

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 58 (1967)
Heft: 5

Artikel: Kunststoffe im Beleuchtungssektor
Autor: Grimm, G.O.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916229>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Änderungen gerne zugezogen wird. Diese sehr wichtige Voraussetzung wird jedoch nur dann erfüllt sein, wenn es dem betreffenden Stabsmitarbeiter gelingt, alle mitspielenden Faktoren zu berücksichtigen (Erfahrung) und wenn er über genügend Objektivität und Takt verfügt, um seine Vorschläge in geeigneter Weise weiterzuleiten bzw. verwirklichen zu lassen.

Die forcierten Rationalisierungsbestrebungen führen sehr leicht zur Idealisierung auf Teilgebieten und zum Einsatz von Spezialisten auf derartigen Teilgebieten. Die grosse Gefahr steckt darin, dass einerseits eine Überbewertung eines Teilgebietes entsteht und andererseits der Gesamtzusammenhang bzw. andere Gebiete nicht ausgewogen bewertet oder vernachlässigt werden, weil in jedem Unternehmen eine Anzahl Menschen (Individuen) und nicht nur Maschinen beteiligt sind.

Die Berücksichtigung des «Individuellen» wird trotz zunehmender Mechanisierung und Automatisierung wahrscheinlich von immer grösserer Bedeutung, weil einerseits die Löhne und damit das durchschnittliche soziale Niveau steigen und andererseits die Verantwortlichkeit dieser Leute an mechanisierten oder automatisierten Produktionsmaschinen immer grösser wird. Die Vorgesetzten aller Stufen müssen sich dieser Tatsache bewusst sein und die Fähigkeit haben, sich in die Lage ihrer direkten Mitarbeiter zu versetzen, um Anweisungen geben zu können, welche bei ihren Mitarbeitern einen optimalen Einsatz erzeugen. Sowohl in der Stabs- als auch in der Linien-Organisation ist eine offene und objektive Information der nächsten Mitarbeiter von grösster Bedeutung, da die guten Mitarbeiter sehr schnell feststellen, was wirklich gemeint ist im Falle einer subjektiv gefärbten Orientierung. Ein voller Einsatz im Sinne des Vorgesetzten kann nur durch Offenheit und Vertrauen erreicht werden.

Die vielen Verpflichtungen, welche ein Unternehmer einzugehen hat, sind selbstverständlich mit ebenso vielen Risiken verbunden. Über Materialbewirtschaftung, Lieferantenüberwachung und Eingangskontrolle sowie über optimale Totalseriengrössen und Fertigungsreihen wurde bereits genügend publiziert, so dass ich darauf nicht weiter einzugehen habe. Weniger intensiv behandelte und doch immer wieder zur Diskussion stehende Probleme ergeben sich im Zusammenhang mit Verpflegung der Arbeitskräfte, Ferienregelung, interner Schulung, besonderen Vergünstigungen usw. So kann z. B. eine nicht genügend leistungsfähige Kantine (Personal-Restaurant!) zu Mißstimmung und unangenehmen Diskussionen, der auf die Kantine angewiesenen Arbeitskräfte führen und die Leistung dieser Arbeitskräfte ganz erheblich beeinflussen. Ausserdem ist die Forderung nach optimaler Efficiency nur dann aufrecht zu erhalten, wenn intern oder extern für eine geeignete Schulung der Betriebsangehörigen, sei es in Wertanalyse, Kostenberechnungen, Planungsverfahren usw. gesorgt wird. Dazu kommen noch verschiedene Faktoren, die wahrscheinlich eher mit der heute ziemlich prekären Personalsituation zu tun haben, nämlich die zur Verfügungstellung eigener Parkplätze, die Organisation von Vergünstigungen für Personaleinkäufe, Theaterbesuche und dergleichen sowie verschiedene Aspekte, welche mit dem persönlichen Prestige des einzelnen Mitarbeiters etwas zu tun haben.

Dieser vereinfachte Querschnitt durch die vielseitigen Probleme, mit welchen ein Unternehmen heute konfrontiert wird, soll zum Mitdenken anregen. Wenn dadurch Diskussionen entstehen, welche die betriebsinterne Information — und damit das gegenseitige Verständnis — fördern, dann wurde der vorgesehene Zweck erreicht.

