

***BRENNBARE FLÜSSIGKEITEN,
BRENNBARE FESTE STOFFE,
ZÜNDTEMPERATUR & FLAMMPUNKT***

Brennbare Flüssigkeiten

Brennbare Flüssigkeiten werden hinsichtlich der von ihnen ausgehenden Brand- und Explosionsgefahr häufig falsch eingeschätzt. Denn es gibt zahlreiche brennbare Flüssigkeiten, die einerseits unter gegebenen Umständen nicht entflammbar sind (Heizöl, Dieseldieselkraftstoff), andererseits aber einen viel höheren Energie-Inhalt als Gase haben und im Falle einer Zündung erhebliche Schäden verursachen können^{*1}. Besonders gefährlich bei der Brandbekämpfung ist die Unterschätzung des Fließverhaltens und der Wasserunlöslichkeit: Im Gegensatz zu Gaswolken, die sich bei ihrer Fortbewegung zusehends verdünnen, fließen brennbare Flüssigkeiten entlang jedem Gefälle. Sie vergrößern dabei ihre Oberfläche und fördern die Verdunstung oder können sich weit ab von einer Leckage abermals sammeln, um dort wieder zündfähige Dampfkonzentrationen zu bilden. Das gilt sowohl für die Flüssigkeit selbst als auch für wasserunlösliche Flüssigkeiten, wenn sie z. B. auf Regen- oder auch Löschwasserschwimmend in Bereiche getragen werden, wo eine Zündung des gebildeten Dampfes erfolgen kann.

Der Begriff „brennbare Flüssigkeit“ ist eigentlich nicht ganz zutreffend, gemeint sind deren Dämpfe, denn nur diese sind brennbar. Und auch nur dann, wenn sie in einer Mindestkonzentration im Gemisch mit Luft vorhanden sind. Diese Konzentration heißt untere Explosionsgrenze (UEG). Unterhalb dieser Grenze liegt Brennstoffmangel vor, und es gelingt nicht, ein solches Dampf/Luft-Gemisch zu entzünden.

Zündtemperatur

Die meisten Reaktionen zwischen brennbarem Stoff und Sauerstoff sind gehemmt. Damit es zum Brennen kommt, bedarf es eines mehr oder weniger starken energetischen Anstoßes. Das heißt, es muss Energie zugeführt werden.

Die Zündtemperatur ist die Temperatur, auf die ich einen brennbaren Stoff erwärmen muss, damit er anfängt mit dem Luftsauerstoff zu reagieren und schließlich brennt.

Beispiele:

Benzin 470°C - 530 °C, Heizöl 220 °C, Holz 220°C - 320 °C

Zündtemperatur einiger Feststoffe:

Feststoff	Zündtemperatur in °C
Fichtenholz	280
Holz	280-340
Kork	300-320
Stroh	250-300
Torf	230
Heu	260-310
Zeitungspapier	175
Schreibpapier	360
Zucker	410
Baumwolle	450
Getreide	250-320
Roggenmehl	500
Weizenstaub	270
Holzkohle	300

Kohle	240-280
Kunststoffe	200-300
Phosphor weiß	60
Schwefel	250
Phosphor rot	300
Zündholzkopf	80

Für Stäube ist das Bestimmungsverfahren der Zündtemperatur ebenfalls vereinheitlicht und in dem Dokument IEC 61241-2-1 festgeschrieben. Zu beachten ist, dass der Staub in abgelagerter Form - nach Verfahren A bestimmt als Schicht - und in aufgewirbelter Form - nach Verfahren B bestimmt als Wolke - unterschiedliche Zündtemperaturen aufweist.

Die zulässige Oberflächentemperatur für dem Staub zugängliche Teile der Systeme, Geräte und Komponenten ergibt sich, indem von dem nach A bestimmten Wert 75 K abgezogen werden und von dem nach B ermittelten Wert 2/3 errechnet werden. Der kleinere der beiden so ermittelten Werte stellt die zulässige Oberflächentemperatur der Betriebsmittel dar. Oberfläche ist die Fläche, die für den Staub zugänglich ist, Temperaturklassen sind bei Stäuben nicht definiert, so dass immer vom konkreten Staub ausgegangen werden muss. In umfangreichen Tabellenwerken stehen Kennzahlen zu Verfügung, Labors bestimmen die Werte auf Anfrage und eine kleine nichtoffizielle Übersicht enthält nachfolgende Tabelle.

Brennpunkt

Als Brennpunkt eines Stoffes wird die Temperatur bezeichnet, bei der der Dampfdruck so hoch ist, dass sich das entstehende Gas/Luft-Gemisch mit einer Zündquelle entzünden lässt, und die Verbrennung weiter fortschreitet, wenn die Zündquelle entfernt wird. Meistens liegt der anzuzündende Stoff bereits als Flüssigkeit vor.

Hat die brennbare Flüssigkeit eine Temperatur, die niedriger ist als der Flammpunkt, lässt sich die Flüssigkeit nicht mit einer Zündquelle entzünden. Erst wenn die Temperatur des Flammpunktes erreicht ist, bildet die Flüssigkeit in ausreichender Menge brennbare Dämpfe, welche sich dann entflammen lassen. Die nachströmende Dampfmenge ist jedoch nicht groß genug, um eine dauerhafte Verbrennung zu ermöglichen, wenn die Zündquelle wieder entfernt wird. Erst mit Erreichen des meist nur wenige Grade höheren Brennpunktes ist die gebildete Dampfmenge ausreichend, um eine dauerhafte Verbrennung zu ermöglichen.

