

### Editorial

Die Richtlinien zur Brandschadensanierung VdS 2357 (2007-04 (05)) sind mit Unterstützung von BTE-Kollegen überarbeitet worden und liegen nun in der 5. Auflage vor. Die Richtlinien stellen eine branchenbezogene Regelung für Arbeiten in kontaminierten Bereichen für den Spezialfall Brandschaden dar.

Im Rahmen der VdS 2357 sind die speziellen Anforderungen für den Brandschadenfall an persönliche Schutzausrüstung (PSA), weitere Schutzmaßnahmen sowie Vorgaben für die Sanierung und Entsorgung zusammengefasst. Die Anforderungen der neuen Gefahrstoffverordnung (Dez. 2004) sowie der BGR 128 „Kontaminierte Bereiche“ und der TRGS 524 „Sanierungsarbeiten in kontaminierten Bereichen“ werden berücksichtigt. Die zu beachtenden Anforderungen und Maßnahmen werden dabei in abgestufter Form vom Kleinbrand bis zum Großbrand beschrieben.

Die Richtlinie kann beim VdS-Verlag bezogen werden oder ist auch downzuladen unter

<http://www.vds.de/Richtlinien.456.0.html>

In der Ausgabe 2-2006 der BTE-Nachrichten wurde in einer Kurzmitteilung auf einen ausführlichen Aufsatz von Herrn Dr. Henry Portz über die noch weitgehend unbekannte Explosionsgefahr durch „Brennbare binäre Gas- oder Dampfgemische“ hingewiesen. Dieses Thema ist im wahrsten Sinne des Wortes so brisant, dass wir in dieser Ausgabe – wie angekündigt – nun den Artikel im vollen Wortlaut abdrucken. Erschrecken Sie nicht vor den Formeln, die es den naturwissenschaftlich orientierten Fachleuten ermöglichen, die Entwicklung der Gedankengänge nachzuvollziehen.

Dr. Portz hat diese Effekte, die den bekannten Naturgesetzen zunächst zu widersprechen scheinen, in der Sendung „Abenteuer Wissen“ im ZDF dargestellt und mit beeindruckenden Experimenten auch praktisch nachgewiesen.

Nehmen Sie als mit der Abwicklung von Explosionsschäden befasster Regulierungsbeauftragter, Makler oder Rechtsanwalt das Ergebnis unter Ihre Rubrik „Beurteilungskriterien“ auf, wie auch die BTE-Experten der Fachgruppen Maschinenwesen und Naturwissenschaften und Sondergebiete dies getan haben und in der Praxis in Beurteilungen einbezogen werden.

### Inhalt

- ❶ **Aus den Fachgruppen**
- ❷ **Aufsätze**
  - **Brand an thermisch belasteten Einrichtungen**  
Dipl.-Ing. Reinhard Schulz
  - **Zeitwert bei Mühlenanlagen**  
Dipl.-Ing. Dipl.-Kfm. Uwe Borg
  - **Schadenminderungskosten – Abgrenzung zwischen Sachschadeninteresse und Schadenminderungspflicht**  
Dipl.-Oec. Michael Ottleben  
Dipl.-Kfm. Jens Otto
  - **Brennbare binäre Gas- oder Dampfgemische – eine unterschätzte Explosionsgefahr**  
Dr.-Ing. Henry Portz

#### IMPRESSUM

Herausgeber:  
Bund Technischer Experten e.V.  
Postfach 34 01 02, 45073 Essen  
eMail: [geschaeftsstelle@expertehte.de](mailto:geschaeftsstelle@expertehte.de)  
Internet: [www.expertehte.de](http://www.expertehte.de)

Redaktion:  
Dr. Dieter Rackwitz  
Kollenbacher Straße 36, 51515 Kürten  
Tel.: 02207/96 67 14  
Fax: 02207/96 67 50  
eMail: [Dr.Rackwitz@expertehte.de](mailto:Dr.Rackwitz@expertehte.de)

## ❶ Aus den Fachgruppen

### FG Bauwesen

Dipl.-Ing. Walter Lang  
(FG Naturwissenschaften)  
Tel.: 09 11 / 4 46 78 24

#### ✗ Schadenfälle an flexiblen Schläuchen.

Geltende Normen, Richtlinien und Gesetze, Werkstoffe, Bruch- und Schadenbilder unter dem REM, Ursachen unter Regress- und Haftpflicht-Gesichtspunkten.

