



<u>Veranstaltung:</u>	B-IV
<u>Ausbildungseinheit:</u>	Brandlehre
<u>Thema:</u>	Kunststoffbrände
<u>Ausgabe:</u>	08.12.2024
<u>Zuständig:</u>	Abteilung 3
<u>Bearbeitet von:</u>	Martin Reitz Catherina Volk
<u>Literaturhinweis:</u>	Kunststoffe, VdS 2516: 2000-12 (01) Beurteilung von Kunststoffbränden, Dr. Ortner und Dr. Hensler

Inhalt

1	Einleitung	2
2	Aufbau und Herkunft der Kunststoffe	4
2.1	Einteilung	4
2.1.1	Thermoplaste	4
2.1.2	Duroplaste.....	5
2.1.3	Elastomere	6
2.2	Zuschlagstoffe (Additive).....	6
2.3	Flammschutzmittel	6
3	Brandverhalten.....	7
3.1	Brandklasseneinteilung	7
3.2	Brandeigenschaften	8
3.2.1	Verhältnis Masse zu Oberfläche	8
3.2.2	Erweichen und Schmelzen.....	9
3.2.3	Zersetzen	11
3.2.4	Entflammen und Entzünden	12
3.2.5	Heizwert und Verbrennungswärme	13
3.3	Brandverhalten beim Zusammenwirken verschiedener Stoffe	13
3.4	Zersetzung- und Verbrennungsprodukte.....	14
3.5	Beispiel PVC: Brandverhalten und Auswirkungen.....	16
3.6	Zusammenfassung: Kunststoffbrände und Brandfolgen	17
3.7	Spezialfall Wärmedämmverbundsysteme	17
4	Löschen von Kunststoffbränden	18
4.1	Entstehungsbrand	18
4.2	Vollbrand.....	18
4.3	Glimmbrand.....	18
4.4	Weitere Probleme bei der Brandbekämpfung	19
5	Quellenverzeichnis	19

1 Einleitung

Mit dem **Sammelbegriff Kunststoffe** werden verschiedene, künstlich hergestellte, **organische Stoffe** bezeichnet, die wie Naturstoffe im Wesentlichen **Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff** und **Stickstoff** enthalten und aus großen Molekülen (**Makromolekülen**) bestehen.

Anders als Naturstoffe lassen sich viele Kunststoffe unter Wärme und Druck schmelzen und verformen. Die chemischen und physikalischen Eigenschaften von Kunststoffen können weiterhin durch die Art der Herstellung sowie durch Zuschlagstoffe variieren, ja sogar auf spezielle Anwendungszwecke hin maßgeschneidert werden.

Auch wenn man sich dessen vielleicht nicht bewusst ist - Kunststoff ist ein sehr wichtiges Material im Baugewerbe. Rund **20% aller Kunststoffe** werden in Europa **in der Bauindustrie** eingesetzt. Das Baugewerbe ist hinter dem Verpackungssektor der zweithäufigste Kunststoffnutzer!

Im Baubereich werden Kunststoffe zum Beispiel für **Rohre** verwendet, die Wasser oder Abwässer transportieren sowie für **Kunststofffenster**, die sicherstellen, dass Wärme und Kälte im Haus bleiben und Lärm nicht nach innen dringt. Darüber hinaus findet man Kunststoffe in **Böden** oder man verwendet Kunststoffschaum zur **Wärmedämmung** von Häusern und natürlich werden sie auch in verschiedensten Geräten eingesetzt. Kunststoffe findet man sogar **im Fundament des Hauses** und **in Farben**!

Kunststoffe werden deshalb so gerne im Baugewerbe eingesetzt, weil sie **hart, wetterfest, hitzefest** und **flexibel** sind. Darüber hinaus haben sie **wenig Gewicht** und sind **pflegeleicht** (sie rosten oder verwittern nicht). Das macht sie zu einem idealen Material für die Bauindustrie. Es gibt rund 50 verschiedene Kunststofffamilien, die im Baugewerbe eingesetzt werden.

Eine Auswahl der gebräuchlichsten Kunststoffe und deren typische Anwendungsgebiete sind Tab. 1 zu entnehmen.

Tab. 1: Kurzzeichen, Namen und typische Anwendungen ausgewählter Kunststoffe

Kurzzeichen	Kunststoffname	typische Anwendungen
Thermoplaste		
PE	Polyethylen	Folien, Verpackungsmaterial, Platten, Rohre, Formteile, Haushaltsgeräte
PP	Polypropylen	wie PE, Transportbehälter, Bierkisten, Eimer
PS	Polystyrol	Haushaltsartikel, Verpackungsmaterial, Dämmplatten; als Schaumstoff unter dem Markennamen „Styropor“ bekannt
PVC	Polyvinylchlorid	Folien, Verpackungen, Rohre, Profile, Kabelmäntel, Fußbodenbeläge, Fensterprofile
PA	Polyamid	Gleitlager, Zahnräder, Schutzhelme, Benzinleitungen, Angelschnüre, Textilien
PTFE	Polytetrafluorethylen	hochwertige Beschichtungen, Schläuche, Dichtungen, Membranen; meist unter dem Markennamen „Teflon“ bekannt
PMMA	Polymethylmethacrylat	Schutzgläser, Schutzbrillen, Oberlichtkuppeln, Flugzeug- und Fahrzeugverglasungen
Duroplaste		
PU	Polyurethan	harter und elastischer Schaumstoff, Profile, Formteile; auch als Thermoplast oder Elastomer herstellbar
PF	Phenolharz	Sicherungskästen, Aschenbecher, Elektroteile, PKW-Teile
EP	Epoxidharz	Klebeharz, Gießharz, Ausgangsharz für glasfaserverstärkte Kunststoffe
Elastomere		
SBR	Styrol-Butadien-Gummi	Reifen, Dichtungen, Membranen, Transportbänder, Schläuche, Gummistiefel
NBR	Acryl-Butadien-Gummi	Dichtungen und Schläuche im Fahrzeug- und Maschinenbau; Schläuche, Planen etc. für Gefahrguteinsatz
NR	Naturgummi	Luftballons, in Gummimischungen z. B. für PKW-Reifen

2 Aufbau und Herkunft der Kunststoffe

Erdöl ist in Deutschland der wichtigste Rohstoff zur Kunststoffproduktion. Daneben werden aber auch noch weitere organische Stoffe wie Erdgas, Kohle und Zellulose verwendet. Die deutsche Kunststoffindustrie benötigt etwa 4-6% der aus den Raffinerien kommenden Erdöl-Produkte.