Adresse des Autors:

P. Folini, Direktor, Badenerstrasse 38, 8952 Schlieren.

Kunststoffe im Beleuchtungssektor ¹⁾

Von G. O. Grimm, Rapperswil

628.93:678

Einleitend werden die verschiedenen Arten von Beleuchtungskörpern nach dem zu erreichenden Effekt skizziert, die hierfür eingesetzten Werkstoffe aufgezählt und deren typische Eigenschaften beschrieben. Eine Übersicht über die wichtigsten Kunststoffe leitet über zu den im Beleuchtungssektor gebräuchlichen Kunststoffen und deren wesentliche Eigenschaften. Ein weiterer Abschnitt befasst sich mit den Herstellungsverfahren und den daraus sich ergebenden Konsequenzen für die Wahl. Es wird die Gebrauchstüchtigkeit der verschiedenen Varianten anhand einiger Hinweise auf Alterungsverhalten und optische Eigenschaften besprochen.

En guise d'introduction les divers types de luminaires sont esquissés d'après leur effet recherché, en énumérant les matériaux utilisés et leurs propriétés typiques. Un aperçu des matières synthétiques les plus importantes conduit aux matières plastiques les plus courantes dans le secteur de l'éclairage et à l'analyse de leurs propriétés spécifiques. Un autre chapitre se rapporte aux procédés de fabrication et de ses conséquences dans le choix du matériel. Quelques indications, servant de base de discussion de la valeur de service des différentes variantes du point de vue du vieillissement et des propriétés optiques, terminent l'exposé.

Unter Beleuchtung soll im folgenden sowohl die Zufuhr von Tageslicht ins Innere von Gebäuden als auch die Beleuchtung durch Kunstlicht verstanden sein. Beim einen wie beim andern werden Kunststoffe verwendet.

Die Anforderungen, die an Beleuchtungseinrichtungen zu stellen sind, sind mannigfaltig.

a) Sie sollen der Weiterleitung des Lichtes von der Quelle zur Gebrauchsstelle möglichst wenig Widerstand in den Weg legen.

¹⁾ Erweiterte Fassung eines Referates im Kurs «Kunststoffe im Bauwesen» der Abteilung für Architektur (7. Semester) an der ETH vom 18. November 1966.

b) Sie sollen die blendende Wirkung von Lichtquellen herabsetzen auf ein nicht mehr störendes Mass.

c) Sie sollen das Licht richten.

Mit Beleuchtungskörpern lassen sich auch vielerlei dekorative Effekte erzeugen.

Die verschiedenen Aufgaben können auf mancherlei Art gelöst werden. Reflektoren, Raster, lichtstreuende, durchscheinende Flächen stellen Elemente dar zur Lösung solcher Aufgaben.

Bei Verwendung von *Platten* aus schwach pigmentierten durchscheinenden Kunststoffen wird der nützliche Effekt da-

durch erreicht, dass an den Pigmentteilchen eine Streuung des Lichts eintritt, wodurch die leuchtende Fläche stark vergrößert, die Leuchtdichte und damit die Blendung in gleichem Mass herabgesetzt wird.

Bei *Rastern* tritt das Licht senkrecht zur Rasterebene ungeschwächt durch Öffnungen aus, im Normalfall senkrecht nach unten. Bestehen die Stege aus durchscheinendem, geeignet pigmentiertem Kunststoff, so kann ein Teil des Lichtes auch in schräger Richtung austreten, wobei die Leuchtdichte auf ein zuträgliches Mass herabgesetzt wird. Durch geschickte räumliche Anordnung und Wahl der Abmessungen kann erreicht werden, dass die Einblickzonen auf die Lichtquelle nicht nur klein werden, sondern in Richtungen liegen, die wenig störend sind.

Fig. 1 zeigt Ergebnisse, die bei einer Messanordnung erreichbar waren. Die verwendeten Raster zeichnen sich dadurch aus, dass sie einen wirksamen Blendschutz darstellen und trotzdem eine hohe Lichtausbeute (von 85 bis 90 %) aufweisen.

An Werkstoffen für Beleuchtungskörper stehen im wesentlichen zur Verfügung: Metalle, Glas, Textilien, Papier und Kunststoff. Jeder dieser Werkstoffe hat seine charakteristische *Kombination* von Eigenschaften und damit auch bevorzugte Einsatzgebiete. Glas, Textilien, Papier und ähnliche Stoffe werden schon lange verwendet, während die Kunststoffe in grösserem Ausmass erst seit etwa 15 Jahren zur Anwendung kommen. Das ist eigentlich erstaunlich, wenn man sich vor Augen hält, dass in der Elektrotechnik — auch im Sektor Hausinstallationen — Kunststoffe seit mehr als vierzig Jahren verwendet werden. In den Beleuchtungssektor sind die Kunststoffe erst

richtig eingezogen, als die Fluoreszenzröhren eine gewisse Verbreitung erreicht hatten.