Dipl.-Ing. Peter Grimm  
Tel.: 03 61 / 59 81 20

#### ✗ Hagelschäden und ihre Auswirkungen im Schadenfall.

Korngrößen, geographische Verteilung, Einschlag- und Schadenbilder, Verlust bzw. Minderung der techn. Funktion oder nur gestörte Ästhetik, Beispiele, hinzunehmende Unregelmäßigkeiten bei gebrauchstüblichen Sichtabständen.

Dipl.-Ing. Erik Thees (Gast)  
Tel.: 06 51 / 9 94 89 - 0

#### ✗ Schneelastschäden und ihre Auswirkungen im Schadenfall.

Schaden-Ursachen, erhöhte Last oder unzureichende Tragfähigkeit? DIN 1055-5 ‚Schnee- und Eislasten‘, neue Schneelastzonen in Deutschland, neue Schneelastannahmen. Beispiele und deren Nachweise.

### FG Maschinenwesen

Dr.-Ing. B.-O. Küster  
Sachverständigenbüro Küster  
Tel.: 051 36 / 79 81

#### ✗ Ausführung zu automatischen Löschanlagen an Werkzeugschleif- und Werkzeugrodiermaschinen

Nach zwei Feuerschäden in einem kurzen Zeitraum an nahezu baugleichen Werkzeugschleif- bzw. Werkzeugrodiermaschinen in unterschiedlichen Risiken wurden Untersuchungen zur Schadenhöhe und Schadenursache eingeleitet. Beide Maschinen waren mit CO<sub>2</sub>-Feuerlöschanlagen ausgerüstet,

sodass das Versagen der Anlagen im Feuerfall zunächst auf einen systematischen Fehler hindeutete. Im Verlauf der Untersuchung wurde klar, dass die Schadenereignisse zwar grundsätzlich die gleichen Ursachen (Entzündung des Kühlschmieröl-Nebels/Nebel des Dielektrikums) hatten, das Versagen der Funkenlöschanlage jedoch zum einen auf einen manuellen Eingriff und zum anderen auf einen nicht erkennbaren passiven Betriebszustand beruhten.

### FG Naturwissenschaften und Sondergebiete

Dr. Hans-Dieter Wirts  
Tel.: 05 11 / 95 07 98 - 0

#### ✗ Antikeimbehandlung von Kartoffeln, ein brandgefährliches Unterfangen?

Die Behandlung von Kartoffeln gegen frühzeitiges Auskeimen erfolgt in Zeitabständen mit einem keimhemmenden Herbizid auf dem Luftpfad mittels eines Thermonebelgerätes (Sprühkanone) als fein zerstäubtes Aerosol. Die Verteilung des Wirkstoffnebels soll von außen durch ein Wandloch in die Lagerhalle erfolgen. In den Anweisungen des Herstellers des Thermonebelgerätes wird nachdrücklich auf die Brandgefahren hingewiesen, da äußere Teile des Nebelgerätes sehr heiß werden können. Es sollte auf jeden Fall eine Berührung mit brennbaren Materialien vermieden werden.

Dennoch kommt es immer wieder zu Brandschäden, da nicht berücksichtigt wird, dass die Sandwichplatten der Außenwände einen brennbaren Dämmstoff enthalten. Kommt es im Wandloch zu einer zu starken Erhitzung des Dämmstoffes, wird dieser entzündet.