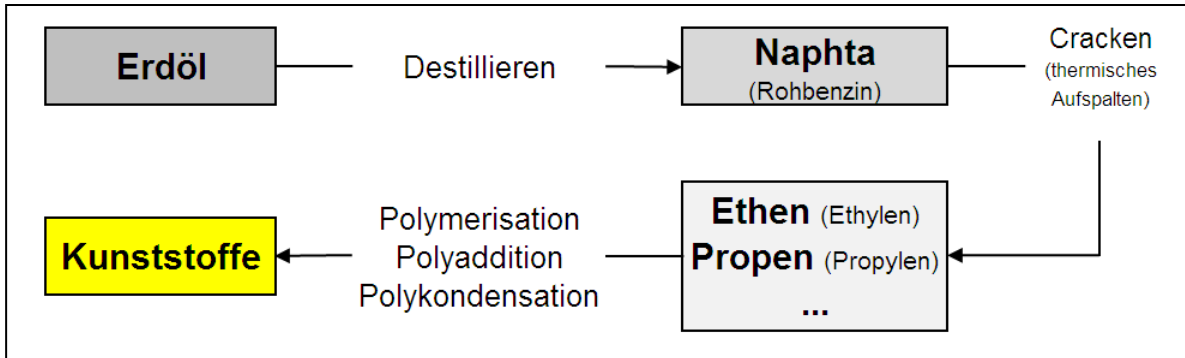


Abb. 1: Prozessschritte vom Erdöl zum Kunststoff

Quelle: eigene Darstellung

Als **Makromoleküle** bestehen Kunststoffe aus sehr großen Molekülen, in denen mehrere hundert bis zu vielen tausend Atome durch Elektronenpaarbindung in langen Ketten miteinander verknüpft sind. Meist enthalten sie gleiche oder gleichartige Grundmoleküle, **Monomere** (monos = allein, meros = Teil), die in vielfacher Wiederholung zu Makromolekülen, **Polymeren** (poly = viel), vereinigt sind.

2.1 Einteilung

Die Eigenschaften der Kunststoffe variieren je nach Größe, Gestalt, Ordnung und Bindung ihrer Makromoleküle, aber auch durch die Art der Anordnung der am Aufbau beteiligten Atome in den Makromolekülen.

Entsprechend der sich daraus ergebenden thermischen Eigenschaften, werden Kunststoffe in drei Gruppen eingeteilt: **Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere**.

2.1.1 Thermoplaste

Mechanische Eigenschaft / Festigkeit: weich, aber auch halbhart und hart möglich

Chemischer Aufbau: lineare Ketten mit und ohne Seitenkette

Struktur / Vernetzung der Makromoleküle:

- keine chemische Bindung
- kettenförmig eindimensional oder strauchähnlich verzweigt (Abb. 2)

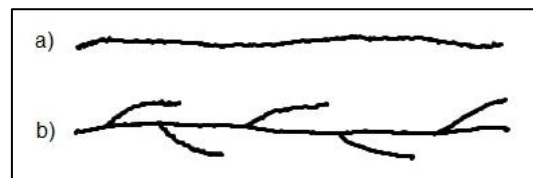
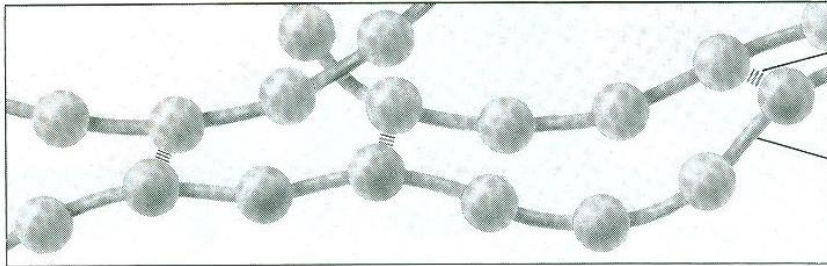


Abb. 2: Strukturen im Makromolekül:

a) kettenförmig linear, b) strauchähnlich verzweigt

Quelle: eigene Darstellung



Bei höheren Temperaturen schwächer werdende zwischenmolekulare Kräfte

Relativ temperaturbeständige Elektronenpaarbindungen

Abb. 3: Bindungskräfte in einem thermoplastischen Kunststoff Ravensburg

Quelle: („Kunststoff Werkstoffe unserer Zeit“ von der Arbeitsgemeinschaft Deutsche Kunststoff-Industrie (AKI), 13. Auflage, 2011, Seite 46)

Bei Erwärmung können sich die Moleküle gegeneinander bewegen. Deshalb sind diese Kunststoffe **plastisch formbar** und werden **Thermoplaste** (thermos = warm; plasso = bilden) genannt.

2.1.2 Duroplaste

Mechanische Eigenschaft / Festigkeit: halbhart, hart, spröde

Chemischer Aufbau: engmaschige intermolekulare Verknüpfung

Struktur / Vernetzung der Makromoleküle:

- starke chemische Vernetzung
- raumnetzförmig, dreidimensional, eng verknüpft (Abb. 4)

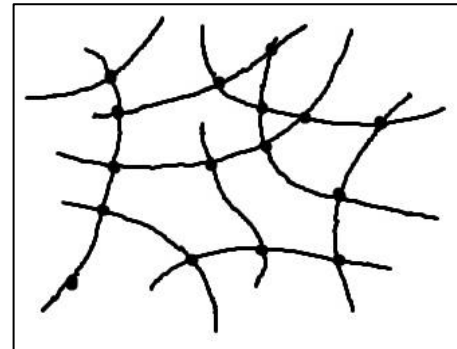


Abb. 4: Strukturen im Makromolekül: raumnetzförmig, eng verknüpft

Quelle: eigene Darstellung

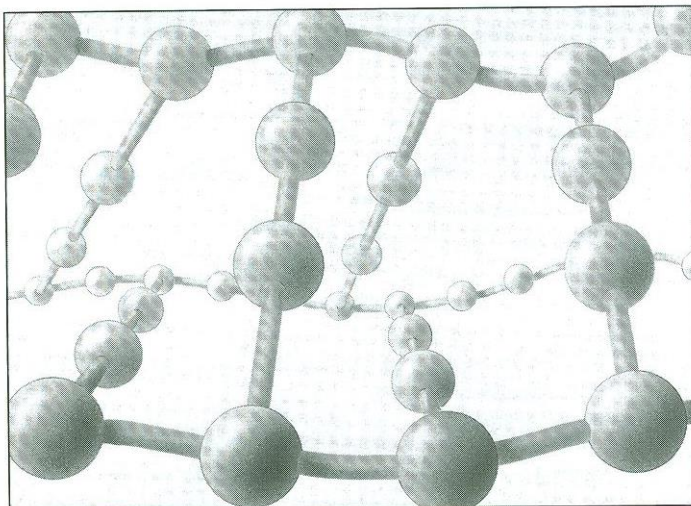


Abb. 5: Bindungen in einem duroplastischen Kunststoff Ravensburg

Quelle: („Kunststoff Werkstoffe unserer Zeit“ von der Arbeitsgemeinschaft Deutsche Kunststoff-Industrie (AKI), 13. Auflage, 2011, Seite 48)

