Technische Kunststoffe für die E&E-Industrie

Normen und Prüfverfahren

Weitere Informationen zu den jeweiligen Produkten:

www.ultramid.de

www.ultradur.de

www.ultrason.de

www.plasticsportal.eu/ultraform

BASF

We create chemistry

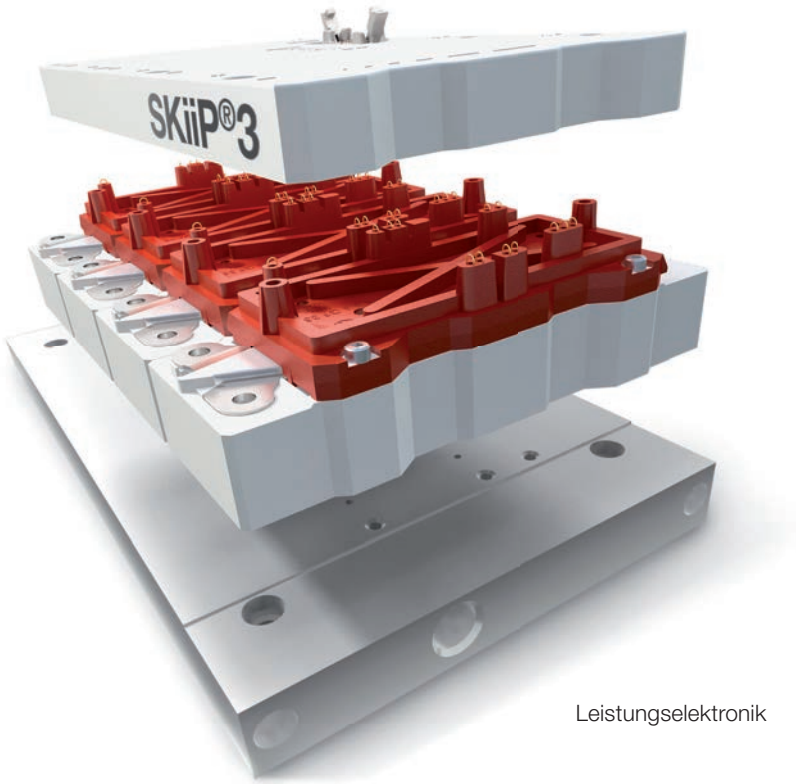
Technische Kunststoffe für die E&E-Industrie

KOMPETENZ IN BRANDSCHUTZ		4-5
BESCHREIBUNG DES BRANDVERHALTENS		6-10
Grundlagen: Entzündung und Brandverlauf	6	
Parameter zur Beschreibung des Brandverhaltens	7	
Entzündlichkeit und Flammenausbreitung	7	
Brandnebenerscheinungen	8	
Maßnahmen nach Bränden	10	
ANWENDUNGEN UND PRÜFUNGEN		11-25
Elektrotechnik	11	
Verkehrswesen	19	
LITERATUR		26-27
	26	

Kompetenz in Brandschutz

Es ist uns kaum noch bewusst: Wir leben im Zeitalter der Kunststoffe. Mit ihren vielfältigen Einsatzmöglichkeiten sind sie aus dem modernen Leben nicht mehr wegzudenken. Sie leisten entscheidende Beiträge zu Lebensqualität und Komfort, zu Technik und Fortschritt, zu Ästhetik und Wohlbefinden. Kunststoffe – unentbehrliche Werkstoffe unseres täglichen Lebens – zählen, wie die meisten Naturstoffe, auch zu den brennbaren Stoffen.

Durch Brände entstehen weltweit in erheblichem Maße Personen-, Sach- und Umweltschäden. Wichtig für die Sicherheit im Brandfall sind Maßnahmen, die eine frühzeitige Branderkennung und -bekämpfung erlauben sowie Flucht- und Evakuierungsmöglichkeiten. Darüber hinaus gelten für das Brandverhalten der verwendeten Materialien und der daraus hergestellten Bauteile bestimmte Sicherheitsanforderungen, jeweils abhängig von den konkreten Einsatzbedingungen. Diese sind in den verschiedenen Anwendungsbereichen häufig unterschiedlich und nicht direkt miteinander vergleich-bar. Gemeinsam ist jedoch das vorrangige Ziel, Leben und Gesundheit von Menschen sowie Sachwerte und die Umwelt zu schützen.



Leistungselektronik

Die BASF schafft in Zusammenarbeit mit den Anwendern sowie vielen Organisationen des Brandschutzes die notwendigen Voraussetzungen für eine sichere und zuverlässige Anwendung ihrer Produkte. Beispielsweise erfolgt die Entwicklung von flammgeschützten Ultramid®- und Ultradur®-Typen (PA bzw. PBT) im engen Wechselspiel zwischen Produkt- und Anwendungsentwicklung, Ökologie und Markt. Durch Mitarbeit in Brandschutzgremien werden neue materialtechnische Anforderungen bereits frühzeitig erkannt und entsprechend umgesetzt.

Die vorliegende Broschüre soll den Anwendern von technischen Kunststoffen der BASF einen Überblick über die vielfältigen brandschutztechnischen Anforderungen und Prüfbestimmungen in den wichtigsten technischen Anwendungsbereichen, insbesondere im Verkehrswesen und in der Elektrotechnik geben. Dieser Überblick kann nicht vollständig sein. So werden beispielsweise Anwendungen im Bauwesen, im Schiffbau, bei Verpackungen und Verbraucherprodukten wie Möbeln, Textilien oder Spielzeug nicht behandelt.

Bei speziellen weiterführenden Fragen, auch zu den hier nicht behandelten Themen, stehen die Experten der BASF jederzeit zur Verfügung.

DAkkS
Deutsche Akkreditierungsstelle

Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH

Beliehene gemäß § 8 Absatz 1 AkkStelleG i.V.m. § 1 Absatz 1 AkkStelleGBV
Unterzeichnerin der Multilateralen Abkommen
von EA, ILAC und IAF zur gegenseitigen Anerkennung

Akkreditierung

Die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH bestätigt hiermit, dass das Prüflaboratorium

BASF SE
Carl-Bosch-Straße 38, 67056 Ludwigshafen

für das Prüflabor

BASF SE,
E-PME/NQ-H201
67056 Ludwigshafen

die Kompetenz nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 besitzt, Prüfungen in folgenden Bereichen durchzuführen:

physikalische, mechanisch-technologische, Umwelt- und Brandprüfungen von Kunststoffen und Textilien

Die Akkreditierungsurkunde gilt nur in Verbindung mit dem Bescheid vom 15.04.2015 mit der Akkreditierungsnummer D-PL-14121-04 und ist gültig bis 14.04.2020. Sie besteht aus diesem Deckblatt, der Rückseite des Deckblatts und der folgenden Anlage mit insgesamt 9 Seiten.

Registrierungsnummer der Urkunde: **D-PL-14121-04-00**

Berlin, 15.04.2015

Im Auftrag
Rolf Tigner
Abteilungsleiter

Abb. 1: Akkreditiertes Prüflabor der BASF nach **DIN EN ISO/IEC 17025**[1]

Beschreibung des Brandverhaltens

Grundlagen: Entzündung und Brandverlauf

Die Entstehung eines Brandes und seine Ausbreitung wird wesentlich von der Größe, Art und Position der Zündquelle sowie von der Form und den spezifischen Eigenschaften des brennbaren Materials bestimmt. Auch der Verbund mit anderen Materialien sowie die Herstellungs- und Umgebungsbedingungen beeinflussen das Brandverhalten.

Ein Brand entwickelt sich häufig nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten. Brände in Räumen haben Seekamp[2] und Becker[3] eingehend untersucht und beschrieben:

Nach der Zündung des brennbaren Produktes breiten sich in der Regel die Flammen als äußere Erscheinung des Brandes an seiner Oberfläche aus. Entwickelt der zuerst gezündete Stoff genügend Wärme, so werden weitere Bereiche vom Brand erfasst.

Der Brand greift umso schneller um sich, je mehr Wärme entsteht, die die Raumtemperatur anhebt und durch Wärmestrahlung die Materialoberflächen aufheizt und zersetzt, die dem Brandherd benachbart sind (Phase der Brandentstehung). Die dabei entweichenden Gase erreichen nach einiger Zeit zündbare Konzentrationen, so dass der Brand schlagartig den ganzen Raum erfassen kann. Mit diesem Feuerübersprung (flash-over) beginnt die Phase des vollentwickelten Brandes. Dessen Ausbreitung auf Zonen außerhalb des Raumes wird durch die Feuerwiderstandsfähigkeit der raumumgebenden Bauteile bestimmt (Abb. 2).

Hat der Brand im Raum seinen Höhepunkt überschritten, folgt die Phase des abklingenden Brandes, in der die brennbaren Stoffe im Raum mehr oder weniger vollständig abbrennen.

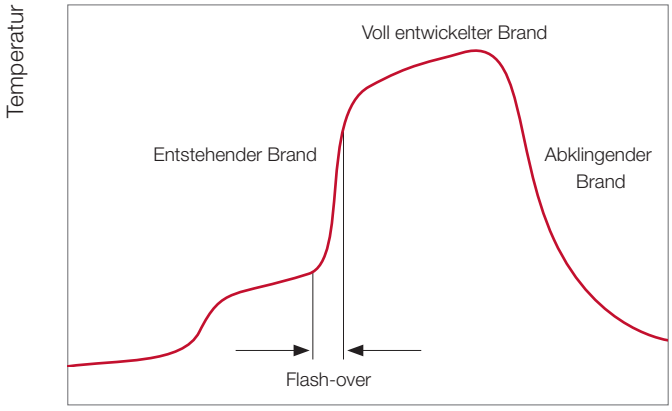
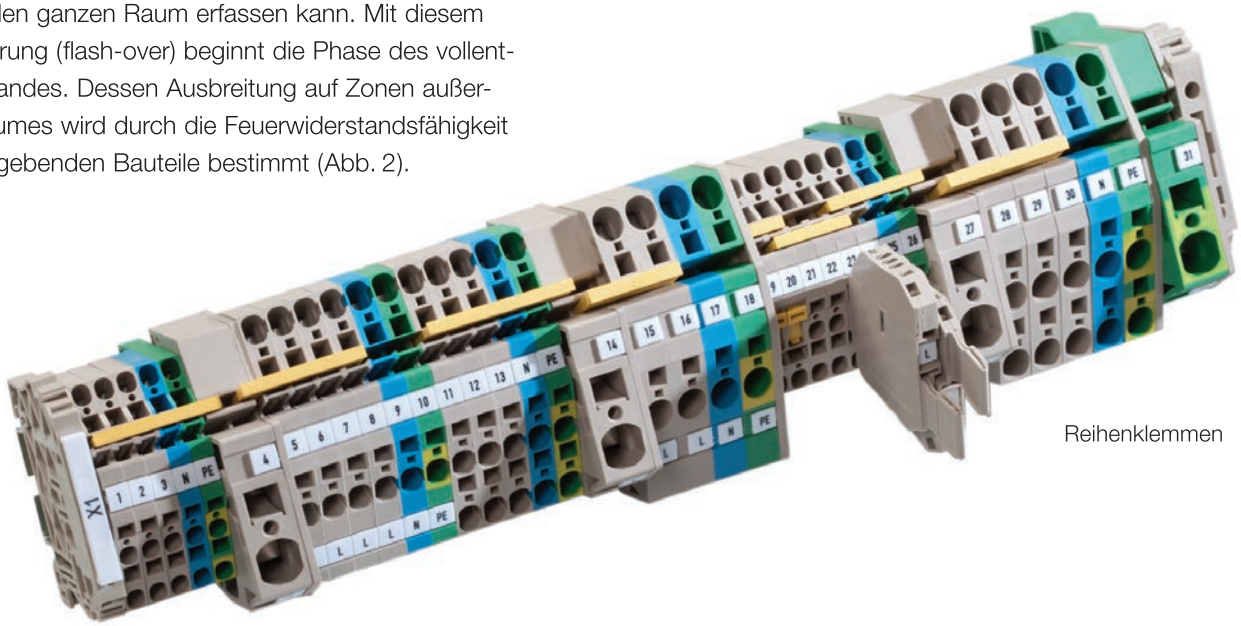


Abb. 2: Phasen des Brandverlaufs in Räumen nach Becker[3]



Reihenklemmen

Parameter zur Beschreibung des Brandverhaltens

Eine grundlegende Darstellung zum Thema Brandverhalten von Kunststoffen findet sich beispielsweise bei Troitzsch[4]. Die charakteristischen Größen für das Brandverhalten sind:

- Entzündbarkeit
- Beitrag zur Flammenausbreitung
- Wärmeentwicklung

Brandnebenerscheinungen sind:

- Brennendes Abtropfen/Abfallen
- Rauchentwicklung (optische Dichte und Toxizität)
- Toxizität von Brandrückständen
- Korrosivität von Brandgasen und -rückständen

Für die Beurteilung und Bewertung des Brandverhaltens sind Brandprüfungen erforderlich. Diese sollen praxisnah sein und die Situation der Brandgefährdung gut abbilden. Sie werden häufig an Probekörpern festgelegter Abmessungen unter reproduzierbaren Anfangs- und Randbedingungen ausgeführt. Ziel dieser Art von Prüfungen ist es, vergleichbare produktspezifische Kenngrößen zu ermitteln.