Der Flammpunkt hat gegenüber dem Brennpunkt unter Sicherheitsaspekten eine weitaus größere Bedeutung, da bereits bei der niedrigeren Temperatur des Flammpunktes eine Entzündung von explosionsfähigem Gas/Luft-Gemischen möglich wird. Die dabei entstehende Verbrennungswärme reicht nicht aus, um die Flüssigkeit bis zum Erreichen des Brennpunktes zu erwärmen.

Flammpunkt

Definitionsgemäß ist der Flammpunkt die niedrigste Temperatur einer brennbaren Flüssigkeit, bei der sich in einem genormten Tiegel aus der zu prüfenden Flüssigkeit unter festgelegten Bedingungen Dämpfe in solcher Menge entwickeln, dass sich im Tiegel über dem Flüssigkeitsspiegel ein durch Fremdzündung entflammbares Dampf/Luft-Gemisch bildet. Die Flammpunktermittlung wird z. B. nach DIN 51 758 durchgeführt. Nur in wenigen Fällen werden Flammpunkte unterhalb von -20 °C noch ermittelt, vorzugsweise wird „< -20 °C“ angegeben. Bei schwer entflammaren Flüssigkeiten, wie z. B. Dichlormethan, versagt die Methode: Die Normapparatur kann diesen Dampf nicht zünden und folglich gibt es brennbare Flüssigkeiten auch ohne Flammpunkt. Man kann sich in einem solchen Fall behelfen, indem man rein rechnerisch den sog. Explosionspunkt aus der Dampfdruckkurve ermittelt.

Dieser ist die Temperatur, bei der gerade 100 % UEG erreicht sind. Die nach DIN ermittelten Flammpunkte liegen immer oberhalb des Explosionspunktes, sie entsprechen einer Konzentration von etwa 120 bis 140 % UEG. Wird eine Flüssigkeit also auf oder über ihren Flammpunkt erwärmt, so verdampft sie so stark, dass sich über ihrem Flüssigkeitsspiegel ein zündfähiges Dampf/Luft-Gemisch unter atmosphärischen Bedingungen bildet. Eine explosionsfähige Atmosphäre kann sich demnach

nicht aus einer Flüssigkeit bilden, deren Temperatur 5 °C unter dem Flammpunkt liegt. Hierbei muss beachtet werden, dass die Ermittlung des Flammpunktes den sog. Dispersionsgrad nicht berücksichtigt. Versprüht oder zerstäubt man eine brennbare Flüssigkeit so kann sie durchaus auch dann gezündet werden, wenn ihre Temperatur noch deutlich unter dem Flammpunkt liegt. Dieses Verhalten ist vom Heizöl bekannt: Heizöl hat einen Flammpunkt von über 50 °C, das im Brenner zerstäubte Heizöl jedoch zündet problemlos auch bei Normaltemperatur.

Dampf

Eine Flüssigkeit liegt immer in zwei Zuständen vor: als Flüssigkeit und als Dampf. Obwohl der Dampf rein physikalisch und für sich betrachtet gasförmig ist, deutet man durch die Wortwahl „Dampf“ an, dass hier eine Koexistenz mit einer Flüssigkeit vorliegt und dass beide Zustände je nach Umgebungsbedingungen durch Kondensation oder Verdampfung ineinander übergehen können (sog. Phasenkoexistenz). Erst oberhalb ihres Siedepunktes kann eine Flüssigkeit nicht mehr existieren. Sie verflüchtigt sich vollständig, und eine Kondensation ist nicht mehr möglich, d. h. eine Phasenkoexistenz gibt es nicht mehr. Man hat es nun mit einem Gas zu tun.

Dampfdruck

Aus einer Flüssigkeit dringen fortwährend Flüssigkeitsmoleküle durch die Flüssigkeitsoberfläche. Sie haben eine gewisse Masse und Austrittsgeschwindigkeit, die sich – makroskopisch betrachtet - als Druck äußert. Dieser Druck wirkt aber auch einem weiteren Austreten von Flüssigkeitsmolekülen entgegen. Befindet sich die Flüssigkeit in einem geschlossenen Behältnis, so bildet sich ein maximaler Dampfdruck aus, welcher nur von der Temperatur abhängig ist. Die Flüssigkeit erhält sich als solche also dadurch, dass ihr eigener Dampfdruck im geschlossenen Gefäß eine weitere Verdampfung nicht zulässt. Steht das Gefäß aber offen, so wird der Dampf durch Diffusion oder Konvektion kontinuierlich abgetragen, der Dampfdruck kann sich nicht vollständig aufbauen. So werden ständig weitere Moleküle verdampft, und die Flüssigkeit verdunstet vollständig. Der Dampfdruck ist eine stoffspezifische Größe und entgegen einer weitverbreiteten Ansicht unabhängig vom Umgebungsdruck^{*2}. Man gibt ihn in Sicherheitsdatenblättern meist als Dampfdruck p₂₀, d. h. bei 20 °C in hPa an. Der Dampfdruck korreliert mit dem Siedepunkt:

Flüssigkeiten mit einem niedrigen Siedepunkt (z. B. Aceton, Diethylether, Pentan) haben bei 20 °C einen hohen Dampfdruck, Flüssigkeiten mit einem hohen Siedepunkt haben einen niedrigen Dampfdruck.

^{*1}Die wohl bisher größte Katastrophe ereignete sich 1974 in Flixborough, England, wo 60 Tonnen Cyclohexan zu einer 400 000 m³ großen Gaswolke verdampften und eine Explosion entsprechend 15 Tonnen TNT verursachte. Nur weil Wochenende war, war die Anzahl der Toten mit 28 relativ gering, es gab 104 Verletzte, weiterhin wurden 100 Häuser zerstört und 3000 Menschen evakuiert. Die Löscharbeiten dauerten Tage, der Sachschaden lag bei ungefähr 150 Millionen DM.

