

Quelle: <https://www.arbeitssicherheit.de//document/314d9f94-a47a-3f28-b300-ddc016bf33d7>

<b>Bibliografie</b>	
<b>Titel</b>	Praxishandbuch Brandschutz
<b>Herausgeber</b>	Scheuermann
<b>Auflage</b>	2016
<b>Abschnitt</b>	8 Explosionsschutz → 8.7 Grundlagen der Zoneneinteilung
<b>Autor</b>	Dyrba
<b>Verlag</b>	Carl Heymanns Verlag

## 8.7.3 Einflüsse auf die Zonen

Sicherheitstechnische Kenngrößen geben Aufschluss über mögliche Explosionsgefahren und stellen somit eine wesentliche Grundlage für die Beurteilung der Möglichkeiten der Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre dar. Sicherheitstechnische Kenngrößen sind quantitative oder qualitative Aussagen über Stoffeigenschaften. Von Ausnahmen abgesehen, sind sie keine physikalischen Konstanten, sondern von der benutzten Messmethode abhängig.

Darüber hinaus sind die Untersuchungsergebnisse in der Regel abhängig von der Zusammensetzung, der Reinheit und ggf. der physikalischen Konsistenz der Proben. Änderungen der Bezugsquelle der Einsatzstoffe oder Änderungen im Herstellungsverfahren einschließlich Aufarbeitung, die z.B. zu einer anderen Kristallform oder Korngröße oder auch zu einem qualitativ oder quantitativ anderen Gehalt an Nebenprodukten führen, können auch das sicherheitstechnische Verhalten der Stoffe verändern. Um das tatsächliche Verhalten untersuchen zu können, sollten daher möglichst die im Betrieb eingesetzten Stoffe bzw. Handelsprodukte verwendet werden und nicht hochreine Analysesubstanzen. Die Übernahme einer sicherheitstechnischen Kenngröße aus der Literatur ist nur für solche Stoffe sinnvoll, die der angegebenen Spezifikation entsprechen. Für alle anderen Substanzen ist die Bestimmung der relevanten Kenngrößen in der Regel auf experimentellem Weg erforderlich. Im Folgenden werden die sicherheitstechnischen Kenngrößen, die für die Beurteilung der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre von Bedeutung sind, der Verarbeitungszustand der Stoffe und weitere für die Zoneneinteilung wichtigen Parameter besprochen.

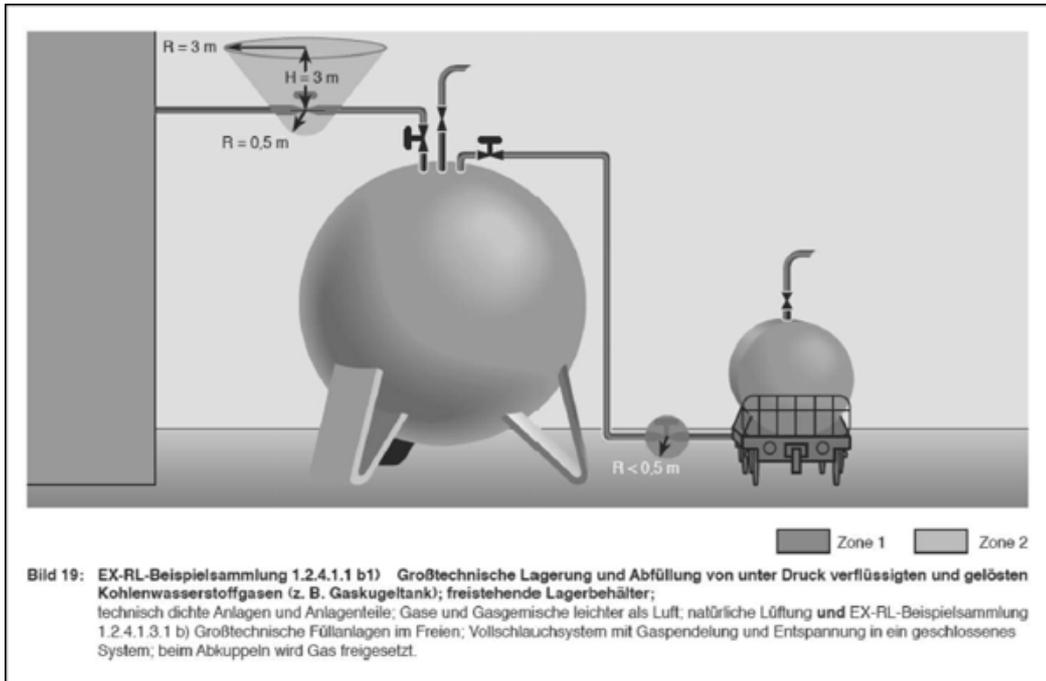
Es ist zu beachten, dass sicherheitstechnische Kenngrößen des Explosionsschutzes in der Regel nur unter atmosphärischen Bedingungen gelten. Unter anderen als atmosphärischen Bedingungen ändern sich die sicherheitstechnischen Kenngrößen. Liegen entsprechende Kenngrößen nicht vor, so müssen sie bestimmt werden. In Zweifelsfällen gelten die Festlegungen der für die Bestimmung sicherheitstechnischer Kennzahlen akkreditierten Stellen.