### FG Betriebswirtschaft

Dipl.-Kfm. Christian Orsinger  
Dipl.-Kfm. Jens Otto  
Tel.: 0 22 04 / 5 47 11

#### ✗ Auswirkungen auf die FBU-Summenermittlung bei Bilanzierung nach IFRS im Vergleich zum HGB-Abschluss

Bei Bilanzierungen nach IFRS (International Financial Reporting Standards)

sind die diesbezüglichen Bewertungsansätze zu berücksichtigen. Insbesondere bei den Bestandsbewertungen gibt es erhebliche Unterschiede zwischen IFRS (IAS) und HGB, die sich auch bei der FBU-Summenermittlung auswirken.

Dipl.-Kfm. Fritz Prawitz  
Tel.: 0 89 / 88 63 60

#### ✗ Bemessung des Haftzeitraumes bei einem Schaden in bereits gekündigten Geschäftsräumen

Die Ermittlungen zum FBU-Schaden sind auf die unter Berücksichtigung der Kündigung zu erwartende Nutzungszeit abzugrenzen. Die Haftzeit wird somit i.d.R. nicht ausgeschöpft.

Dipl.-Kfm. Bernd Specht  
Tel.: 0 61 35 / 29 52

#### ✗ Bewertung von Vorräten im Rahmen der Stichtagsklausel zu Kontraktpreisen oder zu Spotmarktpreisen

Die Bewertung zum Stichtag erfolgt zum Spotmarktpreis, da dieser Preis den Wiederbeschaffungswert per Stichtag darstellt. Zu beachten ist dabei die gesamte Vorrätmenge.

## ❷ Aufsätze

Dipl.-Ing. Reinhard Schulz  
Tel.: 0 23 73 / 8 42 82

### Brand an thermisch belasteten Einrichtungen

AFB 87; Klausel 3101, 3102, 3112  
Die Abwicklung von Brandschäden bei industriellen und gewerblichen Risiken verlangt von den Versicherern häufig, fachspezifische Klauseln aus den Bedingungswerken der Feuerversicherung umzusetzen.

In diesem Kontext ist z. B. der Brandschaden an thermisch belasteten Einrichtungen wie Trocken-, Schmelz-, Räucher- und Backöfen, aber auch an Rauchgasfilteranlagen, Luftvorwärmern usw. zu nennen. In diesen Fällen besteht die Aufgabe an die Sachverständigen darin, den technischen Sachverhalt hinsichtlich Art und Aufbau des betroffenen

Objektes und des Schadenablaufes darzustellen. Diese Erkenntnisse dienen den Vertragsparteien der Auslegung der Versicherungsbedingungen bzw. Klauseln.

Die Grundlage der Sachverständigentätigkeit bilden in der Regel die Allgemeinen Bedingungen für die Feuerversicherung (AFB).

In den AFB, Fassung 87 heißt es zum „Brand“-Risiko:

#### **§ 1 Absatz 2 „Branddefinition“**

*Brand ist ein Feuer, das ohne einen bestimmungsgemäßen Herd entstanden ist oder ihn verlassen hat und das sich aus eigener Kraft auszubreiten vermag.*

#### **§ 1 Absatz 5a „Ausschluss Erhitzungsanlagen“**

*Die Versicherung erstreckt sich nicht auf Brandschäden, die an versicherten Sachen dadurch entstehen, dass sie einem Nutzfeuer oder der Wärme zur Bearbeitung oder zu sonstigen Zwecken ausgesetzt werde. Dies gilt auch für Sachen, in denen oder durch die Nutzfeuer oder Wärme erzeugt, vermittelt oder weitergeleitet wird.*

Aus den Formulierungen gehen die Definition des „Brand“-Begriffes und die Ausschlüsse von Brandschäden an Sachen hervor, die dem sog. Nutzfeuer oder der Wärme ausgesetzt sind oder in denen das Nutzfeuer oder die Wärme erzeugt, vermittelt oder weitergeleitet wird.