^{*2} Nur die Zeit, welche vergeht, bis sich der maximale Dampfdruck eingestellt hat, ist vom Umgebungsdruck abhängig, sie wird mit zunehmendem Umgebungsdruck größer. Das wirkt sich auch auf die Verdunstungsgeschwindigkeit (Verdunstungszahl) aus.

Verdunstungszahl

Die Verdunstungszahl gibt an, wie schnell - bezogen auf einen Vergleichsstoff - (Ether oder n-Butylacetat) eine Flüssigkeit verdunstet. Man kann diese Zahl selbst ermitteln: Man träufelt 0.5 ml der zu testenden Substanz auf ein Filterpapier (z. B. der Firma Schleicher&Schüll, Nr. 589) und misst die Zeit bis zum restlosen Verdampfen der Flüssigkeit. Dieser Wert wird durch die Zeit dividiert, die unter den gleichen Bedingungen für den Vergleichsstoff benötigt wird. Die Verdunstungszahl wird heute nach DIN 53 170 bestimmt.

Fehleinschätzung der Dampf-Phase

Die Verdunstungszahl, d. h. die Geschwindigkeit, mit der Konzentrationen aufgebaut werden, ist auch maßgebend für so viele missglückte Experimente beim Testen von Gassensoren. Ein mit einem Lösemittel durchnässter Stofflappen verdunstet das Lösemittel je nach Oberflächenbeschaffenheit und Temperatur mehr oder weniger schnell - es wird aber auch je nach Windgeschwindigkeit ^{*3} ständig Dampf abgetragen. Nur wenn der Lösemittelvorrat genügend groß ist, kann sich zwischen Verdampfung und Abtrag ein dynamisches Gleichgewicht einstellen, dessen Dampf- Konzentration allerdings deutlich hinter dem erwarteten theoretischen Wert der Sattdampfkonzentration zurückbleiben wird. Das ist auch nicht verwunderlich, denn Abtrag und Verdünnung des Dampfes durch Frischluftzufuhr werden ja gerade im Falle des primären Explosionsschutzes ganz bewusst praktiziert, um die Konzentrationen auf ein ungefährliches Maß zu begrenzen. Die Sattdampfkonzentration, wie sie im geschlossenen Gefäß entstehen kann, lässt sich ermitteln, indem man den Sattdampfdruck zum atmosphärischen Druck ins Verhältnis setzt (Faustregel: teile den Dampfdruck in hPa durch 10, um die Sattdampfkonzentration in % V/ V zu erhalten). Aus der Tabelle entnimmt man: Sattdampfkonzentration von Toluol bei 20 °C: 2.9 % V/ V.

^{*3} Windgeschwindigkeiten unterhalb von 0,2 m/s werden als Windstille empfunden, obwohl sie zum Abtrag von Dampf beitragen (man denke nur an Zigarettenrauch ...)

Brennbare Dämpfe sind schwer

Brennbare Dämpfe sind immer schwerer als Luft, das lässt sich über den Vergleich des Molgewichtes M von Luft ($M = 28.96$) und der fraglichen Substanz leicht ermitteln. Das Molgewicht von Toluol beträgt 92.1 g/Mol. Es scheint, als sei die relative Dichte von Toluol 3.18 (Luft = 1). Wegen der Sattdampf-Konzentration von 2.9 Vol-% ist das Toluol-Luft- Gemisch bei 20 °C aber nur maximal $(100 - 2.9 + 2.9 \times 3.18)/100 = 1.06$ Mal schwerer als Luft. Grundsätzlich findet eine Entmischung eines Dampf/Luft-Gemisches aufgrund der unterschiedlichen Dichten nicht statt. Aber: Die Vermischung in ruhiger Luft vollzieht sich langsamer, d. h. je größer die Dampfdichte ist, umso eher fließen brennbare Dämpfe am Boden entlang. Insbesondere können Leckagen von wasserunlöslichen brennbaren Flüssigkeiten 4 auch auf stehenden Gewässern schwimmen und sich großflächig verteilen, um oberhalb des Gewässers kontinuierlich zündfähige Dämpfe zu produzieren.

Wasser entschärft Alkohol

Diese Eigenschaft haben wasserlösliche brennbare Flüssigkeiten nicht. Sie verdünnen sich in beliebigem Verhältnis mit Wasser, wodurch ihr Flammpunkt kontinuierlich steigt. Man kann also durch Vermischen mit Wasser (Löschen) eine brennbare Flüssigkeit „entschärfen“. Dieses Verhalten ist aus dem Alltag bekannt: 54%iger Rum (Flammpunkt ca. 22 °C) lässt sich entzünden, 33%iger (Flammpunkt ca. 30 °C) nicht. Die Tabelle 2 enthält die wasserlöslichen brennbaren Flüssigkeiten, deren Flammpunkt kleiner 21 °C ist (VbF - Klasse B).

Dieselmotoren

Raffinerien stellen Winterdiesel in gleichbleibender Qualität und entsprechend der gesetzlichen Auflagen in Bezug auf die VbF - Klasse mit einem Flammpunkt über 55 °C, aber entsprechend guten Kälteeigenschaften her. Um eine weitere Verbesserung des Kälteverhaltens zu erreichen, setzen einige Verbraucher dem Dieselmotoren Benzin zu. Dabei wird der Flammpunkt weit unterschritten und auf Dauer gesehen eine Schädigung des Motors in Kauf genommen.

