

Transparente leitende Oberflächen – neue Optionen für das Design von LED-Leuchten

Dr. Bernhard Kämmerer
Pro-Innovatio
bernhard.kaemmerer@pro-innovatio.com

Leitende, im sichtbaren Wellenbereich transparente Beschichtungen finden sich heute in vielen Anwendungen – vom Touchscreen bis zur Solarzelle. Auch für den Bereich von Leuchten und Lichtlösungen wurden bereits interessante Ansätze entwickelt.

Davon ausgehend können weitergehende Optionen für das Design und die Funktion von LED-Leuchten aufgezeigt werden, die eine attraktive Gestaltung neuer Produkte erlauben und zu echten Alleinstellungsmerkmalen führen.

Nach einem Blick auf die Technologien für transparente, leitende Beschichtungen und die etablierten Anwendungsbereiche zeigen wir anhand von Funktionsmustern exemplarisch neue Möglichkeiten für die Entwicklung von Leuchten und Lichtlösungen. Abgerundet wird der Beitrag durch einen Ausblick auf weitere, umsatzstarke Anwendungsfelder.

Technologien

Transparente leitende Schichten auf Glas oder Acryl werden durch Sputtern, Drucken oder nass-chemisches Aufbringen geeigneter Materialien erzeugt. Entsprechend der verwendeten Technologie können unterschiedliche optische und elektrische Eigenschaften realisiert werden.

Das Ziel dabei sind Beschichtungen, die sowohl hochleitfähig sind, als auch im sichtbaren Bereich absolut transparent. Mit heutigen Technologien können allerdings diese beiden Aspekte nur annähernd und nicht unabhängig voneinander erreicht werden – entweder ist der Widerstand sehr gering und die Optik nur eingeschränkt oder umgekehrt. Allerdings bietet die Forschung in Form von Graphen einen Ausblick auf eine Lösung dieses Dilemmas.

Mesh Foils

Mesh Foils sind metallische Geflechte aus hauchdünnen (0,05mm) Edelstahl-, Kupfer- oder Bronze-Drähten auf Folie (z.B. www.hollandshielding.com/115-Mesh_Foil_Series-en.htm). Alternativ können die Geflechte auch als Silber- oder Kupferdruck auf Folie produziert werden (z.B. www.polyic.com/products/polytcr.html).

Mesh Foils haben je nach Ausführung eine Transparenz größer 65% und einen spezifischen Widerstand von über 5 Ohm/sq.

Hauptprobleme bei Mesh Foils sind - in Abhängigkeit von Lichtsituation und Hintergrund - die Sichtbarkeit der Drähte sowie Moiré-Effekte. Letztere sind bedingt durch die Regelmäßigkeit

der Struktur. Haupteinsatzbereiche sind abgeschirmte Fenster sowie kleine Sensorlösungen.

TCO (transparent conductive oxides)

Eine weit verbreitete Alternative sind leitende Oxide. Da diese als amorphe Struktur aufgebracht werden, ergibt sich eine mehr oder weniger homogene optische Erscheinung.

Besonders leitfähig, aber auch teuer aufgrund der seltenen Erden, ist Indium-Zinn-Oxid (ITO: <http://de.wikipedia.org/wiki/Indiumzinnoxid>). Alternative Oxide sind Zink-Aluminium oder Cadmium-Indium, die jedoch elektrisch etwas ungünstiger sind.

Neben der Kathodenzerstäubung (Sputtern) wird auch eine thermische Verdampfung von Indium-Zinn-Oxid eingesetzt, allerdings nur für temperaturbeständige Gläser. Für großflächige Substrate bei geringeren Anforderungen an die Homogenität der Schicht wird das sog. Sol-Gel-Verfahren genutzt, bei dem Indium-Zinn-Oxid flüssig aufgebracht und dann thermisch fixiert wird.

Graphen

Graphen (<http://de.wikipedia.org/wiki/Graphen>) ist eine eindimensionale Version des Graphits, bei der jedes Kohlenstoffatom von drei weiteren umgeben ist. Graphen ist fast komplett durchsichtig (über 97% Transparenz) und mit einem spezifischen Widerstand von $31 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$ elektrisch gut leitend.