### Dichteverhältnis bei Gasen und Dämpfen

Das Dichteverhältnis von Gasen und Dämpfen bezogen auf Luft kann einen großen Einfluss auf die Festlegung der Zonen besitzen. Die Dichte der Dämpfe aller brennbaren Flüssigkeiten ist größer als die der Luft bei gleicher Temperatur.

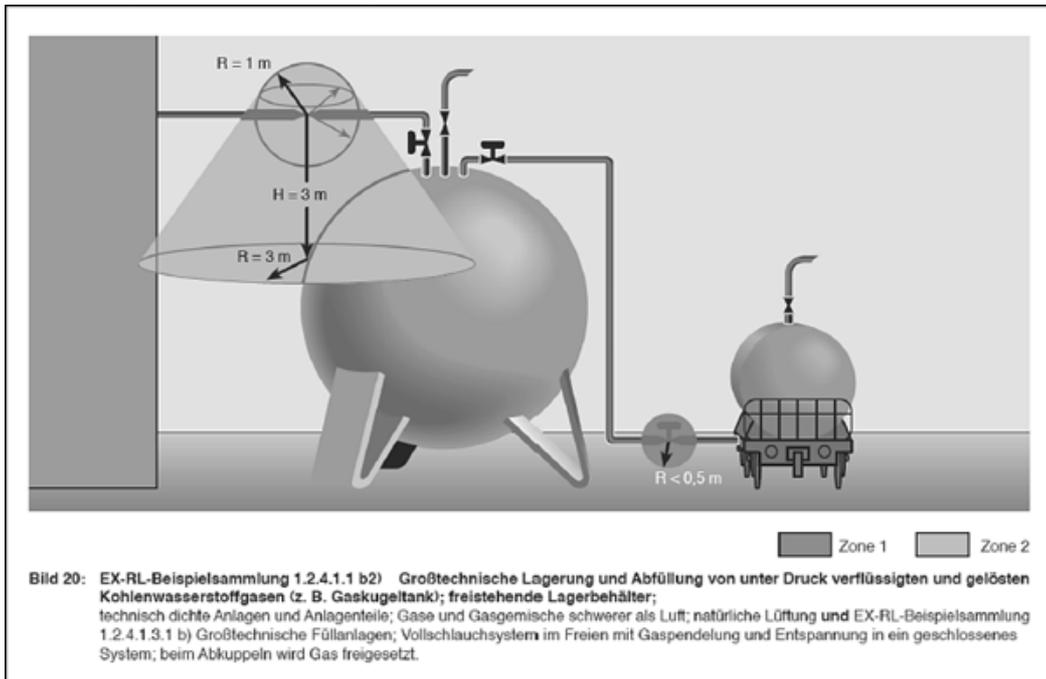
Die Dichte von Gasen ist im Allgemeinen größer als die Dichte der Luft (ausgenommen Acetylen, Ammoniak, Cyanwasserstoff, Ethylen, Kohlenmonoxid, Methan und Wasserstoff). Je schwerer die Gase und Dämpfe sind, desto schneller fallen sie nach unten, wobei sie sich fortschreitend mit der zur Verfügung stehenden Luft vermischen. Gase, die leichter als Luft sind, steigen umso schneller nach oben, je geringer ihre Dichte ist, sie vermischen sich hierbei fortschreitend mit Luft.