Da das Brandverhalten jedoch nicht nur auf der reinen Materialeigenschaft beruht, müssen auch Prüfungen an kompletten Aufbauten oder Bauteilen unter praxisrelevanten Bedingungen durchgeführt werden.

Entzündlichkeit und Flammenausbreitung

Die Zündung ist die Einleitung eines Verbrennungsprozesses. Sie setzt die Erwärmung und Zersetzung des Brandgutes im Einwirkungsbereich der Zündquelle voraus. Thermoplastische Kunststoffe erweichen bei Erwärmung (Glasübergang, Kristallitschmelze) und gehen bei weiterer Temperaturerhöhung in Schmelze über, aus der sich die brennbaren Zersetzungsprodukte entwickeln. Nach ihrer Vermischung mit dem Sauerstoff der Luft kann bei Konzentrationen innerhalb der Zündgrenzen und bei ausreichend hoher Energie die Zündung als Selbst- oder Fremdzündung erfolgen.

Im Gegensatz zu brennbaren Flüssigkeiten kann bei technischen Kunststoffen, wie bei allen anderen brennbaren Feststoffen, kein Flammpunkt angegeben werden. Bei Prüfung nach **DIN 54836**[5] erhält man Entzündungstemperaturen unter Flammeneinwirkung von etwa 350 °C bis 400 °C. Ohne Flammeneinwirkung werden die thermischen Zersetzungsprodukte erst bei etwa 50 °C bis 100 °C höheren Temperaturen entzündet.

Die Verbrennung ist ein exothermer Prozess. Ein Teil der in der Verbrennungszone freiwerdenden Energie wird zur Erwärmung und zur Bildung von brennbaren Zersetzungsprodukten verbraucht. Diesen Vorgang bezeichnet man als thermische Rückkopplung (Feedback) von der Verbrennungszone in die Erwärmungszone. Das Verhältnis der verfügbaren Energiemenge zu der Energiemenge, die für die Erwärmung und Bildung von brennbaren Zersetzungsprodukten benötigt wird, bestimmt das Maß der Flammenausbreitung an der Oberfläche des brennbaren Stoffes. Die Flammenausbreitung kann demnach auch als Kette von Zündvorgängen angesehen werden.

Außer vom chemischen Aufbau des brennbaren Stoffes und seinen physikalischen Eigenschaften, z. B. der Viskosität der Schmelze, werden Ablauf und Umfang dieser Vorgänge auch von Zusatzstoffen wie Stabilisatoren, Farbstoffen und Gleitmitteln bestimmt. Sofern Kunststoffe nicht ausreichend inhärent flammhemmend sind, wie das beispielsweise bei Ultrason® der Fall ist, kann das Brandverhalten durch den Zusatz von Flammschutzmitteln verbessert und so der Beitrag zur Brandausbreitung erheblich reduziert werden. Allerdings kann bei hohen Zündenergien, die über längere Zeit einwirken, auch hier eine Entzündung eintreten.

Das Brennen ist jedoch meist auf den direkten Einwirkungsbereich der Zündquelle begrenzt. Ebenso ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Flammen viel geringer als bei Kunststoffen ohne Brandschutzausrüstung. Sobald der Kontakt mit der Zündquelle unterbrochen wird, ist vor allem im frühen Stadium eines Brandes ein Nachbrennen meist nicht zu beobachten. Inhärent flammhemmende Kunststoffe und solche mit Brandschutzausrüstung erreichen häufig die für brennbare Stoffe bestmöglichen Klassifizierungen.

Kunststoff	Hu (kJ/kg)
Polyacetal (POM)	17.000
Polyethersulfon (PESU)	17.000
Polyvinylchlorid (PVC)	20.000
Polymethylmethacrylat (PMMA)	26.000
Polybutylenterephtalat (PBT)	31.000
Polyamid (PA)	32.000
Polysulfon (PSU)	36.000
Styrolcopolymere (ASA, ABS, SAN)	37.000
Polystyrol (PS)	42.000
Polyolefine (PP und PE)	46.000

Tab. 1: (Untere) Heizwerte einiger thermoplastischer Kunststoffe

Brandnebenerscheinungen

Zur Beschreibung des Brandverlaufes ist es wichtig, die Wärmefreisetzung zu kennen. Die Wärmefreisetzung ist von der Abbrandrate des brennenden Stoffes unter den vorliegenden Brandbedingungen, d. h. vom Brandszenarium, abhängig. Bei einem Brand kann maximal die Wärmemenge freigesetzt werden, die dem Heizwert entspricht. Der Heizwert ist die unter normierten Bedingungen – bei vollständiger Verbrennung eines Stoffes – freiwerdende Wärmemenge, vermindert um die Verdampfungswärme des sich bildenden Wassers. Da die Brennbarkeit bzw. das Brandverhalten von sehr vielen Einflussgrößen abhängig ist, darf die Höhe des Heizwertes eines Stoffes nicht als Maß für dessen Brennbarkeit im üblichen Sinne angesehen werden. Tabelle 1 beinhaltet Heizwerte häufig verwendeter thermoplastischer Kunststoffe nach **DIN 51 900-1**[6].

Rauchentwicklung

Bei jedem Brand entstehen Gase sowie feste und/oder flüssige Zersetzungs- und Folgeprodukte in variierender Zusammensetzung. Bei den flüssigen Produkten handelt es sich vorwiegend um Wasser, bei den festen um Ruß. Von Rauch spricht man, wenn die Brandgase feste und/oder flüssige Partikel enthalten. Dadurch entstehen verschiedene Risiken: Rauch kann sichtmindernd, toxisch und korrosiv wirken.

Rauchdichte

Die optische Dichte des Rauches bestimmt die Sichtverhältnisse und beeinflusst dadurch die Fluchtmöglichkeiten im Brandfall. Zur Messung der Rauchdichte wird üblicherweise das Prinzip der Lichtextinktion angewendet: Die Schwächung eines Lichtstrahls bekannter Intensität durch den Rauch ist ein Maß für dessen optische Dichte. Es werden statische (kumulative) und dynamische Verfahren zur Rauchmessung verwendet. Die unterschiedlichen Prüfverfahren unterscheiden sich außerdem durch die Art der Zersetzung und durch die Menge des zur Verfügung stehenden Sauerstoffs. Die ermittelten Werte aus unterschiedlichen Prüfmethoden können daher nicht miteinander verglichen werden.

Toxizität

Brandgase und Brandrückstände von Kunststoffen – ebenso wie von Naturstoffen – haben immer ein toxisches Potential. In vielen Fällen können bestimmte Maßnahmen verhindern, dass Menschen durch das Inhalieren von Brandgasen zu Schaden kommen. Dazu gehören vor allem die Begrenzung der Entzündlichkeit und Flammenausbreitung, die Schaffung von Fluchtwegen und Rauch- und Wärmeabzügen sowie die Branderkennung und -bekämpfung. Wenn Fluchtmöglichkeiten eingeschränkt sind oder fehlen (z. B. bei Schienenfahrzeugen, die in Tunnels verkehren, Flugzeu-

gen, Schiffen), wird häufig auch die Zusammensetzung der Brandgase als sicherheitsrelevant betrachtet.

Die Toxizität der Brandgase bestimmen nicht nur die beteiligten Materialien. Das Brandszenario (z. B. Temperatur, Sauerstoffangebot) hat ebenfalls einen großen Einfluss.

Alle Brandgase enthalten als wesentliche Komponenten Kohlendioxid, Wasser und Kohlenmonoxid als Folge der unvollständigen Verbrennung. Die Konzentrationsverhältnisse werden durch die Brandbedingungen beeinflusst. Der Gehalt an Kohlenmonoxid bestimmt häufig die akute Inhalationstoxizität der Brandgase. Kohlenmonoxid entsteht fast immer in ausreichender Menge und schnell genug, um – verglichen mit anderen Brandgaskomponenten – zuerst den letalen Grenzwert zu überschreiten. In einzelnen Fällen können jedoch auch andere Brandgaskomponenten ein Risiko darstellen. Eine Fülle anderer Substanzen kann als Nebenprodukt entstehen und subletale Wirkung zeigen.

Für die Abschätzung des toxischen Potentials wird die Konzentration an relevanten Komponenten im Brandgas mit einer bekannten Grenzkonzentration verglichen. Als Basis dienen häufig die IDLH-Werte (Immediately Dangerous to Life and Health). Man geht davon aus, dass eine Flucht innerhalb von 30 Minuten möglich ist, wenn die IDLH-Werte unterschritten werden.

Für Prognosen wird üblicherweise die Habersche Regel verwendet: „Wenn das Produkt aus Konzentration und Zeit gleich bleibt, so tritt die gleiche Wirkung ein.“ Als effektive Expositionsdosis wird infolgedessen für jede Gaskomponente das Produkt aus dem IDLH-Wert (Konzentration) und der zu Grunde liegenden Zeit von 30 Minuten definiert (Tabelle 2).

Aus den im Verlauf von Brandversuchen gemessenen Brandgaskonzentrationen kann man die Expositionsdosis als Produkt aus Konzentration und Versuchszeit berechnen. Mit einem Skalierungsfaktor werden die Größe der Probe, das Volumen der Versuchskammer und die geometrischen Verhältnisse in der vorgesehenen Endanwendung berücksichtigt.

Die so genannte fraktionelle effektive Expositionsdosis (FED) wird dann folgendermaßen bestimmt:

$$FED = \frac{\text{vorhandene Expositionsdosis}}{\text{effektive Expositionsdosis}} = \int \frac{c(t)}{Ct_{eff}} dt$$

Das heißt, die gemessene Expositionsdosis wird mit der effektiven Expositionsdosis für die entsprechende Gaskomponente verglichen. Wenn der FED kleiner als 1 ist, kann man davon ausgehen, dass ein Überleben bzw. die Fluchtfähigkeit im betrachteten Zeitraum gesichert ist.

Für eine näherungsweise Abschätzung des Gesamtrisikos durch alle Brandgaskomponenten wird eine additive Wirkung der im Brandversuch gefundenen Komponenten vorausgesetzt. Die Summe der FED-Werte für jede Komponente ergibt somit eine FED_{gesamt}.

Korrosivität

Brandgase vieler organischer Stoffe wirken korrosiv. Auch Brandgase von Naturstoffen sind dabei keine Ausnahme. Beispielsweise enthalten die Brandgase von Holz Essigsäure.

Brandgase von technischen Kunststoffen besitzen in der Regel keine über das Normalmaß hinausgehende Korrosivität oder Reizwirkung auf Haut und Atemwege. Besitzen sie eine halogenhaltige Brandschutzausrüstung, dann können Korrosivität und Reizwirkung erhöht sein.

Gaskomponente	IDLH-Wert [mg/m³]
CO_2	72.000
CO	1.380
HF	25
HCl	75
HBr	99
HCN	55
NO_2	38
SO_2	262

Tab. 2: **IDLH**-Werte aus **NIOSH**[7]

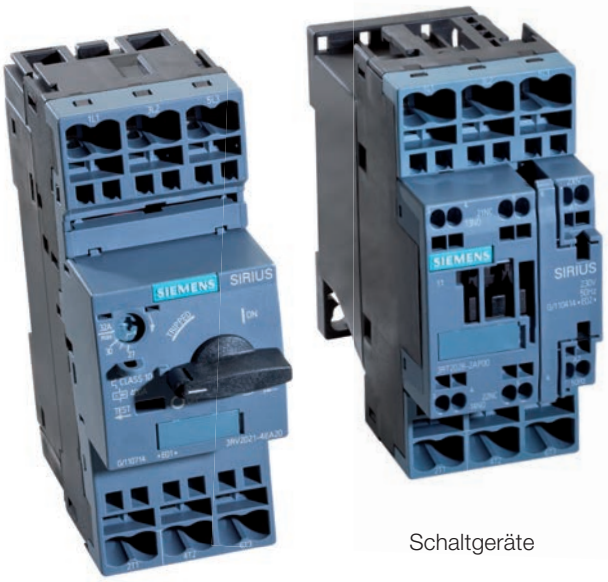
Maßnahmen nach Bränden

Löschwasser
Thermoplastische Werkstoffe sind, wie viele andere Stoffe, wasserunlöslich und gelten als nicht wassergefährdend. Eine Rückhaltung des Löschwassers ist deshalb gesetzlich nicht vorgeschrieben. Aus Gründen des vorsorglichen Gewässer- und Bodenschutzes kann es sich auch bei der Lagerung von nicht wassergefährdenden Stoffen empfehlen, Vorkehrungen zu treffen, dass anfallendes Löschwasser zurückgehalten wird, so dass es nicht in offene Gewässer, Grundwasser oder Erdreich gelangt.

