

Der Motorschutzschalter von ABB wurde speziell für Schienenfahrzeuge entwickelt und besteht aus halogen- und antimonfrei flammgeschütztem PBT

Kunststoff unter Strom

Elektrotechnik. Kunststoffe in der Elektrotechnik müssen ständig steigende und gleichzeitig unterschiedliche länderspezifische Anforderungen in der globalisierten Elektroindustrie erfüllen. Dabei spielen die notwendigen Brandschutzausrüstungen eine bedeutende Rolle.

KARL-MICHAEL REINFRANK
RALF NEUHAUS

Die Anforderungen an Kunststoffe für die Elektrotechnik steigen ständig. Gleichzeitig regelt eine Vielzahl von Normen den Markt und führt dazu, dass ganz spezielle, brandschutztechnisch ausgerüstete polymere Werkstoffe zur Verfügung stehen müssen. Hohe Geräte- und Gebrauchssicherheit stehen bei den Kriterien zur Beurteilung elektrotechnischer Artikel an erster Stelle. Dabei geht es vor allem um einen umfassenden Brandschutz, für den im Inwie im Ausland viele verschiedene Bestimmungen existieren.

Markt und Umfeld

Durch die Globalisierung der elektrotechnischen Industrie gelten für Unternehmen mit Exportaktivitäten mehrere Regelwerke nebeneinander. Bereits auf der Rückseite von einfachen Elektroartikeln wie Ladegeräten oder Bohrmaschinen stehen oft Prüfzeichen von IEC, VDE, UL, DIN, GS, CE und anderen Institutionen nebeneinander. Die Zulassungen, die sich hinter den einzelnen Logos verbergen, sind aufwän-

dig und umfangreich. Je nach Rechtskreis und Kundenbranche kommen unterschiedliche Verfahren zur Werkstoff- und/oder Bauteilprüfung und verschiedene Beurteilungskriterien zum Einsatz.

Neben den produktrechtlichen Aspekten wirken auch gesellschaftliche Strömungen bis in die Polymerlabors der Kunststoffanbieter zurück. So schließen Umweltverordnungen die Verwendung bestimmter Inhaltsstoffe aus oder fordern separate Verwertung. Wieder andere Wünsche an den Werkstoff stellt der Verarbeiter, der neben den Anforderungen

an Mechanik und Verarbeitbarkeit vor allem die Kosten im Blick hat.

Zwischen diesen sich zum Teil widersprechenden Forderungen zu vermitteln und für jeden Anwendungszweck den optimalen Werkstoff zur Verfügung zu stellen, ist Aufgabe eines leistungsfähigen Anbieters von technischen Kunststoffen. Mit zahlreichen Typen aus den Produktgruppen Polyamid (PA), Polybutylenterephthalat (PBT), Polyoxymethylen (POM) und Polysulfon/Polyethersulfon (PSU/PES) stellt die BASF für viele Zwecke das passende Produkt bereit. Die ▶

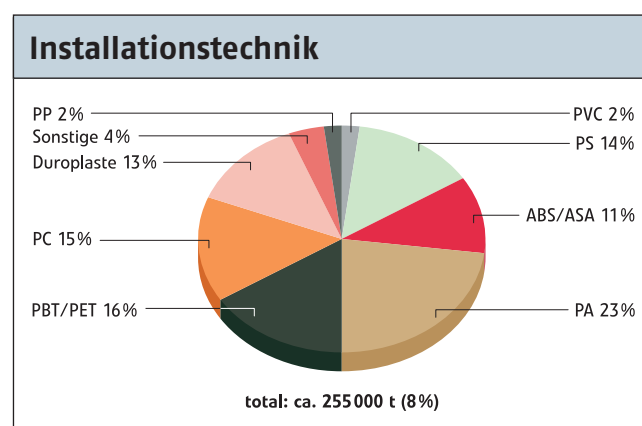


Bild 1. Kunststoffverbrauch in der Elektroindustrie in Westeuropa im Jahr 2000 (Quelle: BASF)

Handelsnamen, unter denen die vier Produktgruppen bei BASF vermarktet werden, sind die so genannten vier Ultras: Ultramid (PA), Ultradur (PBT), Ultraform (POM) und Ultrason (PSU/PES).