Metalle zeichnen sich durch hohe Festigkeit aus. Sie sind undurchsichtig und kommen deshalb nur für Raster oder Lamellen oder in blank poliertem Zustand für Reflektoren in Frage. Metalle sind im allgemeinen schwer, insbesondere im Vergleich zu Kunststoffen. Bei grossen Rasterfeldern werden dadurch die Aufhängung und die Tragkonstruktion sehr aufwendig.

Glas ist der alterungsbeständigste Werkstoff, und wenn keine mechanische Gewalteinwirkung erfolgt, so vermag ein gläserner Beleuchtungskörper Jahrhunderte zu überdauern. Glas wird darum bei Anwendungen im Freien gerne eingesetzt.

Textilien und auch Papier ermöglichen vor allem dekorative Effekte. Die Lichtausbeute ist eher bescheiden. Diese beiden Werkstoffe sind schmutzempfindlich und nicht allzu alterungsbeständig. Trotzdem sind sie in Privathäusern auch heute noch stark vertreten, einerseits weil hier der Nutzeffekt weniger hoch bewertet wird als das dekorative Moment und andererseits weil im Haushalt (Küchen und Badzimmer ausgenommen) die Fluoreszenzröhrenbeleuchtung nur wenig Fuss gefasst hat.

Kunststoffe sind leicht, von guter bis sehr guter Lichtdurchlässigkeit, teilweise sehr alterungsbeständig, beliebig einfärbbar. Sie sind auch hervorragende elektrische Isolierstoffe, und können bei entsprechender Gestaltung auch als Berührungsschutz dienen.

Wenn man Kunststoffe als Werkstoffgruppe betrachtet, so gibt es, insbesondere für den Aussenstehenden, eine verwirrende Fülle von verschiedenen Namen. Betrachtet man das Ganze von der Statistik der erzeugten Mengen her, so zeigt sich, dass von den verschiedenen Stoffen eine ganz unterschiedliche Menge hergestellt wird. Eine Gruppe von sechs Grundstoffen umfasst zwischen 80 und 90 % der Gesamtproduktion von derzeit etwa 15 Millionen Tonnen.

Es sind dies

Thermoplaste	Polyolefine	20...23 %
	Polystyrole	12...14 %
	PVC + Copol.	22...24 %
	Phenoplaste	8...10 %
Duroplaste	Unges. Polyester und Epoxydharze	11...13 %
	Aminoplaste	6... 8 %
	Alle andern	12...16 %

Die Vorrangstellung in Bezug auf die Menge wirkt sich auf die Preise stark aus. Die Massenprodukte sind im allgemeinen billig, d. h. auf Volumenbasis, manchmal sogar auf Gewichts-basis mit Aluminium vergleichbar, während die selteneren Kunststoffe 10- oder 20mal teurer sein können. Bei der Kunststoffanwendung wird man zuerst bei den billigeren Massenprodukten nach geeigneten Stoffen suchen. Im Beleuchtungssektor haben die Thermoplaste den Vorzug. Sie entsprechen in ihrem optischen Verhalten den Anforderungen meistens besser als Duroplaste.

Thermoplaste sind durch thermische Wirkungen *allein* vom festen zum flüssigen oder vom flüssigen zum festen Zustand wandelbar. Im Gegensatz zu den niedermolekularen Substanzen weisen sie keine scharfen Schmelzpunkte auf, der Übergang erfolgt vielmehr ganz allmählich. Mit steigender Temperatur werden sie weicher, der Elastizitätsmodul sinkt, die Lasten, die sie tragen können, ohne sich unzulässig zu verformen, werden kleiner; *sie kriechen*. Bei der Anwendung

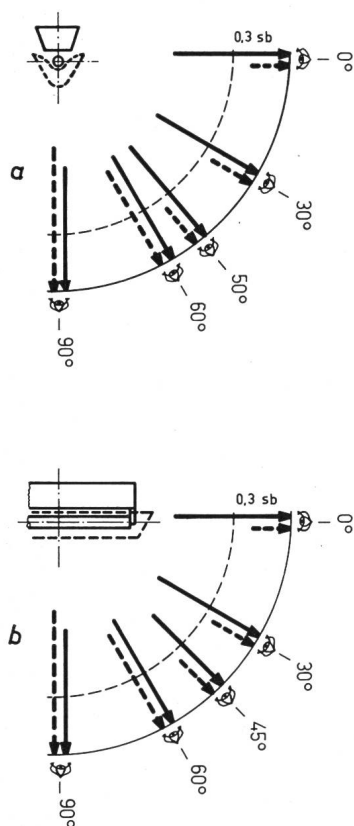


Fig. 1

Leuchtdichte, welche auf ein Auge einwirkt, das unter 0...90° zur Horizontalen direkt zur Leuchte blickt

a Ebene quer zur Lampenachse; b Ebene längs zur Lampenachse
 ————— nackte Leuchtstoffröhre, Weiss 4500 °K, Lampenlichtstrom 2000 lm;
 - - - - - Leuchte mit V-Blende

ist dies zu beachten. Verschiedene Thermoplaste können oberhalb von 60 °C nicht mehr als genügend formbeständig betrachtet werden.