Für den „Wieder“-Einschluss von **Brand**-Schäden an Sachen gemäß AFB 87, § 1 Absatz 5a stellt das Klauselwerk der Feuerversicherer verschiedene Formulierungen bereit:

#### **Klausel 3101**

*Brandschäden an Räucher-, Trocken- und sonstigen Erhitzungsanlagen*

*Brandschäden an Räucher-, Trocken- und sonstigen Erhitzungsanlagen und deren Inhalt sind auch dann zu ersetzen, wenn der Brand innerhalb der Anlage ausbricht.*

#### **Klausel 3102**

*Brandschäden an Räucher-, Trocknungs- und ähnlichen Erhitzungsanlagen sowie anderem Inhalt*

*1. Brandschäden an versicherten Räucher-, Trocknungs- und sonstigen ähnlichen Erhitzungsanlagen sowie an dem versicherten Inhalt von Räucher-, Trocknungs- und sonstigen Erhitzungsanlagen sind bis zu der vereinbarten Entschädigungsgrenze auch dann zu ersetzen, wenn der Brand innerhalb der Anlagen ausgebrochen ist.*

*2. Erhöht sich die Anzahl der Anlagen oder ändert sich deren Art, so hat der Versicherungsnehmer dies dem Versicherer unverzüglich anzuzeigen. Ist mit der Änderung eine Gefahrerhöhung verbunden, so gelten außerdem § 6 Nr. 2, Nr. 4 und Nr. 5 AFB 87 und die §§ 23 bis 30 VVG.*

*Der Versicherer hat vom Tag der Änderung an Anspruch auf die aus einem etwa erforderlichen höheren Prämiensatz errechnete Prämie; dies gilt nicht, soweit der Versicherer in einem Versicherungsfall wegen Gefahrerhöhung gemäß Abs. 1 leistungsfrei geworden ist.*

*3. Räucheranlagen müssen so eingerichtet sein, dass herabfallendes Räuchergut sich nicht am Räucherfeuer entzünden kann.*

#### **Klausel 3112**

*Brandschäden an Wärmetauschern, Dampferzeugungs-, Abgasreinigungs- und vergleichbaren technischen Anlagen*

*1. In Abänderung von § 1 Nr. 5 a AFB 87 erstreckt sich die Versicherung auch auf Brandschäden an im Versicherungsvertrag besonders benannten Dampferzeugungsanlagen, Wärmetauschern, Luftvorwärmern, Rekuperatoren, Rauchgasleitungen, REA-, DENOX- und vergleichbaren technischen Anlagen, wenn der Brand innerhalb der Anlagen ausbricht.*

*2. Soweit nichts Anderes vereinbart ist, sind nicht versichert Ausmauerungen, Auskleidungen, Beschichtungen und Gummierungen, Filtermassen und -einsätze, Kontaktmassen und Katalysatoren, die während der Lebensdauer der versicherten Anlagen erfahrungsgemäß mehrfach ausgewechselt werden müssen. Der Versicherungswert der vorbezeichneten*

*Sachteile ergibt sich aus ihrem Abnutzungsgrad am Schadentag.*

*3. Es gilt die vereinbarte Entschädigungsgrenze je Versicherungsfall.*

*4. Der gemäß Nr. 1 und 2 als entschädigungspflichtig errechnete Betrag wird je Versicherungsfall um den vereinbarten Selbstbehalt gekürzt.*

Aus den AFB und dem zitierten Klauselwerk geht eindeutig hervor, dass bei „Feuer“-Schäden an Erhitzungsanlagen der „**Brand**“-Begriff gemäß AFB 87, § 1 Absatz 2 erfüllt sein muss, um eine Ersatzpflicht durch den Feuerversicherer ableiten zu können.