Rund 3 Mio. t Kunststoffe wurden nach Untersuchungen des VKE im Jahr 2000 allein in Westeuropa von der Elektroindustrie verarbeitet. Mit einem Anteil von 25 % bildet dabei Deutschland den größten Markt, gefolgt von Italien mit 20 % und Frankreich mit 17 %. Etwa 56 % der Anwendungen entfallen dabei auf Standardkunststoffe, 35 % auf technische Kunststoffe und 9 % auf Duroplaste. Aufgeschlüsselt nach Kunststofftypen dominiert bei den Standardkunststoffen PVC mit 18 %, gefolgt von Polystyrol

(17 %), Polyethylen (11 %), Polypropylen (10 %).

Bricht man auf einzelne Produktbranchen herunter, ergibt sich beispielsweise für die Installationstechnik, auf die im Jahr 2000 mit rund 255 000 t etwa 8 % des Kunststoffverbrauchs entfielen, folgendes Bild: Hier dominierten Polyamid (23 %) und PBT/PET (16 %) das Geschehen. Ebenfalls zweistellige Prozentanteile entfielen auf Polycarbonat, Polystyrol, ABS/SAN und Duroplaste (Bild 1).

Normen zum Brandverhalten

Die Anforderungen an diese Kunststoffe sind in den jeweiligen Normen für elektrisch betriebene Geräte und Ein-

richtungen beschrieben. Die dort geforderten Maßnahmen betreffen nicht nur den Werkstoff selbst, sondern enthalten auch Vorgaben für die Konstruktion der Bauteile. So soll einerseits die Verwendung von Werkstoffen mit geringer Entflammbarkeit und Flamm Ausbreitung, andererseits aber auch die konstruktive Begrenzung der Temperaturen im Störfall sicherstellen, dass ein größtmöglicher Schutz von Leben und Sachwerten gewährleistet ist. In Europa haben sich hierfür Regelwerke der International Electrotechnical Commission (IEC) durchgesetzt. Über europäische Normen (EN) werden sie auch in Deutschland in nationales Recht umgewandelt und münden in