Bei den Duroplasten liegen die Makromoleküle in räumlich vernetztem Zustand vor. Ihre Eigenschaften ändern im Temperaturbereich von etwa -20...+100 °C nur wenig.

Der thermische Dehnungskoeffizient ist von allen Kunststoffen gross. Das wirkt sich insbesondere dort aus, wo Kunststoffteile mit Elementen aus andern Werkstoffen zusammengebaut werden. Die entsprechenden Zahlen, bezogen auf eine Temperatur von 1 °C sind für einige Stoffe in Tabelle I zusammengestellt.

Dehnungskoeffiziente einiger Stoffe

Tabelle I

Acrylglas	$70 \cdot 10^{-6}$
Polystyrol	$70 \cdot 10^{-6}$
Hart-PVC	$(80...100) \cdot 10^{-6}$
Polyester-Glasfaser	$(80...150) \cdot 10^{-6}$
Stahl	$(10... 14) \cdot 10^{-6}$
Aluminium	$(20... 23) \cdot 10^{-6}$
Beton	$(7... 10) \cdot 10^{-6}$
Gläser	$(2... 9) \cdot 10^{-6}$

Bei Kombinationen von Stahl oder Beton mit Kunststoffen können damit im Freien im Verlauf eines Tages Differenzen von 3 mm/m ohne weiteres auftreten. Meistens ist es dann noch so, dass die Kunststoffe querschnittsmässig stark benachteiligt sind, und dass sie deshalb bei fester Verbindung allein die temperaturbedingten Spannungen aufnehmen müssen, beziehungsweise sich verbiegen oder brechen.

Wesentliche Unterschiede gegenüber den Metallen zeigen sich ferner beim Elastizitätsmodul. Bei den hier in Frage kommenden Kunststoffen liegt er fast ausnahmslos zwischen etwa 200 und 450 kg/mm², während er bei Stahl 20000 kg/mm² beträgt. Das ist ein Verhältnis von etwa 1 : 50 bis 1 : 100. Das heisst aber auch, dass bei gleichen Bedingungen die Durchbiegungen dieses Verhältnis aufweisen.

Das spezifische Gewicht von Kunststoffen liegt im allgemeinen zwischen etwa 1 und 1,5. Gegenüber Stahl sind sie also etwa 5...7mal, gegenüber mineralischen Gläsern etwa 2mal leichter. Bei Kunststoffen kommt man aber darüber hinaus zu noch kleineren Gewichten, weil die Dicke des Materials kleiner gewählt werden kann.

Die Lichtdurchlässigkeit ist hoch und übertrifft in manchen Fällen diejenige von Glas. Die Färbungsmöglichkeiten sind fast unbegrenzt. Zwischen wasserklar durchsichtig und gedeckt durchscheinend sind manche Abstufungen möglich. Einschränkend soll aber doch gesagt sein, dass nicht alles gleich lichteht ist, ja es bestehen sogar zwischen Stoffen von nominell gleicher Zusammensetzung oft bemerkenswerte Unterschiede.

Für Beleuchtungszwecke stehen die folgenden Stoffe im Vordergrund des Interesses:

Thermoplaste:

Polymethylmethacrylat	PMMA
Polystyrol	PS
Polyvinylchlorid	PVC
Celluloseacetat	CA

Duroplaste:

Ungesättigte Polyester (ev. in Kombination mit Glasfasern)	UP
--	----

Die Kunststoffe lassen sich nach verschiedenen Verfahren verarbeiten. Diese seien hier kurz erwähnt, weil sie sich in wirtschaftlicher Hinsicht verschieden auswirken.

1. *Spritzguss*: In einer geeigneten Schmelzvorrichtung werden die Thermoplaste aufgeschmolzen und unter sehr hohem Druck in Formen gedrückt, wo die Schmelze abkühlt und erstarrt. Sowohl die Spritzgussmaschinen als auch die Werkzeuge (Formen) sind sehr teuer. (Maschinen etwa 100000...200000 Fr., Werkzeuge etwa 10000...20000 Fr. und mehr). Die Fabrikation verläuft sehr schnell. Das Spritzgussverfahren kommt dort in Frage, wo grosse Stückzahlen herzustellen sind. Dies ist z. B. der Fall bei Rasterelementen, die nachträglich zu verschiedenartigen Rasterfeldern zusammengefügt werden. Das Spritzgussverfahren kommt auch in Frage für kleinere Schalen, Halbkugeln, Kegelstumpfe und ähnliches mit Abmessungen von etwa 20...40 oder 50 cm.