8.7.3 Einflüsse auf die Zonen – Seite 2 – 01.02.2012 >>



© (Quelle: Dyrba, Praxishandbuch Zoneneinteilung)

Abb. 1: Beispiel für Zoneneinteilung



© (Quelle: Dyrba, Praxishandbuch Zoneneinteilung)

Abb. 2: Beispiel für Zoneneinteilung

Die Entmischung eines einmal gebildeten Gemisches in leichte und schwere Anteile allein durch die Schwerkraft ist nicht möglich. Schwere Schwaden fallen nach unten und breiten sich aus. Sie können auch über weite Strecken »kriechen« und dort ggf. entzündet werden.

8.7.3 Einflüsse auf die Zonen – Seite 3 – 01.02.2012 << >>

Hierbei ist zu beachten, dass die Dichte des sich über einer Flüssigkeit bildenden Dampf/Luft-Gemisches durch den temperaturabhängigen Satttdampfdruck der Flüssigkeit begrenzt wird.

So beträgt z.B. die auf Luft bezogene Dichte (Dichteverhältnis) des Dampfes von Hexan 2,97. Da jedoch Hexan bei 20°C nur einen Satttdampfdruck von 0,16 bar hat, lässt sich die auf Luft bezogene Dichte des sich über der Flüssigkeit bildenden Dampf/Luft-Gemisches wie folgt berechnen:  $2,97 \times 0,16 + (1 - 0,16) = 1,3$ .

**Unterer Explosionspunkt/Flammpunkt**

Ob sich bei brennbaren Flüssigkeiten explosionsfähige Dampf/Luft-Gemische bilden können, kann unter der Bedingung, dass Versprühen, Verspritzen und Aufreißen eines Flüssigkeitsstrahles ausgeschlossen sind, über den unteren Explosionspunkt abgeschätzt werden. Liegt z.B. die maximale Verarbeitungstemperatur über dem unteren Explosionspunkt (UEP) der Flüssigkeit, so können explosionsfähige Dampf/Luft-Gemische vorhanden sein. Oftmals ist der untere Explosionspunkt nicht bekannt.

In diesem Fall kann er wie folgt abgeschätzt werden:

- Bei reinen, nicht halogenierten Flüssigkeiten liegt dieser 5 K unter dem Flammpunkt.
- Bei Lösemittel-Gemischen ohne halogenierte Komponenten liegt der UEP 15 K unter dem Flammpunkt.

Werden jedoch die Flüssigkeiten in Tröpfchen verteilt, z.B. versprüht, ist auch bei Temperaturen unterhalb des UEP mit der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen. Bei Nebeln können sich wegen des Dampfdruckes der Flüssigkeit bei höheren Temperaturen die gefährlichen Eigenschaften den Werten des Dampf/Luft-Gemisches annähern.

Der UEP kann experimentell nach DIN EN 15794 bestimmt werden.

### Untere und obere Explosionsgrenzen (UEG bzw. OEG)

In Gemischen brennbarer Gase und Dämpfe mit Luft kann sich eine selbstständige Verbrennung innerhalb eines gewissen Konzentrationsbereiches fortpflanzen. Die Grenzkonzentrationen, bei denen dies gerade nicht mehr möglich ist, werden als untere und obere Explosionsgrenze bezeichnet. Bei einer Konzentration unterhalb der unteren Explosionsgrenze ist das Gemisch zu »mager« (es enthält zu wenig Brennstoff), bei einer Konzentration oberhalb der oberen Explosionsgrenze ist es zu »fett« (es enthält zu viel Brennstoff, d.h. zu wenig Sauerstoff), um eine Flammenfortpflanzung nach erfolgter Entzündung zu ermöglichen.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass sich freigesetztes Ammoniak mit einer UEG von 15 Vol.-% in der freien Luft schnell verteilt, sodass die eventuelle explosionsfähige Gasatmosphäre in der Regel eine zu vernachlässigende Ausdehnung hat.

Liegt man dauerhaft sicher unter 50 % der UEG (Überprüfung beispielsweise durch Gaswarn- und -messgeräte), liegt keine Zone vor. Bei Gasen

8.7.3 Einflüsse auf die Zonen – Seite 4 – 01.02.2012 << >>

(z.B. in Stadtgasleitungen) wird die obere Explosionsgrenze ständig sicher überschritten, sodass auch hier keine Zone vorliegt. An- und Abfahrvorgänge sind hierbei jedoch zu berücksichtigen, ggf. wird beim An- oder Abfahren von Anlagen der Explosionsbereich durchfahren. Diese Vorgänge sind bei der Zoneneinteilung zu berücksichtigen. Bei Stäuben kann in der Regel die Unterschreitung der unteren Explosionsgrenze als Schutzprinzip nicht angewandt werden, da bei abgelagertem Staub Aufwirbelungen möglich sind und bereits zur Zone 22 führen.