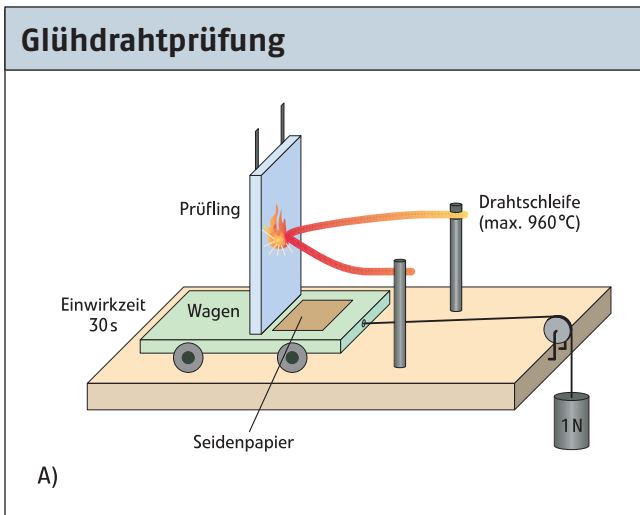


Bild 2A. Die Norm IEC 60695 bewertet die Glühdrahttemperatur

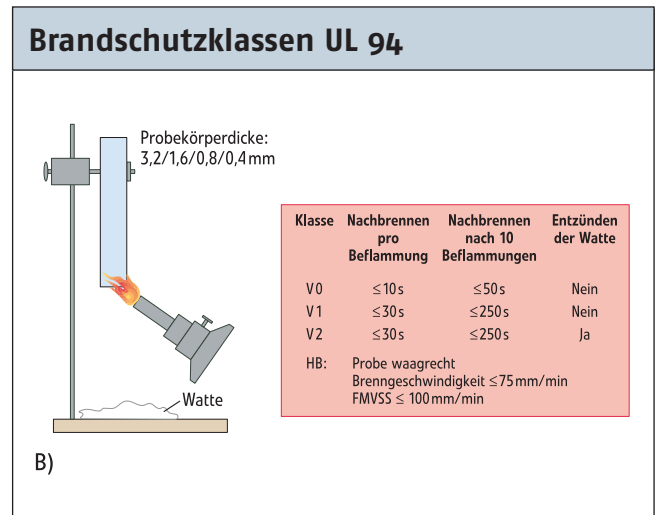


Bild 2B. Ergebnis ist die Einstufung in die Brandklassen V (vertikal) und HB (horizontal)

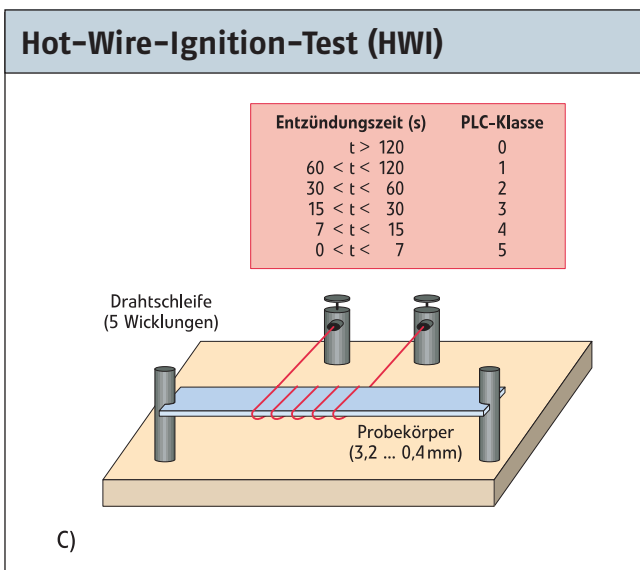


Bild 2C. Der Test simuliert eine Zündung, die sich durch überhitzte Drähte ergeben kann

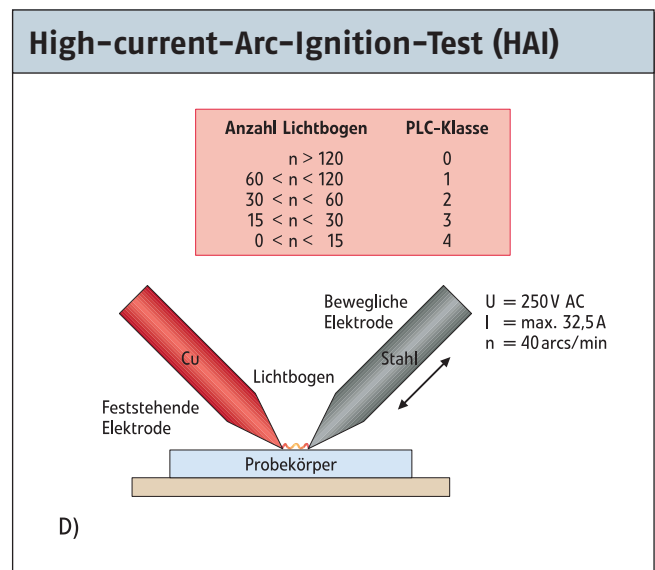


Bild 2D. Im Test wird der Probekörper zwischen zwei Elektroden regelmäßig wiederkehrenden Lichtbögen ausgesetzt (Quelle: Underwriters Laboratories Inc.)

DIN- und VDE-Normen. Anders ist die Situation in den USA, wo die Maßgaben der Underwriter Laboratories (UL) und in Kanada, wo die Sicherheitsbestimmungen der Canadian Standards Association (CSA) gelten.