Graphen wurde zuerst 2004 experimentell gewonnen, eine Herstellung industrieller Mengen galt lange als unmöglich. 2014 wurde dann ein einfacher Prozess beschrieben und untersucht, der auch die Produktion großer Mengen ermöglicht. (<http://www.heise.de/newsticker/meldung/Graphen-Das-Wundermaterial-jetzt-auch-aus-dem-Kuechenmixer-2174619.html>).

Neben Anwendungen in der Elektronik (GHz-Transistoren), für Kondensatoren und Akkus könnte Graphen bei kostengünstiger Herstellung auch für die in diesem Vortrag beschriebenen Bereiche seinen Einsatz finden.

Etablierte Anwendungen

Beschichtungen mit Indium-Zinn-Oxid werden wegen starker IR-Reflexion als Wärmeschutz auf Fenstern sowie in vielfältigen technischen Anwendungen eingesetzt, zum Beispiel für die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten, für die HF-Abschirmung oder als transparente Elektroden.

- Transparente Elektroden: Touchscreens, LCD-Schirme, LEDs, OLEDs, Solarzellen
- Abschirmung: beschichtete Fenster für HF-dichte Räume
- Schutzschicht: bei Bildsensoren und auf Verpackungsfolie gegen Elektrostatik
- Heizung: vom Objektträger in der Mikroskopie bis zur beheizbaren Windschutzscheibe

Diese Anwendungen sind (bis auf die Heizungsanwendungen) nur mit kleineren oder sehr kleinen elektrischen Strömen verbunden. Wir bei Pro-Innovatio hingegen arbeiten mit dem Einsatz von transparenten leitenden Beschichtungen mit kleinem spezifischen Widerstand auf Glas oder Acryl für den unsichtbaren Transport größerer Ströme zur Versorgung leistungsfähiger elektrischer Geräte.

Vorteile beim Design von Leuchten

Der Einsatz von leitend beschichteten Gläsern bietet für das Design von Leuchten und Consumer-Geräten herausragende Vorteile:

- Überraschender Effekt – der Betrachter fragt sich, wie die Stromversorgung funktioniert und wird dadurch neugierig auf das Produkt
- Scheinbar schwebende Geräte – der Glasanteil verschmilzt optisch mit dem Hintergrund
- „Leichte“ Erscheinung – gegenüber massiven Gehäusen wirken die Produkte unaufdringlich und filigran, die Funktion tritt in den Vordergrund.

Ein kabelloser Betrieb elektrischer Geräte kann zwar auch über Batterien oder eine HF-Energieübertragung realisiert werden, jedoch handelt man sich damit Nachteile ein:

- Batterien bzw. Akkus haben naturgemäß eine begrenzte Ladung, müssen also regelmäßig ausgewechselt oder nachgeladen werden. Auch werden bei höherem Stromverbrauch voluminöse und damit das Design störende Energiepacks benötigt.
- Die Energieübertragung mit Hochfrequenz funktioniert ohne größere Verluste nur über kurze Distanzen – und auch dann nur mit dem Nebeneffekt „Elektrosmog“. Nicht nur empfindliche Personen haben dazu eine kritische Haltung.

Im Gegensatz dazu ist die Stromversorgung über beschichtete Gläser verlässlich und ohne jede Nebenwirkungen.

Herausforderungen

Elektrisch leitende Beschichtungen sind technisch aufwändig und benötigen teure Grundmaterialien wie z.B. seltene Erden. Ein kostenoptimiertes Design muss daher - ohne Einbußen bei den oben genannten Vorteilen – auf möglichst kleine Flächen ausgerichtet sein.

Gleichzeitig muss berücksichtigt werden, dass auf Grund der geringen Dicke der Beschichtung der Strom über die Fläche transportiert wird. Eine breite, kurze Fläche wird daher einen geringeren elektrischen Widerstand haben als eine – mit einer Kabelverbindung vergleichbare – lange und schmale Fläche.

Um bei gegebener Fläche eine optimale Stromein- und auskopplung und damit einen minimalen Widerstand zu erreichen, muss zusätzlich eine möglichst über die ganze Breite reichende Anschluss-Geometrie gewählt werden.

Eine zu kleine - im Grenzfall punktförmige - Kontaktierungsfläche führt auch bei moderaten Strömen zu sehr hohen Stromdichten. Dies muss vermieden werden, da sonst die dünne Beschichtung beschädigt werden kann.