Liegt die Konzentration in der Anlage oder dem Anlagenteil über der oberen Explosionsgrenze, besteht zwar im Inneren keine Explosionsgefahr; austretende Gemische können jedoch durch Luftzutritt Explosionsgefahr außerhalb der Apparatur hervorrufen.

Bei Gasen lässt sich das Ziel, die Konzentrationen außerhalb der Explosionsgrenze zu halten, häufig ohne besondere Schwierigkeiten erreichen.

Bei brennbaren Flüssigkeiten ist das Ziel erreicht, wenn die Temperatur an der Flüssigkeitsoberfläche stets genügend weit (etwa 5 K bis 15 K) unterhalb des Flammpunktes gehalten wird. Liegt die Temperatur der Flüssigkeitsoberfläche oberhalb des oberen Explosionspunktes, so ist in der Anlage oder dem Anlagenteil in unmittelbarer Nähe der Flüssigkeitsoberfläche mit Sättigung, also mit Gemischkonzentrationen oberhalb der oberen Explosionsgrenze, stets zu rechnen. In einem von den jeweiligen Betriebsbedingungen abhängigen Abstand von der Flüssigkeitsoberfläche kann aber die Konzentration wesentlich geringer sein. Bei vielen Arbeitsprozessen lassen sich jedoch durch geeignete Wahl der Betriebsbedingungen auch in der gesamten Anlage oder dem Anlagenteil Sattdampfkonzentrationen aufrechterhalten. In manchen Fällen – z.B. bei der Lagerung – nimmt die Konzentration jedoch nach oben hin ab, sodass das Gemisch in gewissen Abständen von der Flüssigkeitsoberfläche explosionsfähig sein kann, erst nach extrem langer Lagerzeit in wenig atmenden Lagerbehältern und wenn die Oberflächentemperatur weit über dem oberen Explosionspunkt liegt, hat das Gemisch an allen Stellen im Lagerbehälter eine Konzentration oberhalb der oberen Explosionsgrenze.

Bei Stäuben ist das Ziel, explosionsfähige Atmosphäre durch Begrenzung der Konzentration zu vermeiden, schwer zu erreichen. Homogene Staub/Luft-Gemische treten äußerst selten auf. In der Regel ist es falsch, als Staubkonzentration einfach die Gesamtmenge des Staubes bezogen auf den gesamten Raum oder das Gesamtvolumen einer Anlage zu betrachten und dabei eine gleichmäßige Verteilung anzunehmen. Diese summarische Betrachtung gibt bei inhomogener Staubverteilung nicht die Konzentrationsverhältnisse für jedes Teilvolumen wieder, sodass örtlich Staubkonzentrationen vorliegen können, die von der so errechneten sehr verschieden sind. In Anlagen oder Anlagenteilen kann also auch dann Explosionsgefahr bestehen, wenn die auf das Gesamtvolumen bezogene Staubmenge außerhalb der Explosionsgrenze liegt. In Absaugleitungen jedoch können durchaus

Konzentrationswerte erreicht werden, die auch bei Spitzenwerten unter 1/10 der UEG liegen, wenn beispielsweise bei

8.7.3 Einflüsse auf die Zonen – Seite 5 – 01.02.2012 << >>

Schleifvorgängen der Staubanfall gering, aber die Absaugleistung hoch ist.

Es ist auch möglich, durch Zugabe von brennbaren Gasen die Gesamtkonzentration der brennbaren Komponenten stets oberhalb der oberen Explosionsgrenze zu halten.

### Sauerstoffgrenzkonzentration

Die Sauerstoffgrenzkonzentration ist die maximale Sauerstoffkonzentration in einem Gemisch eines brennbaren Stoffes mit Luft und inertem Gas, indem unter festgelegten Versuchsbedingungen bei beliebigen Brennstoffkonzentrationen keine Explosion auftreten kann. Die Sauerstoffgrenzkonzentration wird im Allgemeinen anhand der Explosionsbereiche von Dreistoffgemischen (Brenngas/Inertgas/Luft) ermittelt.

