



14
OLED

Makrofol® sorgt für mehr Energieeffizienz bei OLEDs

Für die **Extrapolation** Licht



Organische Leuchtdioden, kurz OLEDs, sollen künftig Wohnzimmer und sogar ganze Häuserfassaden erstrahlen lassen. Denn die flachen Winzlinge ermöglichen völlig neue Lichtkonzepte. Mit innovativen Kunststoffen sorgen Forscher von Bayer MaterialScience dafür, dass die Lampen der Zukunft besonders hell und energieeffizient leuchten. Eine hauchdünne Makrofol®-Folie aus Polycarbonat verhilft den OLEDs zudem zu einer längeren Lebensdauer.

Licht bedeutet Leben – und es ist für die Menschheit so wichtig wie frische Luft und sauberes Wasser. Schon Feuer und Glühbirne haben die Welt nicht nur heller gemacht, sondern auch einen rasanten Technologiesprung ausgelöst. Und die nächste Generation leuchtet bereits am Horizont: OLED heißt das Licht der Zukunft. Das Buchstabenkürzel steht für „Organische Licht emittierende Diode“ – also Bauteile aus ultradünnen, organischen Schichten, die beim Anlegen einer Spannung Licht aussenden. Die Flächenstrahler bieten völlig neue Designmöglichkeiten: Künftig könnten Lichtkacheln an den Decken Büros und Wohnzimmer erhellten. Die neuartigen Leuchtdioden sollen aber auch Lichttapeten und -vorhänge sowie raumgroße Fernsehbilder mög-

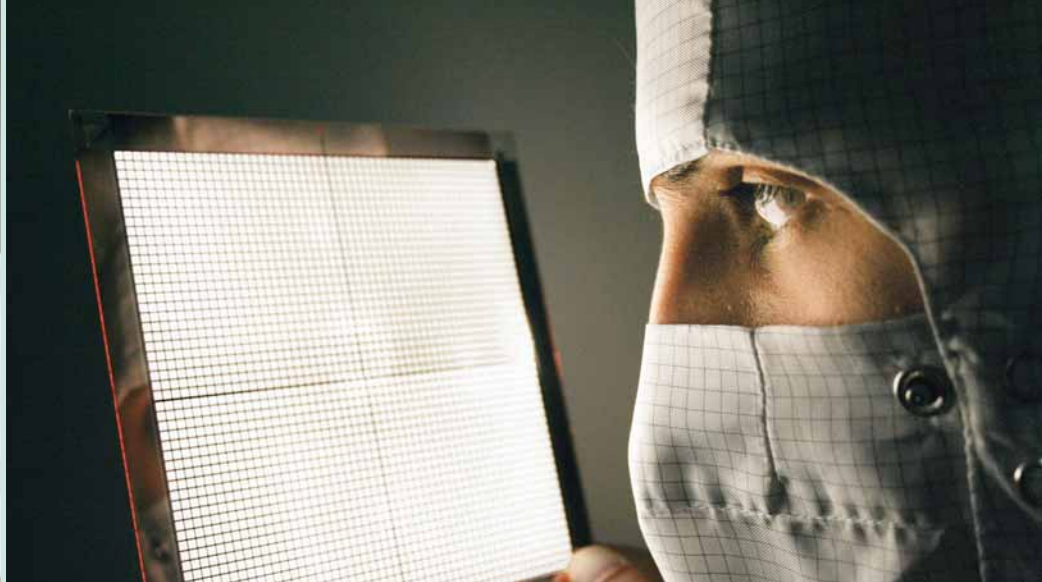
lich machen. Möbeldesigner träumen bereits davon, Regale, Schränke und sogar Tische damit auszustatten. Und die hauchdünnen Leuchten lassen sich sogar als transparente Lichtquellen in Fensterscheiben und Spiegel integrieren oder können ganze Häuserfassaden in gigantische Plakatwände verwandeln.