Gegen eine Einleitung von Löschwässern aus Kunststoffbränden in die Kläranlage bestehen seitens der zuständigen Behörden im Allgemeinen keine Bedenken. Dabei ist jedoch zu beachten, dass Kunststoffe oft zusammen mit anderen Stoffen am Brand beteiligt sind, beispielsweise mit Inhaltsstoffen von Behältern. Diese können wassergefährdend sein. Außerdem verwendet die Feuerwehr im Brandfall häufig Sonderlöschmittel, z. B. Schaum, die zum Teil als wassergefährdend eingestuft sind. In solchen Fällen ist eine gesonderte Betrachtung nötig und mit den zuständigen Behörden Rücksprache zu halten.

Ökotoxische Untersuchungen der Universität Wuppertal an Löschwässern verschiedener Herkunft belegen, dass Löschwässer, wenn Kunststoffe am Brand beteiligt waren, kein höheres Gefährdungspotential besitzen als Löschwässer ohne deren Beteiligung (Pohl et al.[8]).

Brandrückstände
Laut der gesetzlichen Vorschriften, die für die Entsorgung gelten, und in Absprache mit den zuständigen Behörden sind Brandrückstände zu sammeln und fachgerecht zu entsorgen.



Schaltgeräte

Anwendungen und Prüfungen

Brandschutztechnische Anforderungen sind Sicherheitsanforderungen. Diese orientieren sich immer an den besonderen Einsatzbedingungen, Gefahrenpotentialen und den damit verbundenen Schutzzielen. Je nach Anwendungsbereich können diese Anforderungen sehr unterschiedlich sein.

Das primäre Schutzziel in vielen technischen Anwendungsbereichen besteht darin, eine Entflammung der Stoffe durch mögliche Zündquellen, wie sie beispielsweise einem Raucher oder einem Brandstifter zur Verfügung stehen, zu verhindern. Auch Zündquellen infolge technischer Defekte sind zu berücksichtigen. Eine geringe Entzündbarkeit des brennbaren Stoffes stellt deshalb eine wesentliche brandschutztechnische Anforderung dar. Sollte es dennoch zur Zündung kommen, darf der Beitrag zur Flammenausbreitung sowie die Wärme- und Rauchentwicklung tolerierbare Grenzwerte nicht überschreiten.

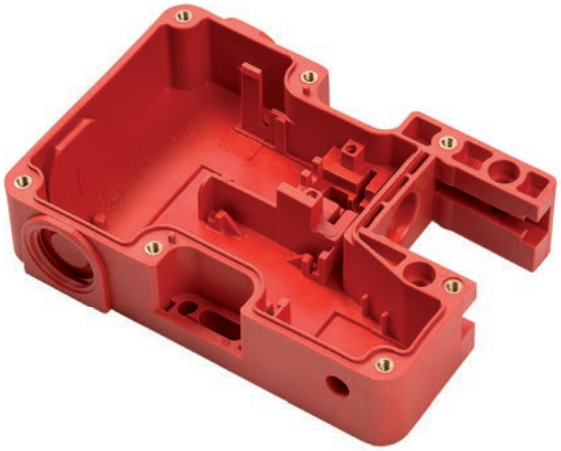
Ob ein Stoff für eine bestimmte Anwendung geeignet ist, ergibt sich deshalb aus seinem Brandverhalten und den brandschutztechnischen Anforderungen, die im speziellen Anwendungsfall erhoben werden und in nationalen und internationalen Normen bzw. Spezifikationen festgeschrieben sind.

Elektrotechnik

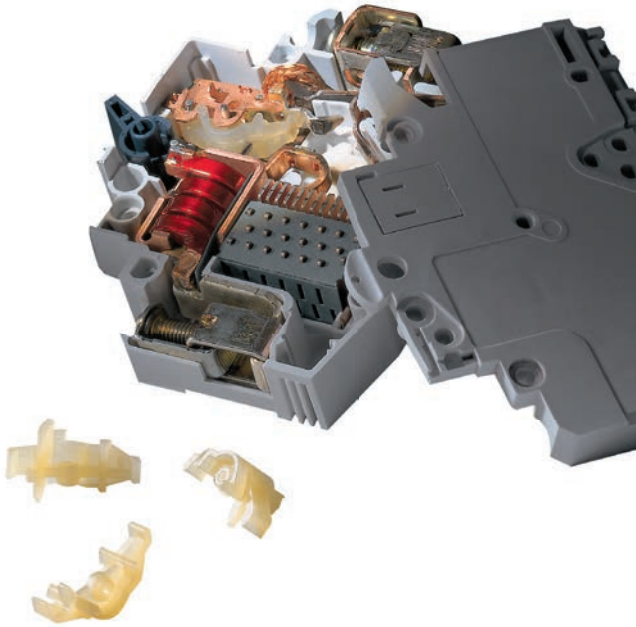
Überlastung, unsachgemäße Benutzung sowie Fertigungs- und Montagefehler, wie schlechte Lötstellen oder lose Verbindungen, sind bei elektrotechnischen Produkten die wesentlichen Brandgefahren. Das brandschutztechnische Schutzziel besteht deshalb darin, bei möglichen Störungen eine Entflammung des Bauteils und eine Ausbreitung des Brandes auf die nähere Umgebung, z. B. auf die Einrichtung oder das Gebäude, zu verhindern. In bestimmten Fällen wird zusätzlich gefordert, dass das Gehäuse durch eine externe Zündquelle nicht in Brand gesetzt werden kann.

Die brandschutztechnischen Anforderungen sind in den speziellen Sicherheitsbestimmungen für elektrisch betriebene Geräte und Einrichtungen beschrieben. Die dort geforderten Maßnahmen sollen sicherstellen, dass das Schutzziel erreicht wird.

Dazu gehören auch Maßnahmen konstruktiver Art, wie die Begrenzung der Temperaturen im Störungsfall oder die Verwendung von Werkstoffen mit geringer Entzündbarkeit und Flammenausbreitung.



Sicherungsschaltergehäuse



Sperrklinken für Sicherungsautomaten

Mit der Globalisierung der elektrotechnischen Industrie in den letzten Jahren kommt den Regelwerken der International Electrotechnical Commission (**IEC**) und der amerikanischen Underwriters Laboratories (**UL**) weltweit eine besondere Bedeutung zu. Diese haben sich aus nationalen Sicherheitsbestimmungen entwickelt, beispielsweise denen des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (**VDE**). Auch die Europäischen Normen (**EN-Normen**), die den Status nationaler Normen in den Ländern des **CENELEC** (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) besitzen, haben größtenteils diesen Ursprung. Mitglieder des CENELEC sind alle Länder der Europäischen Gemeinschaft und die Schweiz.

Gemäß der europäischen **Elektro- und Elektronik (E&E)-Schrottrichtlinie**[9] oder **WEEE**-Direktive (Waste Electrical and Electronic Equipment) sind Hersteller von Elektro- und Elektronik-Neugeräten in Europa zur Rücknahme und Verwertung von E&E-Altgeräten verpflichtet. Kunststoffe mit bromierten Flammschutzmitteln müssen dabei abgetrennt werden, was zu spürbaren Mehrkosten führen kann. In Deutschland und Dänemark besteht die Rücknahme- und Demontagepflicht seit Ende März bzw. Anfang April 2006. In Österreich, Belgien und Irland existiert diese Verpflichtung schon seit längerem, in Frankreich, Spanien, Italien und Großbritannien tritt sie erst später in Kraft.

Die WEEE-Direktive wird von der **RoHS**[10] (Restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment) ergänzt, die den Einsatz bestimmter umweltgefährdender Stoffe verbietet. Dazu gehören auch einige bromierte Flammschutzmittel. Solche Stoffe werden in den technischen Kunststoffen der BASF nicht verwendet.

Werkstoffprüfung

Voraussetzung für den Einsatz von Kunststoffen in elektrotechnischen Anwendungen ist vielfach die Erfüllung brandschutztechnischer Normen. Die entsprechenden Prüfungen an Werkstoffen müssen bereits bei deren Entwicklung und Vorauswahl, für die Zulassung und bei der Qualitätskontrolle durchgeführt werden. In den Prüfnormen sind die Art der Zündquelle und ihre Einwirkung auf den Probekörper festgelegt sowie die Anordnung und die Abmessungen der Probekörper zur Beurteilung der Entzündbarkeit und Flammenausbreitung.

Die Vorschrift **UL 94**[11] der Underwriters Laboratories ist von besonderer Bedeutung. Sie wurde inhaltsgleich in die **DIN IEC 60695-11-10**[12] und **-20**[13] und die kanadische **CSA C 22.2**[14] übernommen: Als Zündquelle dienen Prüfflammen mit einer Leistung von 50 oder 500 Watt, die zwei Mal kurzzeitig auf den Probekörper einwirken. Dabei wird die Brennzeit und das Abfallen brennender Teile mit

Component - Plastics [guide info] E41871

BASF SE

Performance Materials Europe, E-PME/NQ - H201, Ludwigshafen 67056 DE

A3X2G7(f1)

Polyamide 66 (PA66), glass reinforced, "Ultramid", furnished as pellets

Color	Min Thk (mm)	Flame Class	HWI	HAI	RTI Elec	RTI Imp	RTI Str
BK	0.75	V-0	1	0	115	115	130
	1.5	V-0, 5VA	1	0	115	115	130

Comparative Tracking Index (CTI): 0
Inclined Plane Tracking (IPT): 153 min at 1kV
Dielectric Strength (kV/mm): 19
Volume Resistivity (10^X ohm-cm): 11
High-Voltage Arc Tracking Rate (HVTR): 1
High Volt, Low Current Arc Resis (D495): 6
Dimensional Stability (%): 0

(f1) - Suitable for outdoor use with respect to exposure to Ultraviolet Light, Water Exposure and Immersion in accordance with UL 746C.

ANSI/UL 94 small-scale test data does not pertain to building materials, furnishings and related contents. ANSI/UL 94 small-scale test data is intended solely for determining the flammability of plastic materials used in the components and parts of end-product devices and appliances, where the acceptability of the combination is determined by UL.

Report Date: 1974-10-24
Last Revised: 2013-03-04

© 2016 UL LLC

Abb. 3: UL Yellow Card am Beispiel von Ultramid® A3X2G7

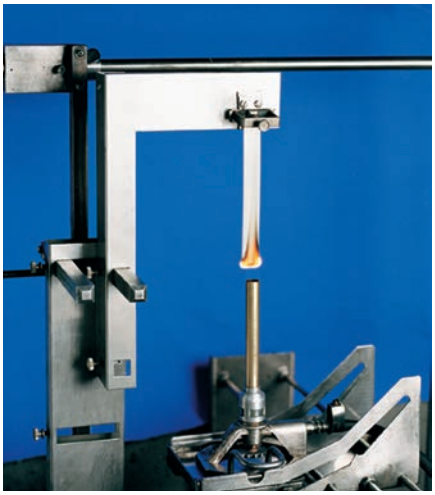


Abb. 4: Vertikalbrennprüfung nach **UL 94**

Hilfe eines Wattebausches bewertet, der unter dem Probekörper angeordnet ist. Die Klassifizierung erfolgt für die geprüfte Probekörperdicke in die Stufen 5V, V-0, V-1, V-2 (Vertikalbrennprüfung) und HB (Horizontalbrennprüfung) (Abb. 4-6, Tabelle 3).

Sollen selbsteingefärbte Produkte hergestellt werden, so muss die Zulassung für den Farbbatch in Kombination mit dem Grundmaterial erfolgen. Die BASF bietet hierzu für ihre Produkte Lösungen an, die in Kooperation mit mehreren Batchherstellern erarbeitet wurden.