Nachverbrennungsanlagen

Umgebungstemperatur und Flammpunkt spielen auch in der Abluftüberwachung eine wichtige Rolle. In Nachverbrennungsanlagen möchte man durch Gaswarnanlagen sicherstellen, dass eine vorgegebene Konzentration an brennbaren Dämpfen nicht überschritten wird, da andernfalls die Anlage durch Explosion zerstört werden könnte. Die Ablufttemperatur liegt bei z. B. 200 °C. Da Gaswarngeräte nur bei „gemäßigten Temperaturen“ eingesetzt werden können, muss demnach ein kontinuierliches Probenahme mit Abkühlung vorgenommen werden, z. B. auf 40 °C. Während aber bei 200 °C durchaus zündfähige Konzentrationen von z. B. Ethylenglykol (Flammpunkt 111 °C) existieren

können, ist durch die Abkühlung auf 40 °C bereits soviel Ethylenglykol kondensiert, dass eine Fehlmessung resultiert. Man detektiert zu wenig, und daher ist die Herabkühlung unter den Flammpunkt sicherheitstechnisch nicht vertretbar! Gemische von brennbaren Flüssigkeiten wie Vergaserkraftstoffe, Flugbenzine, Dieselkraftstoffe etc. können altern, wenn sie in kleineren Behältnissen gelagert werden, welche häufiger zur Entnahme geöffnet werden. Es findet dann eine Entmischung statt: Die leicht flüchtigen Komponenten haben einen höheren Dampfdruck und verdampfen schneller – übrig bleiben die schwerflüchtigen Komponenten. Die Alterung führt also zur Erhöhung des Flammpunktes und zur Herabsetzung des Dampfdrucks. Insbesondere bei der Kalibrierung kann dieses Verhalten zu Problemen führen, denn nach mehreren Entnahmen aus einem kleinen Benzin-Vorrat ist zwar immer noch Flüssigkeit vorhanden, allerdings mit anderen Eigenschaften. Und der Wärmetönungssensor reagiert kaum noch. Natürlich ist der Ersatz des Sensors die falsche Maßnahme. Anstelle von Gemischen sollten für die Kalibrierung sinnvolle, ggf. durch Experiment bestätigte, repräsentative Substanzen ausgewählt werden.

Die Entmischung kann auch gefährliche Folgen haben. Für lange Zeit sich selbst überlassen kann in einem großen Behältnis ein Gemisch mit hohem Flammpunkt zündfähige Dampfkonzentrationen ansammeln, welche bei einer genormten Flammpunktbestimmung in der Kürze nicht entstehen. Aus diesem Grunde ist es nicht ratsam, mit einem Streichholz in einen Heizöltank hineinzuleuchten; denn wer weiß, ob sich darin nicht während des letzten halben Jahres noch ausgasendes Oktan gesammelt hat?

Verschleppung

Derartige Probleme können auch durch Verschleppung auftreten, wenn z. B. Heizöl verbotenerweise ohne vorherige vorschriftsmäßige Tankreinigung in den gleichen Tankfahrzeugen transportiert wie Benzin-Kraftstoffe. Durch die Benzinreste wird der Flammpunkt des Heizöls deutlich niedriger.

Auch in der Textilreinigung mit höher siedenden Kohlenwasserstoffgemischen auf Basis Undecan (Flammpunkt ca. 60 °C) muss peinlichst darauf geachtet werden, dass bei der Lösemittelrückgewinnung keine zuvor verwendeten Vorreinigungsmittel (Reinigungsbenzin, Aceton etc.) eingeschleppt werden. Hierdurch erniedrigt sich der Flammpunkt, und es könnten während der Trocknungsphase ggf. zündfähige Konzentrationen entstehen. Da von brennbaren Flüssigkeiten erhebliche Gefahr ausgeht, hat der Gesetzgeber in Österreich für deren sichere Handhabung Vorschriften erlassen. Das Gerätesicherheitsgesetz („Gesetz über technische Arbeitsmittel“) schreibt vor, dass „Anlagen zur Lagerung, Abfüllung und Beförderung brennbarer Flüssigkeiten“ zu den überwachungsbedürftigen Anlagen gehören. Die entsprechende Verordnung (Verordnung über brennbare Flüssigkeiten, kurz: VbF) definiert brennbare Flüssigkeiten und teilt sie nach Maßgabe ihres Flammpunktes in vier Gefahrenklassen ein:

Brennbare Flüssigkeiten im Sinne der VbF sind Stoffe mit Flammpunkt, die bei 35 °C weder fest noch salbenförmig sind, bei 50 °C einen Dampfdruck von 3 bar oder weniger haben und zu einer der nachstehenden Gefahrenklassen gehören:

Gefahrenklasse A:

Flüssigkeiten, die einen Flammpunkt nicht über 100 °C haben und hinsichtlich der Wasserlöslichkeit nicht die Eigenschaften der Gefahrenklasse B aufweisen, und zwar:

- A I** Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt unter 21 °C
- A II** Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt von 21 °C bis 55 °C
- A III** Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt über 55 °C bis 100 °C

Gefahrenklasse B:

Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt unter 21 °C, die sich bei 15 °C in Wasser lösen oder deren brennbare flüssige Bestandteile sich bei 15° C in Wasser lösen.

B I Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt unter 21 °C

B II Flüssigkeiten mit einem Flammpunkt von 21 °C bis 55 °C

Explosionsgrenzen

Gemische aus brennbaren Gasen, Dämpfen oder Stäuben mit Sauerstoff oder Luft sind bei bestimmter Mischungsverhältnissen explosionsfähig. Der Bereich, der alle explosiven Mischungsverhältnisse zusammenfasst wird von zwei Explosionsgrenzen, der oberen und der unteren Explosionsgrenze (OEG bzw. UEG) beschrieben.