Im Rahmen der Sachverständigentätigkeit bei Schäden im industriellen und gewerblichen Bereich gilt es häufig, Schäden an

- Heiz- / Dampfkesselanlagen,
- Trocken-, Räucher-, Backöfen,
- Schmelzöfen,
- Thermoölkesselanlagen,
- Nachverbrennungsanlagen usw.

aber auch

- Wärmetauschern,
- Abgasreinigungsanlagen,
- Luftvorwärmern usw.

zu bewerten.

Der Versicherer ist auch in diesen Fällen bestrebt, den Schaden auf Grundlage des Bedingungswerkes zu regulieren.

Im ersten Schritt benötigt er dazu genaue Kenntnis über die Art, Bauweise und das Verfahrensprinzip des betroffenen Objektes.

Im Sachverständigen-Gutachten ist es hier von Vorteil, den Gegenstand anhand von Prinzipskizzen, Schnittzeichnungen, Fließbildern usw. zu beschreiben.

Die Visualisierung von Konstruktionsmerkmalen wie Ofen- oder Filtergehäusen, Brenneraufbau, Flammrohren usw. aber auch die Darstellung von Prozessabläufen mit Heißgasführungen, Temperaturverläufen usw. dient der Veranschaulichung zur Anwendung der Vertragsbedingungen.

An zweiter Stelle ist die genaue Beschreibung des zeitlichen Ablaufs zur jeweiligen Schadenursache und dem damit verbundenen Schadenumfang hinsichtlich der späteren Beurteilung durch den Versicherer von Bedeutung.

Anhand dieser Erkenntnisse ist er in der Lage, jedem Schadenbild eine Schadenursache und somit ein versichertes oder nicht versichertes Risiko zuzuordnen.

Als Beispiel sei hier die Leckage einer Heizrohrschlange innerhalb eines Thermoölkessels mit anschließendem Folgebrand genannt.

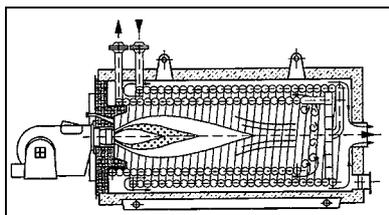


Abb.: Prinzipskizze

Die Skizze veranschaulicht den Aufbau und die Wirkungsweise des Thermoölkessels.

Innerhalb des Kessels befindet sich die Heizrohrschlange, in der das Thermoöl zirkuliert. Die Brennerflamme „feuert“ in den zylindrischen Hohlraum, und die Wärmeenergie wird auf das Thermoöl übertragen.

Bei einer Leckage der Heizschlange tritt innerhalb des Kessels Thermoöl aus, entzündet sich und der so entstehende Brand weitet sich aus.

Anhand detaillierter Beschreibung des Schadenablaufes und jeweiligen -umfanges einschl. der damit in Zusammenhang stehenden Reparaturkosten kann der Versicherer zwischen dem sog. „Betriebschaden“ und „Brandschaden“ im Sinne der AFB abgrenzen.

#### Fazit:

Bei der Bearbeitung von Schäden an thermisch belasteten Einrichtungen besteht die Aufgabe an den Sachverständigen darin, das Schadenobjekt und den Schadenverlauf detailliert und sachgerecht zu beschreiben.

Aufgrund dieser Darstellung sollen die Vertragsparteien in die Lage versetzt werden, das Bedingungswerk hinsichtlich

- versichertes Risiko
- versicherte Sache

der AFB anwenden und umsetzen zu können.

Dipl.-Ing. Dipl.-Kfm. Uwe Borg  
Tel.: 0 68 05 / 14 85

### Zeitwert bei Mühlenanlagen

Ein Oberlandesgericht hat mit dem folgenden Beweisbeschluss gegeben ein Gutachten zu erstatten:

Es soll Beweis erhoben werden durch Einholung eines Sachverständigengutachtens über die Behauptung der Klägerin, bei verschiedenen ihr von der Beklagten gelieferten Mühlenteilen,