Eine übliche Vorgehensweise für höhere Stromstärken ist daher der Aufdruck eines „Silver Busbars“ über die gesamte Breite direkt auf die Beschichtung. Durch Anlöten oder Presskontakt wird damit der Stromanschluss bzw. der Verbraucher verbunden. Alternativ können Kupferbänder mit leitendem Klebstoff verwendet werden. Die Herausforderung an das Design besteht dabei in der optischen Kaschierung des Busbars.

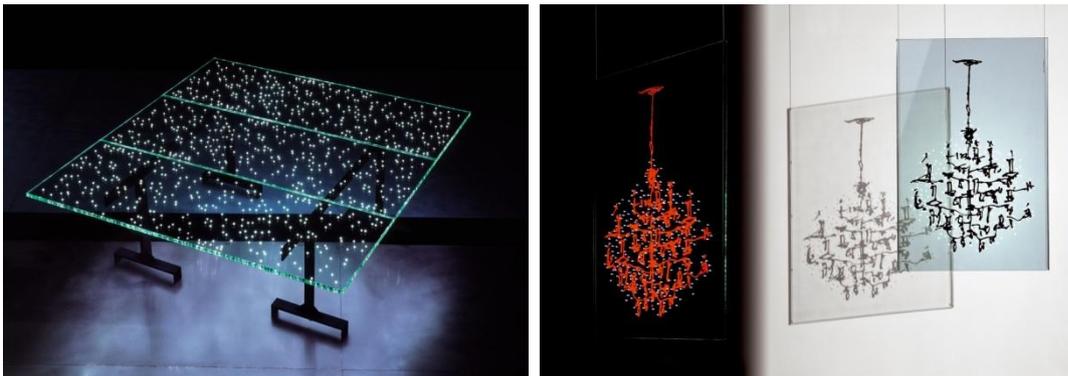
Lösungen

Seit einigen Jahren werden Lichtlösungen mit leitfähig beschichteten Gläsern bzw. Folien angeboten. Die Firma I i f (light innovation future, www.lif-germany.de) bietet mit „LightPoints“ ein Produkt, bei der eine Vielzahl von LEDs auf eine beschichtete, strukturierte Folie aufgebracht werden. Die bestückte Folie wird zwischen zwei Glasscheiben laminiert, so dass eine mechanisch stabile, auch großflächig einsetzbare Konstruktion entsteht.



I i f - Lösungen mit „LightPoints“: EXPO 2010, German Pavilion Shanghai; Shiseido, Paris

Die Firma Ingo Maurer (www.ingo-maurer.com) nutzt eine vergleichbare Basis, um Möbel und bildartige Produkte mit integrierten LEDs zu schaffen:



Ingo Maurer - LED Table; Lüster

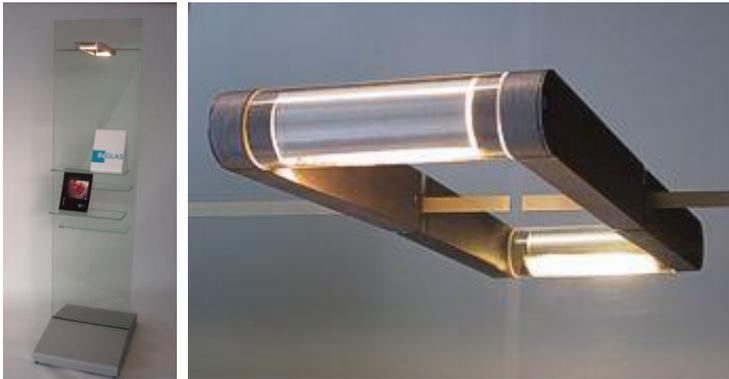
Auch bei der schweizer Firma SUN-TEC (www.sun-tec.ch) findet man Lösungen für den Innenraum, die auf einer laminierten Folie mit LEDs („smd led film“) basieren.

Neben diesen Lösungen, bei denen eine Vielzahl LEDs als Leuchtpunkte in der Fläche erstrahlen, wird beschichtetes Glas auch zur Energiezufuhr für einzelne Verbraucher genutzt.