Weltweit acht Milliarden Glühbirnen ersetzen

Aber noch ist es nicht ganz so weit. Zunächst sollen Energiesparlampen die altbewährte Glühbirne ersetzen. Nach Angaben der Initiative Photonik müssen bis 2020 rund acht Milliarden Glühlampen weltweit ausgetauscht werden. Aber die neuen Lichtquellen sind mit zahlreichen Nachteilen behaftet, beispielsweise

Licht mit mehr Energieeffizienz: Die Bayer-Materialexpertin Cally Lim (Foto li., li.) prüft eine Solarzelle der dritten Generation. Die Stromlieferanten der Zukunft sind hauchdünn, biegsam und werden direkt auf eine Folie gedruckt, die Bayer-Mitarbeiter Wilfredo Aguilar (Foto li., re.) begutachtet. Innovative Kunststofffolien von Bayer MaterialScience sollen jetzt auch bei organischen Leuchtdioden – kurz OLEDs (Foto re.) – für eine noch effizientere Lichtausbeute sorgen.





Werkstoffexperte: Dr. Heinz Pudleiner (Foto li.) prüft die Lichtdurchlässigkeit einer Makrofol®-Folie. Die Folien sorgen beispielsweise dafür, dass die OLED von Osram (Foto re.) künftig noch mehr Licht emittiert und besonders energieeffizient leuchtet.

dem Quecksilbergehalt, der eine Entsorgung erschwert. Eine gute Alternative dazu wären OLEDs: Sie strahlen ein breites Spektrum an Wellenlängen und zudem diffuses Licht aus. Das kommt dem Sonnenlicht besonders nah und erscheint unserem Auge sehr angenehm und natürlich. Bei Farbwiedergabe und Beleuchtungsstärke zeigen die neuen Flächenstrahler eine Mischung, die das Wohnzimmer in angenehmem Licht erstrahlen lässt. Denn unser Sehkomfort hängt von verschiedenen Aspekten ab: zum Beispiel vom Zusammenspiel aus Licht und Schatten, der Leuchtrichtung und der Helligkeitsverteilung.

OLED: Bunters Lichtsandwich im Nanoformat

Branchenkenner erwarten zwar schon für 2015 Milliardenumsätze bei den Lampen der Zukunft, aber noch liegen die Herstellkosten sehr hoch: „Um OLEDs erschwinglich zu machen, muss die Produktionstechnik optimiert werden. Wir arbeiten zudem daran, einzelne Bauteile und Materialien zu verbessern“, erklärt Dr. Benjamin Krummacher, Ingenieur und Produktentwickler für OLEDs bei Osram in Regensburg.

Im Querschnitt erinnern die organischen Leuchtdioden an ein Sandwich. Sie bestehen aus mehreren Schichten, die zwischen zwei Elektroden eingebettet sind: der positiv geladenen Anode

und der negativ geladenen Kathode. Eine dünne Schicht des keramischen Materials Indium-Zinn-Oxid, kurz ITO, bildet den Pluspol. Diese stromleitende Keramik ist auf eine Glasplatte aufgebracht, durch die das Licht nach außen dringt. Den Minuspol bildet eine Aluminiumschicht. Das Herzstück der OLED ist ein dünner Film aus Leuchtstoffen – spezielle organische Moleküle –, der das Licht aussendet: Er ist nur wenige Hundert Nanometer dick und besteht aus drei unterschiedlichen Farbschichten: Rote, grüne und blaue Lagen – sogenannte Emittersysteme – werden kombiniert, damit die neuartigen Leuchtdioden weißes Licht abstrahlen. Unter elektrischer Spannung leuchtet dieser Film von selbst. Der Farbcharakter des Lichts lässt sich durch die richtige Mischung der drei Schichten stufenlos einstellen.

Zusammen mit den Osram-Entwicklern und seinem Team will Dr. Heinz Pudleiner, Chemiker und Projektleiter im Bereich Substrates bei Bayer MaterialScience in Krefeld, den organischen Leuchtdioden zum Durchbruch verhelfen. Denn die modernen Leuchten haben derzeit noch einen entscheidenden Nachteil: Sie schöpfen ihr volles Leistungspotenzial längst nicht aus: „Bisherige OLEDs strahlen nur rund 25 Prozent ihres Lichts nach außen“, erklärt Pudleiner. Der Grund für die mangelhafte Leistungsbilanz liegt im Aufbau

der OLEDs: Bislang ist Glas als Träger für die aktiven lichtemittierenden Schichten unerlässlich. Zudem schützt es die leuchtenden organischen Moleküle, die gegenüber Sauerstoff und Wasserdampf sehr empfindlich sind.