2. *Warmverformung von Platten*: Im Prinzip werden Platten aus Thermoplasten soweit erwärmt bis sie plastisch sind. In diesem weichen Zustand werden sie unter Anwendung von Druckluft oder Vakuum, gegebenenfalls unter Zuhilfenahme mechanisch bewegter Stempel verformt. Es kann sich dabei um freies Verformen, etwa wie beim Glasblasen, handeln oder es werden Formen verwendet, auf denen die Platten am Schluss der Formgebung aufliegen. Nach diesem Verfahren lassen sich ziemlich grosse Stücke herstellen. Die Grenzen sind durch die erhältlichen Plattenformate gegeben. Nach diesen Verfahren sind auch kleinere Stückzahlen noch wirtschaftlich herstellbar.

3. *Abbiegen und Abkanten von Platten*: Bei diesem Verfahren halten sich die Einrichtungen in bescheidenem Rahmen, etwa einer Wärmevorrichtung und einer Biegepresse oder Abkantmaschine. Auf der andern Seite aber ist die Formgebungsmöglichkeit sehr beschränkt. Die Stückzahlen können auch klein sein.

4. *Extrusion*: Im Extruder (Schneckenpresse) wird der Thermoplast geschmolzen und kontinuierlich durch eine Düse ausgestossen. Die Düse hat die Form des gewünschten Profils, z. B. eines Kanals. Der Strang wird dann sofort abgekühlt und auf passende Längen zugeschnitten. Extruder, die Profile für Beleuchtungszwecke erzeugen, sind teuer. Die kleinste, wirtschaftlich herstellbare Menge ist nur in Kilometern auszu drücken. Solche Beleuchtungskörper lassen also individueller Gestaltung am wenigsten Spielraum.

5. *Handauflegeverfahren*: Im Gegensatz zu den bisher aufgezählten Verfahren, die der Verarbeitung von Thermoplasten dienen, handelt es sich hier um die Verarbeitung eines Duroplastes. Mit Glasfasergeweben und -matten und ungesättigten Polyestern lassen sich Lamine herstellen, die sich über fast beliebige Formen drapieren lassen. Das Prinzip lässt sich in mancherlei Varianten durchführen. Die Formen sind aus Holz, Gips, Blech usw. herstellbar und billig, wenn es sich darum handelt, nur wenige Stücke herzustellen. Der Arbeitsaufwand ist aber sehr gross. Die Grösse der Stücke kann fast beliebig gewählt werden. Dabei ist allerdings zu bedenken, dass mit zunehmender Grösse auch die Dicke zunehmen muss, und dass damit die Lichtdurchlässigkeit abnimmt. Als Duroplast weist dieser Verbundstoff die geringste Veränderung der Eigenschaften in Funktion der Temperatur auf. Der Elastizitätsmodul ist etwa doppelt so hoch wie bei den Thermoplasten.

Die Wahl des Herstellverfahrens erfolgt einerseits nach geometrischen Gesichtspunkten, d. h. nach Form und Grösse der Stücke, andererseits nach der herzustellenden Stückzahl. Die

Kosten werden in hohem Mass beeinflusst durch die Einrichtungskosten. Um zu interessanten Stückpreisen zu kommen, muss die Fabrikation möglichst grosse Serien aufweisen.

Nebst diesen, durch die Kosten bedingten, Faktoren sind bei der Wahl der Form eines Beleuchtungskörpers noch technische Gegebenheiten zu berücksichtigen. Diese können die zu wählende Form stark beeinflussen. Beim Spritzgussverfahren ist z. B. die Lage des Angusses von Bedeutung, Art und Länge der Fliesswege können entscheidend sein für die Formbeständigkeit. Beim Vakuum-Formverfahren wird das Plattenmaterial verstreckt, es wird umso dünner, je mehr es beim Formen gestreckt wird. Das ist bei Körpern mit scharfen Kanten insbesondere in den Ecken der Fall, und diese Stellen werden stärker lichtdurchlässig. Bei Rastern ist das Verhältnis der Steghöhen zu den Stegabständen gegeben, damit sie als Blendschutz wirken. Die Steghöhe ist aber auch so zu wählen, dass die Durchbiegung — selbst bei den höchsten auftretenden Temperaturen — in tragbaren Grenzen bleibt.

Nebst diesen paar Bedingungen sind im Einzelfall noch weitere Faktoren zu berücksichtigen. Wenn es manchmal scheinen mag, als ob der Hersteller der Schönheit seiner Beleuchtungskörper nicht so viel Gewicht beimesse, wie es der Ästhet wünschen möchte, so liegt das eben oft am Zwang technisch richtige Konstruktionen anzustreben.