Kunststoffe mit räumlich verknüpften Makromolekülen sind **nicht mehr plastisch formbar**. Sie bilden ein unlösbares starres Netz. Theoretisch sind sie ein einziges riesiges Molekül. Sie werden **Duroplaste** (durus = hart) genannt.

2.1.3 Elastomere

Mechanische Eigenschaft / Festigkeit: elastisch, gummiartig

Chemischer Aufbau: weitmaschige intermolekulare Verknüpfung

Struktur / Vernetzung der Makromoleküle:

- leichte chemische Vernetzung
- raumnetzförmig, dreidimensional, weit verknüpft (Abb. 6)

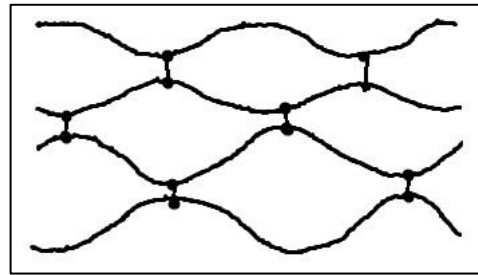


Abb. 6: Strukturen im Makromolekül: raumnetzförmig, weit verknüpft

Quelle: eigene Darstellung

Sind die Makromoleküle räumlich weitmaschig vernetzt, wird der Kunststoff **gummielastisch**. Bei Zug oder Druck können die verknäuelten Kettenteile aneinander vorbeigleiten, sich elastisch strecken. Beim Nachlassen der äußeren Krafteinwirkung nehmen die Kettenteile wieder ihre ursprüngliche Lage ein. Solche Kunststoffe werden als **Elastomere** bezeichnet.

2.2 Zuschlagstoffe (Additive)

Eigenschaften und Aussehen von Kunststoffen können durch Zusätze erheblich verändert werden. Es gibt kaum Kunststoffe ohne Zuschlagstoffe (Additive). Diese werden als Gleitmittel, Trennmittel, Antioxidantien, Antiblockmittel oder für andere Zwecke bei der Verarbeitung benötigt oder zur Verbesserung der Eigenschaften zugesetzt. Vielfach handelt es sich hierbei um

- **Flammschutzmittel,**
- **Füllstoffe,**
- **Weichmacher,**
- **Stabilisatoren,**
- **Farbpigmente** und
- **Riechstoffe.**

Der Einsatz von einigen Thermoplasten in bestimmten Anwendungsbereichen mit erhöhter Brandgefahr wird erst durch den Zusatz von Flammschutzmitteln ermöglicht. Kunststoffe ohne solche Stoffe können sich an einem Brandgeschehen exzessiv beteiligen.

2.3 Flammschutzmittel

Flammschutzmittel sind Zuschlagstoffe, die durch physikalische und/oder chemische Wirkungsweise die **Entflammbarkeit und Abbrandgeschwindigkeit herabsetzen**, die Brennbarkeit der Stoffe selbst aber nicht aufheben.

Bei den **physikalischen Effekten** stehen die **Kühlung** durch endotherme Prozesse, die Ausbildung einer **Schutzschicht** zur Abschirmung gegen Sauerstoff und Wärme sowie die **Verdünnung** durch inerte Füllstoffe im Vordergrund.

Die **chemischen** Flammenschutzmittel wirken entweder in der festen Phase (**Bildung stabilerer Bindungen**) oder in der Gasphase (**Hemmung des Verbrennungsprozesses**). Sie sind meist effektiver als die physikalisch wirkenden Mittel.

Die meisten chemisch wirkenden Flammenschutzmittel enthalten die **Halogene Brom oder Chlor**, die bei einem Brand u.a. auch als **Brom- bzw. Chlorwasserstoff freigesetzt** werden können.

Wenn mit Flammenschutzmitteln ausgerüstete Kunststoffe altern, können sich ihre Eigenschaften derart ändern, dass sie leicht entflammbar und gut brennbar werden.

3 Brandverhalten

3.1 Brandklasseneinteilung

Die Brandklasseneinteilung ist eine verhältnismäßig grobe Klassifizierung von Stoffen, die im Wesentlichen das gleiche Brandverhalten zeigen. Sie dient dazu, bestimmten Bränden geeignete Löschmittel zuzuordnen zu können.

Tab. 2: Brandklassen nach EN 2






Brand- klasse	Brände von ...	Stoffbeispiele	Erscheinung
 A	festen Stoffen	Holz, Kohle, Papier, Kunststoff	Flamme und/oder Glut
 B	flüssigen und flüssig werdenden Stoffen	Benzin, Alkohol, Paraffin, Bitumen	Flamme
 C	gasförmigen Stoffen	Erdgas, Acetylen, Methan, Propan	Flamme
 D	Metallen	Magnesium, Aluminium, Natrium	Glut
 F	Speiseölen und -fetten	Palmin®	Flamme

Abb. 7: Brandklassen nach EN 2
Quelle: Wikimedia Commons

Die Kunststoffe werden in der Fachliteratur meist der Brandklasse A zugeordnet. Wie aus vielen Einsätzen der Feuerwehr allerdings bekannt, sind im Bereich der Kunststoffe viele Verbindungen, insbesondere die Polyolefine (z. B. Polyethylen PE und Polypropylen PP), aufgrund ihrer wasserabweisenden und thermoplastischen Eigenschaften eher in die **Brandklasse B** einzuordnen. Für Brände dieser Stoffe zeigt das Löschmittel Schaum bzw. eine Wasser-Schaummittellösung eindeutig bessere Löscheigenschaften als das Löschmittel Wasser.

3.2 Brandeigenschaften

Wesentlicher Bestandteil aller organischen Stoffe und damit auch der Kunststoffe (mit Ausnahme einiger Silikone) ist das Element Kohlenstoff.