Mit dem Werkstoff Glas handeln sich die Diodenhersteller aber ein Problem der Optik ein: die Lichtbrechung. Wenn Licht von einem optischen Medium in ein anderes übertritt – zum Beispiel vom OLED-Glas in die Luft –, erfährt es eine Richtungsänderung: Der Lichtstrahl wird also gebrochen und abgelenkt.

Makrofol® setzt die OLEDs ins richtige Licht

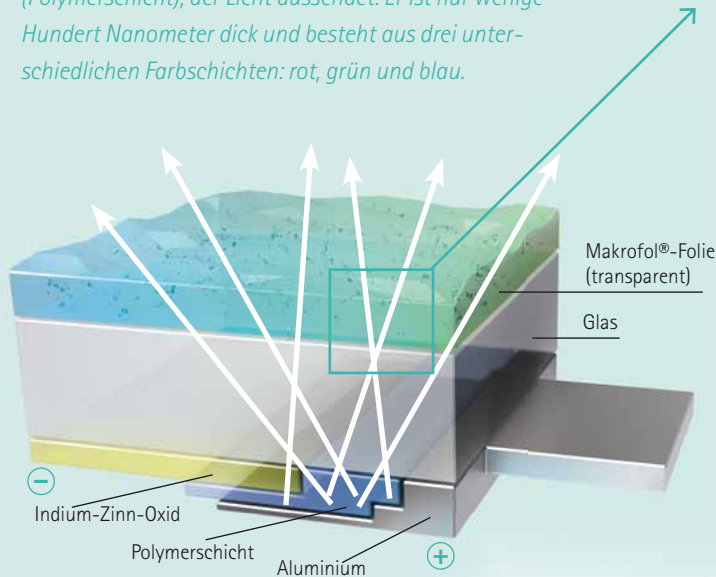
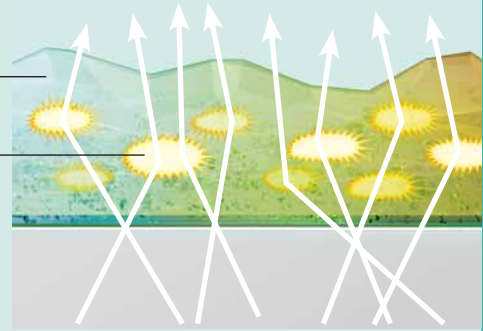
Grund für die Richtungsänderung ist die unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts in verschiedenen Medien: „Glas und Luft haben einen unterschiedlichen Brechungsindex“, erklärt Klaus Meyer, Produktentwickler bei Functional Films von Bayer MaterialScience in Dormagen. „Das ist zwischen Wasser und Luft ganz ähnlich. Taucht man einen Stock in einen Teich, scheint dieser an der Grenzfläche einen Knick zu haben aufgrund der unterschiedlichen Lichtbrechung der Medien“, so der Maschinenbauingenieur. Wenn die organischen Moleküle also im Innern der OLEDs leuchten, werden die Strahlen an der Grenzfläche zwischen Glasschicht und Luft reflektiert und wieder

Die Lichtstreuer

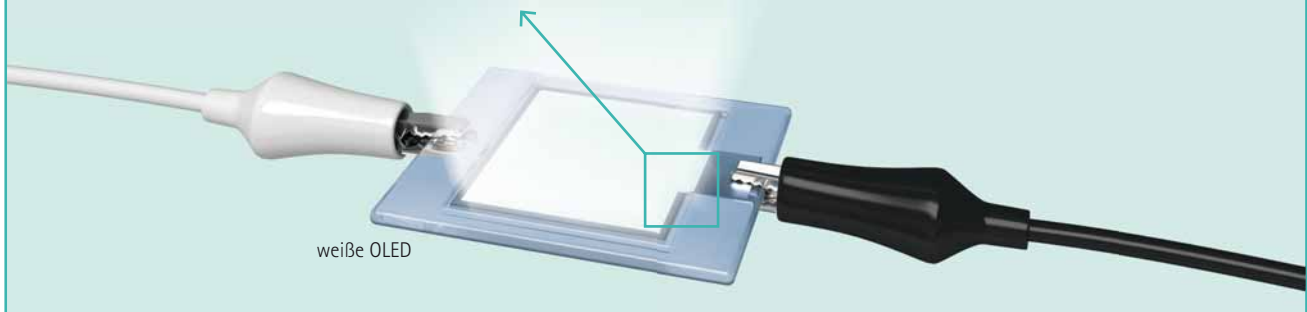
Eine OLED besteht aus mehreren Schichten, die zwischen zwei Elektroden eingebettet sind: Eine dünne Schicht des keramischen Materials Indium-Zinn-Oxid, kurz ITO, bildet den Pluspol. Den Minuspol bildet eine Aluminiumschicht. Das Herzstück der OLED ist ein dünner Film aus speziellen organischen Molekülen (Polymerschicht), der Licht aussendet: Er ist nur wenige Hundert Nanometer dick und besteht aus drei unterschiedlichen Farbschichten: rot, grün und blau.