Diese Grenzen werden auch als **Zündgrenzen** bezeichnet. Man bezeichnet den Bereich unterhalb der **unteren Explosionsgrenze**, in dem die Konzentration des brennbaren Stoffes zu gering ist, auch als mageres Gemisch. Der Bereich oberhalb der **oberen Explosionsgrenze** wird als fettes Gemisch bezeichnet. Hier ist die Konzentration des brennbaren Stoffes zu hoch um zu explodieren. Ein fettes Gemisch kann allerdings unter Luftzufuhr weiter verdünnt werden und so unter die OEG gelangen womit es wieder zu einer Explosion kommen kann.

Die Explosionsgrenzen sind temperatur- und druckabhängig. Bei Stäuben haben zusätzlich auch die Teilchengröße und die Teilchengrößenverteilung des Feststoffs einen Einfluss auf die Explosionsgrenzen.

Wenn die Konzentration des brennbaren Stoffes in der Luft innerhalb der Explosionsgrenzen liegt, wird das Gemisch als explosionsfähige Atmosphäre bezeichnet.

Die Stoffkonzentration des brennbaren Gases oder Dampfes wird (nicht nur bei den Explosionsgrenzen) in Vol.-%, Mol-% oder g/m³ angegeben, wobei für ideale Gase die folgende Beziehung gilt: 1 Vol.-% = 1 Mol-% = 10.000 ppm

Die jeweiligen Werte gehören zu den sicherheitstechnischen Kennzahlen und können entweder den Sicherheitsdatenblättern der einzelnen Stoffe entnommen werden, oder sie müssen in Standardwerken oder Datenbanken recherchiert werden. Diese Kennzahlen werden an standardisierten Apparaturen ermittelt. Die Explosionsgrenzen sind wie praktisch alle Sicherheitstechnischen Kenngrößen von der Bestimmungsapparatur abhängig. Von den genormten Bedingungen abweichende Betriebsbedingungen führen dazu, dass die in Tabellenwerken aufgeführten 'Explosionsgrenzen keine Gültigkeit mehr besitzen.

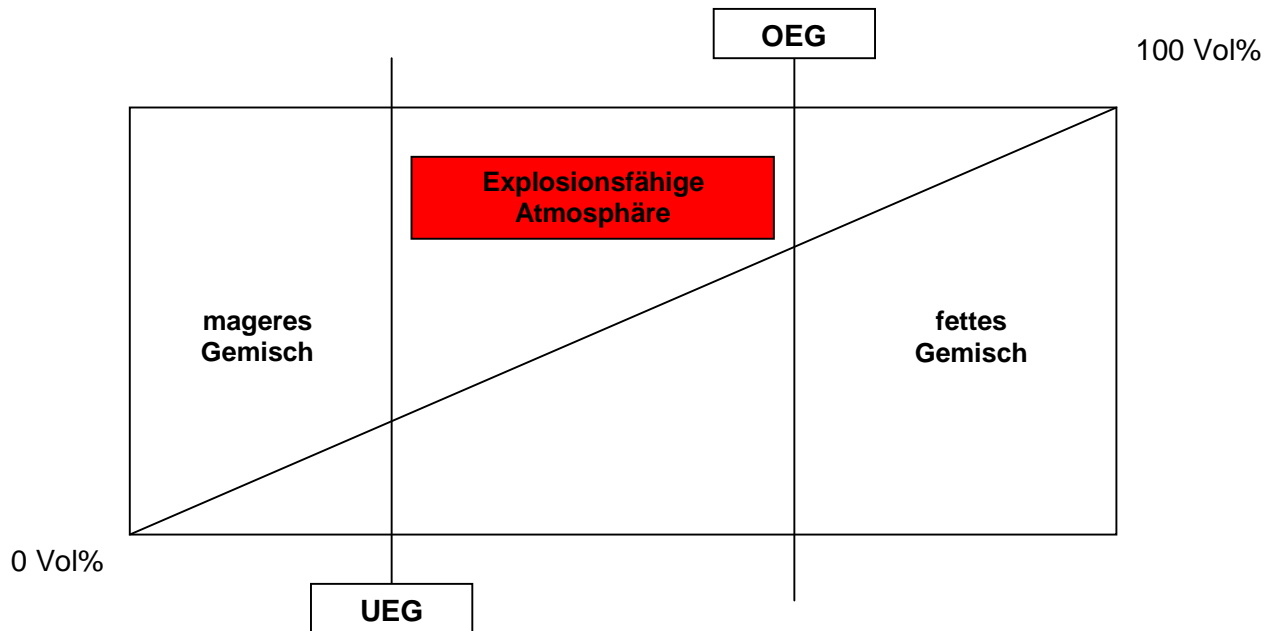
Explosionsfähige Atmosphäre

Als explosionsfähige Atmosphäre ist ein Gemisch aus brennbaren Stoffen mit Sauerstoff definiert. Der Sauerstoff liegt meist als Bestandteil der Umgebungsluft vor. Als brennbare Stoffe kommen Gase, Flüssigkeiten oder deren Dämpfe, aber auch Aerosole aus Nebeln oder Stäuben in Frage. Im Explosionsschutz wird dies unter normalen atmosphärischen Bedingungen betrachtet.

Die Explosionsfähigkeit hängt von dem eingesetzten Stoff, seiner Brennbarkeit und der Mischung mit Luft, bzw. Sauerstoff ab. Falls die Mischung mit einem Luftsauerstoffgemisch erfolgt, das eine andere Zusammensetzung als das normalerweise in der Umwelt vorhandene Luftgemisch besitzt, ist der Sauerstoffanteil genau zu betrachten. Sinkt der Sauerstoffanteil unter einen bestimmten stoffabhängigen Wert, der sogenannten Sauerstoffgrenzkonzentration, so kann dieses Gemisch nicht gezündet werden. Dieser Effekt wird bei der sogenannten Inertisierung ausgenutzt, bei der Sauerstoff durch ein inertes Gas – eines, das nicht zur Oxidation geeignet ist – ersetzt wird. Weiterhin muss die Konzentration des brennbaren Stoffes in dem Luftgemisch zwischen der unteren und der oberen Explosionsgrenze liegen.

