

# Der Vorteil dünner Luft

**ZÜNDUNG** – Bei der Entladung von zuvor elektrostatisch aufgeladenen Kunststoffen (wie Packmitteln) können sich brennbare Flüssigkeiten entzünden. In einer sauerstoffreduzierten Atmosphäre ist diese Gefahr viel geringer. VON SYLVIA UND GÜNTER LÜTTGENS

**W**äre die statische Elektrizität, wie ihre Bezeichnung erwarten lässt, wirklich statisch, dann könnte man über sie hinwegsehen. Erst ihre Dynamisierung lässt sie interessant erscheinen, damit findet sie Eingang in viele Bereiche. So basiert die gesamte Bürokopier-technik auf elektrostatischen Vorgängen. Elektrostatische Felder transportieren Farbe auf Autokarosserien, die Staubpartikel aus Rauchgasen heraus und einig mehr.

Allerdings schafft die elektrostatische Aufladung fatalerweise auch enorme Probleme. Auf ihr Konto gehen etwa beträchtliche Kosten, die durch elektrostatisch bedingte Defekte an Elektronikbauteilen und Computerchips aufkommen. Noch mehr Besorgnis erregt die statische Elektrizität wegen der durch sie bewirkten Zündungen brennbarer Gase, Dämpfe und Stäube in na-

hezu allen Bereichen unseres Lebens, insbesondere aber in der Mineralöl- und der Chemischen Industrie.

Ursächlich für diese Entwicklung ist die beträchtliche Verbreitung von Kunststoffen bei Anlagen, Apparaten und Packmitteln. Sie sind wegen ihrer isolierenden Eigenschaften durchweg elektrostatisch aufladbar. Zunächst sind die auf ihnen durch Reib-/Trennvorgänge hervorgerufenen Aufladungen stationär – also statisch –, doch bei Annähern eines leitfähigen Teils wie Werkzeug oder nur dem Fingerknöchel werden sie dynamisch in Form einer Büschelentladung. Diese Entladungsart weist zwar nur ein geringes Zündpotential auf, doch sie stellt bereits eine Zündgefahr für optimal zündfähige brennbare Gase und die Dämpfe entflammbarer Flüssigkeiten dar (siehe **gela** 10/2011, S. 36-39 „Abzuleitende Aufladungen“). Für brennbare Stäube sind solche Büschelentladungen hingegen nicht zündgefährlich.

Folgerichtig wäre also überall dort, wo sich brennbare Gase oder Dämpfe befinden können, die Verwendung elektrostatisch aufladbarer Packmittel unzulässig. Doch Verpackungen aus Kunststoffen sind wegen ihrer

Vorzüge gegenüber solchen aus Papier, Holz oder Metall aus Handel und Industrie nicht mehr wegzudenken.

## Einteilung in Ex-Zonen

Schaut man in die Betriebssicherheitsverordnung und insbesondere in deren zugehörige Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS), so lassen sich einige Erleichterungen erkennen, vorderhand ist dies die Einteilung in explosionsgefährdete Bereiche entsprechend der Eintrittswahrscheinlichkeit. Das sind folgende, gem. IEC 60079-10-1 und -2 international definierte Zonen:

- ◆ 0 = Bereich, in dem explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.
- ◆ 1 = Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln bilden kann.
- ◆ 2 = Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln normalerweise nicht oder nur kurzzeitig auftritt.

Der aus dieser Zoneneinteilung für elektrostatisch aufladbare Werkstoffe zu ziehende Nutzen erschließt sich nicht ohne Weiteres. Es findet sich in TRBS 2153 eine Tabelle, die etwas über die zulässigen Oberflächenabmessungen aufladbarer Gegenstände in Bezug auf diese Zonen (und auch die Explosionsgruppen der Gefahrstoffe) aussagt (siehe **Tabelle** unten).

Für Kunststoffverpackungen gibt es zahlreiche ex-geschützte Ausführungen.



Foto: gela-Archiv

Zulässige Oberflächen aufladbarer Gegenstände gem. TRBS 2153			
Zone gem. IEC 60079-10-1	Oberfläche (in cm <sup>2</sup> ) für Explosionsgruppen		
	IIA	IIB	IIC
0	50	25	4
1	100	100	20
2	Maßnahmen nur erforderlich, wenn erfahrungsgemäß zündwirksame Entladungen auftreten		

Es ist sehr hilfreich, wenn sich festlegen lässt, dass der zu betrachtende Bereich normalerweise nicht oder nur kurzzeitig (Zone 2) als explosionsgefährdet anzusehen ist. Muss davon ausgegangen werden, dass es doch gelegentlich (Zone 1) zu einer Explosionsgefahr kommen kann, dann wird es im Wortsinn „eng“. Für entflammbare Flüssigkeiten der Explosionsgruppe IIA sind dann nur noch 100 cm<sup>2</sup> aufladbarer Oberfläche zulässig – ein Wert, mit dem sich kaum ein Packmittel realisieren lässt.