Zu den für die Elektrotechnik maßgeblichen Normen zählen bei Industrieschaltgeräten in Europa die IEC 60947 und in den USA die UL 508. Die Auslegung von Schutzschaltern in der Hausinstallation richtet sich nach IEC 60898 (Europa) beziehungsweise nach UL 1077 (USA). Bei Hausgeräten verschärfen die neu gefassten Regelwerke IEC 60335 (mit 85 Unternormen) und UL 60335 die Anforderungen an das Brandverhalten weiter. Für Spezialanwendungen wie bei Schienenfahrzeugen können daneben auch besondere Normen wie die bekannte französische NF 16101 von Bedeutung sein.

Die einzelnen Regeln unterscheiden sich hinsichtlich der Vorgaben, des Prüfumfanges und der Prüfmethoden bezüglich des Brandverhaltens. Dabei stehen sich die Prinzipien der Werkstoffzulassung und der Bauteilzulassung gegenüber. Die UL stützen ihre Normen stark auf eine Prüfung der Werkstoffe und die Dokumentation der Werkstoffeigenschaften auf einer so genannten gelben Karte. Sie fassen die Anforderungen an Kunststoffe in dem Basisdokument UL 746 C zusammen (Polymeric Materials – Use in electrical equipment evaluations). Im Geltungsbereich der IEC-Normen liegt dagegen der Schwerpunkt

bezüglich Brandverhalten je nach Einsatzgebiet entweder auf der Prüfung des Werkstoffs oder auf der Prüfung fertiger Bauteile als Basis für die Zulassung. Verlässt sich der Konstrukteur nur auf die Bauteilprüfung, kann es nach Abschluss der Entwicklungsarbeiten und mehrfachen – vielleicht auch nur marginalen – Designänderungen bisweilen zu bösen Überraschungen kommen. Findet die Zulassung hingegen auf der Basis von Werkstoffkennwerten statt, so wird der Konstrukteur mit jedem Bauteil, das aus diesem Werkstoff besteht, die Brandnormen erfüllen.

Prüfung des Brandverhaltens

Ob an einem Prüfkörper oder an einem fertig geformten Bauteil: Ein wesentlicher Punkt der Prüfung gilt dem Brandverhalten. Zur Messung von Entzündlichkeit, Flammenausbreitung (Selbstverlöschung), Beitrag zur Wärmeentwicklung sowie der Entwicklung von Brandgasen und Rauch dienen unterschiedliche Prüfverfahren. Allen gemeinsam ist, dass bei der Prüfung die Art der Zündquelle und ihre Einwirkung auf den Probekörper festgelegt sind. Zu den wesentlichen Testmethoden für Bauteile zählt die Glühdrahtprüfung (IEC 60695). Dabei werden mit einer glühenden Drahtschleife überhitzte oder glühende Metallteile nachgebildet. Der auf die vorgegebene Prüftemperatur zwischen 650 und 960 °C erhitzte Draht wird gegen das zu untersuchende Formteil gedrückt. Dabei wird



Bild 4. Motorschutzschalter (klein) und Schaltschütz (groß): Für das schwarze Gehäuse des Motorschutzschalters verwendet Siemens ein mit rotem Phosphor als Flammschutz ausgerüstetes Polyamid 66. Im Fall des großen Schalters ist das PA 66 mit einem Duroplasten kombiniert; die hellen Abdeckungen sind in flammgeschütztem, glasfaserverstärktem PA 6 und in PBT laserbeschriftbar realisiert

festgestellt, ob der Prüfling entflammt, wie lange er brennt und ob brennendes Material herabfällt (Bild 2A).