Explosionsfähige Atmosphäre kann gewollt oder auch ungewollt vorliegen. Ersteres liegt in vielen Bereichen des Produktionsprozesses vor. Hier kommt explosionsfähige Atmosphäre überall dort vor, wo die entsprechenden Stoffe in Anwesenheit von der Umgebungsluft eingesetzt werden. Dies können Bereiche sein, in denen Klebstoffe oder Lacke austrocknen oder aufgebracht werden, in der Umgebung von Gärbottichen in der Alkoholproduktion, in Bereichen wo Stoffe zerkleinert werden wie

zum Beispiel in Kornmühlen oder zahlreichen anderen Bereichen. Ungewollte explosionsfähige Atmosphäre liegt beim Auftreten eines Fehlers vor. Dies kann zum Beispiel das Bersten einer Gaspipeline, die unbeabsichtigte Öffnung eines Auslassventils oder auch Undichtigkeiten an Kesseln sein, die durch mangelnde Wartung auftritt.



Bezeichnung des Feststoffes	Werte A Zündtemperatur IEC 50381-2-1 Verfahren A Schicht (°C)	Werte B Zündtemperatur IEC 50381-2-1 Verfahren B Wolke (°C)	Zulässige Grenztemperatur Kleinster Wert der Rechnung (A-75K) und 2/3*B									
			450... > 300	300... > 280	280... > 260	260... > 230	230... > 215	215... > 200	200... > 180	180... > 165	165... > 160	160... > 135
Stäube von Naturprodukten (Beispiele)												
Baumwolle	350	560			275						170	
Braunkohle	225	380										
Cellulose	370	500		295							170	
Getreide	290	420							215			
Holzharz	290	500							215			
Holzmehl	300	400					225					
Kakao	460	580	385									
Kopra	290	470							215			
Kork	300	470					225					
Krafftutter	295	525					220					
Lein	230	440										
Milchpulver	340	440			265							
Papier	300	540					225					
Pektinzucker	380	410			273							
Soja	245	500										
Stärke	290	440							215			
Steinkohle	245	590										
Tabak	300	450					225					
Tabioka	290	450							215			
Tee	300	510					225					
Torf	295	360					220					
Weizenmehl	450	480	320									
Zuckerrüben	290	460							215			
Stäube von chemisch-technischen Produkte (Beispiele)												
Celluloseether	275	330							200			
Isosorbiddinitrat	240	220										146
Kautschuk	220	460										145
Petrolkoks	280	690						205				

Polysacch.-Der.	270	580						195			
Polyvenylacetat	340	500			265						
Polyvenylchlorid	380	530	305								
Ruß	385	620	310								
Schichtpressstoff	330	510				255					
Schwefel	280	280						186			
Metallstäube (Beispiele)											
Aluminium	280	530						205			
Bronze	260	390						185			
Eisen	300	310						206			
Cu-Si-Leg.	305	690				230					
Magnesium	410	610	335								
Mangan	285	330						210			
Zink	440	570	365								

Zündtemperaturen und Flammpunkte einiger flüssiger Brennstoffe:

Flüssigkeit	Flammpunkt in °C	Zündtemperatur in °C
Asphalt	205	ca. 400
Teer	90	600
Essigsäure	40	460
Motoröl	80	
Biodiesel - SME	186 (pr ISO 3679)	285 (ASTME659-78)
Biodiesel - RME	186 (pr ISO 3679)	283 (ASTME659-78)
Dieselmotorkraftstoff - MK1	67 (pr ISO 3679)	255 (ASTME659-78)
Schmieröl	125	500
Petroleum	60	355
Terpentinöl	36	255
Methanol	11	455

FLAMMPUNKT

ALKOHOLE

Isopropanol (2-Propanol) & Methanol

Mischung (mit destillierten H ₂ O)	IPA	IPA (Labor)	CH ₃ OH	
100 % (~99,9)	14°C			
70 %	21°C			
50 %	25°C			
30 %				
10 %				
5 %				

Eigenschaften von Alkohol (Ethanol)

Alkohol ist eine brennbare Flüssigkeit, die mit Wasser in jedem Verhältnis mischbar ist. Der Siedepunkt reinen Alkohols beträgt 78,3 Grad Celsius. Aber schon bei weit niedrigeren Temperaturen entweichen dem Alkohol Dämpfe, so dass sich ein explosionsfähiges Alkohol-Luft-Gemisch bilden kann. Die Temperatur, bei der eine Flüssigkeit brennbares Gas oder brennbare Dämpfe in solcher Menge abgibt, dass bei Kontakt mit einer wirksamen Zündquelle sofort eine Flamme auftritt, wird als Flammpunkt bezeichnet. Der Flammpunkt ist u. a. vom Alkoholgehalt der Wasser-Alkohol-Mischung abhängig.

Die Zündtemperatur, das ist die unter Versuchsbedingungen ermittelte niedrigste Temperatur einer heißen Oberfläche, bei der die Entzündung eines Dampf-/Luft-Gemisches eintritt, beträgt für reinen Alkohol 25 Grad Celsius.

Der Bereich der Konzentration eines brennbaren Stoffes in der Luft, in dem eine Explosion auftreten kann, wird als Explosionsbereich bezeichnet. Für Alkohol liegt er zwischen 3,5 Vol.-% Alkohol (= 67 g/m³ Luft) (untere Explosionsgrenze; UEG) und 15 Vol.-% Alkohol (= 290 g/m³ Luft) (obere Explosionsgrenze; OEG).