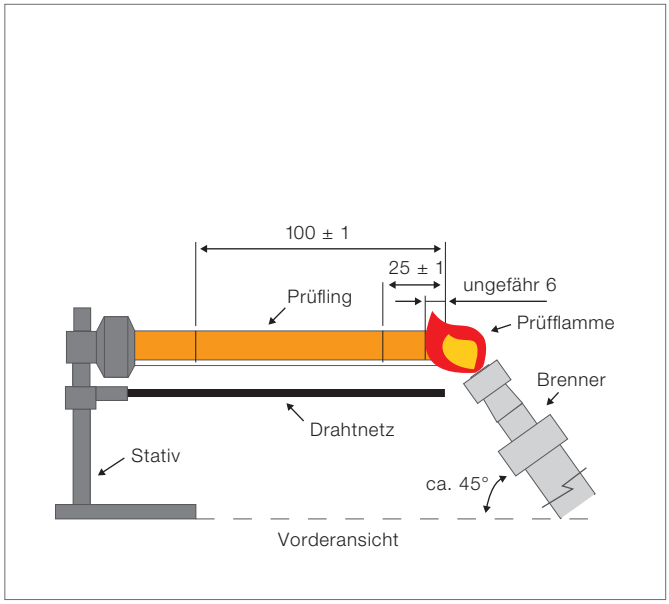


Abb. 5: **UL 94 HB** (bzw. **DIN IEC 60695-11-10**)

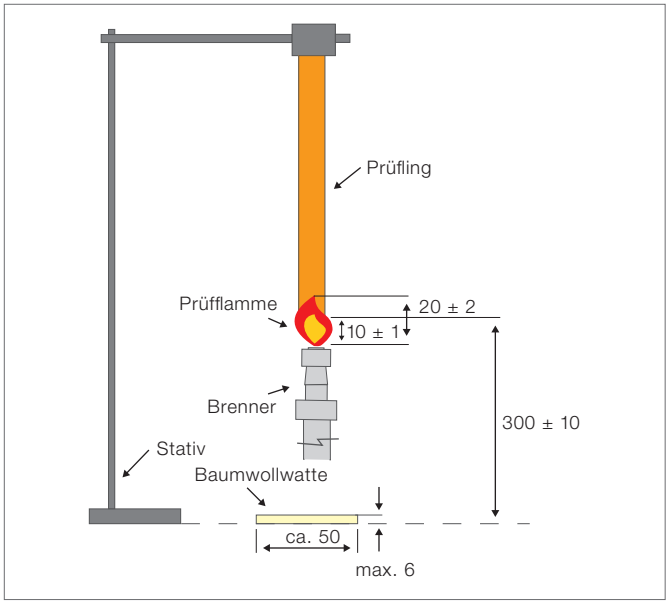


Abb. 6: **UL 94 V** (bzw. **DIN IEC 60695-11-10**)

Horizontale Probenlage (UL 94 HB), Flamme: 50 W

Probendicke	**Brenngeschwindigkeit**	**Klasse**	
beliebig, Flamme verlischt vor 100-mm-Marke	–	HB	
3-13 mm	≤ 40 mm/min	HB	
< 3 mm	≤ 75 mm/min	HB	

Vertikale Probenlage (UL 94 V), Flamme: 50 W

	V-0	**V-1**	**V-2**
Nachbrennzeit nach jeder Beflammung	≤ 10 s	≤ 30 s	≤ 30 s
Gesamtbrenndauer je Satz (10 Beflammungen)	≤ 50 s	≤ 250 s	≤ 250 s
Nachbrennzeit / Nachglühen nach der 2. Beflammung	≤ 30 s	≤ 60 s	≤ 60 s
Abbrand bis zur Halteklammer	nein	nein	nein
Entzündung der Watte	nein	nein	ja

Vertikale Probenlage (UL 94 5V), Flamme: 500 W für Werkstoffe, die mindestens auch V-1 erfüllen

	5VA	**5VB**	
Gesamtbrenndauer nach der 5. Beflammung	≤ 60 s	≤ 60 s	
Entzündung der Watte	nein	nein	
Vollständige Verbrennung	nein	nein	
Lochbildung durch Probe	nein	ja	

Tab. 3: Prüfkriterien nach **UL 94**

Die **UL 94 5V**-Prüfung wird mit einer 125 mm (500 W)-Prüfflamme an Materialien durchgeführt, die bereits nach UL 94 mit V-1 oder besser eingestuft wurden. Zunächst erfolgen fünf Beflammungen für jeweils fünf Sekunden mit jeweils fünf Sekunden Pause an Brandstäben. Bei erfolgreichem Bestehen dieses ersten Prüfschrittes erfolgt in einem zweiten Schritt mit gleicher Beflammung die Prüfung von plattenförmigen Probekörpern (Abb. 7). Kommt es zur Lochbildung an den Platten, so ist die Prüfung mit der Klassifizierung 5VB bestanden, kommt es zu keiner Lochbildung, so hat der Werkstoff die Klassifizierung 5VA erreicht.

Beim so genannten Hot Wire Ignition Test (**HWI** – Entzündung durch Heißdraht) nach **ASTM D 3874**[16] wird ein waagrecht angeordneter stabförmiger Probekörper mit einem elektrisch erwärmten Widerstandsdraht umwickelt. Das simuliert eine Zündquelle, die sich durch Überhitzung von Drähten, beispielsweise in Spulen oder Transformatoren, ergibt. Als Bewertungskriterium für die Einreihung in die Entzündlichkeitskategorien PLC 0 bis 5 (Performance Level Categories) nach **UL 746 A, Abschnitt 31**[17], dient die Zeit, nach der eine Entzündung der Probe eintritt (0 bis 120 Sekunden) (Abb. 8).

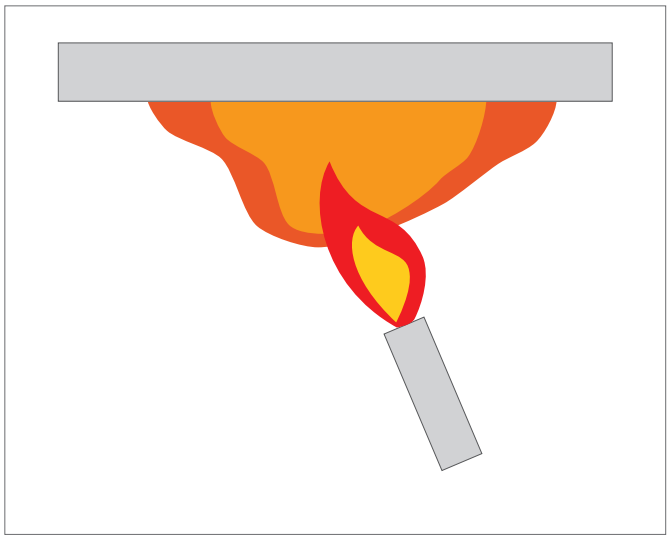
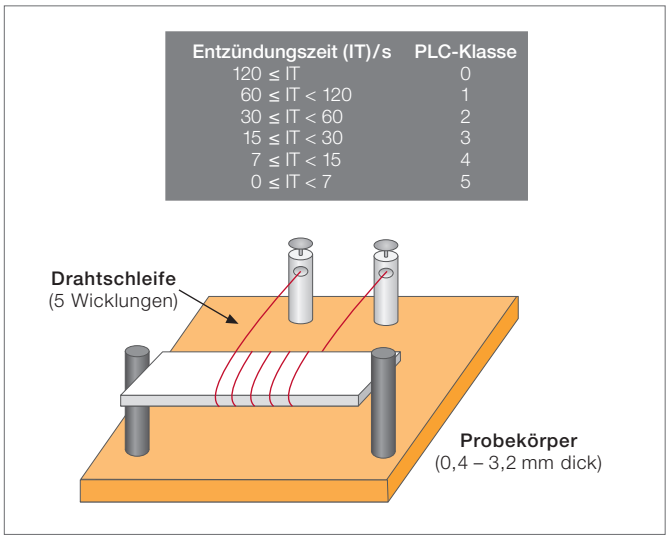
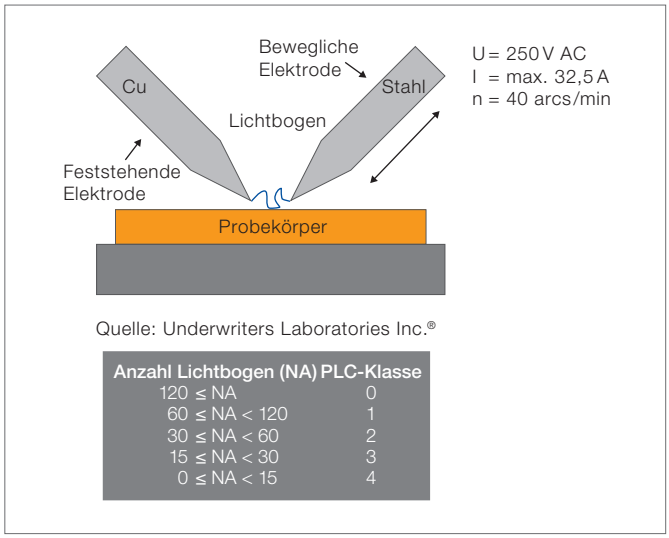


Abb. 7: **UL 94 5V** (bzw. **DIN IEC 60695-11-20**), Anwendung der 125 mm (500 W)-Prüfflamme auf Platten 150 · 150 mm²



Entzündungszeit (IT) / s	PLC-Klasse
120 ≤ IT	0
60 ≤ IT < 120	1
30 ≤ IT < 60	2
15 ≤ IT < 30	3
7 ≤ IT < 15	4
0 ≤ IT < 7	5

Abb. 8: Hot Wire Ignition Test (HWI) nach **ASTM D 3874**[16]



Anzahl Lichtbogen (NA)	PLC-Klasse
120 ≤ NA	0
60 ≤ NA < 120	1
30 ≤ NA < 60	2
15 ≤ NA < 30	3
0 ≤ NA < 15	4

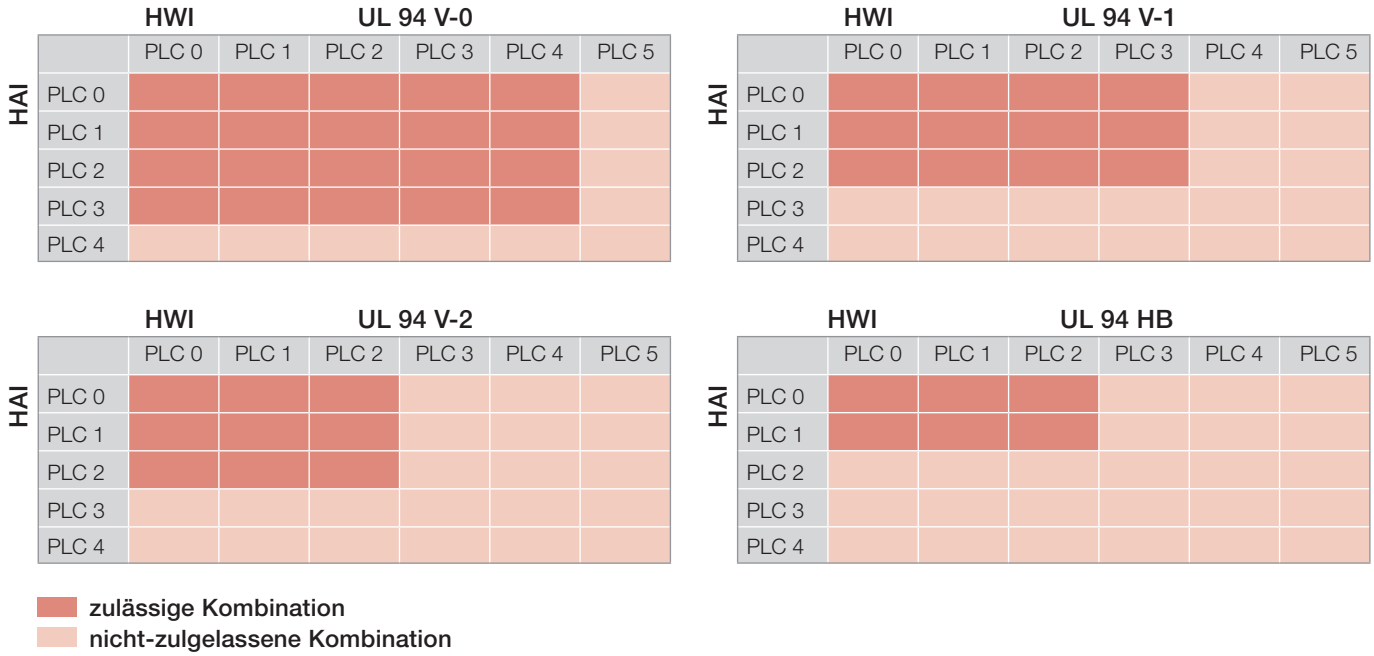
Abb. 9: High Current Arc Ignition Test (HAI) nach **UL 746 A, Abschnitt 32**[17]

Im High Current Arc Ignition Test (HAI) nach **UL 746 A, Abschnitt 32**[17], wird ein Probekörper zwischen zwei Elektroden regelmäßig wiederkehrenden Lichtbögen ausgesetzt. Das HAI bewertet die Anzahl der Lichtbögen bis zur Entzündung in den PLC 0 bis 4 (Abb. 9).