Unter der Bezeichnung „PowerKontakt“ (I i f) bzw. „Powerline“ (INGLAS, www.inglas.eu) werden beschichtete und entsprechend vorbereitete Gläser angeboten, die eine unsichtbare Stromversorgung ermöglichen:



I i f – Lösung mit „PowerKontakt“; geklebter Lampensockel



INGLAS – Lösung mit „Powerline“; Anschluß-Detail

Neue Optionen im Design

Das Ziel von Pro-Innovatio sind technisch überzeugende, kostengünstige Entwürfe für Leuchten mit leistungsstarken LEDs, bei denen die Vorteile der Nutzung leitfähiger, transparenter Glasbeschichtungen im Vordergrund stehen.

Hierzu verwenden wir beschichtetes oder auch mit beschichteter Folie laminiertes Glas. Für eine optimierte Energieeffizienz nutzen wir Beschichtungen mit hoher Leitfähigkeit im Bereich von 2 bis 5 Ohm/sq.

Wir erstellen Funktionsmuster und Musterlösungen zur Beurteilung der optischen Erscheinung und der lichttechnischen Resultate als tragfähige Basis für das weiterführende Produktdesign.

Unsere Entwicklungen orientieren sich dabei an folgenden Prinzipien:

- **Design:** Glas als verbindendes Element zwischen Zuleitung und Verbraucher
- **Kosten:** Optimierung durch standardisierte Flächen
- **Funktionalität:** Vergleichbar mit kabelgebunden Versionen

Optionen für Leuchten

Option: Glaskubus

Das Funktionsmuster „Earth“ ist eine klassische Schwanenhals-Leuchte auf Glaskubus. Sie eignet sich besonders als Beistellmöbel für Couch, Bett oder Fernseh-Landschaft und gibt den Blick frei auf die im unteren Fach aufbewahrten Objekte (Zeitschriften, Fernbedienungen etc.).

Charakteristika

- Glas einseitig beschichtet und strukturiert
- Betriebsstrom: 350mA
- LED-Leistung: 7,2 Watt
- Lichtstrom: 275 lm



Option: Glas-Sockel

Das Funktionsmuster „Horizon“ ist eine Tischleuchte mit gläsernem Sockel. Das Glas gibt den Blick auf den Hintergrund frei und lässt die Leuchte trotz des massiven Schirms leicht erscheinen.

Charakteristika

- Sockel aus zwei Gläsern einseitig laminiert
- Betriebsstrom: 300mA
- LED-Leistung: 2 * 4 Watt
- Lichtstrom: 600 lm

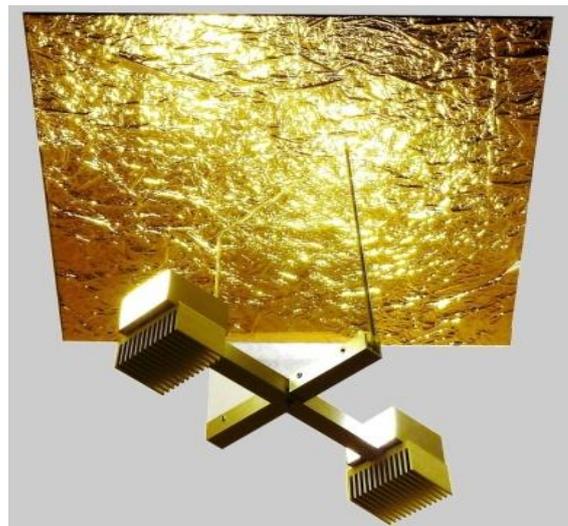


Option: Abhängung über Glas

Bei dem Funktionsmuster „Sky“ sind die Leuchteinheiten über eine Glasscheibe abgehängt. Die Leuchtmittel sind in Alu-Gondeln verbaut, die ein effektives Wärmemanagement ergeben. Goldene oder silberne Reflexionsflächen beeinflussen den wahrgenommenen Farbton.

Charakteristika

- Ein Glas, doppelseitig laminiert
- Betriebsstrom: 600mA
- LED-Leistung: 2 * 8 Watt
- Lichtstrom: 1120 lm



High-Art Mystiq

Option: transparenter Teilkörper

High-Art Mystiq ist eine LED-Kerze der neuen Art – mit hochwertigen Materialien, geradlinigem Design und High-Tech-Komponenten. Hier wurde als Design-Option ein Acrylkörper gewählt, der durch eine im Sockel verbaute LED illuminiert wird. Dadurch wird das Fehlen von Verdrahtungen betont.