Alkoholdampf ist 1,6-mal schwerer als Luft und sinkt deshalb ggf. zu Boden.

**FLAMMPUNKT
BEI ALKOHOL-WASSER-GEMISCHEN**

bei 100 Gew.-
%

reinem Alkohol
= 12°C

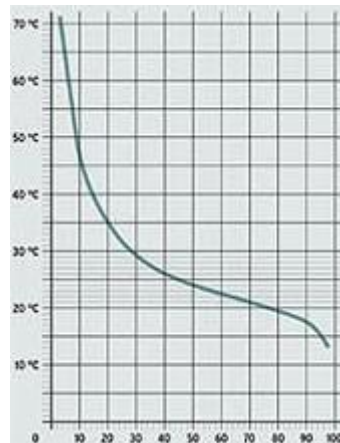
bei 70 Gew.-%
reinem Alkohol
= 21°C

bei 50 Gew.-%
reinem Alkohol
= 24°C



Flüssigkeit	Fpkt.
Acetaldehyd	< 20 °C
Aceton	< 20 °C
Acetonitril	2 °C
Allylamin	< 20 °C
i-Butylamin	13 °C
n-Butylamin	12 °C
Diethylamin	< 20 °C
Dimethoxymethan	< 20 °C
Dimethylhydrazin	18 °C
1,4-Dioxan	11 °C
Ethanol	12 °C
Ethylenimin	13 °C
Methanol	11 °C
Piperidin	4 °C
i-Propanol	12 °C
n-Propanol	15 °C
Propionitril	2 °C
i-Propylamin	< 20 °C
n-Propylamin	< 20 °C
Pyridin	17 °C
Pyrrolidin	3 °C
Tetrahydrofuran	< 20 °C

Substanz	Flammpunkt t in °C	Dampfdruck in hPa	UEG in % V/V	Verdun- stungszahl
Diethylether	-40	587	1,7	1,0
Dichlormethan	-	475	13,0	1,8
Schwefelkohlenstoff	<-20	400	0,6	1,8
Aceton	<-20	233	2,5	2,1
Ethylacetat	-4	97	2,1	2,9
Benzol	-11	100	1,2	3
Methylethylketon	-1	105	1,8	6
Toluol	6	29	1,2	6,1
Methanol	11	128	5,5	6,3
1,4-Dioxan	12	41	1,9	7,3
Ethanol	12	59	3,5	8,3
n-Butylacetat	27	11	1,2	12
Chlorbenzol	28	12	1,3	12,5
o-Xylol	30	6,7	1,0	13,5
n-Butanol	35	7	1,4	33
Methylglykol	37	11	2,4	34
Cyclohexanon	43	5	1,0	40
Ethylglykol	44	5	1,8	43
Tetrahydronaphthalin	77	2,7	0,8	190
Cyclohexanol	61	1,2	1,5	400
Ethylenglykol	111	0,06	3,2	600