Im Geltungsbereich der Standards der Underwriters Laboratories (UL) muss ein Kunststoff, der als Isolationsmaterial für Elektroanwendungen eingesetzt wird, eine Kombination aus verschiedenen Entflammungs- und Entzündungsprüfungen erfüllen (Standard **UL 746 C**). Das spezifische Anforderungsprofil bzw. die zu erreichenden Schärfegrade bei den relevanten Typprüfungen ergeben sich zum einen aus der Bewertung der jeweils vorliegenden Gerätekonstruktion; zum anderen aus der Anwendung der Anforderungstabellen (Tabelle 4). Dabei gilt: Je schlechter das Entflammungsverhalten eines Kunststoffs ist, desto besser muss sein Entzündungsverhalten sein.

Die Neigung zur Kriechwegbildung hängt auch von den Materialeigenschaften ab. Sie wird charakterisiert durch den **C**omparative **T**racking **I**ndex (CTI). Dieser Wert erlaubt eine relative Einstufung von Polymeren (Tabelle 5).

Beispiel: Bei gegebener UL 94 V-0 muss der Kunststoff zusätzlich einen HWI besser als PLC 4 und einen HAI besser als PLC 3 haben



Tab. 4: Anforderungen für Kunststoffe zu Isolationszwecken in E&E-Anwendungen (**nach UL 746 C**)

Isolierstoffgruppe	$U_{Prüf}$/V	CTI Ausfallkriterien:
I	600 ≤ CTI	▪ Fehlerstrom I_F von ≥ 0,5 A für ≥ 2 sek ▪ Flammenbildung von ≥ 2 sek
II	400 ≤ CTI < 600	
IIIa	175 ≤ CTI < 400	
IIIb	100 ≤ CTI < 175	

Tab. 5: Isolierstoffgruppen nach **DIN EN 60664-1**

Kriechwegbildung kann verursacht werden durch eine Verunreinigung der Oberfläche. Die CTI-Prüfung nach Standard **IEC/DIN EN 60112** versucht, dies zu simulieren durch das Beaufschlagen mit einer leitfähigen Prüflösung (Abb. 10 und 11). Die Probe wird durch die Lichtbögen thermisch zersetzt, es bilden sich Rußspuren und schließlich Kriechwege. Dadurch wird die Isolationsfähigkeit zwischen zwei spannungsführenden Kontakten deutlich reduziert. Bei der CTI-Prüfung wird ein Probekörper zwischen zwei spannungsführenden Elektroden sukzessive mit 50 Tropfen einer Elektrolytlösung beträufelt. Der CTI ist der Zahlenwert der höchsten Spannung, bei der an fünf Proben nach jeweils 50 Auftropfungen kein Ausfall eintrat.

Die Normenreihe **DIN IEC 60695-2-10**[15] bis **-13** beschreibt Entzündungsprüfungen mit einem Glühdraht. Hierbei werden überhitzte oder glühende Metallteile nachgebildet. Die auf die vorgegebene Prüftemperatur erhitzte Drahtschleife wird gegen das Formteil, das untersucht wird, gedrückt.

Dabei wird festgestellt, ob sich der Prüfkörper entzündet, ob sich die Flammen ausbreiten und ob brennendes Material brandfördernd abfällt. Die Glühdrahtprüfung kann sowohl an standardisierten Testplättchen als auch an fertigen Bauteilen durchgeführt werden (Abb. 12).

Bauteilprüfung

Nicht nur die Eigenschaften des Werkstoffes, sondern auch die geometrische Form bestimmen das Brandverhalten des Endprodukts. Deshalb müssen häufig auch Prüfungen an Fertigteilen durchgeführt werden.

Dies wird in der komplett überarbeiteten Norm zur Sicherheit elektrischer Haushaltsgeräte **IEC/DIN EN 60335-1**[18] berücksichtigt. Im Abschnitt 30 sind die Anforderungen zur Wärme- und Feuerbeständigkeit allgemein beschrieben (Abb. 13).

Die höchsten Anforderungen gelten für unbeaufsichtigt betriebene Haushaltsgeräte, in denen hohe Ströme fließen (größer als 0,2 A). Dazu gehören Schalter und Anschlüsse in Wasch- und Spülmaschinen, Kühlschränken und Backöfen, aber auch Elektromotoren in zentralen Staubsaugeranlagen oder Abzugshauben. Kunststoffe, die hier eingesetzt werden, müssen grundsätzlich eine Entzündbarkeitsprüfung für den Werkstoff (GWFI) nach **DIN IEC 60695-2-12**[19] bei 850 °C bestehen (Verlöschen der Flamme innerhalb der Prüf- und Beobachtungszeit von 60 Sekunden). Zusätzlich wird ein Glühdrahttest am standardisierten Testplättchen nach **DIN IEC 60695-2-13**[20] gefordert (GWIT bei 775 °C, maximale Flammendauern 5 Sekunden). Liegt ein solcher Wert nicht vor, so kann alternativ hierzu das fertige Bauteil mit einer Prüfung nach **DIN IEC 60695-2-11**[21] (GWEPT – Glow Wire End Product Test – bei 750 °C, jedoch unter Verschärfung der maximalen Flammendauer nach **IEC/DIN EN 60335-1**[18] 2 Sekunden) oder einem von drei

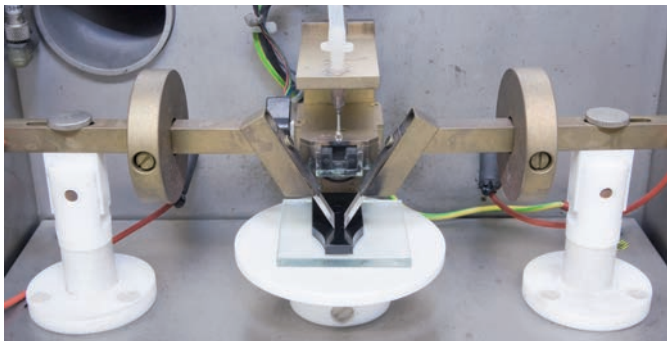


Abb. 11: CTI, realer Prüfaufbau

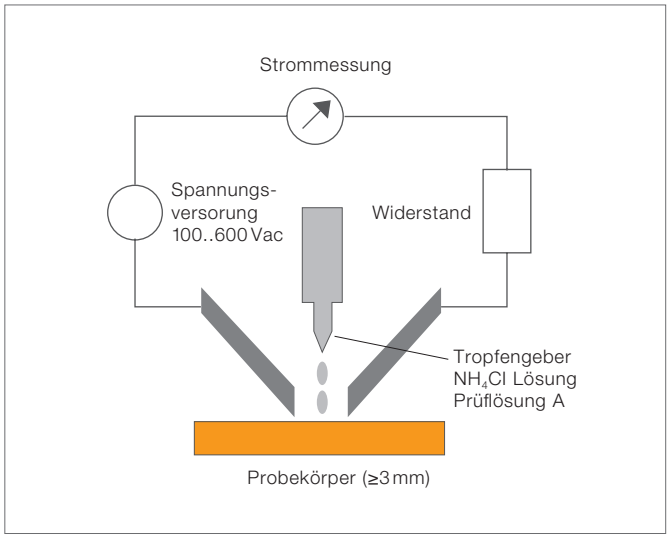


Abb. 10: CTI, Messprinzip

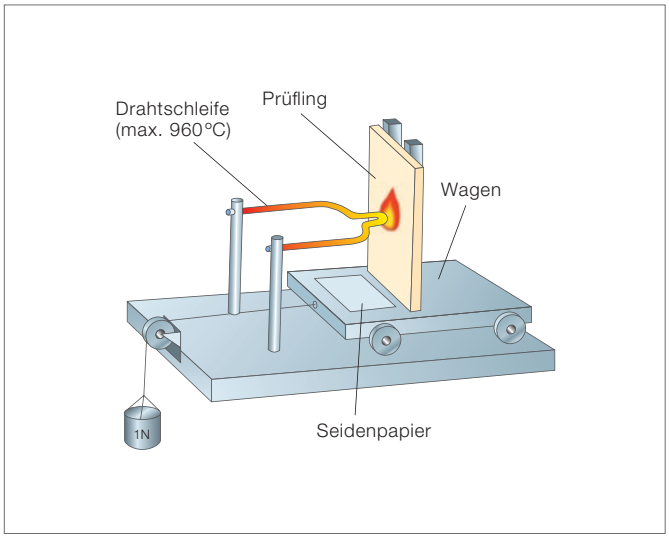
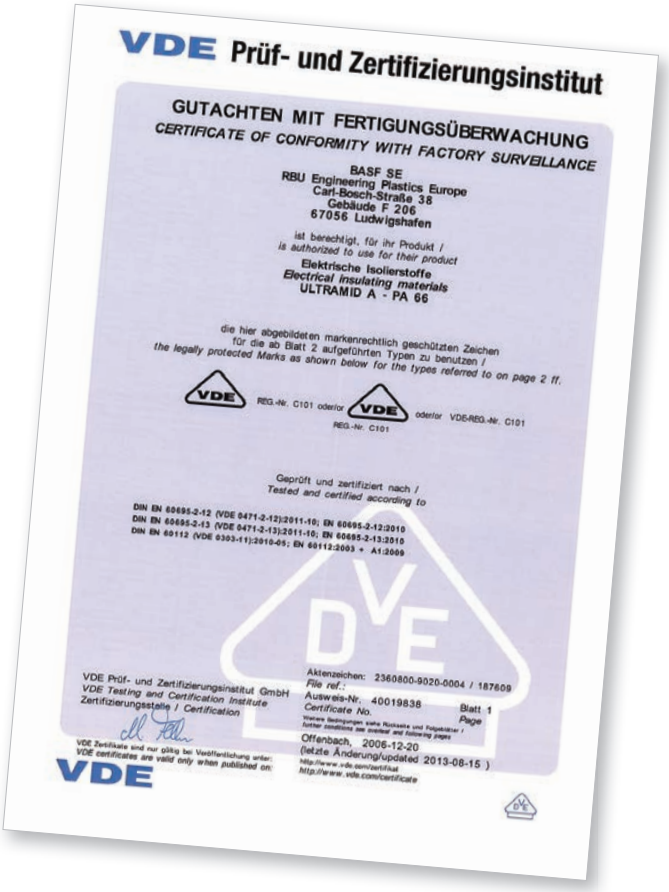


Abb. 12: Glühdrahtprüfung nach **DIN IEC 60695-2-10**[15]

möglichen weiteren Tests an den umgebenden Bauteilen qualifiziert werden. In Abb. 13 sind die dafür erforderlichen maximalen Anforderungen dargestellt.

Nur wenige der marktüblichen Kunststoffe erfüllen die verschärfte Norm, die je nach Gerätetyp seit Herbst 2005 nach und nach in Kraft tritt. Um den Aufwand für den Gerätehersteller zu verringern, wurde unter maßgeblicher Beteiligung der BASF ein Zertifizierungssystem für Kunststoffkomponenten beim VDE eingeführt. Damit ist es möglich, über eine Materialvorauswahl (Preselection) Planungssicherheit beim Gerätehersteller zu gewährleisten sowie Kosten- und Zeitaufwand für die Prüfung vieler Bauteilgeometrien in der Endgeräteprüfung zu reduzieren. Die Zertifizierung und jährliche Überprüfung umfasst den Werkstoff (GWFI[19]- und GWIT[20]-Test) sowie die jeweilige Produktionsstätte. Derzeit (August 2011) sind bereits mehr als zehn verschiedene halogenfreie Ultramid®-Typen in unterschiedlichen Farb- und Dickenvarianten zertifiziert, für weitere Werkstoffe ist die Zertifizierung vorgesehen (Abb. 14).

Auch Prüfungen mit Flammeneinwirkung sind von Bedeutung. Zündflammen können von innen und von außen auf ein elektrotechnisches Produkt einwirken. Vor allem Kabel und Leitungen können während eines Entstehungsbrandes äußeren Flammeneinwirkungen ausgesetzt sein.


VDE Prüf- und Zertifizierungsinstitut

GUTACHTEN MIT FERTIGUNGSÜBERWACHUNG
CERTIFICATE OF CONFORMITY WITH FACTORY SURVEILLANCE

BASF SE
RBU Engineering Plastics Europe
Carl-Bosch-Straße 38
Gebäude F 206
67056 Ludwigshafen

ist berechtigt, für ihr Produkt / is authorized to use for their product
Elektrische Isolierstoffe
Electrical insulating materials
ULTRAMID A - PA 66

die hier abgebildeten markenrechtlich geschützten Zeichen für die ab Blatt 2 aufgeführten Typen zu benutzen / the legally protected Marks as shown below for the types referred to on page 2 ff.