Dies ist auch der Grund dafür, dass alle organischen Produkte entweder brennen oder das Brandgeschehen zumindest beeinflussen können. Je nach Kunststoffart und dessen Zusammensetzungen kann die Brennbarkeit stark variieren.

3.2.1 Verhältnis Masse zu Oberfläche

Das Brandverhalten von Kunststoffen ist nicht nur eine Stoffeigenschaft, sondern hängt, wie bei allen anderen Stoffen, auch von der **Form, Oberflächenbeschaffenheit und Verteilung** ab.

Am Beispiel von Holz lassen sich diese Phänomene gut erklären. So ist die Schwierigkeit, einen Holzbalken anzuzünden und das nachfolgend langsame Abbrandverhalten bekannt. Im Gegensatz dazu lässt sich ein Ballen Holzwolle sehr leicht entzünden. Dieser brennt bekanntlich dann rasant ab.

Grund für die große Abbrandgeschwindigkeit bei bestimmten Formgebungen ist die Tatsache, dass der zur Verbrennung notwendige Luftsauerstoff in ausreichender Menge an die Oberfläche der festen Phase gelangen kann und gleichzeitig die Verbrennungsgase entweichen können. Solche Bedingungen werden als für die Verbrennung günstiges Verhältnis von Oberfläche zu Masse (oder Volumen) bezeichnet.

Ganz fein verteiltes Holz in Form von Feinstaub ist in aufgewirbelter Form sogar explosionsfähig. Auch Kunststoffe werden mitunter fein verteilt als Granulat gelagert, bevor sie weiterverarbeitet werden. Die Gesamtoberfläche, die sich bei verschiedenen Granulatgrößen ergibt, zeigt folgende Grafik (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**):

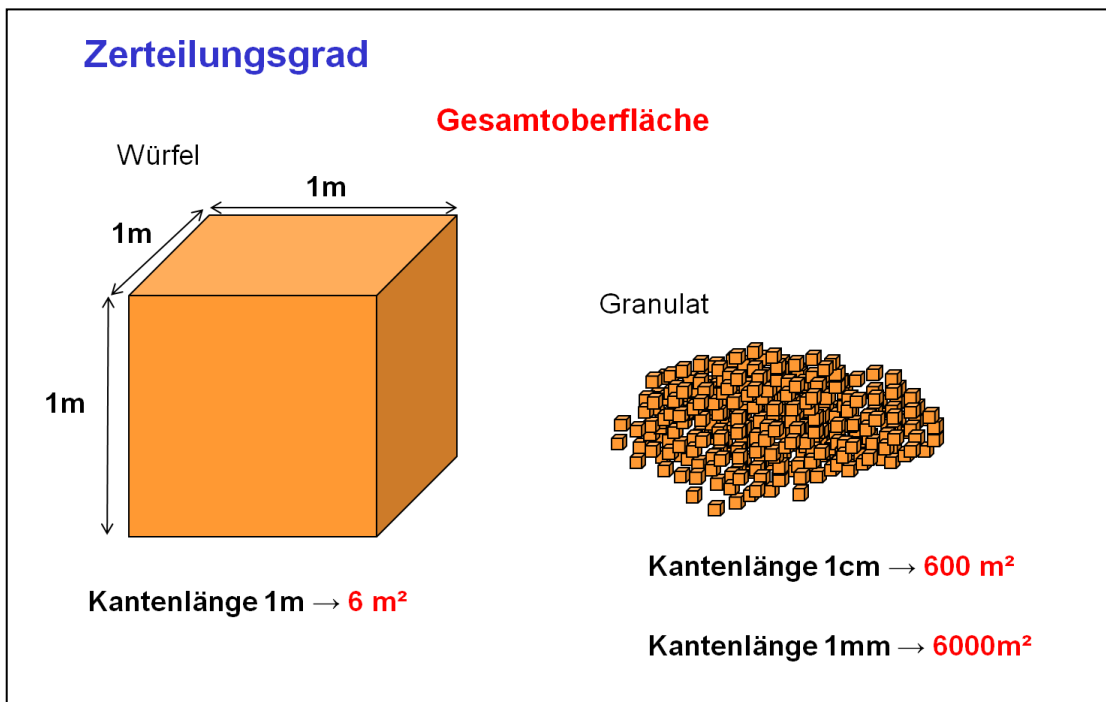


Abb. 8: Gesamtoberfläche in Abhängigkeit vom Zerteilungsgrad

Quelle: eigene Darstellung

Auf die Brennbarkeit von Kunststoffen hat also die **spezifische Oberfläche eine starke Auswirkung**. Dies ist nicht nur bei noch nicht verarbeiteten Kunststoffgranulaten, sondern **auch bei Schaumkunststoffen und doppelwandigen Lager- und Transportmitteln** zu berücksichtigen. So sind zum einen eine **bessere Zündwilligkeit** und zum anderen eine **schnellere Brandentwicklung** als beim kompakten Kunststoff gegeben. Daneben wird auch die Brandbekämpfung durch automatische Wasserlöschanlagen oder die Feuerwehr erschwert.

3.2.2 Erweichen und Schmelzen

Anders als bei vielen brennbaren festen Materialien, wie z. B. Holz, weisen **thermoplastische Kunststoffe** eine **niedrige Erweichungstemperatur** und ein damit verbundenes **Schmelzen** auf. Alle Elastomere und Thermoplaste verlieren im Brandfall rasch ihre Formstabilität.

Durch im Brandfall geschmolzenen Kunststoff kann das Brandgeschehen oft sehr nachteilig beeinflusst werden. Bei der Lagerung von oder im Deckenbereich angebrachten schmelzbaren Kunststoffen kann durch den **nach unten fließenden bzw. abtropfenden brennenden Kunststoff** eine Lache gebildet werden, die eine Unterfeuerung der betreffenden Bereiche zur Folge hat und damit zur Brandausbreitung beitragen kann. Hierdurch kommt es neben der normalen horizontalen und vertikalen Brandausbreitung von unten nach oben zu einer **zusätzlichen Brandausbreitung in umgekehrter vertikaler Richtung (von oben nach unten)**.

Aber: Nicht alle schmelzbaren Kunststoffe tropfen auch brennend ab. Die Eigenschaft des brennenden Abtropfens kann durch Zusatzstoffe unterdrückt werden.

Tab. 3: Erweichungstemperaturbereiche ausgewählter Kunststoffe

Kunststoff	Erweichungs- temperaturbe- reich [°C]
PE	60 – 70
PP	85 – 90
PS	88
PVC	70 – 80
PU-Hart- schaum	180
PTFE	110
PMMA	84 – 108

Die Erweichungstemperatur ist die Temperatur, bei der ein Kunststoff die größte Änderung der Verformungsfähigkeit aufweist.