Charakteristika

- Illuminierter Acrylkörper
- Sockel und Seitenteile aus Aluminium
- Stromversorgung der Top-LED über Beschichtung



High-Art Display

Option: variable Leuchtenposition

High-Art Display ist ein neues Beleuchtungskonzept für Verkaufsvitrinen und Displays. Es kombiniert leitende Glasböden mit flexibel positionierbaren Lichtquellen, womit eine gezielte und individuelle Ausleuchtung einzelner Objekte/Produkte erreicht werden kann.



- Beschichtete und strukturierte Böden
- LightPads: nach oben bzw. unten strahlende, variabel positionierbare Lichtquellen
- PowerPads: USB-Anschluss auf dem Glas
- Pads durch spezielle Haftfläche rückstandsfrei abnehm- und neu positionierbar

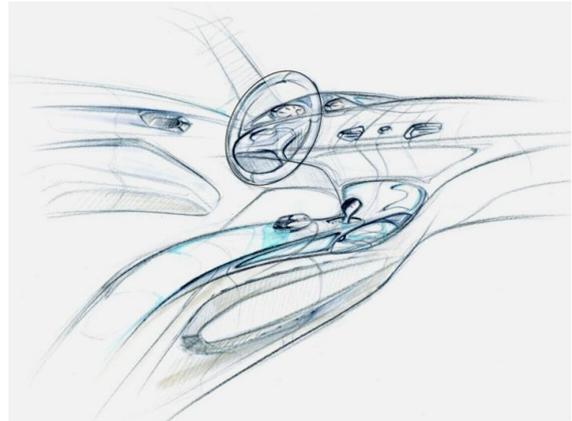


Optionen für die Zukunft

Automotive - leichte Anmutung

Der Einsatz leitend beschichteter Gläser bzw. Kunststoffe ermöglicht optische Weite, wo heutige Konstruktionen massiv den Raum dominieren. Insbesondere kleinere Fahrzeuge können davon profitieren. Aber auch für innovative Hersteller bieten sich damit augenfällige Differenzierungs-Optionen.

- Mittelkonsole
- Center Stack
- Teile des Armaturenbretts



In die transparente Haltefläche werden die gängigen Displays, Schalter, Dreh-Drücksteller etc. integriert, wobei eventuell mechanische Koppelungen – z.B. für den Ganghebel - durch elektrische Signale ersetzt werden.

Die Übertragung von Daten- und Statusinformationen erfolgt entweder über zusätzliche Strukturierungen der Beschichtung (vereinzelte Datenleitungen), über Powerline Communication (PLC - Daten auf Versorgungsspannung aufmoduliert) oder über Visible Light Communication (VLC) durch hochfrequent modulierte Illuminations-LEDs.

Consumer – schwebende Geräte

Unsere Funktionsmuster „Dock Cool“ und „Dock High“ zeigen sowohl die Ladefunktion wie auch den USB-Datentransfer für den Einsatz als Docking-Stationen für Mobiltelefone oder MP3-Spieler.

Auch Digitale Bilderrahmen, Bildschirme für Messestände oder Anzeigen zur Prozessüberwachung können – z.B. auf einem leitend beschichteten Fenster - auf diese Art betrieben werden.



Zusammenfassung

Transparente, leitende Beschichtungen – z.B. aus Indium-Zinn-Oxid – sind mit spezifischen Widerständen von 2 – 5 Ohm/sq erhältlich und können bei geeigneter geometrischer Auslegung substanziiell Leistung übertragen

Damit ergeben sich neue Optionen für das Design von LED-Leuchten, durch die überraschende Effekte wie scheinbar schwebende Geräte sowie eine leichte Erscheinung erreicht werden können.

Zusätzlich sind praktische Funktionsvorteile ableitbar, wie z.B. eine flexible, re-positionierbare Beleuchtung für Verkaufsvitrinen und Displays.

Für die Zukunft sind viele Anwendungen denkbar, deren Spektrum von transparenten Docking-Stationen für Mobiltelefone und MP3-Spieler bis zu innovativen Mittelkonsolen oder Center Stacks im Automobil reicht.