### Diffusionskoeffizient

Der Diffusionskoeffizient ist eine temperatur- und druckabhängige Stoffkonstante, die zur quantitativen Charakterisierung der Diffusion dient und die die Stoffmenge angibt, die in der Zeiteinheit beim Konzentrationsgefälle 1 durch den Einheitsquerschnitt diffundiert.

Dieser ist nur dann eine die Menge explosionsfähiger Atmosphäre bestimmende Größe, wenn im Raum keine wesentlichen Strömungen vorhanden sind.

### Schwelppunkt

Schwelppgase können bei unvollständiger Verbrennung, bei endothermer oder exothermer Zersetzung, bei Deflagration oder durch Pyrolyse entstehen.

Der Schwelppunkt ist die niedrigste Temperatur, bei der ein Staub brennbaren Dampf oder gasförmige Produkte (»Schwelppgas«) in solchen Mengen entwickelt, dass diese im Luftraum oberhalb der Schüttung durch eine kleine Flamme entzündet werden können.

Gefährlich werden Schwelppgase dadurch, dass sie zu einem Druckaufbau führen und mit Luft explosionsfähige Gemische bilden können. Zu klären sind deshalb:

- Können Schwelppgase entstehen?
- Menge der gebildeten Schwelppgase
- Brennbarkeit der Schwelppgase
- Schwelpppunkt

### Verdunstungszahl

Die Verdunstungszahl ist das Verhältnis aus den nach DIN 53170 gemessenen Verdunstungszeiten für die zu prüfende Flüssigkeit und Diethylether als Vergleichsflüssigkeit.

### Staubexplosionsfähigkeit/Staubexplosionsklasse

Eine Staubexplosionsfähigkeit ist dann gegeben, wenn sich in einem Staub/Luft-Gemisch nach dem Entzünden eine Flamme ausbreitet, die im geschlossenen Behälter mit einer Drucksteigerung verbunden ist. Die Bestimmung der Staubexplosionsfähigkeit wird vorzugsweise in geschlossenen Anlagen und Anlagenteilen durchgeführt. Der  $K_{St}$ -Wert ist eine staub- und

8.7.3 Einflüsse auf die Zonen – Seite 6 – 01.02.2012 << >>

prüfverfahrensspezifische Kenngröße, die die Explosionsfähigkeit eines Staubes charakterisiert und nach dem kubischen Gesetz berechnet wird. Der  $K_{St}$ -Wert ist numerisch gleich dem Wert des maximalen zeitlichen Druckanstiegs  $((dp/dt)_{max})$ , der in einem 1-m<sup>3</sup>-Explosionsbehälter unter vorgeschriebenen Versuchsbedingungen gemessen wird (DIN EN 14491). Die Staubexplosionsklassen sind für den konstruktiven Explosionsschutz bei Anwendung von Druckentlastungstechnik oder der Verwendung von Explosionsunterdrückungssystemen relevant.

### Korngrößenverteilung

Das Explosionsverhalten von Stäuben ist in starkem Maße von der Korngrößenverteilung (Feinheit) abhängig. Mit den Explosionskenngrößen sollte daher gleichzeitig die dazugehörige Korngrößenverteilung oder zumindest in erster Näherung hierfür der Medianwert angegeben werden. Untersuchungen zeigen, dass mit abnehmender Korngröße die Neigung der Stäube zur Explosion zunimmt. Bei Korngrößen  $> 1$  mm ist nicht mehr mit einer Staubexplosionsfähigkeit zu rechnen. Korngrößenbereiche zwischen 1 und 0,5 mm können im Einzelfall explosionsfähige Stäube in Abhängigkeit der Stoffe bewirken. Stäube mit einem Durchmesser  $< 0,5$  mm sind grundsätzlich staubexplosionsfähig. Feinere Stäube sind leichter entzündbar und reagieren heftiger als gröbere Stäube. Ein Erhöhen des Grobkornanteils in der Staubprobe, z.B. durch Beimischen von für sich allein nicht explosionsfähigem Granulat zu explosionsfähigem Feinstaub, führten nur zu einer Dämpfung des Explosionsablaufes und damit zu verringerten Werten von  $p_{\max}$  und  $K_{st}$  bzw. zu höheren Werten, z.B. für die Mindestzündenergie oder die Sauerstoffgrenzkonzentration. Solange der Feinstaubanteil im Gemisch mit Luft oberhalb seiner unteren Explosionsgrenze liegt, ist im Allgemeinen eine Staubexplosion möglich. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass in der Praxis aus den verschiedensten Gründen aus grobem Material durch Abrieb Feinstaub entstehen kann und eine Zoneneinteilung ggf. notwendig wird. Die Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre ist nicht zu erwarten, wenn eine sichere Zugabe oder das Vorhandensein eines ausreichenden Anteils inerter Feststoffe (z.B. über 80 %) gegeben und eine Entmischung verhindert ist.