Konkrete Gefahren durch erweichende und geschmolzene Kunststoffe sind:

- Verringerung und Verlust der mechanischen Stabilität
 - Lösen und Herabfallen von Materialteilen (z. B. Verkleidungsplatten u. ä.)
 - Umfallen von gestapelten Behältnissen (z. B. Getränkekisten aus PP)
 - Aufreißen von mit Flüssigkeiten gefüllten Gefäßen (z. B. Flaschen aus PE)
- Abtropfen und Fließen von noch nicht entzündeten bzw. schon brennenden geschmolzenen Stoffen
 - Verbrennungsverletzungen bei Hautkontakt bzw. durch fest haltende klebrige Schmelzen auf der Bekleidung (Begünstigung des Bekleidungsbrandes durch „Dochteffekt“ möglich!)
 - Vorliegen eines höheren Grades der Zündwilligkeit und einer größeren potenziellen Brandfläche
- Rutschgefahr beim Betreten von mit geschmolzenen Stoffen bedeckten Oberflächen

3.2.3 Zersetzen

Beim Brand von Kunststoffen werden die **Makromoleküle** der Kunststoffe **thermisch gespalten**, wobei große Mengen an brennbaren Gasen gebildet werden können. Die **Zersetzungsgase** (Pyrolysegase) sind der **eigentliche Brennstoff**, der in Verbindung mit dem Luftsauerstoff brennt.

Durch **besondere Formgebung oder Anordnung** können unverbrannte **Pyrolysegase von ihrem Entstehungsort an andere Stellen ziehen** und **dort brennen**. Dies ist bei doppelwandigen Kunststoffserzeugnissen aus Thermoplasten, wie sie in der Lagerhaltung Verwendung finden, der Fall. In den Zwischenräumen solcher Erzeugnisse werden brennbare Gase erzeugt, die an offenen Stellen austreten und über den normalen Brand hinaus zu einer **Verstärkung des Brandes** beitragen können.

Ein vergleichbarer Effekt kann in Zwischenräumen von unterfeuerten Decken in Gebäuden auftreten, wo brennbare Pyrolysegase zur Brandausbreitung beitragen können oder sogar nach Ansammlung in einem noch nicht vom Brand betroffenen Bereich explodieren können.

Tab. 4: Zersetzungstemperaturbereiche ausgewählter Kunststoffe

Kunststoff	Zersetzungstemperaturbereich [°C]
PE	340 – 440
PP	330 – 410
PS	300 – 400
PVC	200 – 300
PU-Hartschaum	220
PTFE	500 – 550
PMMA	170 – 300

Pyrolyse ist die irreversible chemische Zersetzung eines Stoffes bei hohen Temperaturen unter Sauerstoffausschluss.

3.2.4 Entflammen und Entzünden

Niedrige Entflammungs- und Entzündungstemperaturen erleichtern die Möglichkeit zur Zündung bei relativ niedrigen Temperaturen, aber auch das leichtere Fortschreiten des Brandes in seiner Anfangsphase. Ob es in der Praxis zur Zündung kommt, hängt unter anderem von der Zündquelle, also z. B. einer offenen Flamme (Streichholz usw.), einer glimmenden Zigarette, einer heißen Oberfläche oder der Wärmestrahlung ab.

Tab. 5: Entflammungstemperaturen ausgewählter Kunststoffe

Kunststoff	Entflammungstemperatur [°C]
PE	340
PP	350 – 370
PS	340 – 350
PVC	390
PU-Hartschaum	310
PTFE	560
PMMA	300

Die **Entflammungstemperatur** ist die niedrigste Temperatur eines Feststoffes, bei der so viele flüchtige brennbare Gase entstehen, dass diese z. B. mit einer Flamme gezündet werden können und der Stoff danach selbstständig weiterbrennt.

Während **Thermoplaste und Elastomere** schon durch ein geringes Stützfeuer in Brand gesetzt werden können und zu einer **raschen Brandfortleitung** führen, sind **Duroplaste** nur **schwer in Brand zu setzen**. Das Brandverhalten der Duroplaste kommt den Glutbildern (wie z. B. Holz) sehr nahe. Hingegen gehört die Mehrzahl der Elastomere zu den leicht brennbaren Stoffen.

Tab. 6: Zündtemperaturen ausgewählter Kunststoffe

Kunststoff	Zündtemperatur [°C]
PE	350
PP	390 – 410
PS	490
PVC	455
PU-Hartschaum	415
PTFE	580
PMMA	450

Die **Zündtemperatur** ist die niedrigste Temperatur einer heißen Oberfläche bzw. von Heißluft, bei der sich der Brennstoff ohne Zündflammeneinwirkung entzündet.

Bei **Kunststoffen im Gemisch mit brennbaren Lösungsmitteln**, z. B. Klebern und Lacken, wird die **Brennbarkeit im Wesentlichen vom Lösungsmittel bestimmt**. Auch haben die flüssigen bzw. pastenförmigen Kunststoffrohprodukte zur Herstellung von Mehrkomponentenkunststoffen in der Regel niedrigere Entzündungstemperaturen als die daraus gebildeten Kunststoffe und können deshalb zur schnelleren Ausbreitung eines Brandes führen.

Die **Entzündbarkeit von Kunststoffen mit Flammenschutz-ausrüstung ist deutlich erniedrigt** und auch die Brandentwicklungsphase verläuft langsamer als bei nicht mit Flammenschutzmitteln ausgerüsteten Kunststoffen.

Bei **dichter Lagerung und großen Mengen** liegen jedoch günstige Verhältnisse für eine **thermische Aufbereitung großer Mengen** vor, so dass es durch **Raumdurchzündungen** (Flash Over) zum Vollbrand kommen kann.

3.2.5 Heizwert und Verbrennungswärme

Hohe Verbrennungswärmen (Heizwerte) begünstigen einen schnellen Brandverlauf, in dem die Wärme des Brandes die noch nicht vom Brand betroffenen Bereiche aufheizt und Zersetzungs-, das heißt Pyrolyseprozesse, in Gang gesetzt.