Im Bereich der Werkstoffprüfung ist ein Beflammtest (UL 94) von hoher Bedeutung. Als Zündquelle dient eine Bunsenbrennerflamme, die zweimal kurzzeitig auf den Probekörper einwirken muss. Dabei wird die Brennzeit gemessen und das Abfallen brennender Teile anhand eines Wattebausches bewertet, der unter dem Prüfling liegt. Ergebnis dieses Tests ist die bekannte Einstufung in Brandklassen V (vertikal: UL 94 bzw. horizontal: HB; Bild 2B). Der Beflammtest ist immer zusammen mit dem HWI (Hot-Wire-Ignition-Test) und dem HAI (High-current-Arc-Ignition-Test) zu betrachten. Der HWI simuliert eine Zündung, die sich durch überhitzte Drähte ergeben kann. Für die Prüfung wird ein waagrecht angeordneter, stabförmiger Probekörper mit elektrisch erwärmtem Widerstandsdraht umwickelt. Als Bewertungskriterium gilt die Zeitspanne, nach der die Probe sich entzündet. Im HAI-Test wird der Probekörper zwischen zwei Elektroden regelmäßig wiederkehrenden Lichtbögen ausgesetzt. Der HAI bewertet die Anzahl der Lichtbögen bis zur Entzündung. Die Klassifizierung erfolgt in Stufen von 0 bis 4, wobei 0 die beste Bewertung ist (Bilder 2C und 2D). Zulässige Kombinationen ▶

Materialanforderungen für E+E						
UL94 V-0						
HWI						
	PLC 0	PLC 1	PLC 2	PLC 3	PLC 4	PLC 5
HAI	PLC 0	PLC 1	PLC 2	PLC 3	PLC 4	PLC 5
	PLC 1	PLC 2	PLC 3	PLC 4	PLC 5	
	PLC 2	PLC 3	PLC 4	PLC 5		
	PLC 3	PLC 4	PLC 5			
	PLC 4	PLC 5				
	PLC 5					
UL94 V-1						
HWI						
	PLC 0	PLC 1	PLC 2	PLC 3	PLC 4	PLC 5
HAI	PLC 0	PLC 1	PLC 2	PLC 3	PLC 4	PLC 5
	PLC 1	PLC 2	PLC 3	PLC 4	PLC 5	
	PLC 2	PLC 3	PLC 4	PLC 5		
	PLC 3	PLC 4	PLC 5			
	PLC 4	PLC 5				
	PLC 5					
UL94 V-2						
HWI						
	PLC 0	PLC 1	PLC 2	PLC 3	PLC 4	PLC 5
HAI	PLC 0	PLC 1	PLC 2	PLC 3	PLC 4	PLC 5
	PLC 1	PLC 2	PLC 3	PLC 4	PLC 5	
	PLC 2	PLC 3	PLC 4	PLC 5		
	PLC 3	PLC 4	PLC 5			
	PLC 4	PLC 5				
	PLC 5					
UL94 HB						
HWI						
	PLC 0	PLC 1	PLC 2	PLC 3	PLC 4	PLC 5
HAI	PLC 0	PLC 1	PLC 2	PLC 3	PLC 4	PLC 5
	PLC 1	PLC 2	PLC 3	PLC 4	PLC 5	
	PLC 2	PLC 3	PLC 4	PLC 5		
	PLC 3	PLC 4	PLC 5			
	PLC 4	PLC 5				

Bild 3. Die UL 746C-Zulassung ergibt sich aus einer Kombination der UL 94-Brandklasse nach UL 94 (V0 bis V2) mit HWI- und HAI-Werten (die roten Felder entsprechen zulässigen, die beige nicht zugelassenen Kombinationen)

von Brandklasse, HWI- und HAI-Prüfergebnissen zeigt Bild 3 (rot = zulässig nach UL 746C; beige = nicht zugelassen).

Möglichkeiten für effektiven Brandschutz

Das Brandverhalten technischer Kunststoffe ist sehr unterschiedlich ausgeprägt. Die Höhe des Schmelzpunkts gibt darüber keinen Aufschluss. Sie ist nur für die Fertigung von Bedeutung. Relevant ist der so genannte Low Oxygen Index (LOI), der den notwendigen Sauerstoffanteil in der Umluft spezifiziert, bei dem das Material gerade nicht mehr brennt. Für Polyamid und PBT liegt der LOI bei etwa 24. In beiden Fällen lassen sich geeignete Flammenschutzmittel finden, die den LOI anheben. Mit einem LOI von 15 gilt beispielsweise POM als relativ leicht brennbar. POM wird daher für funktionale Teile eingesetzt, die besondere Anforderungen an Gleitreibung und Federeigenschaften stellen, aber nicht unter elektrischer Spannung liegen. POM-Formulierungen mit Flammenschutzmitteln weisen eine Reihe verarbeitungs- und anwendungstechnischer Nachteile auf und fanden bislang keinen Markt. Die Hochleistungskunststoffe Polysulfon und Polyethersulfon weisen LOI-Werte zwischen 30 und 38 auf. Sie sind in normaler Atmosphäre nicht brennbar und können meist ohne zusätzlichen Brandschutz auskommen.