Mikrostruktur aufgeprägt auf Makrofol®-Folie

Streuadditive



Glas und Luft haben einen unterschiedlichen Brechungsindex. Deswegen wird ein Teil des ausgesendeten Lichts in die OLED zurückgeworfen (das Licht ist dann „verloren“). Durch die Makrofol®-Folie kann mehr Licht ausgekoppelt werden. Dafür sorgen einerseits eine Mikrostruktur auf der Oberfläche und andererseits die Streuadditive, die in der Folie eingebaut sind. So wird mehr Licht abgestrahlt – die OLED leuchtet heller.



zurück ins Innere geworfen. Ein großer Teil kann das Bauteil gar nicht verlassen.

Um das volle Potenzial der OLEDs ausschöpfen zu können, müssen die Lichtstrahlen also aus ihrem gläsernen Gefängnis befreit werden. „Aber die hervorragenden Barriereigenschaften von Glas lassen sich nur schwer ersetzen“, erklärt Pudleiner. Und auch die erste OLED-Lichtkachel Orbeos® von Osram benötigt den transparenten Träger. Die aktive Schicht der OLED hat eine Dicke von 500 Nanometern und misst damit gerade einmal ein Hundertstel der Dicke

eines menschlichen Haares. „Der Rest ist sozusagen Verpackung. Könnte man also auf die Glasschicht verzichten, ließen sich die organischen Leuchtdioden noch wesentlich dünner produzieren“, so Krummacher.

Deshalb haben die OLED-Experten von Osram im Mai 2008 einen Entwicklungsvertrag mit den Materialforschern von Bayer geschlossen. Mit einer hauchdünnen Makrofol®-Folie lenken Pudleiner und sein Team das Licht der organischen Dioden in die richtigen Bahnen. Aus dem Bayer-Polycarbonat

Makrolon® haben sie eine Spezialfolie entwickelt, die auf die Glasschicht geklebt wird, und den Weg des Lichts verlängert. So sorgt die neuartige Kunststoffschicht dafür, dass die Strahlen nicht von der OLED verschluckt werden. „Durch die nur 300 Mikrometer dicke Folie erreichen wir, dass mehr Licht nach außen dringt. Die Ausbeute steigt damit um bis zu 60 Prozent“, sagt Pudleiner. Statt wie bisher mit einer Leuchtdichte von 1.000 Candela pro Quadratmeter strahlen die OLEDs jetzt mit 1.600 Candela pro Quadratmeter. Das ist ein



Hightech-Licht von der Rolle: Erkan Bozkurt beobachtet, wie auf einer Extrusionsanlage (Foto li.) die hauchdünnen Makrofol®-Folien für die OLEDs hergestellt werden. Wie sich erhöhte Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf den Alterungsprozess der leuchtenden Folien auswirken, prüft Alexander Pogorzalek in einer speziellen Testkammer bei Bayer MaterialScience in Leverkusen (Foto re.).

Maß dafür, was der Mensch als Helligkeit wahrnimmt. Für die Leistungssteigerung der organischen Leuchtdioden sind zwei Eigenschaften verantwortlich, die die Bayer-Forscher in die Folie eingebaut haben: Einerseits haben sie eine spezielle Oberflächenstruktur in die aus Makrofol® bestehende Schicht geprägt. So entstehen wenige Mikrometer hohe

Berge und Täler. Diese Unebenheiten sorgen dafür, dass die Lichtstrahlen zwar reflektiert werden, aber trotzdem ein größerer Anteil davon nach außen abgegeben wird. Andererseits haben die Bayer-Materialexperten die Polycarbonat-Folie auch mit sogenannten Streuadditiven ausgestattet: winzige Partikel, die ebenfalls transparent sind, aber die