Die Heizwerte vieler Massenkunststoffe, mit Ausnahme von PVC und PTFE, liegen über 30 MJ/kg. Zum Vergleich besitzt **Heizöl** einen Heizwert von **42,8 MJ/kg**, **Kohle** liegt im Heizwert **zwischen 27 und 33 MJ/kg** und **Papier bzw. Holz** nur noch bei Werten **unter 20 MJ/kg**. Diese Zahlen veranschaulichen den **großen Energieinhalt der Kunststoffe** gegenüber bekannten Brennstoffen und Materialien.

Tab. 7: Heizwerte ausgewählter Kunststoffe

Kunststoff	Heizwert [MJ/kg]
PE	46,5
PP	46,0
PS	42,0
PVC	20,0
PU-Hartschaum	nicht bestimmbar
PTFE	4,5
PMMA	26,0

Der **Heizwert** eines Stoffes ist die Wärmemenge, die bei seiner vollständigen Verbrennung frei wird.

3.3 Brandverhalten beim Zusammenwirken verschiedener Stoffe

Reine Kunststoffbrände sind selten. Meist werden Kunststoffe zusammen mit anderen Materialien wie Papier, Kartonagen, Holz (Paletten) sowie sonstigen brennbaren Waren und Gütern gelagert. Ein besonderes Gefahrenpotenzial beinhaltet die Lagerung brennbarer Flüssigkeiten in Kunststoffbehältnissen. Leere brennbare Verpackungsmaterialien und Lagerhilfsmittel (Paletten), die das Brandverhalten negativ beeinflussen, sollten nicht mit anderen brennbaren Stoffen zusammen gelagert werden.

Bei einem Brand, ausgehend von brennbaren Materialien, die als Stützfeuer dienen können, **können auch schwer entflammbare Kunststoffe mit niedrigem Heizwert** (PTFE, PVC) **brennen** und darüber hinaus zu einer Vergrößerung des Schadens durch **weiträumige Korrosion** beitragen. Dies wird durch folgendes Beispiel deutlich: **Hart-PVC** ist wegen des hohen Chlorgehaltes schwer entflammbar, spaltet jedoch unter Wärmeeinwirkung schon bei Temperaturen um 150°C **Chlorwasserstoffgas** ab und **brennt unter Beteiligung** (Stützfeuer) **leichter brennbarer Stoffe**. Ein solches Stützfeuer können Kunststoffe wie PE und PP liefern.

3.4 Zersetzung- und Verbrennungsprodukte

Unter Brandrauch versteht man ein infolge der Verbrennungsreaktion gebildetes sichtbares Gemisch gasförmiger sowie flüssiger und/oder fester Stoffe mit bestimmten Eigenschaften.

Eigenschaften und daraus resultierende Gefahren des Brandrauchs:

- hoher Wärmegehalt
 - Erwärmung von brennbaren und unbrennbaren Stoffen
 - Gefährdung von Menschen (Wärmestress und Verbrennungen)
- dichtes dunkles Erscheinungsbild
 - Sichtbehinderung
 - Orientierungslosigkeit und ggf. Angst und Panik
- Gehalt an korrosiven Stoffen (z. B. Salzsäure bei der Verbrennung von PVC)
 - Metallische und auch mineralische Stoffe werden angegriffen.
- Brennbare Stoffe im Brandrauch (Kohlenmonoxid, Pyrolyseprodukte etc.)
 - Herbeiführung von Schwelgasexplosionen, Raumdurchzündungen und ähnliche Effekte der schnellen Brandausbreitung möglich

Wie bei allen organischen Stoffen entstehen beim Brand von Kunststoffen überwiegend **Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Ruß und Wasser(-dampf)**. (Diese werden in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** nicht mehr explizit erwähnt.) Kunststoffe können quasi in Umkehrung ihrer Herstellung depolymerisieren oder, wie schon erwähnt, pyrolytisch zersetzt werden, so dass neben dem brennbaren Kohlenmonoxid auch andere brennbare Gase entstehen können. Je nach Zusammensetzung der Kunststoffe entstehen **spezifische Zersetzungs- und Brandfolgeprodukte** (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Tab. 8: Brandfolge- und Zersetzungsprodukte ausgewählter Kunststoffe

Kurzzeichen	Kunststoffname	mögliche Verbrennungs- und Zersetzungsprodukte
Thermoplaste		
PE	Polyethylen	Alkane, Alkene, Alkohole
PP	Polypropylen	Alkane, Alkene, Alkohole
PS	Polystyrol	Styrol, Aldehyde, Alkene, PAK
PVC	Polyvinylchlorid	Chlorwasserstoff (HCl) ab 150°C, Phosgen (COCl ₂), PAK, und PCDD/PCDF
PA	Polyamid	Ammoniak (NH ₃), Cyanwasserstoff (HCN), Stickoxide (NO _x), Amine
PTFE	Polytetrafluorethylen	Fluorwasserstoff (HF)
PMMA	Polymethylmethacrylat	Methylmethacrylat, Ester, Alkohole, KW
Duroplaste		
PU	Polyurethan	Cyanwasserstoff (HCN), Ammoniak (NH ₃), PAK
PF	Phenolharz	Phenol und Formaldehyd
EP	Epoxidharz	Phenol, Formaldehyd, Ameisensäure, Cyanwasserstoff (HCN), Ammoniak (NH ₃)
Elastomere		
SBR	Styrol-Butadien-Gummi	Butadien, Styrol, Aldehyde, Alkene, PAK
NBR	Acryl-Butadien-Gummi	Butadien, Stickoxide (NO _x), Cyanwasserstoff (HCN), Ammoniak (NH ₃), Acrylnitril
NR	Naturgummi	Isopren und Folgeprodukte, Schwefeldioxid (SO ₂)
PAK = polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe; PCDD = polychlorierte Dibenzodioxine; PCDF = polychlorierte Dibenzofurane; KW = Kohlenwasserstoffe		

3.5 Beispiel PVC: Brandverhalten und Auswirkungen

Beispielhaft sei hier auf das Brandverhalten von PVC hingewiesen.

Hart-PVC brennt unter **Verkohlung** mit **gelber Flamme**, die **nach Entfernen der Zündquelle erlischt**. Trotzdem wird Hart-PVC beim Brand anderer Stoffe durch Flammen, heiße Brandgase oder Wärmestrahlung zersetzt.

Weich-PVC hingegen **kann** nach Art und Menge des zugesetzten Weichmachers **mit rußender Flamme weiterbrennen**.

Wird PVC auf Temperaturen von über 150 °C erwärmt, werden **große Mengen Chlorwasserstoff** freigesetzt, die sich mit dem ebenfalls gebildeten Wasserdampf oder mit Löschwasser **als Salzsäure niederschlagen** bzw. kondensieren oder mit reaktionsfähigen Materialien umsetzen. Je nach Zusammensetzung des PVC können **pro Kilogramm ca. 550 bis 600 Gramm reines HCl-Gas** entstehen. Dies entspricht unter Normalbedingungen einer Menge von **330 bis 350 Litern HCl-Gas**.