Das Ziel einer Brandschutzrüstung besteht darin, mit Hilfe geeigneter flammhemmender Zusätze die einzelnen Vorgänge beim Ablauf eines Verbrennungsprozesses zu stören oder zu verzögern und die thermische Rückkoppelung zu vermindern. Dazu stehen mehrere

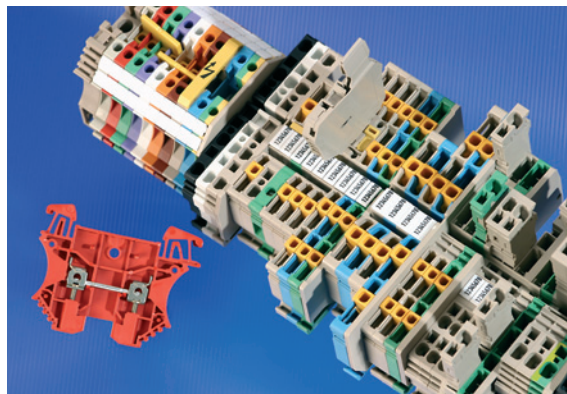


Bild 5. Die Reihenklemmen der Firma Weidmüller bestehen aus einem unverstärkten Copolyamid auf Basis von PA 6 und PA 66, das mit halogenfreiem, stickstoffhaltigem Flammenschutz ausgerüstet ist und die Brandklasse V0 erfüllt

Möglichkeiten zur Verfügung. Anwendung können jedoch nur solche Additive finden, die weder Verarbeitbarkeit, Mechanik noch Vergilbungsneigung zu stark beeinflussen.

Zur universell einsetzbaren Brandschutzrüstung zählen halogenhaltige, darunter auch bromhaltige Substanzen. Die EU-Elektro-/Elektronikschrottverordnung (WEEE) sieht jedoch vor, dass Kunststoffteile mit bromhaltigem Flammenschutz separat verwertet werden müssen. Die damit verbundenen Mehrkosten werden dazu beitragen, dass sich der Markt in Richtung halogenfreie Flammenschutzsysteme bewegen wird.

Diese alternativen Flammenschutzmittel sind meist ebenso wirksam wie die halogenhaltigen, aber nicht so universell einsetzbar. Vielmehr müssen die halogenfreien Flammenschutzmittel auf den jeweiligen Kunststoff zugeschnitten werden. Halogenfreie Flammenschutzmittel wirken jedoch weniger nachteilig auf die elektrischen Eigenschaften der Bauteile und sie erhöhen im Gegensatz zu halogenhaltigen Zusatzstoffen die Dichte des Materials nur in geringem Maß.

Bei Polyamiden (PA) kommt hier oft Flammenschutz mit rotem Phosphor zum Einsatz. Die überragende Bedeutung von mit Phosphor flammgeschütztem PA in der Elektrotechnik – besonders für elektrische Isolierteile und Gehäuse in der Energietechnik – beruht auf den guten Isoliereigenschaften (Durchgangs- und Oberflächenwiderstand) in Verbindung mit Durchschlagsfestigkeit, Kriechstromfestigkeit und Wärmealterungsverhalten sowie günstigen Volumpreisen. Der eher niedrig

dosierte rote Phosphor erhält dabei das dem Polyamid eigene gute Verhältnis zwischen Zähigkeit und Steifigkeit. Durch die Eigenfarbe des roten Phosphors sind jedoch nur rote oder dunkle Bauteile zugänglich. Speziell das in der Installationstechnik weit verbreitete Lichtgrau lässt sich mit Kunststoffen, deren Flammenschutz mit rotem Phosphor eingestellt wird, nicht realisieren. Alter-