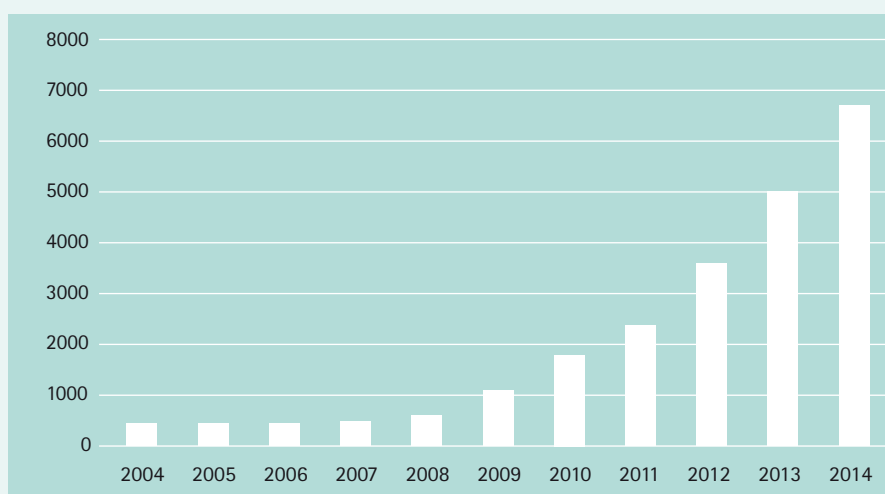
Streuung der Folie erhöhen. Denn die Teilchen spielen quasi Pingpong mit den Lichtstrahlen und sorgen dafür, dass sich der Reflexionswinkel ständig ändert – so lange, bis ein großer Teil des Lichts den Weg nach draußen findet. „Wichtig ist dabei, dass die transparenten Polymere einen unterschiedlichen Brechungsindex haben, damit die Strahlen auch signifikant abgelenkt werden“, ergänzt Pudleiner. Beide Effekte zusammen sorgen nicht nur dafür, dass die OLED heller leuchtet. Die Folie verbessert auch den Farbeindruck.

Polycarbonat-Folie erhöht die Energieeffizienz der OLED

„Ohne die Folie erscheint die leuchtende Farbe je nach Blickwinkel in einem leicht anderen Farbton – ein optischer Effekt, der auf dem inneren Aufbau der OLED beruht. Mit der Folie erscheint die Leuchtfläche homogen gleich unter jedem Betrachterwinkel“, erklärt Krummacher.

Die Makrofol®-Schicht hilft dabei, mehr Licht aus den OLEDs herauszuholen. So sorgt sie für mehr Energieeffizienz. Denn für die gleiche Lichtausbeute genügt jetzt eine geringere Spannung – und das spart Strom. Dadurch lässt sich auch die Lebensdauer der organischen Moleküle erhöhen und damit der gesamten Leuchtdiode. „Die Stabilität der Emitter-Substanzen hängt

Der OLED-Markt (in Mio. US-Dollar)



Quelle: IntertechPira

Die Aussichten für OLEDs sind blendend: Der Trend in der Beleuchtungstechnologie geht zur flächigen und dekorativen Beleuchtung. Und das treibt den OLED-Markt für Beleuchtung und Displays rasant voran. Die Industrie arbeitet mit Hochdruck an wirtschaftlicheren Herstellungsverfahren für die flachen Lichtwunder.



Lichtkunst: Die flächigen OLEDs eröffnen Designern und Innenarchitekten völlig neue Gestaltungsmöglichkeiten für Lampen und Lichtelemente.

sehr stark von der Strom-Spannungs-Intensität während des Betriebs ab“, erklärt Krummacher. Gleichzeitig bietet die widerstandsfähige Makrofol®-Folie auch noch einen exzellenten Splitter-schutz für die flächigen Lichtquellen.