- 12 Doppelwalzenmühlen, Typ MIAG HN
- 3 Bühler Plansichter, Typ MPAD 818
- 2 Filter, Typ H-MVRS 52/24

sei aufgrund der vertragswidrigen Lieferung von Waren russischer bzw. türkischer Herkunft statt von gebrauchten Maschinen der Hersteller MIAG (zu 1.) bzw. Bühler (zu 2. bis 3. ein Minderwert von 4/5 der vereinbarten Kaufpreise anzunehmen, wobei als Kaufpreis vereinbart war:

zu 1.)	349.200 DM
zu 2.)	194.400 DM
zu 3.) je	33.480 DM

Der Sachverständige soll sich mit den einzelnen Behauptungen auseinander setzen, die von der Klägerin in ihrem Schriftsatz vom 6. Mai 2004 (Blatt 384 der Akten) über die Bewertung derartiger Geräte aufgestellt worden sind. Er soll die Angaben berücksichtigen, die von der Beklagten in ihrem Schriftsatz vom selben Tag (Blatt 389ff der Akten) zur Herkunft der von ihr gelieferten Geräte gemacht worden sind.

Zur Beantwortung der Fragen war zunächst erheblicher Klärungsbedarf über die Herkunft der Maschinen erforderlich. Aufgrund von Recherchen im Internet bei verschiedenen Mühlenbauunternehmen konnte folgendes festgestellt werden:

## 1. Technische Grundlagen

### 1.1 Bühler Miag

Die Firma Miag, Braunschweig wurde vor einigen Jahren von ihrem Erzkonkurrenten der Firma Bühler aufgekauft und firmiert heute unter Bühler Mühlenbau und

ist als Technologieführer auf dem Mühlenweltmarkt bekannt und geschätzt. Ihr Produktionsprogramm ist rundherum erneuert, was u.a. zur Folge hat, dass die Standfestigkeit der neuen Maschinen nicht mit der der alten zu vergleichen ist.

### 1.2 Walzenmühlen aus Russland

Die Firma Miag hat bis zum Kriegsende eine Zweigfirma in Dresden betrieben, die als Reparatur komplett mit Maschinen, Zeichnungen nach Nischni Nowgorod in der damaligen Sowjetunion verlagert wurde. Dort wurden in großem Umfang Walzenstühle der Typen GM und HM produziert und im Ostblock verkauft.

### 1.3 Türkische Walzenmühlen

In den 60er und 70er Jahren haben türkische Firmen gleichfalls begonnen, Walzenstühle der Typen GM und HM nachzubauen. Da sie zunächst nicht in der Lage waren, die Walzen herzustellen, haben sie offensichtlich Walzen aus der Sowjetunion bezogen.

Die Nachbauten aus der Türkei sind zum großen Teil zeichnungsge- recht in Details, jedoch verändert. Ihnen wird ausreichende Betriebsfähigkeit, jedoch mangelnde Standfestigkeit im Betrieb bescheinigt.

Die türkischen Maschinen wurden im Bewertungszeitpunkt mit ca. 25% des Verkaufspreises von Miag Maschinen verkauft.

## 2. Bewertung

### 2.1 Deutsche Maschinen

Zur Beantwortung der Bewertungsfragen war zunächst einmal die Bewertung der zum Verkauf generalüberholten Miag Maschinen vorzunehmen (siehe Grafik 1). Hierbei wurden Verschleiß- $f_v = 0,5$  und Restwerte  $f_r = 0,1$  angenommen, die die realen Verkaufswerte repräsentieren.

### 2.2 Türkische Maschinen

Zum Zweiten waren die neuen türkischen Maschinen zu bewerten, die eine kürzere Lebensdauer und erhöhte Verschleißwerte  $f_v = 0,4$  aufgrund der Einschätzungen der Fachleute aufweisen und

### 2.3 Vergleich:

Da zufälligerweise die Zeitwerte der generalüberholten Miag Maschinen gleich den Neuwerten der türkischen Maschinen waren, war ein Vergleich der Zeitwertentwicklung relativ einfach. Dabei war festzustellen, dass sich im Laufe der Benutzung der Maschinen eine Wertdifferenz ergibt, die zu einem Vermögensverlust des Betreibers führt. Dieser über die Benutzungsdauer entstehende Betrag ist abzuzinsen auf den Bewertungszeitpunkt.