i	Hersteller
<p>BASF AG Carl-Bosch-Str. 38 D-67056 Ludwigshafen Tel. +49 (0) 06 21/60-43348 Fax +49 (0) 06 21/60-49497 ultraplaste.infopoint@basf-ag.de www.basf.de</p>	

nativ zu rotem Phosphor kann der Flammenschutz auch durch organische Stickstoffverbindungen oder Magnesiumhydroxid erreicht werden. Eine neuere Entwicklung betrifft den Einsatz organischer Phosphorverbindungen als Flammenschutz. Vorteil dieser Produktklasse: Die neuen Phosphorverbindungen ermöglichen die Herstellung auch heller Bauteile. Diese Flammenschutzmittel sind jedoch noch sehr teuer. Zurzeit ist schwer abzuschätzen, ob der Markt die Produkte akzeptieren wird. Tabelle 1 zeigt einige Eigenschaften brandgeschützter Kunststoffe aus dem BASF-Sortiment.

Für jede Anwendung den richtigen Brandschutz

Bei der Anwendung in Motorschutzschaltern werden deshalb zwei verschiedene Polyamidtypen kombiniert: Für die schwarze Unterschale kommt ein mit rotem Phosphor additiviertes, glasfaserverstärktes Polyamid 66 zum Einsatz, ▶



Bild 6. Den Leitungsschutzschalter stellt die Firma Moeller aus einem flammgeschützten, hellgrau eingefärbten Polyamid her

Handelsname	Polymer	Verstärkung	FR	FR-Klasse	HWI	HAI	GWFI °C	GWIT °C	E-Modul MPa	Bruchdehnung %	Dichte g/cm³
Ultradur B4406 G6	PBT	GF30	Halogen	V0	0	0	960		11300	2,3	1,65
Ultradur B4400	PBT	glasfaser verstärkt	halogen- und antimonfrei	V0	2	0	960	725	11000	1,9	1,62
Ultramid C3U	PA 66/6	–	halogen- und phosphorfrei	V0	2	0	960	960	3600 (tr)	6,0 (tr)	1,16
Ultramid A3X2G7	PA 66	GF35	roter Phosphor	V0	1	0	960	800	11000 (tr)	3 (tr)	1,45
Ultramid B3UG4	PA 6	GF20	halogen- und phosphorfrei	V2	2	0	960		6000 (tr)	3,5 (tr)	1,31
Ultramid B3UM4	PA 6	M20	halogen- und phosphorfrei	V2	3	0	960		5400 (tr)	3,0 (tr)	1,35
Ultramid B3UGM210	PA 6	GF10	halogen- und phosphorfrei	V0	2	0			11000 (tr)	1,7 (tr)	1,67
Ultrason E2010G6	PES	GF30	–	V0					10200	1,9	1,6

Tabelle 1. Eigenschaften brandgeschützter Kunststoffe aus dem BASF-Sortiment

das durch seinen Flammenschutz selbst hohe Ströme und Temperaturen toleriert. Darüber hinaus zeichnet es sich durch eine hohe Wärmeformbeständigkeit und gute mechanische Eigenschaften aus. Die lichtgraue Sichtfront des Motorschutzschalters hingegen unterliegt einer niedrigeren Brandschutzklasse, da kein Kontakt zu spannungsführenden Teilen besteht. Diese Oberseite kann deshalb in glasfaserverstärktem PA 6, mit stickstoffhaltigem Flammenschutz, oder in PBT ausgeführt werden (Bild 4).

Eine andere Anwendung betrifft Reihenklempen, wie sie in großen

Schaltschränken verwendet werden. Bei den Schnappverschlüssen, die die Montage erleichtern, kommt es mehr auf Zähigkeit als auf Festigkeit an. Dafür bietet sich ein unverstärktes Copolyamid aus PA 6 und PA 66 an, mit halogenfreiem, stickstoffhaltigem Flammenschutz (Bild 5).