Verschiedene Werkstoffe, vor allem das Polystyrol, lassen sich durch Schweissen oder Verkleben verbinden. Auf diesem Wege lassen sich durch geeignete Kombination von verhältnismässig wenigen Elementen mannigfache Varianten herstellen. Wenn dieses Verbinden der Einzelteile gewissenhaft ausgeführt wird, erreichen die Verbundstücke angenähert die Festigkeit des homogenen Werkstoffes. Als Beispiel sei die Rasterdecke des Kunsthause Zürich erwähnt, bei der die Forderung gestellt war, dass sie begehbar sein müsse. Einzelne Rasterfelder von ca. 1100×600 mm wurden in neuem Zustand und zwei Jahre nach dem Einbau geprüft, indem die Felder in der Mitte bis zum Bruch belastet wurden. Der Bruch trat erst bei etwas über 350 kg Belastung ein. Zwischen neuen und alten Feldern wurde kein Unterschied gefunden und auch nach zehn Jahren ist die ganze Decke noch in bestem Zustand.

Die Thermoplaste sind gegen hohe Temperaturen empfindlich. Man wird sie also sinngemäss dort einsetzen, wo die Lichtquelle keine starke Erwärmung erzeugt. Im wesentlichen also bei Tageslicht und bei Leuchtstoffröhren. Die wärmefestesten Thermoplaste, beispielsweise Polycarbonat, können auch in Kombination mit Glühlampen verwendet werden, sofern durch geeignete Massnahmen (genügend grosse Abstände, Ventilation) die Erwärmung in zulässigen Grenzen gehalten wird. Allgemein ist zu beachten, dass auch keine externen Wärmequellen zu nahe bei den Beleuchtungskörpern liegen (Wärmestrahler, Wärmeschränke usw.).

Die Gebrauchsdauer hängt stark vom Anwendungsgebiet aber auch von den gestellten Ansprüchen ab. In repräsentativen Räumen wird man, abgesehen von Modeeinflüssen, schon bei geringen Alterungserscheinungen zu einem Ersatz der Beleuchtungseinrichtungen schreiten, während man in Lager- oder Abstellräumen auch eine nicht mehr ganz einwandfreie Einrichtung noch lange tolerieren kann. In der Industrie begrenzt in erster Linie ein Abfall des lichttechnischen Wirkungsgrades die praktische Verwendungsdauer. Bei Aussenbeleuchtungen spielt die Wetterbeständigkeit eine grosse Rolle.

Alle organischen Stoffe unterliegen der Alterung. Soweit es sich um Naturprodukte handelt, wie etwa Holz, Textilien, Leder, ist dies allgemein bekannt und wird als selbstverständlich hingenommen. Bei den Kunststoffen sind diese Alterungsvorgänge im allgemeinen weniger augenfällig, nicht zuletzt weil sie oft recht langsam erfolgen. (Es kann in diesem Zusammenhange an die Verrottungsbeständigkeit von Plastikgegenständen in Kehrrichtdeponien erinnert werden.)

In den meisten Fällen ist die Alterung ein Oxydationsvorgang, ein Abbau der Makromoleküle oder eine Vernetzung. Viele dieser Vorgänge werden durch Licht, insbesondere durch kurzwellige Strahlung, stark beschleunigt. Mit zunehmender Temperatur verlaufen die Vorgänge schneller. Bei der Alterung bilden sich häufig farbige Produkte, die mechanischen Eigenschaften werden schlechter. Bei der Verwendung von Kunststoffen im Beleuchtungssektor ist es vor allem die Farbänderung (z. B. Vergilbung), die die Lebensdauer begrenzt.

Zwischen den verschiedenen Kunststoffen bestehen erhebliche Unterschiede, aber auch innerhalb eines gegebenen Stoffes ist mit ins Gewicht fallenden Unterschieden zu rechnen. Dabei spielen verschiedene Faktoren eine Rolle, wie chemische Reinheit, Gehalt an Monomeren, Verarbeitungsbedingungen und andere mehr. Andererseits ist es auch möglich, durch Zusatz von Stabilisatoren eine nennenswerte Verbesserung im Verhalten zu erreichen.