Und die Bayer-Forscher arbeiten bereits an der nächsten Auskoppel-folien-Generation für OLEDs. Dafür wollen sie die Folie noch dünner machen. Im Labor gelingt es bereits die Makrolon®-Schicht auf 100 Mikrome-ter – also auf ein Drittel der derzeitigen Dicke – zu reduzieren. Aber die Folie namens Makrofol® TP228 soll noch zusätzliche Funktionen erfüllen. „Um die Anmutung einer OLED-Leuchte im ausgeschalteten Zustand den Kunden-wünschen anzupassen, kann die Folie eingefärbt oder auch voll- oder teilflächig bedruckt werden“, sagt Pudleiner. Und dank einer sogenannten Anti-Dust-Funktion soll auch Staub künftig nicht mehr auf der Oberfläche haften bleiben. Die Zukunft der Beleuchtung hat in den Bayer-Laboren also bereits begonnen – und der bewährte Bayer-Kunststoff Makrolon® sorgt dafür, dass das Licht aus organischen Molekülen künftig effizienter und kostengünstiger strahlt. Dazu feilen die OLED-Experten von Bayer MaterialScience und Osram gemeinsam weiter an effizienten Pro-duktionsprozessen und optimalen Materialien – und machen die dünnen Leuchtscheiben fit für die Zukunft.

Nachgefragt



Heller, effizienter und langlebiger

Dr.-Ing. Benjamin Krummacher ist Produktentwickler für OLEDs bei Osram in Regensburg. „research“ sprach mit ihm über die neuen Lichtkacheln und künftige Beleuchtungskonzepte.

Wann wird die organische Leuchtdiode (OLED) die bisherigen LEDs ablösen?

Beide Technologien haben zusammen das Potenzial, zunächst die bestehenden Lichtquellen zu überholen. Aber sie stehen nicht in Konkurrenz zueinander. Denn sie haben – jede für sich genommen – ganz unterschiedliche Stärken, die sich hervorragend ergänzen und kombinieren lassen: Die LED überzeugt als helle Punkt-Lichtquelle. Die OLED dagegen bietet ein flächiges, diffuses Licht. Damit eröffnet sie auch völlig neue Designkonzepte, beispielsweise Fensterscheiben, die im Dunkeln leuchten.

Wie gut können die OLEDs mit den heute üblichen Lichtquellen wie Glüh-, Halogen- und Energiesparlampen mithalten?

Im Vergleich zur normalen Glühlampe, die eine Effizienz von zwölf bis 15 Lumen (Einheit für Lichtstrom) pro Watt besitzt, sind OLEDs deutlich effizienter. Mit der ersten kommerziell erhältlichen organischen Leuchtdiode, der Osram-Lichtkachel Orbeos®, die Ende 2009 auf den Markt kam, lassen sich Lichtströme von etwa 25 Lumen pro Watt erzeugen. Das ist vergleichbar mit heutigen Halogenlampen. Im Labor haben wir bereits OLEDs konstruiert, die fast drei Mal so effizient sind. Unser Ziel liegt derzeit bei einem Wert von 100 Lumen pro Watt.

Welcher ist der wichtigste Vorteil der OLEDs?

Neben den vielfältigen Design- und Anwendungsmöglichkeiten überzeugen organische Leuchtdioden vor allem bei der Lebensdauer. Sie liegt mit etwa 5.000 Stunden rund fünf Mal so hoch wie bei einer Glühlampe. Aber selbst dann strahlt die OLED noch mindestens mit der Hälfte der ursprünglichen Leuchtdichte weiter – Glühlampen brennen einfach durch.

Was sind die größten Herausforderungen für die neue Beleuchtungstechnologie?

Noch ist die OLED sozusagen die „Formel 1“ unter den Lichtquellen. Auf dem Weg zur Kommerzialisierung – für den Massenmarkt also – sind noch einige Hürden zu überwinden: Die Materialien müssen hinsichtlich Langlebigkeit und Effizienz optimiert werden. Aber auch die Prozesskette muss verbessert werden, um die Produktionskosten zu reduzieren. Der Markt muss erst einmal langsam ins Rollen kommen. Zudem sind mit den modernen Beleuchtungstechnologien neue Anforderungen in den Haushalten und der elektrischen Infrastruktur entstanden. Denn es sind immer geringere Spannungen nötig. LEDs und OLEDs lassen sich mit Niederspannung von drei bis vier Volt betreiben. Deswegen sind heute noch zusätzliche Vorschaltgeräte notwendig, die die Netzspannung von etwa 220 Volt für diese Lichtquellen anpassen. Auch hier versuchen wir, neue Standards zu erarbeiten.