Da dem Gericht mit dieser Nebenrechnung keine zusätzlichen Komplikationen vorgestellt werden sollten, wurde der Barwert geschätzt.

Das Gutachten wurde ohne mündliche Verteidigung vom Oberlandesgericht akzeptiert.

Dipl.-Oec. Michael Ottleben

Tel.: 0 55 51 / 9 82 40

Dipl.-Kfm. Jens Otto

Tel.: 0 22 04 / 5 47 11

### **Schadenminderungskosten – Abgrenzung zwischen Sachschadeninteresse und Schadenminderungspflicht**

In § 10 FBUB werden die Schadenminderungspflichten des Versicherungsnehmers im Schadenfall beschrieben.

§ 11 FBUB regelt den Ersatz der Aufwendungen zur Schadenminderung, wobei in § 11 Satz 1 FBUB die Aufwendungen geregelt werden, die vom Versicherer ersetzt werden und in § 11 Satz 2 FBUB jene, die nicht zu ersetzen sind.

Grundsätzlich gilt entsprechend, dass

- in der Sachversicherung lediglich der Ersatz der Reparaturkosten bzw. maximal der Neuwert der betroffenen Anlage zu erwarten ist.
- mit Bezug auf § 10 Satz 2 FBUB die VN für die Abwendung oder Minderung des Unterbrechungsschadens zu sorgen hat.
- gemäß § 11 Satz 1 FBUB unter den dort genannten Voraussetzungen, die Kosten zur Abwehr oder Minderung des BU-Scha-

dens vom Versicherer zu ersetzen sind.

- gemäß § 11 Satz 2 FBUB unter Umständen vorliegende Nutzenvorteile anzurechnen sind.

#### **Fallbeispiel:**

Die auf Grund eines Brandschadens beschädigte Maschine ist grundsätzlich reparabel, die Reparaturdauer liegt aber über der benötigten Zeit für die Wiederbeschaffung einer neuen/gebrauchten/ alternativen Maschine. Die Wirtschaftlichkeit der Schadenminderungsmaßnahme „Wiederbeschaffung einer neuen Maschine statt Reparatur“ soll gegeben sein.

Ausgangswerte in €:

Maschinenneuwert:	200.000
Wiederbeschaffungspreis:	250.000
Zeitwert:	120.000
Restwert:	50.000

Reparaturkosten in €:

Neuwert/Zeitwert:	50.000
Merkantiler Minderwert:	10.000

Ergebnis:

Nicht BU-Schaden in €:	
Reparaturkosten und merkantiler Minderwert:	60.000
Wiederbeschaffungspreis:	<u>250.000</u>
Differenz:	190.000

*BU-Betrachtung:*

SMK im Rahmen der §§ 10 u. 11 FBUB zunächst	190.000
abzüglich Restwert der Maschine	<u>50.000</u>
BU-Anteil vorläufig:	140.000

Auf Grund der Schadenminderungspflicht nach § 10, Satz 2 FBUB besteht in o. g. Fall die Verpflichtung zur kurzfristigen Anschaffung einer Ersatzmaschine und, als Konsequenz, auch die Berücksichtigung der Mehrkosten als Differenz zwischen Reparaturkosten / merk. Minderwert und über dem Neuwert liegenden Anschaffungspreis einer verfügbaren Maschine im Rahmen der BU-Schadenermittlung § 11 Abs. 1 Nr. a) FBUB

Berücksichtigung von Wertverbesserungen/Nutzenvorteilen

§ 11, Abs. 2 a-c FBUB regeln möglichen Nichtersatz von Schadenminderungskosten

- Nutzenvorteile über die Haftzeit hinaus sind zu berücksichtigen; § 11 Abs. 2 Nr. a FBUB.