REG.-Nr. C101 oder/or REG.-Nr. C101 oder/or VDE-REG.-Nr. C101

Geprüft und zertifiziert nach / Tested and certified according to

DIN EN 60695-2-12 (VDE 0471-2-12):2011-10; EN 60695-2-12:2010
DIN EN 60695-2-13 (VDE 0471-2-13):2011-10; EN 60695-2-13:2010
DIN EN 60112 (VDE 0303-11):2010-05; EN 60112:2003 + A1:2009

VDE Prüf- und Zertifizierungsinstitut GmbH
VDE Testing and Certification Institute
Zertifizierungsstelle / Certification

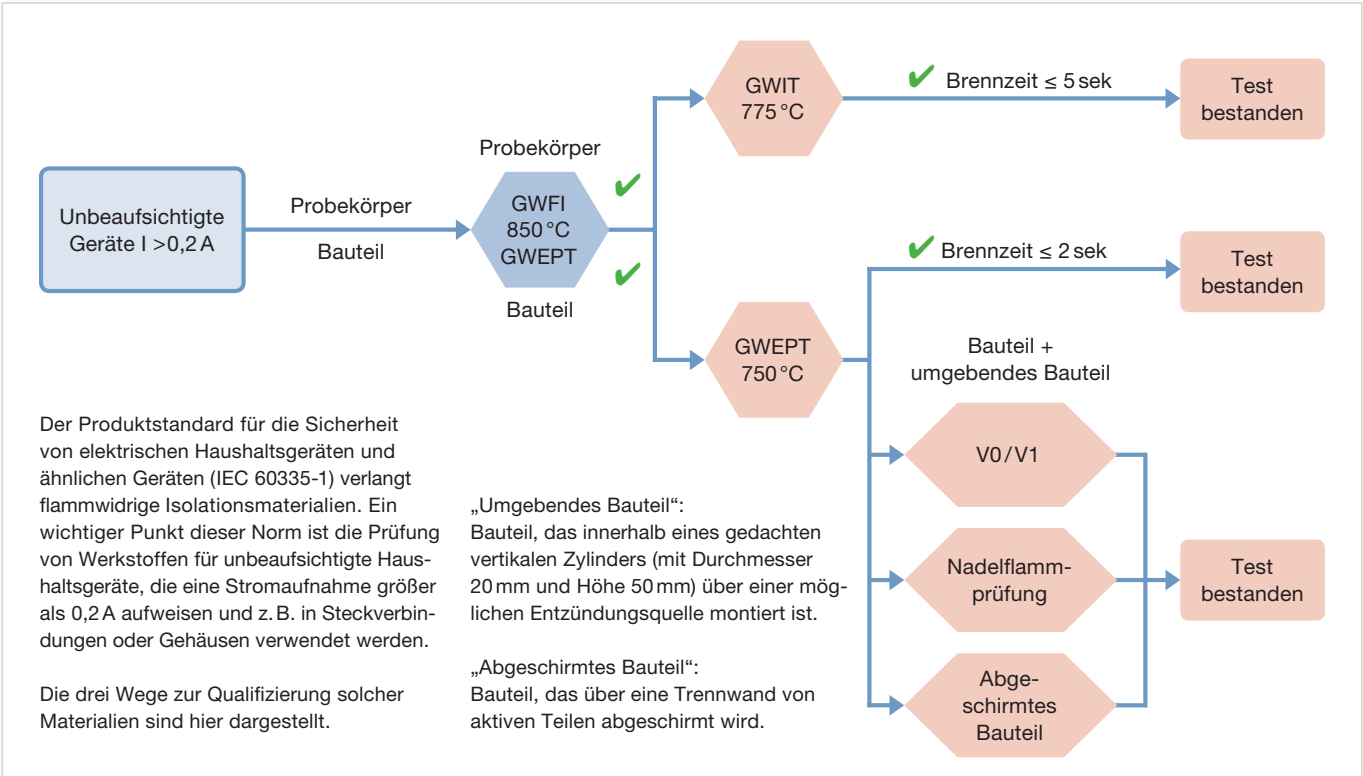
Aktenzeichen: 2360800-9020-0004 / 187609
File ref.:
Ausweis-Nr. 40019838 Blatt 1
Certificate No. Page

Offenbach, 2006-12-20
(letzte Änderung/updated 2013-08-15)

VDE Zertifikate sind nur gültig bei Veröffentlichung unter: http://www.vde.com/zertifikat
VDE certificates are valid only when published on: http://www.vde.com/certificate

VDE

Abb. 14: VDE-Zertifikat für die Regionale Geschäftseinheit Engineering Plastics Europe der BASF



Der Produktstandard für die Sicherheit von elektrischen Haushaltsgeräten und ähnlichen Geräten (IEC 60335-1) verlangt flammwidrige Isolationsmaterialien. Ein wichtiger Punkt dieser Norm ist die Prüfung von Werkstoffen für unbeaufsichtigte Haushaltsgeräte, die eine Stromaufnahme größer als 0,2 A aufweisen und z. B. in Steckverbindungen oder Gehäusen verwendet werden.

Die drei Wege zur Qualifizierung solcher Materialien sind hier dargestellt.

„Umgebendes Bauteil“:
Bauteil, das innerhalb eines gedachten vertikalen Zylinders (mit Durchmesser 20 mm und Höhe 50 mm) über einer möglichen Entzündungsquelle montiert ist.

„Abgeschirmtes Bauteil“:
Bauteil, das über eine Trennwand von aktiven Teilen abgeschirmt wird.

Abb. 13: Drei Wege zur Erfüllung der **IEC/DIN EN 60335-1**: Prüfungen zur Bestimmung der Wärme- und Feuerbeständigkeit nach Abschnitt 30.2.3.

Mehrere Regelwerke schreiben den Nadelflammtest nach **IEC/DIN EN 60695-11-5**[22] oder **UL 746 C**[23] vor. Dabei wird eine Prüfflamme mit 12 Millimeter Länge für eine bestimmte Zeitdauer (Schärfegrade) an Kanten oder Oberflächen von Formteilen angelegt. Beurteilt wird die Nachbrenndauer nach der Beflammung und ob ein untergelegter Wattebausch durch abfallendes Material entzündet wurde (Abb. 15).

Sicherheitsanforderungen zum Brandschutz von Einrichtungen für Audio/Video und für Informations- und Kommunikationstechnik sind in den Normen **IEC/DIN EN 60065**[24] und **IEC/DIN EN 60950-1**[25] definiert. Seit 2014 ist auch der so genannte Hazard Based Standard **IEC/DIN EN 62368-1**[26] parallel verfügbar. Dieser wird mittelfristig die **IEC/DIN EN 60065**[24] und **IEC/DIN EN 60950-1**[25] ersetzen. Es bestehen regional z. T. erhebliche Unterschiede in den spezifischen Anforderungen. Für so genannte Brandschutzgehäuse werden z. B. Materialien mit mindestens der Klasse V-1 nach **IEC/DIN EN 60695-11-10**[12] gefordert. Eine weitere anhaltende Diskussion, insbesondere in Europa, betrifft die Einführung von Anforderungen für externe Zündquellen („Candle Flame Ignition Test“ nach **IEC/TS 62441**[27]).

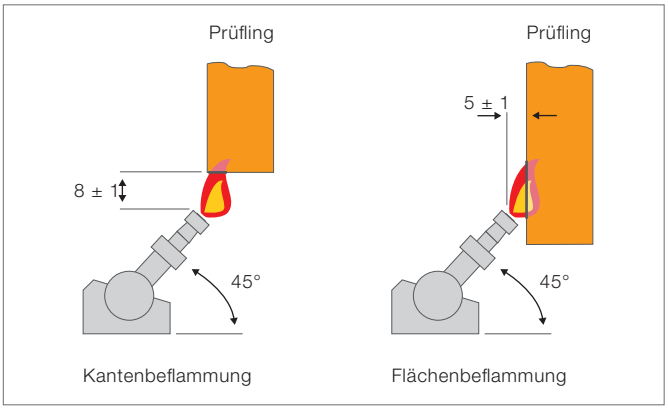


Abb. 15: Nadelflammtest **IEC/DIN EN 60695-11-5**

Brandgeschützte Produkte für die Elektrotechnik

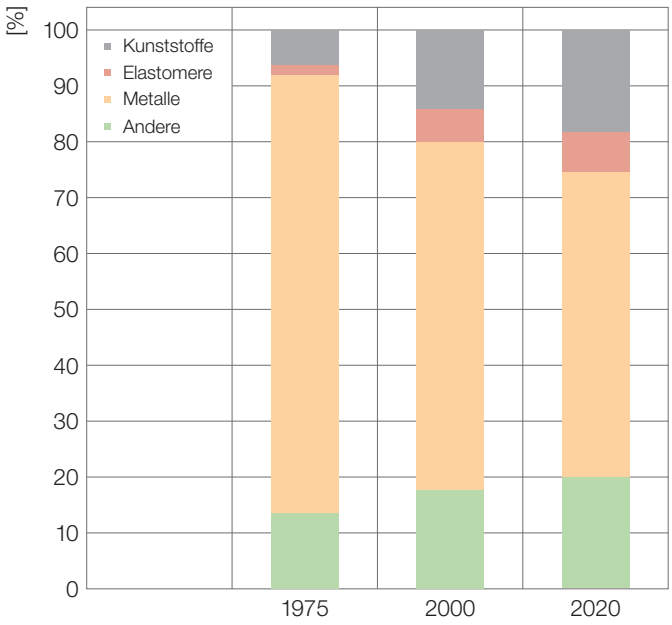
Die technischen Kunststoffe der BASF mit Brandschutzausrüstung werden beispielsweise als Stecker und Steckverbinder, Halterungen und Klemmen, Relais und Niederspannungsschaltgeräte (z. B. Motor- und Leistungsschutzschalter) eingesetzt. Das aktuelle Portfolio der BASF kann der aktuellen Produktliteratur entnommen werden.

Schaltgeräte

Verkehrswesen

In der modernen Verkehrs- und Transporttechnik tragen Kunststoffe wesentlich zur hohen Leistungsfähigkeit von Autos, Zügen und Flugzeugen bei. Während früher vorwiegend ökonomische Aspekte im Vordergrund standen, sind Kunststoffe heute sehr gefragt, wenn es um weiter gehende Forderungen wie höhere Verkehrssicherheit, Gewichtsreduzierung, gefälliges Design und mehr Komfort geht.

Bei modernen Mittelklassewagen beträgt der Kunststoffanteil bereits über 200 kg und der Gewichtsanteil der Kunststoffe wird weiter wachsen. Bei einem volumenbezogenen Vergleich, der auf Grund der niedrigen Dichte sinnvoll erscheint, liegt der Kunststoffanteil schon bei über 40 Prozent. Über 60 Prozent der Kunststoffe sind in der Innenausstattung verarbeitet, gefolgt von Fahrwerk, Karosserie, Antrieb, Elektrik und Elektronik (Abb. 16).

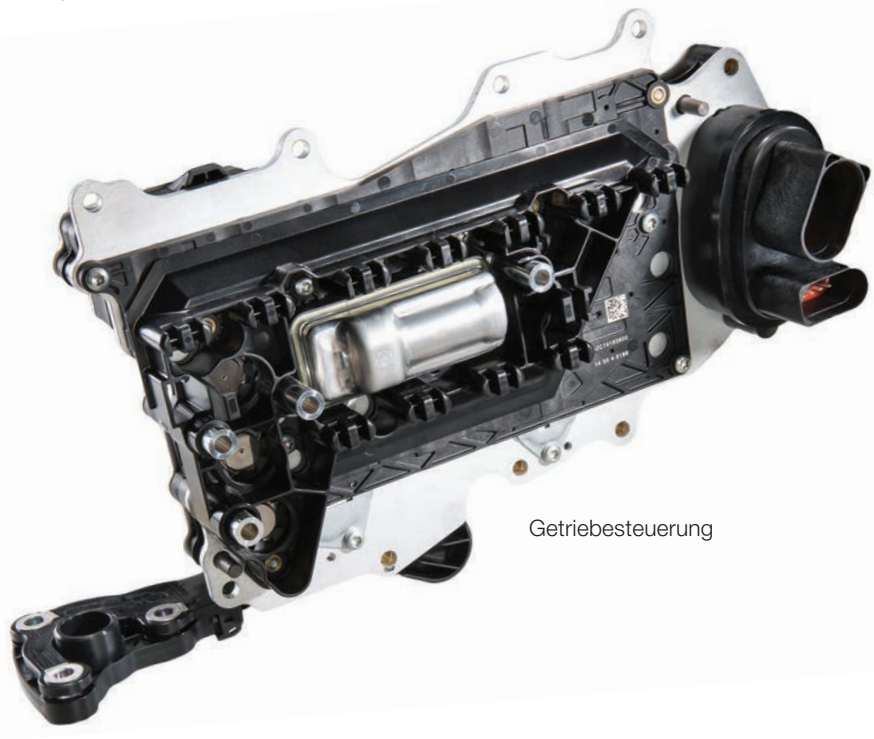


Durchschnittlicher Materialmix in Gew.-% von PKW's

Abb. 16: Materialmix in Personenkraftfahrzeugen von 1975 bis 2020 (Quelle: A. T. Kearney)

Kraftfahrzeuge

Aus Untersuchungen über die Entstehung von Fahrzeugbränden ist bekannt, dass ein Großteil dieser Brände im Motorraum beginnt. Hauptursache ist zum Beispiel die Entzündung von Betriebsstoffen wie Kraftstoff oder Öl an heißen Oberflächen. Brände können aber auch durch elektrische Störungen – verbunden mit Funkenbildung oder Überhitzung – entstehen. Durch die Auswahl geeigneter Werkstoffe und konstruktive Maßnahmen kann dieser Gefahr jedoch wirksam vorgebeugt werden.