Neben den bedeutenden Unterschieden in den Werkstoffen sind die unterschiedlichen Beanspruchungen bezüglich Lichtart und -menge von Einfluss auf die Lebensdauer. Da aber auch die Ansprüche an das Aussehen sehr verschieden sind, kann man keine allgemein gültigen Zahlen mitteilen. Immerhin können aus langjähriger Praxis sich ergebende Erfahrungen angeführt werden: Auch die ältesten Acrylglas-Anwendungen zeigen keine Veränderungen. Bei Polystyrol kommt es besonders darauf an, welche Rohstoffe verwendet werden. Es bestehen in der Schweiz Anlagen seit mehr als zehn Jahren, die noch sehr gut aussehen. Bei PVC sind in den letzten Jahren deutliche Fortschritte auf dem Gebiet der Stabilisatoren gemacht worden, die praktischen Erfahrungen sind aber noch relativ kurz.

Acrylgläser bewähren sich auch im Freien gut. Bei allen andern Kunststoffen lässt sich nichts Generelles aussagen, und es ist eine gewisse Vorsicht am Platz. Es dürfte deshalb angezeigt sein, eine Wahl erst zu treffen, nachdem man mehrjährig bewitterte Objekte aus den zur Diskussion stehenden Stoffen besichtigt hat.

Da die Alterung mit zunehmender Temperatur schneller verläuft, soll man dafür besorgt sein, dass die Abstände zu den Wärmequellen nicht zu klein sind. Möglichst grosse Abstände wird man aber auch deshalb wählen, weil mit zunehmender Entfernung von der Lichtquelle die photochemische Wirkung stark abnimmt. Versuche haben z. B. folgendes ergeben:

Ein Polystyrol wurde drei Jahre lang ununterbrochen der Wirkung des Lichtes von Leuchtstoffröhren ausgesetzt. Der Abstand zwischen Prüfling und Leuchtstoffröhre wurde verschieden gewählt. Am Ende der Expositionszeit erfolgte die Bestimmung des Vergilbungsfaktors (YF = yellowing factor):

bei $\frac{1}{2}$ " Abstand war YF = 4,5
bei 1" Abstand war YF = 2
bei 3" Abstand war YF = 0,6

Als Anhaltspunkt sei bemerkt, dass ein YF von 15 etwa die Grenze der noch annehmbaren Vergilbung darstellt.

Bei den verschiedenen Leuchtstoffröhren liegt der Anteil an UV-Licht, das den Phosphor durchdringt, unterschiedlich hoch, und damit auch die Wirkung auf Kunststoffe. Die verschiedenen Röhren ergeben in gleicher Zeit etwa folgende Vergilbungsfaktoren:

YF	
Deluxe warm white	4
Soft white	3,5
Deluxe cool white	2,5
Cool white	1,5
Warm white	1
Daylight	1

Zur Lichtdurchlässigkeit von Kunststoffen sind einige Bemerkungen zu machen. Schon in neuem Zustand braucht die Durchlässigkeit nicht über den ganzen Bereich des Lichtspektrums gleichmässig zu sein. An den Grenzen des sichtbaren Bereichs und jenseits davon bestehen oft sehr grosse Differenzen. Zwei recht ähnlich aussehende Kunststoffe, Polystyrol (PS) und Polymethylmethacrylat (PMMA) verhalten sich gegenüber kurzwelligem Licht geradezu komplementär. Bei 3000 Å ist PMMA praktisch vollkommen lichtdurchlässig und PS praktisch ganz undurchlässig. Soweit Ungleichheiten im Durchlässigkeitsgrad innerhalb des sichtbaren Bereichs nicht allzu grosses Ausmass annehmen, behilft man sich häufig mit einer komplementären Einfärbung. Die Lichtdurchlässigkeit im sichtbaren Bereich senkrecht zur Schichtebene liegt etwa bei folgenden Werten:

Polyester glasfaserverstärkt 1...1,5 mm dick	78...82 %
Acrylglas farblos 3 mm dick	92 %
PVC farblos	80...90 %
PVC durchscheinend farbig	30...60 %
Polystyrol 2,5 mm dick	
für die Wellenlänge 4000 Å	66 %
für die Wellenlänge 6700 Å	77 %
weiss durchscheinend eingefärbt bei 1,5 mm Dicke	50...60 %

Wie bereits festgestellt, führt insbesondere das kurzwellige Licht, sofern es absorbiert wird, zu Veränderungen im Kunststoff. Diese Veränderungen führen oft zu einer Abnahme der Lichtdurchlässigkeit. Tritt diese Abnahme bevorzugt am blauen Ende des Lichtspektrums auf, so wird das durchfallende Licht gegen gelb oder rot verschoben. Nach der Belichtung eines glasfaserverstärkten Polyesters in einem Belichtungsgerät ergab sich folgende Lichtdurchlässigkeit bei 3650 Å in %:

Belichtungszeit	Lichtdurchlässigkeit
0 h	84 %
400 h	59 %
1200 h	10 %
2000 h	1 %

Der lichttechnische Wirkungsgrad wird aber nicht nur durch eine Abnahme der Lichtdurchlässigkeit des Kunststoffs beeinträchtigt, sondern auch durch Verschmutzung. Oft genug ist dieser Faktor von überwiegender Bedeutung. Die Luft enthält fein verteilte Partikeln fester oder flüssiger Substanzen, wie Russ, mineralische Stäube, Tröpfchen von Ölen und dgl. Diese setzen sich teilweise durch Sedimentation, teilweise aber auch durch elektrostatische Anziehung ab.