Derart korrosiv wirkende Brandgase wie HCl können, wie bereits erwähnt, erhebliche Brandfolgeschäden an Maschinen, Bauwerken und Einrichtungen verursachen.

Bei großen Lagermengen PVC entstehen bei der Freisetzung von HCl-Gas in die Atmosphäre **sehr große Ausbreitungsdistanzen, innerhalb derer noch eine gesundheitliche Beeinträchtigung von Personen, die sich im Freien aufhalten, zu erwarten sind** (vgl. Abb.). Aber **auch Personen im Innern von Gebäuden können** aufgrund von Diffusionsvorgängen der Gase durch die Gebäudehülle **gefährdet sein**.

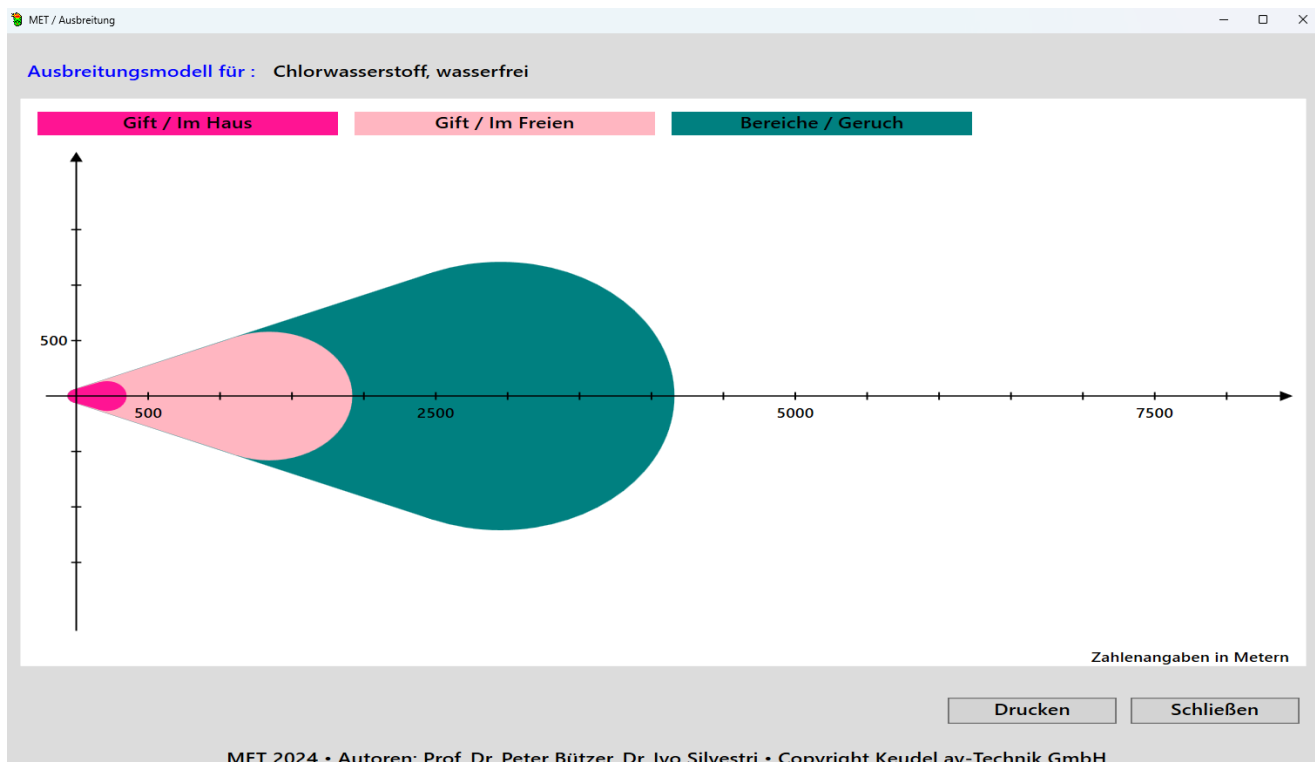


Abb. 9: Ausbreitungsdistanzen und Gefährdungsbereiche bei der Verbrennung von 40 t PVC, gerechnet mit dem Ausbreitungsprogramm MET

Quelle: Memplex, Version 2024 R1, Keudel av-Technik GmbH

3.6 Zusammenfassung: Kunststoffbrände und Brandfolgen

Nachfolgende Eigenschaften vieler Kunststoffe können im Brandfall das Schadenausmaß nachteilig beeinflussen:

- niedrige Erweichungs- und Schmelztemperaturen
- niedrige Zersetzungstemperaturen
- Schmelzen, Abtropfen, Abfließen, Lachenbildung
- brennendes Abtropfen
- niedrige Entflammungstemperatur, d. h. leichte Brennbarkeit
- hohe Verbrennungswärmen
- starke Rußbildung
- Bildung korrosiver oder toxischer Gase
- wasserabweisend
- hohe spezifische Wärmespeicherkapazität
- hoher Energieinhalt

Diese Eigenschaften sind jedoch nicht bei allen Kunststoffen und nicht immer vollständig vorhanden.

Infolge von Kunststoffbränden kann es zu folgenden Auswirkungen und Gefährdungen kommen:

- umfangreiche Brandfolgeschäden durch Verschmutzung und Kontamination mit den Zersetzungsprodukten, Korrosionsschäden
- Freisetzung großer Mengen von Atemgiften
- starke Verqualmung und Sichtbehinderung
- Brandausbreitung infolge von Fließ- und Tropfbränden und teilweise leichte Entzündbarkeit der Baustoffe
- frühe Tragfähigkeitsverluste anderer wärmeempfindlicher Bauteile in Folge großer Energiefreisetzung
- Entstehen brennbarer oder explosionsfähiger Atmosphären

3.7 Spezialfall Wärmedämmverbundsysteme

Im Baubereich werden **geschäumte Kunststoffe** heutzutage verstärkt zur Isolierung von Gebäuden als sogenannte Wärmedämmverbundsysteme an Fassaden angebracht. Die verwendeten Materialien sind als **schwerentflammbar** eingestuft und es ist davon auszugehen, dass sie nach den geltenden Vorschriften korrekt verbaut werden. Trotzdem kann ein Brand auch schon in der Nähe solcher Fassaden enorme Folgen haben, wie schon mehrere Einsätze gezeigt haben (z. B. am 29.05.2012 in Frankfurt am Main).