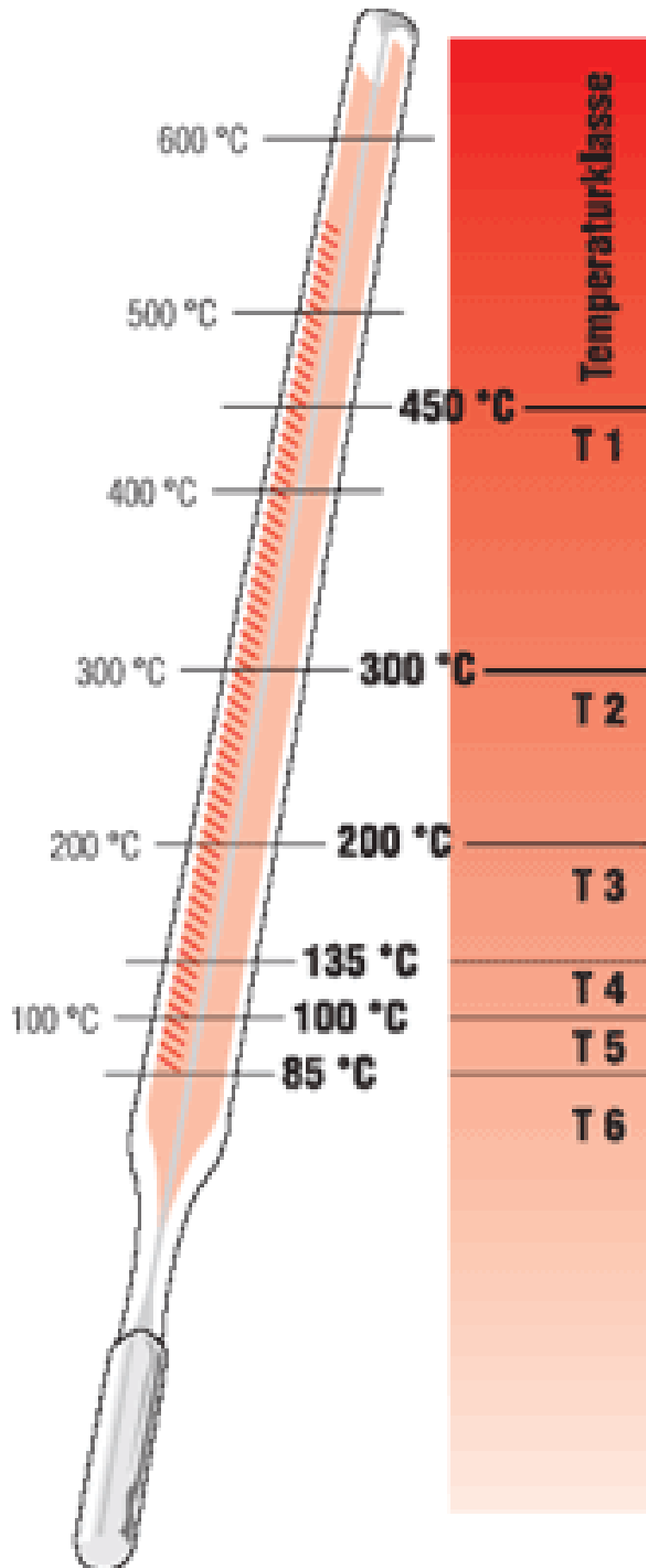
Gew.-% r. Alkohol

Zündtemperatur - Temperaturklasse

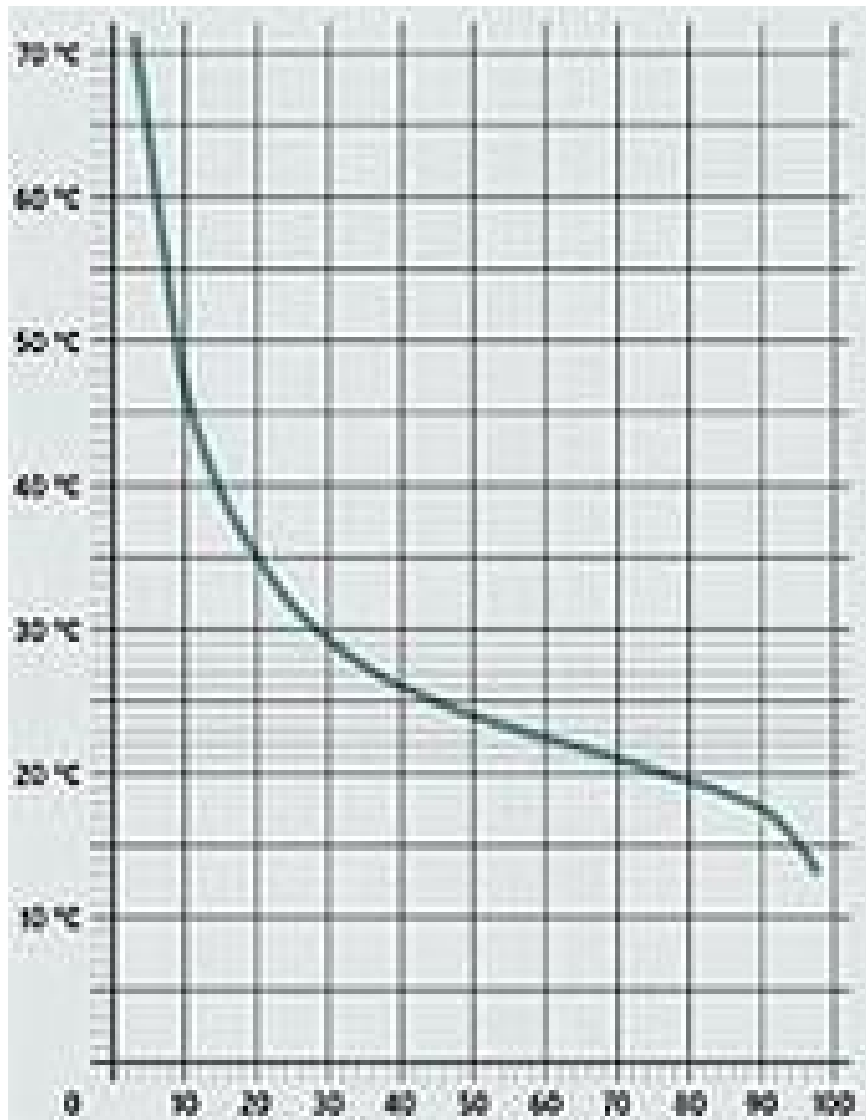
Vielfältige Faktoren wie Größe, Gestalt, Art und Beschaffenheit der Oberfläche, beeinflussen die Zündtemperatur. IEC, CENELEC und andere Normengremien haben sich für Gase und Dämpfe auf ein in IEC 60079-4 festgelegtes „Verfahren zur Ermittlung der Zündtemperatur“ verständigt. Dieses Verfahren wurde so definiert, dass mit ihm der niedrigste, praktisch mögliche Wert sehr nahe bestimmt wird.

Nach diesem Verfahren teilt man die Gase und Dämpfe in Temperaturklassen ein. Gemäß diesen Temperaturklassen werden explosionsgeschützte Betriebsmittel und andere technologische Einrichtungen in ihren Oberflächentemperaturen so ausgelegt, dass eine Oberflächentemperaturzündung ausgeschlossen wird. In den Normen sind zulässige Überschreitungen und zwingende Unterschreitungen dieser Regelwerte differenziert festgelegt.

Temperaturklassen	Zündtemperaturbereich der Gemische	zulässige Oberflächentemperatur der elektrischen Betriebsmittel
T1	> 450 °C	450 °C
T2	> 300 ... ≥450 °C	300 °C
T3	> 200 ... ≥300 °C	200 °C
T4	> 135 ... ≥200 °C	135 °C
T5	> 100 ... ≥135 °C	100 °C
T6	> 85 ... ≥100 °C	85 °C



Flammpunktkurve reiner Alkohol



Quelle:

Drägerheft 366 (Dezember 1997) - W. Jessel: Aus der Praxis: Brennbare Flüssigkeiten und Flammpunkt

Wikipedia, Die freie Enzyklopädie

Ecomed – Chemie – Brände (Brandtabellen, Risiken und Vorsorgemaßnahmen)

Laborversuche