### Verarbeitungszustand der Stoffe

Für die Zoneneinteilung sind bei allen Stoffen während des Umganges entstehende oder herrschende maximale (ggf. auch minimale) Konzentrationen der brennbaren Stoffe von Bedeutung.

#### Flüssigkeiten und Nebel

- Art der Verarbeitung einer Flüssigkeit (z.B. Versprühen, Verspritzen und Aufreißen eines Flüssigkeitsstrahles, Verdampfen und Kondensieren)
- maximale (ggf. auch minimale) Verarbeitungs- bzw. Umgebungstemperaturen
- Liegt z.B. die maximale Verarbeitungstemperatur über dem unteren Explosionspunkt (UEP) der Flüssigkeit, so können explosionsfähige Dampf/Luft-Gemische vorhanden sein.

8.7.3 Einflüsse auf die Zonen – Seite 7 – 01.02.2012 << >>

- Werden die Flüssigkeiten in Tröpfchen verteilt, z.B. versprüht, ist auch bei Temperaturen unterhalb des UEP mit der Bildung von explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen.
- Bei Nebeln können sich wegen des Dampfdruckes der Flüssigkeit bei höheren Temperaturen die gefährlichen Eigenschaften den Werten des Dampf/Luft-Gemisches annähern.

#### Stäube

Vorhandensein oder Entstehen von Staub/Luft-Gemischen bzw. Staubablagerungen, z.B. beim Mahlen, Sieben, Fördern, Füllen, Entleeren und Trocknen.

#### Klimatische Bedingungen

### Weitere zu berücksichtigende Parameter

Die Verteilungsrate von Gas und Dampf in der Atmosphäre erhöht sich mit der Windgeschwindigkeit, jedoch ist eine Mindestgeschwindigkeit von 2–3 m/s erforderlich, um turbulente Diffusion auszulösen; unterhalb dieser Geschwindigkeit kommt es zur Schichtenbildung von Gas oder Dampf und die Entfernung für sichere Verdünnung ist deutlich vergrößert. In Anlagenbereichen, die durch große Kessel oder Gebäude geschützt sind, kann die Bewegungsgeschwindigkeit der Luft beträchtlich unterhalb der Windgeschwindigkeit liegen; die Behinderung der Luftbewegung durch Teile der Anlagen führt jedoch sogar bei niedrigen Windgeschwindigkeiten zur Bildung von Turbulenzen. Bei der üblichen Praxis wird das Bestreben zur Schichtenbildung bei der Zoneneinteilung nicht berücksichtigt, weil die Bedingungen, die zu dieser Schichtenbildung führen, selten sind und nur kurzzeitig auftreten. Wenn jedoch unter besonderen Umständen verlängerte Zeiträume mit verringerter Windgeschwindigkeit zu erwarten sind, dann sollte die Ausdehnung der Zone die zusätzliche Entfernung berücksichtigen, die für die Verdünnung erforderlich ist.

#### Topographie

Einige Flüssigkeiten haben eine geringere Dichte als Wasser und sind mit diesem nicht leicht mischbar: Derartige Flüssigkeiten können sich auf der Wasseroberfläche ausbreiten (unabhängig davon, ob auf dem Boden, in Entsorgungsleitungen von Anlagen oder in Rohrleitungskanälen) und dann an einer vom ursprünglichen Verschüttungsort weit entfernten Stelle entzündet werden, wodurch eine Gefahr für einen großen Bereich der Anlage entsteht.

Die Anlage sollte möglichst so geplant werden, dass ein schneller Abbau der brennbaren Atmosphäre unterstützt wird. Bereiche mit eingeschränkter Lüftung (z.B. in Gruben oder Gräben), die sonst Zone 2 wären, können die Einteilung in Zone 1 notwendig machen; andererseits erfordern ausgedehnte flache Landsenken, die für Pumpenkomplexe oder als Absenkungen für Rohrleitungen genutzt werden, in der Regel keine derart strenge Handhabung.

8.7.3 Einflüsse auf die Zonen – Seite 8 – 01.02.2012 <<

---

Bearbeitungsdatum: Dezember 2016