Auffällig dabei ist das sehr schnelle Übergreifen des Feuers auf die Fassade und die **rasante Brandausbreitung** auf die komplette Gebäudefront. Dabei spielt es keine Rolle, ob sich die Fassade noch im Rohbau befindet oder schon komplett mit Putz und Farbanstrich fertig gestellt ist. Außerdem sind die **gewaltige Rauchentwicklung** sowie die **enormen auftretenden Temperaturen** bemerkenswert. Aufgrund der Wärmestrahlung sind auch **Folgebrände von in der Nähe befindlichen Objekten**, wie z. B. parkenden Fahrzeugen, oftmals nicht zu vermeiden.

4 Löschen von Kunststoffbränden

Bei der Wahl des Löschmittels und -verfahrens bei Kunststoffbränden ist zunächst zu unterscheiden, ob es sich um ein Entstehungsfeuer oder um einen fortgeschrittenen Brand handelt.

4.1 Entstehungsbrand

Bei **Entstehungsbränden** werden Kunststoffe, wie jeder anderer organischer Stoff auch, am besten **mit Wasser gelöscht**. Durch die abkühlende Wirkung des Löschmittels Wasser wird in erster Linie die **enorme Wärmefreisetzung des Brandgutes minimiert**.

Je größer die Oberfläche des Löschmittels Wasser ist, umso schneller kann das Wasser die Wärme aufnehmen. Folglich ist ein **Sprühstrahl gegenüber einem Vollstrahl vorzuziehen**.

4.2 Vollbrand

Ist es jedoch zu einem **Vollbrand** gekommen, müssen weitere Aspekte berücksichtigt werden:

Die vom Brand erzeugte Energie **heizt die Umgebung des Brandobjektes schnell auf**. Dafür sind sowohl die Wärmestrahlung als auch die Konvektion der heißen Rauchgase verantwortlich. Rauch- und Wärmeabzugsanlagen in stationären Anlagen realisieren eine schnelle Ableitung der Energie in die Umgebung.

Die trotzdem im Brandobjekt verbleibende Wärme kann die Lagerform der Kunststoffe wesentlich verändern. Durch die schmelzenden Kunststoffe können **viskose Flüssigkeitspools am Boden** entstehen, **deren Flammenzonen die vorhandenen Brandstoffe weiter aufheizen**. Es kommt zur **weiteren Zerstörung** der vorhandenen Lagerform, zur **Neuausbildung verdeckter Brände** und zur **Bildung weiterer Schmelzen**. Diese brennenden flüssigen Kunststoffe unterscheiden sich hinsichtlich der Verwendung des Löschmittels Wasser gravierend von den oben beschriebenen Entstehungsbränden.

Die Abgabe von **Wasser** führt zu solchen Effekten, wie man sie aus dem Bereich der brennenden Fette und Öle kennt, wenn versucht wird, diese mit Wasser zu löschen (Fettexplosion). Es entstehen **verpuffungsartige Rückzündungen mit schlagartiger Ausbildung eines Flammenbrandes**. Diese können nur verhindert werden, wenn **tensidhaltiges Löschwasser oder Löschschäume** verwendet werden.

Besonders effizient können **wässrige Lösungen von AFFF-Schaummitteln** eingesetzt werden, wobei die Anwendungsraten von 4 bis 6 l/min•m² bereits zu Beginn des Löschangriffs verfügbar sein sollten. Kann die gesamte Oberfläche der Kunststoffe mit der Schaummittellösung beaufschlagt werden, dann ist der Löscherfolg schnell zu erreichen.

4.3 Glimmbrand

Problematisch können **Glimmbrände im Schüttgut** werden. Diese Brände sind dadurch gekennzeichnet, dass sie von nicht brennendem Material umgeben sind und die gebildeten Reaktionsprodukte stark wasserabweisende Eigenschaften besitzen.

In Verbindung mit der im Glimmbrand gespeicherten Wärme **verhindern** sie das **Eindringen des Löschmittels in den Brandherd**, was die Brandbekämpfung zu einer schwierigen und langwierigen Aufgabe werden lässt. Je nach Situation müssen dann folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- Ausheben des Glimmbrandes und Löschen der vorhandenen glimmenden Materialien
- Injizieren von Löschmitteln in das Zentrum des Glimmbrandes
- Verringern der Sauerstoffzufuhr durch Abdecken mit Schaum

4.4 Weitere Probleme bei der Brandbekämpfung

Wesentliche Voraussetzungen für den Löscherfolg sind **ausreichende Sichtbedingungen** und **frei zugängliche Angriffswege** im Bereich des lokalen Brandes. Es muss garantiert sein, im Bereich der Angriffswege die Löschtechnik so aufbauen zu können, dass die wesentlichen im Brandobjekt erkennbaren Oberflächen des Brandstoffes mit dem Löschmittel erreicht werden können.

Einsatzkräfte müssen berücksichtigen, dass sowohl die **Wärmestrahlung** als auch die im Brandraum vorhandene **Energie des Brandrauchs** zu einer **Aufheizung der Bekleidung** führen können. Wärmestrahlung kann durch Wärmeschutzkleidung oder durch entsprechende Deckung reflektiert werden. (Siehe auch Kap. 0)

Erfolgversprechender ist eine Brandbekämpfung in Bereichen mit großen Mengen von Kunststoffen, wenn eine **stationäre Löschanlage die Brandausbreitung bis zum Vollbrand verhindert**.

Wird der Löschangriff ohne Unterstützung durch eine stationäre Löschanlage vorgetragen, **müssen sowohl die erreichbaren brennenden Oberflächen als auch verdeckte Brände abgelöscht werden**. Das bedeutet zunächst, eine aussichtsreiche Angriffsrichtung für einen konzentrierten Löschmitteleinsatz auszuwählen. Nach dem Ablöschen der erreichbaren Oberflächen muss dann mit geänderter Taktik das Löschen der verdeckten Brände erfolgen.

5 Quellenverzeichnis

1. Hessische Landesfeuerwehrschule
Abb. 1, 2, 4, 6,
Tab. 1 - 8
2. Kunststoffe Werkstoffe unserer Zeit, Arbeitsgemeinschaft Deutsche Kunststoff-Industrie, 2011
Abb. 3, 5
3. Wikimedia Commons
Abb. 7
4. Memplex, Version 2024 R1, Keudel av-Technik GmbH
Abb. 9