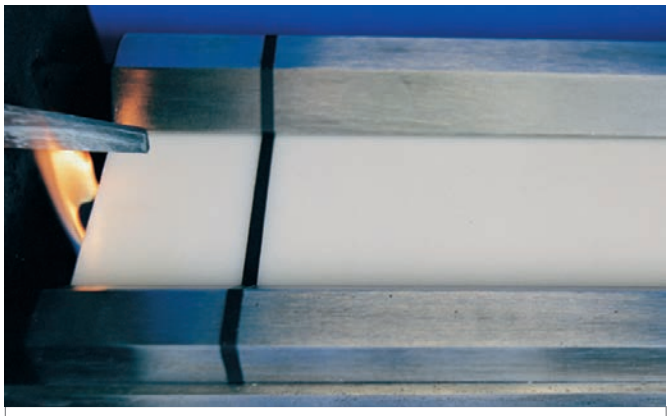
Getriebesteuerung

Werkstoffe, die im Autoinnenraum verwendet werden, müssen eine geringe Zündfähigkeit und Flammenausbreitungsgeschwindigkeit aufweisen. Damit soll sichergestellt werden, dass durch eine erschwerte Entzündung und geringe Flammenausbreitung ausreichend Zeit gegeben ist, ein Fahrzeug auch bei hoher Geschwindigkeit anzuhalten und es rechtzeitig zu verlassen.

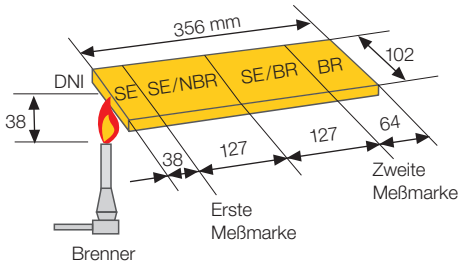
Das in den USA als Federal Motor Vehicle Safety Standard (**FMVSS 302**[28]) eingeführte Prüfverfahren haben viele Regelwerke (z. B. **DIN 75200**[29], **ISO 3795**[30]) und die Liefervorschriften der meisten Automobilproduzenten weltweit übernommen: Nach der Beflammung (15 Sekunden) des waagerecht angeordneten Probekörpers mit einem Bunsenbrenner wird die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Flammen ermittelt. Der höchstzulässige Wert beträgt 4 inch/min bzw. 102 mm/min (Abb. 17).

Die gemessene Ausbreitungsgeschwindigkeit der Flammen ist sehr stark von der Dicke des Probekörpers abhängig. Die meisten technischen Kunststoffe der BASF erfüllen die Anforderungen bei Dicken ab 1 Millimeter. Der steigende Anteil elektrischer Verbraucher mit hohen Leistungen erfordert jedoch in zunehmendem Maße den Einsatz brandgeschützter Thermoplaste. Einsetzbare Werkstoffe können der aktuellen Produktliteratur der BASF entnommen werden.

Die BASF hat in Zusammenarbeit mit Masterbatchherstellern wie der BASF Color Solutions Selbsteinfärbekomponenten entwickelt, die eine wirtschaftliche Herstellung aller Farben beim Kunden direkt ermöglichen.



Brandprüfung nach FMVSS 302



Prüfbedingungen:
- Prüfkörper in Anwendungsdicke
- Waagrechte Anordnung
- Beflammung mit einem Bunsenbrenner (15 sek)

DNI	keine Entzündung
SE	selbst verlöschend
SE/NBR	selbst verlöschend, nicht entflammbar
SE/BR	selbst verlöschend, entflammbar mit Abbrandrate
BR	entflammbar mit Abbrandrate

Anforderung: Maximale Flammenausbreitungsgeschwindigkeit: 102 mm/min

Abb. 17: Brandprüfung für Werkstoffe im Fahrzeuginnenraum nach **FMVSS 302**[28]

Ladeeinlass

Reisebusse

Die EG-Richtlinie **95/28/EG**[31] beschreibt die Anforderungen für Kraftfahrzeuge mit mehr als 22 Sitzplätzen und einem Höchstgewicht über 5 Tonnen (Reisebusse). Demnach müssen Innenverkleidungen, Beleuchtungskörper, Sitze, Belüftungsrohre, Dämmstoffe und Bodenbeläge gemäß Anhang IV (**FMVSS 302**[28]) geprüft werden. Die Prüfung gilt als bestanden, wenn die horizontale Brenngeschwindigkeit 100 mm/min nicht übersteigt oder wenn die Flamme erlischt, bevor die zweite Messmarke erreicht ist.

Auf internationaler Ebene definiert die **UN/ECE R 118**[32] u. a. auch die Anforderungen an das Brennverhalten von Materialien der Innenausstattung und elektrischen Leitungen.

Für alle Teile, die sich am Dach befinden, wird zusätzlich im Anhang V ein Abtropftest in Anlehnung an **NF P 92-505**[33] (Epiradiateur) vorgeschrieben, jedoch mit einer Bestrahlungsdichte von 30 kW/m². Stoffe, die dabei brennend abfallen und die Watte entzünden, dürfen nicht verwendet werden.

Schienenfahrzeuge

Die häufigsten Brandursachen in Schienenfahrzeugen sind vorsätzliche oder fahrlässige Brandstiftung und Defekte in den elektrotechnischen Anlagen. Für Schienenfahrzeuge galten in Europa bisher unterschiedliche nationale Regelungen, die aber zunehmend harmonisiert werden.

Zur Vereinheitlichung der Lieferbedingungen hat der internationale Eisenbahnverband UIC (Union Internationale des Chemins de Fer), ein Zusammenschluss europäischer und asiatischer Eisenbahnverwaltungen, in seinem Kodex **UIC 564-2**[34] brandschutztechnische Empfehlungen erarbeitet. Teile davon, vor allem die Sitzprüfung, sind in viele nationale Regelwerke eingegangen.

Um die so genannte Interoperabilität im transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsverkehr sicherzustellen, wurde die europäische Normenreihe **EN 45545** eingeführt. In insgesamt sieben Teilen werden Maßnahmen und Anforderungen für den vorbeugenden Brandschutz in Schienenfahrzeugen sowie die dazugehörigen Nachweismethoden formuliert.

Die **EN 45545-1**[35] definiert die verschiedenen Betriebs- und Bauartklassen mit den daraus abzuleitenden Gefährdungsstufen bzw. Hazard Levels (Tabelle 6). Die **EN 45545-2**[36] definiert die entsprechenden Brandsicherheitsanforderungen an Materialien und Bauteile. Diese Materialien und Bauteile werden gemäß ihres Einsatzes in Komponentennummern gruppiert (Tabelle 7a). Jeder Komponentengruppe ist einer der Requirement Sets R1–R26 zugeordnet (Tabelle 7b). Die Anforderungen für nicht-gelistete Komponenten sind in Tabelle 8 aufgeführt. Dabei sind gegebenenfalls noch bestimmte Gruppierungsregeln zu beachten.

Betriebs-klasse	Bauartklasse			
	N Standard-fahrzeuge	**A** Fahrzeuge für auto-matischen Fahrbetrieb*	**D** Doppel-stock-fahrzeuge	**S** Schlaf-wagen und Liege-wagen
1	HL1	HL1	HL1	HL2
2	HL2	HL2	HL2	HL2
3	HL2	HL2	HL2	HL3
4	HL3	HL3	HL3	HL3

Tab. 6: **DIN EN 45545-1** Zuordnung der Gefährdungsstufen (HL)
*kein für Notfälle geschultes Personal an Bord

Produkt-Nr.	Name
IN	Innerhalb gelegen
EX	Außerhalb gelegen
F	Mobiliar
E	Elektrotechnische Ausrüstung
M	Mechanische Ausrüstung

Tab. 7a: Einordnung von Komponenten

Komponenten-Nr.	Name	Beschreibung	Anforderung
EL6A	Versorgungsleitungssystem- und Hochleistungskomponenten – Innen	Isolatoren; Strom- und Spannungstransformatoren; Hauptschalter; Schaltschütze	R22
EL6B	Versorgungsleitungssystem- und Hochleistungskomponenten – Außen	Isolatoren; Strom- und Spannungstransformatoren; Hauptschalter; Schaltschütze	R23
EL7A	Drosseln und Spulen – Innen	Drosselspulen für Filterung der Versorgungsleitung, Wicklungen für luftgekühlte Transformatoren, einschließlich Abstandhalter und Luftleitbleche	R22
EL7B	Drosseln und Spulen – Außen	Drosselspulen für Filterung der Versorgungsleitung, Wicklungen für luftgekühlte Transformatoren, einschließlich Abstandhalter und Luftleitbleche und Isolierung der Fahrmotorwicklung	R23
EL10	Kleine elektrotechnische Komponenten	Beispiele umfassen Niederleistungs-Schutzschalter, Überleistungs-Relais, Schütze, Kontakt-Relais, Schalter, Kontroll- oder Signal-Schalter, Klemmen, Sicherungen	R26

Tab. 7b: **DIN EN 45545-2** Anforderungen für gelistete Komponenten (Auszug)

Exponierte Fläche	Einsatzort	Anforderungssatz in Tabelle 9
$>0{,}20\,m^2$	innen	R1
$>0{,}20\,m^2$	außen	R7
$\leq 0{,}20\,m^2$	innen	R22
$\leq 0{,}20\,m^2$	außen	R23

Tab. 8: **DIN EN 45545-2** Anforderungen für nicht-gelistete Komponenten nach der exponierten Fläche und dem Einsatzort im Fahrzeug

Die Werkstoffanforderungen werden in Abhängigkeit vom Requirements Set in so genannten Anforderungssätzen gelistet. Dazu zählen unter anderem Prüfungen zur Flammausbreitung (**EN ISO 5658-2**[37]), zur Wärmeabgabe im so genannten Cone Calorimeter (**ISO 5660-1**[38]) und zu Rauchentwicklung und Toxizität in der Rauchkammer (**EN ISO 5659-2**[39]). Beispiele sind in Tabelle 9 aufgeführt.

Grundsätzlich ist ab 2016 die **EN 45545** anzuwenden, die bisherigen nationalen Normen bzw. Prüfungen zum Brandschutz in Schienenfahrzeugen bleiben in einer Übergangsperiode teilweise noch bis 2017 parallel zu dieser gültig:

- Britische Standards **BS 6853 EN**[40], GM/RT2130 issue 3
- Französische Standards **NF F 16-101**[41] und **NF F 16-102**[42]
- Deutscher Standard **DIN 5510-2**[43] einschließlich Toxizitätsmessungen
- Italienische Standards **UNI CEI 11170-1**[44] und **UNI CEI 11170-3**[45]
- Polnische Standards **PN-K-02511**[46] und **PN-K-02502**[47]
- Spanischer Standard **DT-PCI/5A**[48]

Anforderungssatz	Bezug auf Prüfverfahren	Parameter und Einheit	Maximum oder Minimum	HL1	HL2	HL3
R22 (IN16; EL2; EL6A; EL7A; M2)	T01 EN ISO 4589-2, OI	Sauerstoffgehalt (OI) %	Minimum	28	28	32
	T10.03 EN ISO 5659-2, 25 kW/m^{-2}	D_S max. dimensionslos	Maximum	600	300	150
	T12 NF X 70-100-1, 600 °C und NF X 70-100-2, 600 °C	CIT_{NLP} dimensionslos	Maximum	1,2	0,9	0,75
R23 (EX12; EL2; EL5 EL6B; EL7B; M3)	T01 EN ISO 4589-2, OI	Sauerstoffgehalt (OI) %	Minimum	28	28	32
	T10.03 EN ISO 5659-2, 25 kW/m^{-2}	D_S max. dimensionslos	Maximum	–	600	300
	T12 NF X 70-100-1, 600 °C und NF X 70-100-2, 600 °C	CIT_{NLP} dimensionslos	Maximum	–	1,8	1,5
R24	T01 EN ISO 4589-2, OI	Sauerstoffgehalt (OI) %	Minimum	28	28	32
R25 (EL9)	T16 EN 60695-2-11	Glühdraht Temperatur °C	Minimum	850	850	850
R26 (EL10)	T17 EN 60695-11-10	vertikale Kleinbrenner-prüfung	Minimum	V0	V0	V0

Tab. 9: **DIN EN 45545-2** Werkstoffanforderungen (Auszug)

Elektrotechnische Erzeugnisse

Die Anforderungen an das Brandverhalten elektrotechnischer Erzeugnisse orientieren sich an denen des VDE-Regelwerkes. Im Zweifelsfall ist zu klären, ob elektrotechnische Erzeugnisse, die ein VDE-Zeichen tragen, auch die Anforderungen der **EN 45545** erfüllen oder ob gegebenenfalls zusätzliche Prüfungen bzw. Nachweise von europäischen Prüf- und Zertifizierungsstellen erforderlich sind.