Bei Leitungsschutzschaltern (Bild 6) findet inzwischen die Substitution von Duroplasten und halogenhaltig flammgeschütztem Polyamid durch halogenfreie Produkte statt. Eine glasfaserverstärkte PA 6-Variante ist hierfür bereits seit längerem verfügbar. Sie lässt sich leichter verarbeiten und bietet ein besseres Preis-Leistungs-Verhältnis als herkömmliche Produkte.

Bei Hausgeräteschaltern wird typischerweise PA 66, glasfasergefüllt, mit rotem Phosphor als Flammenschutz eingesetzt (Bild 7).

Neu im BASF-Sortiment ist ein PA 6 mit halogenfreier Flammschutzausrüstung und Mineralverstärkung. Es bietet für weniger belastete Anwendungsfälle rund 80 % des mechanischen Eigenschaftsprofils von glasfaserverstärktem Polyamid und birgt gleichzeitig ein hohes Kostensenkungspotenzial für den Kunden in sich.

Und schließlich hat mit dem Serieneinsatz des ersten halogenfrei und antimonfrei ausgerüsteten flammgeschützten PBT auch ein innovatives Polybutylenterephthalat der BASF seine Feuerprobe bestanden. Die Firma ABB setzt das auf der K 2001 vorgestellte Ultradur B4400 der BASF in Motorschaltern ein, die speziell für die hohen Ansprüche bei Schienenfahrzeugen ausgelegt sind und die strenge französische

Norm NF 16101 für diesen Bereich erfüllen (Titelbild).

Die nötigen Anforderungen erfüllen

Im harten Wettbewerbsumfeld der Elektroindustrie ist der Kostenaspekt für den Kunststoffhersteller ebenso wie für den Kunststoffverarbeiter und den Bauteilentwickler von wachsender Bedeutung. Die umfangreichen und teilweise komplex miteinander verwobenen Normen und Regelungen müssen deshalb genau studiert werden, damit der verwendete Kunststoff alle nötigen, aber durchaus nicht alle möglichen Anforderungen erfüllt. Nur so können alle am Prozess Beteiligten langfristig optimale Produkte entwickeln. ■

DIE AUTOREN

KARL-MICHAEL REINFRANK, geb. 1960, ist Projektmanager im Vertrieb der technischen Kunststoffe der BASF für Anwendungen in der Elektrotechnik.

DR. RALF NEUHAUS, geb. 1968, ist als technischer Produktmanager im Marketing Polyamide der BASF unter anderem für den E+E-Bereich zuständig.

SUMMARY PLAST EUROPE

Plastics Go Electric

ELECTRICAL ENGINEERING. In the highly globalised electrical industry, plastics are having to meet increasingly stringent, country-specific requirements. Fire-retardant modification plays a key role here.

NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE102960** on our website at www.kunststoffe.de/pe

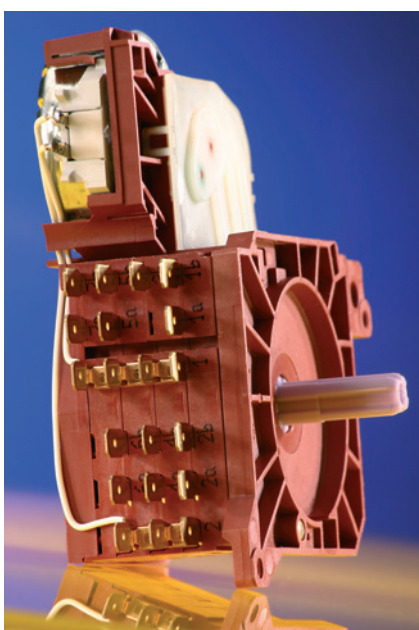


Bild 7. Die rot eingefärbten Teile des Programmierschalters der Firma Diehl-Ako bestehen aus einem mit Phosphor flammgeschützten PA 66, die weißen ebenfalls aus PA 66