### Beispiel Kunststoffverpackungen

Hierzu ein Beispiel vom Umfüllen entzündbarer Flüssigkeiten, das schon lange die Gemüter sorgt.

Bereiche, in denen entzündbare Flüssigkeiten gehandhabt werden, sind allgemein der Zone 1 zuzuordnen. Dort dürften den oben festgelegten Flächenbegrenzungen entsprechend nur Behälter mit maximal 0,1 Liter verwendet werden. Dessen ungeachtet, werden größere Kunststoffbehälter täglich millionenfach mit entzündbaren Flüssigkeiten befüllt, nur äußerst selten wird in dem Zusammenhang von Brandschäden berichtet.

Bei genauerer Betrachtung ist dies darauf zurückzuführen, dass bei diesen Vorgängen zwar Büschelentladungen auftreten, doch für eine Zündung müssten diese in einer gerade vorherrschenden explosionsfähigen Atmosphäre stattfinden. Im Übrigen ist einzubeziehen, dass die erforderliche Zündenergie innerhalb des Explosionsbereiches noch stark vom Gemischverhältnis ( $\lambda$ ) abhängt. Der niedrigste Wert, die Mindestzündenergie (MZE), findet sich in der Nähe des stöchiometrischen Gemisches ( $\lambda = 1$ ) und steigt zu den Explosionsgrenzen hin sichtlich an. Bei Brenngasen mit einer höheren Dichte als atmosphärische Luft (wie Propan) verschiebt sich der Wert für das zündwilligste Gemisch zu höheren Werten als  $\lambda = 1$ , während er bei Brenngasen von geringerer Dichte (wie Methan) etwas niedriger ist.

## Zündwerte und Explosionsgruppen von Stoffen

Stoff	Mindestzündenergie (in Millijoule)	Mindestzündladung (in Nanocoulomb)	Zündwilligstes Gemisch (in Vol.-%)	Explosionsgruppe nach IEC 60079-0
Acetaldehyd	0,38	–	–	IIA
Aceton	0,55	127	6,5	IIA
Acrylnitril	0,16	–	9,0	IIB
Ammoniak	14	1.500	20	IIA
Benzol	0,20	45	4,7	IIA
1,3-Butadien	0,13	–	5,2	IIB
Butan	0,25	60	4,7	IIA
2-Butanon	0,27	–	5,3	IIA
Cyclohexan	0,22	–	3,8	IIA
Cyclopropan	0,17	–	6,3	IIB
1,2-Dichlorethan	1,0	–	10,5	IIA
Dichlormethan	9.300	880.000	18	IIA
Diethylether	0,19	40	5,1	IIB
2,2-Dimethylbutan	0,25	70	3,4	IIA
Essigsäureethylester	0,46	120	5,2	IIA
Ethan	0,25	70	6,5	IIA
Ethanol	0,28	60	6,4	IIB
Ethen	0,08	32	8,0	IIB
Ethin	0,02	–	7,7	IIC
Ethylenoxid	0,06	–	10,8	IIB
Heptan	0,24	60	3,4	IIA
Hexan	0,24	60	3,8	IIA
Methan	0,28	70	8,5	IIA
Methanol	0,20	50	14,7	IIA
2-Methylbutan	0,21	63	3,8	IIA
Methylcyclohexan	0,27	70	3,5	IIA
Pentan	0,28	63	3,3	IIA
cis-2-Penten	0,18	–	4,4	IIB
trans-2-Penten	0,18	–	4,4	IIB
Propan	0,25	70	5,2	IIA
1-Propin	0,11	–	6,5	IIB
Propylenoxid	0,13	–	7,5	IIB
Schwefelkohlenstoff	0,01	–	7,8	IIC
Tetrafluorethen	4,1	–	–	IIA
Tetrahydro-2H-pyran	0,22	60	4,7	IIA
1,1,1-Trichlorethan	4.800	700.000	12	IIA
Trichlorethan	510	150.000	26	IIA
Wasserstoff	0,02	12	22	IIC

Die Werte aus der **Tabelle** oben zur Mindestzündenergie (MZE), zur Mindestzündladung (MZQ) und zum zündwilligsten Gemisch gründen sich auf Untersuchungen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) und beziehen sich auf atmosphärische Bedingungen im Gemisch

mit Luft. An ihnen wird erkennbar, dass die MZE für IIA-Stoffe stets über 0,2 Millijoule liegt.

