogenen Phosphor erzeugt die Ostar bis zu 1.120 Lumen aus 15W Leistung und das mit einer Farbwiedergabequalität von 80 Prozent, die man von LEDs bislang nicht kannte. Vorbei sind die Zeiten der blaustichigen s/w-Filme unter Wasser. Im Vergleich dazu schafft die HID-Technik gerade mal im Schnitt 70 Prozent oder einen CRI-Index von 70.

Uns steht mit der Ostar ein Leuchtmittel für Tauchlampen zur Verfügung, welches der etablierten HID- Technik mindestens ebenbürtig ist, ohne deren Nachteile zu haben: kurze Lebensdauer, Stoßanfälligkeit, Warmlaufphase oder Ver-

schleiß beim Ein- und Ausschalten. Der Brennerwechsel dürfte mit diesen LEDs der Vergangenheit angehören und ist in keiner Lampe vorgesehen. Das Ganze wird verpackt in bewährte Reflektortechnik und wird damit fokussierbar, um sein Licht an den Einsatzzweck anpassen zu können.

Jedoch gehört zu einem fast perfekten Brenner auch eine passende Energiequelle. Und hier gibt es ähnlichen Nachholbedarf. Die Technik in im Akkubereich schreitet nicht so schnell vorwärts wie bei der LED und doch sind gerade hier in den letzten Jahren erstaunliche Fortschritte gemacht worden, die zusammen mit einem Brenner wie der Ostar die fast perfekte Tauchlampe ergeben könnten und uns

der eingangs erwähnten Idealvorstellung recht nahe bringen.

Werfen wir einen kurzen Blick auf die Entwicklung des Akkus in Tauchlampen: In den ersten Tauchlampen finden wir Bleiakkus oder Nickel-Cadmium-Zellen. Beide Akkutypen haben bis heute überdauert, haben aber eines gemeinsam – ihre relativ niedrige Kapazität. Der Bleiakku ist dabei der schwerste Akkutyp und findet nur noch Verwendung, weil



NC-Akkus sind Auslaufmodelle

er selbst in größeren Kapazitäten billig zu ersetzen ist. Ansonsten hat er keine Vorteile. Nickel-Cadmium gilt auch heute noch als robuster Akkutyp, besonders in der D-Zellen-Ausführung. NC-Akkus haben aber eine umweltfeindliche Chemie und werden spätestens ab dem 26. September diesen Jahres in der EU verboten sein. Dann wird die Suche alter Tauchlampenbesitzer nach passendem Ersatz losgehen. Darüber hinaus leiden

NC-Akkus unter einem, mehr oder weniger ausgeprägten Memoryeffekt, der sich bei häufigem Wiederaufladen im teilentladenen Zustand bemerkbar macht. Abhilfe ist hier, den Akku gelegentlich komplett zu entladen.

Moderner, aber auch nicht völlig unproblematisch, sind die weit verbreiteten Nickel-Metall-Hybrid-Zellen, kurz NiMH. Sie stellen eine Weiterentwicklung des NC-Akkus mit deutlich umweltfreundlicheren Materialien dar.

Vorteil dieses Akkus ist seine höhere Kapazität gegenüber NC.

Viel Power benötigt große Akkutanks



Dieser Akku bringt ebenso Probleme für uns Tauchlampenbesitzer mit sich, wie ein schwach ausgeprägter Memoryeffekt, Kälteempfindlichkeit und eine begrenzte Lebensdauer in Jahren und Ladezyklen. Die allerwenigsten Akkus schaffen auch nur die Hälfte der Herstellerangabe von 1.000 Zyklen. Der NiMH will gepflegt sein und wird optimalerweise voll gelagert. Er darf nie tiefentladen werden, sonst nimmt er Schaden durch Kapazitätsverlust oder erleidet den Totalausfall.

Der nächste Schritt in der Evolution des Akkus stellt die Lithium-Ionen-Technik dar. Man kennt sie unter dem Begriff Li-Ion. Gemeint ist hier der weit verbreitete Lithium-Kobalt-Typ. Der Lithium-Kobalt-Akku (Li-Co) ist bereits ein großer Schritt in Richtung optimaler Energieversorgung, aber auch er leidet unter ein paar Problemen, die ihn immer noch pflegebedürftig machen. Seine Vorteile sind klar die derzeit höchste Kapazität gerechnet auf sein Volumen und das bei geringem Gewicht. Im Gegensatz zu NiMH oder NC leidet der Li-Ion nur unter einer sehr niedrigen Selbstentladung. Trotzdem sollte man ihn nicht lange im voll geladenen Zustand im Regal liegen lassen, denn ein Li-Co-Akku hat eine Lebenserwartung von ca. 3-5 Jahren und die richtet sich nach dem Ladezustand bei Lagerung und der Umgebungstemperatur. Sie beginnen direkt nach der Produktion zu altern, egal ob sie benutzt werden oder nicht. Darüber hinaus kann der Akku hohe Temperaturen und einen hohen Ladezustand nicht leiden und quittiert dann früher seinen Dienst. Daher wird Li-Ion oder eben Li-Co am besten bei 50 Prozent Ladezustand gelagert.