Brandgeschützte Produkte für Schienenfahrzeuge

Die technischen Kunststoffe der BASF werden insbesondere auch für Elektroanwendungen in Schienenfahrzeugen eingesetzt. Werkstoffempfehlungen sowie Angaben zu erreichten Hazard Levels und Requirement Sets können der aktuellen Produktliteratur der BASF entnommen werden.

Luftfahrt

Verkehrsflugzeuge müssen weltweit die brandschutztechnischen Anforderungen der amerikanischen Federal Aviation Regulations (**FAR 25.853**[49]) erfüllen. Die Lieferbedingungen der Flugzeughersteller und der Luftverkehrsgesellschaften enthalten z. T. über die FAR hinausgehende Anforderungen, besonders hinsichtlich der Rauchentwicklung und der Toxizität der Brandgase. Das Sicherheitskonzept schließt auch einen Folgebrand durch Aufschlag (post-crash-fire) ein. Danach ist die Prüfung von Flugzeugsitzen und von großflächigen Teilen im Kabinenbereich unter sehr hoher Wärmebeanspruchung vorgesehen. Ferner sollen Frachtraumwände so ausgelegt werden, dass ein im Frachtraum entstandener Brand mit hoher Wärmeentwicklung nicht auf den Rest des Flugzeugs übergreifen kann.

Für den Einsatz in Flugzeugen sind beispielsweise Schäume aus Ultrason® E zugelassen. Dieses Material mit dem ungewöhnlich hohen Sauerstoffindex von 38 (nach **ASTM D 2863**[50]) zeichnet sich dadurch aus, dass es die Anforderungen für Verkehrsflugzeuge hinsichtlich der Brennbarkeit und der Wärmefreisetzung bereits ohne den Zusatz von Flammschutzmitteln erfüllt, also intrinsisch flammgeschützt ist.

Abb. 18: Sauerstoffindex (LOI) Prüfung nach **ASTM D 2863**[50]

Das Labor für Brandschutztechnik der BASF

Im Sinne eines ganzheitlichen Ansatzes unterstützt die BASF ihre Kunden von der Produktentwicklung bis zu deren Zulassung. Brandprüfungen an BASF-Produkten können Kunden im hauseigenen Brandlabor durchführen lassen. Die Akkreditierung des Brandlabors nach **DIN EN ISO/IEC 17025** garantiert eine zuverlässige und unabhängige brandtechnologische Bewertung aller Produkte. Mit rund 35 Prüfständen besteht die Möglichkeit Brandprüfungen nach fast 100 internationalen Normen aus Gebieten wie Automobil, Bau, Consumer Products und Schienenverkehr durchzuführen. Nach Absprache sind auch Sonderprüfungen möglich.

Akkreditiert von:

- Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH
- Certifier – Railway Certification

Weitere Auskünfte und Angebote für Prüfungen erhalten Sie von:

BASF SE
Brandschutztechnik
D-67056 Ludwigshafen
www.basf.com/plastics/brandlabor

Notizen

Literatur

[1] DIN EN ISO/IEC 17025 Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien

[2] Seekamp, H. Das Brandgeschehen und die Systematik der Prüfmethoden, Materialprüfung 5 (1963) 2, Seiten 45-49

[3] Becker, W. Brandgefahr und Prüfung des Brandverhaltens von Kunststoffen, Kunstst. Plast. (Solothurn, Schweiz) 22 (1975) 6, Seiten 19-25

[4] Troitzsch, J. Plastics Flammability Handbook – Principles, Regulations, Testing, and Approval, 3rd edition, München, Wien, Carl Hanser Verlag (2004)

[5] DIN 54836 Prüfung von brennbaren Werkstoffen; Bestimmung der Entzündungstemperatur

[6] DIN 51900-1 Bestimmung des Brennwertes mit dem Bomben-Kalorimeter und Berechnung des Heizwertes, Teil 1: Allgemeine Angaben, Grundgeräte, Grundverfahren

[7] NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) pocket guide to chemical hazards

[8] Pohl, K. D. et al. Analytik kontaminierter Löschwässer, Wasser, Luft und Boden, 9 (1994), Seiten 38-43

[9] Richtlinie 2002/96/EG (Waste Electrical and Electronic Equipment WEEE) über Elektro- und Elektronik-Altgeräte

[10] Richtlinie 2002/95/EG (Restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment RoHS) Richtlinie zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten

[11] UL 94 Tests for flammability of plastic materials for parts in devices and appliances

[12] IEC/DIN EN 60695-11-10 Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr, Teil 11-10: Prüfflammen – Prüfverfahren mit 50-W-Prüfflamme horizontal und vertikal

[13] IEC/DIN EN 60695-11-20 Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr, Teil 11-20: Prüfflammen – Prüfverfahren mit einer 500-W-Prüfflamme

[14] CSA C 22.2, No. 0.17-92 Evaluation of Properties of Polymeric Materials – General Requirements; Part 4: Flame Test Procedure

[15] DIN IEC 60695-2-10 Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr; Teil 2-10: Prüfungen mit dem Glühdraht, Glühdrahtprüfeinrichtungen und allgemeines Prüfverfahren

[16] ASTM D 3874-04 Test Method for Ignition of Materials by Hot Wire Sources

[17] UL 746 A, Polymeric Materials – Short Therm property Evaluations

[18] IEC/DIN EN 60335-1 Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke – Teil 1: Allgemeine Anforderungen

[19] DIN IEC 60695-2-12 Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr; Teil 2-12: Prüfung mit dem Glühdraht zur Entflammbarkeit von Werkstoffen (GWFI)

[20] DIN IEC 60695-2-13 Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr; Teil 2-13: Prüfungen mit dem Glühdraht zur Entzündbarkeit von Werkstoffen (GWIT)

[21] DIN IEC 60695-2-11 Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr; Teil 2-11: Prüfung mit dem Glühdraht zur Entflammbarkeit von Enderzeugnissen (GWEPT)

[22] IEC/DIN EN 60695-11-5 Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr; Teil 11-5: Prüfflammen – Prüfverfahren mit der Nadelflamme

[23] UL 746 C Polymeric Materials, Use in Electrical Equipment Evaluations

[24] IEC/DIN EN 60065 Audio-, Video- und ähnliche elektronische Geräte; Sicherheitsanforderungen

[25] IEC/DIN EN 60950-1 Information technology equipment – Saftey – Part 1: General requirements

[26] IEC/DIN EN 62368-1 Audio/video, information and communication technology equipment – Part 1: Saftey requirements

[27] IEC/TS 62441 Safeguards against accidentally caused candle flame ignition for audio/video, communication and information technology equipment

[28] FMVSS 302 Flammability of interior materials – passenger cars, multipurpose passenger vehicles, trucks and buses, § 5 71.302 Standard No. 3 02, 4 9 CFR Ch.V, National Highway Traffic Safety Administration, DOT

[29] DIN 75200 Bestimmung des Brennverhaltens von Werkstoffen der Kraftfahrzeuginnenausstattung

[30] ISO 3795 Road vehicles and tractors and machinery for agriculture and forestry; Determination of burning behavior of interior materials

[31] Richtlinie 95/28/EG Brennverhalten von Werkstoffen der Innenausstattung bestimmter Kraftfahrzeugklassen

[32] UN/ECE R 118 Regelung für Brennverhalten von Innenraummaterial

[33] NF P 92-505 Bâtiment – Essais de réaction au feu des matériaux; Essais applicables aux matériaux thermofusibles: Essai de goutte

[34] UIC 564-2 Vorschriften über Brandverhütung und Feuerbekämpfung für die im internationalen Verkehr eingesetzten Schienenfahrzeuge, in denen Reisende befördert oder die der Reisezugwagenbauart zugeordnet werden

[35] EN 45545-1 Bahnanwendungen – Brandschutz in Schienenfahrzeugen – Teil 1: Allgemeine Regeln

[36] EN 45545-2 Bahnanwendungen – Brandschutz in Schienenfahrzeugen – Teil 2: Anforderungen an das Brandverhalten von Materialien und Komponenten

[37] EN ISO 5658-2 Reaction to fire tests – Spread of flame – Part 2: Lateral spread on building and transport products in vertical configuration

[38] ISO 5660-1 Reaction-to-fire tests. Heat release, smoke production and mass loss rate. Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement)

[39] EN ISO 5659-2 Plastics – Smoke generation – Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test

[40] BS 6853 EN Code of practice for fire precautions in the design and construction of passenger carrying trains

[41] NF F 16-101 Rolling stock. Fire behaviour. Materials choosing

[42] NF F 16-102 Railway rolling stock. Fire behaviour. Materials choosing, application for electric equipments

[43] DIN 5510-2 Vorbeugender Brandschutz in Schienenfahrzeugen – Teil 2: Brennverhalten und Brandnebenerscheinungen von Werkstoffen und Bauteilen – Klassifizierung, Anforderungen und Prüfverfahren

[44] UNI CEI 11170-1 Protective rail vehicle – track vehicle guidance. General principles

[45] UNI CEI 11170-3 Fire testing to fire components – Guidelines for railway vehicle protection for tramways and with guided rail. Part 3: Assessment of fire behaviour of materials, acceptance limits

[46] PN-K-02511 Tabor kolejowy – Bezpieczeństwo przeciwpożarowe materiałów – Wymagania (Schienenfahrzeuge – Brandschutz, Sicherheit von Materialien – Anforderungen)

[47] PN-K-02502 Tabor kolejowy – Podatność na zapalenie siedzeń wagonowych – Wymagania i badania (Schienenfahrzeuge – Entzündbarkeit von Sitzen in Bahnen – Anforderungen und Prüfungen)

[48] DT-PCI/5A Directriz técnica para reacción al fuego de los materiales de decoración e interiorismo de vehículos destinados al transporte de viajeros

[49] Federal Aviation Regulation (FAR) Airworthness Standards. US Department of Transportation, Federal Aviation Administration, §§ 25.851 ff: Fire Safety

[50] ASTM D 2863 Standard Test Method for Measuring the Minimum Oxygen Concentration to Support Candle-like Combustion of Plastics (Oxygen-Index)

Technische Kunststoffe für die E&E-Industrie – Publikationen:

- Technische Kunststoffe für die E&E-Industrie – Normen und Prüfverfahren
- Technische Kunststoffe für die E&E-Industrie – Produkte, Anwendungen, Richtwerte
- Technische Kunststoffe für die E&E-Industrie – Poster (nicht als PDF)
- Technische Kunststoffe für die Automobil-Elektrik – Produkte, Anwendungen, Richtwerte

Zur Beachtung

Die Angaben in dieser Druckschrift basieren auf unseren derzeitigen Kenntnissen und Erfahrungen. Sie befreien den Verarbeiter wegen der Fülle möglicher Einflüsse bei Verarbeitung und Anwendung unseres Produktes nicht von eigenen Prüfungen und Versuchen. Eine Garantie bestimmter Eigenschaften oder die Eignung des Produktes für einen konkreten Einsatzzweck kann aus unseren Angaben nicht abgeleitet werden. Alle hierin vorliegenden Beschreibungen, Zeichnungen, Fotografien, Daten, Verhältnisse, Gewichte u. Ä. können sich ohne Vorankündigung ändern und stellen nicht die vertraglich vereinbarte Beschaffenheit des Produktes dar. Etwaige Schutzrechte sowie bestehende Gesetze und Bestimmungen sind vom Empfänger unseres Produktes in eigener Verantwortung zu beachten. (Juli 2016)

® = eingetragene Marke der BASF SE

Besuchen Sie auch unsere Internetseiten:
www.plasticsportal.com (Welt)
www.plasticsportal.eu (Europa)

Die einzelnen Produktauftritte finden Sie unter:
www.plasticsportal.eu/Produktname
z. B. www.plasticsportal.eu/ultrason

Broschürenanforderung:
PM/K, F 204
Fax: +49 621 60-49497

Bei technischen Fragen zu den Produkten wenden Sie sich bitte an den Ultra-Infopoint:

PMEI 1601 BD