Gegen die Verstaubung können verschiedene Massnahmen ergriffen werden. Bei der Sedimentation sammelt sich der Staub vorwiegend auf horizontalen Flächen. Man wird also nach Möglichkeit dafür sorgen müssen, dass die Beleuchtungskörper oberhalb solcher horizontaler Platten durch staubdichte Gehäuse abgeschlossen werden. Eine andere Massnahme besteht darin, dass man in staubigen Räumen horizontale Flächen weitgehend vermeidet z. B. durch Verwendung von Rastern bei denen fast nur vertikale Flächen vorkommen. Die elektrostatische Aufladung kann durch eine Nachbehandlung der Oberflächen stark gemildert werden. Im Prinzip handelt es sich um das Erzeugen einer besser leitenden Oberflächenschicht. Bei der periodischen Reinigung, die am einfachsten mit Seifenwasser erfolgt, kann diese Oberflächenbehandlung mühelos erneuert werden.

Zum Schluss sei noch darauf hingewiesen, dass die Bauvorschriften eine recht komplexe Angelegenheit sind, und dass die Grenzen der Anwendung von Kunststoffen von Kanton zu Kanton verschieden sein können. Es ist eine Aufgabe der Zukunft, in Zusammenarbeit mit allen interessierten Kreisen die entsprechenden Vorschriften dem heutigen Stand der Technik anzupassen. Es wird dabei vor allem darauf ankommen, die Kunststoffe sachlich richtig einzustufen.

Im Rahmen einer kurzen Übersicht ist es natürlich nicht möglich, das Thema erschöpfend zu behandeln. Worauf es hier besonders ankam, war, auf einige Gesichtspunkte hinzuweisen, die leicht übersehen werden. Im Besondern schien es zweckmässig, auf die Grenzen der Anwendungsmöglichkeiten hinzuweisen. Man darf die Kunststoffe heute ruhig realistisch betrachten und ihre Grenzen ohne Scheu aufzeigen, es bleiben auch so genug Möglichkeiten zu ihrer Anwendung. Auf die Dauer wird ohnehin nur ein technologisch sinnvoller Einsatz für Hersteller und Verbraucher gleichermaßen befriedigend sein.

Adresse des Autors:

Dr. G. O. Grimm, Dipl. Ing.-Chemiker, H. Weidmann AG, 8640 Rapperswil.

Restfehlerkorrektur bei einer Leitungspegelsteuerung mit Hilfe des Fernspeisestromes

Von J. Korn, Backnang/Württ.

621.395.44 : 621.317.341

Die Regulierung des Leitungspegels in Trägerfrequenz-Weitverkehrssystemen hat den Zweck, die temperaturabhängigen Dämpfungswandelungen der Kabel automatisch auszugleichen. Dies kann mittels einer Regelung oder einer Steuerung geschehen. Eine Kombination der Regelung und Steuerung ist technisch und wirtschaftlich am günstigsten. Die Leitungsregler werden durch eine Pilotspannung gesteuert. Die Pegelsteuerung geschieht mit Hilfe des Fernspeisestromes, der durch den temperaturabhängigen Widerstand des Kabels verändert wird, so dass zwischen seiner Änderung und der Änderung der temperaturabhängigen Kabeldämpfung ein direkter Zusammenhang besteht. Ein Teil des Fernspeisestromes wird als Stellstrom zur Einstellung der Stellglieder der Pegelsteuerung verwendet.

Dans les systèmes de transmission à grande distance par fréquence porteuse, le réglage du niveau de ligne a pour but de compenser automatiquement les variations d'affaiblissement des câbles dépendant de la température. Cela peut être réalisé à l'aide d'un réglage ou d'une commande. Du point de vue technique et économique une combinaison de réglage et de commande constitue la solution la plus avantageuse. Les régulateurs de ligne sont commandés par une tension pilote. La commande du niveau de ligne s'effectue à l'aide d'un courant d'alimentation à distance, modifié par la résistance du câble, variant en fonction de la température; cette commande est réalisée de manière à établir une relation directe entre la modification de ce courant et la modification de l'affaiblissement du câble en fonction de la température. Une partie du courant d'alimentation à distance sert