Das größte seiner Probleme ist allerdings die thermische Instabilität von Li-Co. In den Medien hörte man schon von Rückrufaktionen von Sony Li-Ion-Akkus wegen Brandgefahr. Li-Co neigt zum thermischen Durchgehen, wenn eine bestimmte innere Temperatur überschritten wird (150° C) oder der Akku stark überladen wird. Das kann zur Folge haben, dass im Akku eine nicht kontrollierbare chemische Kettenreaktion zu einem explosionsartigen Brand führt, der mit herkömmlichen Löschmitteln nicht beherrschbar ist (sehr anschaulich zu sehen bei youtube: Stichwort: Li-Ion). Dem wirkt man mit strikten Kontroll-Elektroniken (neudeutsch „PCB“) entgegen, die Ladezustand, Entladung, Zellbalance und Temperatur überwachen und gegebenenfalls den Akku für immer trennen. Daher gibt es nur einen Akku-Hersteller (Sanyo), der seine Zellen für Tauchlampen freigibt, und dies auch nur nach einer aufwändigen Zertifizierung der Lampenelektronik. Die Gefahr, dass die Lampe zur Handgranate wird, ist sonst einfach zu hoch. All dies kann natürlich nicht vor mechanischen Schäden der Li-Ion-Zellen schützen oder vor Produktionsfehlern - wie bei Sony passiert. Einen internen Schaden der Zelle kann die Elektronik nicht erkennen. Aus diesen Gründen wurde der Li-Ion-Akku zur Lithium-Mangan-Zelle weiterentwickelt und man hat das problematische Kobalt gegen ein Mangan-Spinell ausgetauscht. Damit ist der Temperatur-



Wie es begann. Der Bunsen Ur-Akku

punkt für ein unkontrolliertes Durchgehen auf 250° C verschoben. Dies bietet einen guten Kompromiss aus Betriebssicherheit auf Kosten der Kapazität, die gegenüber Li-Co etwas geringer ausfällt aber größer ist als NiMH ist. Dafür bietet das Mangan-Spinell Robustheit mit ungewöhnlich hohen Lade- und Entladeströmen. In punkto Pflegeleichtigkeit und Lebensdauer gilt hier das Gleiche wie bei Li-Co Akkus. Lagerung am besten bei 50 Prozent und hohe Temperaturen vermeiden. Der Akku ist auch bei sehr niedrigen Temperaturen einsatzbereit.

Überhaupt nichts haben Lithium-Polymer-Akkus in geschlossenen Tauchlampen verloren, denn diese sehr leichte Akkutechnik aus dem Modellbau neigt

bereits bei höherer mechanischer Beanspruchung (z.B. Fall der Lampe auf den Boden) zum thermischen Durchgehen.

Aufsehenerregend ist im Moment eine neue Lithium-Variante, die auf Eisen-Phosphor basiert, kurz LiFePO₄. Dieser neue Akkutyp kommt unserer Idealvorstellung bereits deutlich näher, da er einige Probleme der alten Lithium-Tech-

nik nicht mehr aufweist. Seine Kapazität ist im Moment gleichauf mit Lithium-Mangan, er basiert jedoch auf neuester Nanotechnologie, die diesem Akku eine bislang nicht gekannte Robustheit verleiht. So ist er in der Lage, extrem hohe Lade- und Entladeströme spielend zu verkraften. Eine Ladezeit von nur 15 Minuten ist mit diesem Akku machbar! Er treibt dank seiner sehr hohen Stromabgabe bereits Elektrosporthwagen mit vielen hundert PS Leistung an. Bis zu 100 Ampere pro Zelle sind zulässig. Was uns Taucher aber mehr interessiert, ist seine hohe Eigensicherheit – ein thermisches Durchgehen gibt es nicht mehr – die Zellen sind laserverschweißt. Dieser Akku verzichtet gänzlich auf Schutzschaltungen, da weder Überla-

dung noch Tiefenentladung dem Akku etwas anhaben können. Er verliert noch nicht einmal nennenswert an Kapazität bei dieser Folter. Seine Lebensdauer ist mit über 10 Jahren spezifiziert und Tests haben ergeben, dass weit über 2.000 Ladezyklen praktisch machbar sind! Mit etwas Glück muss man diesen Akku, wie seine LED, nie wieder austauschen. Dies alles hat natürlich seinen Preis, der sich auf lange Sicht jedoch rechnet. Als wäre das noch nicht aufregend genug, zeigt sich am Horizont bereits die nächste Technologie in Form des Lithium-Titanat-Akkus, der die Eisen-Phosphor-Variante noch einmal in punkto Kapazität und Lebenserwartung überbieten soll: Prognostiziert wird eine Lebensdauer von 20 Jahren. Über 5.000

Ladezyklen soll er überstehen und nach fünfminütiger Ladesequenz bereits zu 90 Prozent voll sein! Bei soviel visionären Ansätzen bleibt nur noch die Frage, ob wir denn in Zukunft überhaupt noch intakte Riffe zum Tauchen finden werden. Hinsichtlich dieser Frage scheint die Innovationsfreude leider eher gedämpft zu sein. HA, ML