Letztlich entstehen Büschelentladungen beim Annähern eines leitfähigen Gegenstandes an zuvor durch Reiben und nachfolgendes Trennen aufgeladener isolierender Flächen. Die dabei

übertragenen Ladungsmengen (Q) liegen durchweg unter 100 Nanocoulomb, d.h. die Mindestzündladung wird für mehrere IIA-Stoffe erreicht. Nun zeigt aber die Erfahrung bei Demonstrationsexperimenten, dass es recht schwierig ist, IIA-Gasgemische mit einer MZE von 0,2 mJ auf diese Weise zu entzünden. Der naheliegende Grund dafür dürfte sein, dass es am Ort einer entstehenden Büschelentladung schwierig ist, das zündwilligste Gemisch vorzuhalten.

**Einfluss des Sauerstoffgehalts**

Nach diesem Exkurs zur Zündfähigkeit von Büschelentladungen für entflammbare Flüssigkeiten stellt sich die Frage, ob sich noch eine Chance bietet, diese nicht allzu große Gefahr noch weiter zu verringern. Und in der Tat lässt sie sich ausfindig machen in der Oxy-Reduct-Technik, die in **gela** 10/2011 (S. 12-14, „Viele Löscher auf Lager“) als Brandschutzmöglichkeit angesprochen wurde.

Das **Diagramm** unten rechts zeigt den Anstieg der Mindestzündenergie für Propan bei abnehmendem Sauerstoffgehalt der Atmosphäre. Die Daten stammen aus einer 2011 durchgeführten Untersuchung der Universität

Bergen. Ein Anstieg wird hier deutlich: Schon bei etwa 18 Volumenprozent (Vol.-%) Sauerstoff steigt die Mindestzündenergie auf etwa 1 Millijoule an – das ist vier Mal so viel wie in der „normalen“ Sauerstoffkonzentration.

Die Untersuchung wurde zunächst nur an Propan durchgeführt, weil es bereits gasförmig vorliegt und so leichter Gasmischungen hergestellt werden können. Es kann zwar davon ausgegangen werden, dass alle Stoffe mit gleicher Mindestzündenergie auch einen gleichen Anstieg der MZE bei Abnahme des Sauerstoffgehaltes aufweisen, doch sollte im Anwendungsfall stets eine Einzelprüfung vorgenommen werden. Die könnte sich dann allerdings auf nur eine Messung bei 18 Vol.-% Sauerstoff beschränken.

Doch bevor man darangeht, zur Verringerung der durch Büschelentladungen bewirkten Zündgefahren den Sauerstoffgehalt der Atemluft herabzusetzen, sollte man sich erst einmal kundig machen, was Berufsgenossenschaftliche Regeln zur Arbeitssicherheit dazu aussagen: „Der Sauerstoffgehalt der Atemluft soll im Normalfall zwischen 19 und 21 Vol.-% liegen und darf

18 Vol.-% nicht unterschreiten.“ Es gibt desweiteren noch eine Handlungsanleitung für die Beurteilung von Arbeiten in sauerstoffreduzierter Atmosphäre, herausgegeben von den Arbeitsschutzverwaltungen der Länder (LV 38; April 2005): „Es ist problematisch, dass es für diesen Bereich im staatlichen Arbeitsschutzrecht keinen festgelegten Grenzwert für den Sauerstoffgehalt in der Atemluft gibt, unterhalb dessen es für den Beschäftigten zu einer gesundheitlichen Gefährdung kommen kann. Jedoch wurde bisher übereinstimmend davon ausgegangen, dass eine Gefahr durch Sauerstoffmangel besteht, wenn die Sauerstoffkonzentration weniger als 17 Vol.-% beträgt...“ Im Umkehrschluss sollte man davon ausgehen dürfen, dass bei Sauerstoffkonzentrationen der Atemluft oberhalb 17 Vol.-% eine Gesundheitsgefährdung nicht besteht.

Fazit: Es könnte die Chance für ein in elektrostatischer Hinsicht sicheres Umfüllen entzündbarer Flüssigkeiten in Verbindung mit Kunststoffbehältern in der Tat darin bestehen, den Sauerstoffgehalt der Luft um etwa 3 Vol.-% gegenüber der normalen Luft herabzusetzen. ■

Diagramm links: Bei Brenngasen von einer höheren Dichte als atmosphärische Luft (wie hier Propan) verschiebt sich der Wert für das zündwilligste Gemisch zu höheren Werten als  $\lambda = 1$ .

Diagramm rechts: In einer sauerstoffreduzierten Atmosphäre ist eine sehr viel höhere Mindestzündenergie notwendig.