- Erwirtschaftete Kosten, die nicht versichert sind, werden nicht ersetzt; § 11 Abs. 2 Nr. b FBUB.
- Aufwendungen werden nicht ersetzt, sofern sie mit der Entschädigung zusammen die VSU übersteigen, es sein denn...; § 11 Abs. 2 Nr. c FBUB.

*Beispiele für zu berücksichtigende Nutzenvorteile:*

- a) Produktionsmenge neue Maschine > alte Maschine mit der Möglichkeit des Absatzes der zusätzlichen Produkte; Nutzenvorteil ist auch über die Haftzeit hinaus bis zur Höhe der ersetzten SMK zu berücksichtigen.
- b) Längere Lebensdauer der Ersatzbeschaffung als betroffene Anlage mit entsprechender Nutzung über die gesamte Lebensdauer der Ersatzbeschaffung; Nutzenvorteil in Form der abgezinsten anteiligen Investitionssumme für die Ersatzbeschaffung ist zu berücksichtigen.
- c) wie b) nur keine Nutzung über die gesamte Lebensdauer der Ersatzbeschaffung; dann ist der erzielbare Restwert (abgezinst) nach Ablauf der Planlebensdauer der Altanlage zu berücksichtigen (ggf. Kombination aus beiden)
- d) Theoretische Werterhöhungen, z.B. aus der Differenz zwischen Zeitwert der betroffenen Anlage und aus Schadenminderungsgründen angeschaffte Anlage zum Neuwert bzw. über Neuwert liegenden Wiederbeschaffungspreis, sind dann nicht zu berücksichtigen, wenn sie keinen Nutzenvorteil bieten und ihr Restwert nach Ablauf der Planlebensdauer der betroffenen Anlage nicht größer ist als der Restwert der betroffenen Anlage zum selben Zeitpunkt. Erwirtschaftung nicht versicherter Kosten:
  - z.B. bei unterschiedlichen Haftzeiten: Die anteilige Investitionssumme ist nicht als Schadenminderungskosten zu berücksichtigen.
  - Kombination aus Nutzenvorteilen und Erwirtschaftung nicht versicherter Kosten: Beide Positionen sind kumulativ zu berücksichtigen.
  - Nutzennachteile sind zusätzlich zu berücksichtigen.

Dr.-Ing. Henry Portz (Gast)  
Tel.: 07 11 / 51 45 35

**Brennbare binäre Gas- oder Dampfgemische – eine unterschätzte Explosionsgefahr**

**1 Einleitung**

Im Rahmen der neuen Betriebssicherheitsverordnung sind für Anlagen, bei denen sich gefährliche explosionsfähige Atmosphären bilden können, Explosionsschutzdokumente zu erstellen. Für die Erstellung eines Explosionsschutzdokumentes ist es wichtig zu wissen, ob brennbare Gase oder Dämpfe schwerer oder leichter als Luft sind und sich somit beim Austritt nach oben oder unten bewegen werden.

Bei Gasgemischen, deren eine Komponente leichter, die andere aber schwerer ist als Luft, treten Probleme bei der Beurteilung auf. In der Praxis haben solche falsche Beurteilungen schon zu einigen Explosionen geführt. Insbesondere im Bereich von Biogasanlagen und der elektrolytischen Verzinkung sind solche Explosionen bekannt.

Der Artikel befasst sich daher mit der Berechnung der Dichte von binären Gas- oder Dampfgemischen.

Außerdem werden im Artikel die gewonnenen Erkenntnisse auf einige, in der Praxis übliche, Gas-Gemische angewandt.

**Verwendete Formelzeichen:**

- c Konzentration in Volumenanteile im Gasvolumen
- m Masse, [kg]
- M Molare Masse, [kg kmol<sup>-1</sup>]
- ρ Dichte, [kg m<sup>-3</sup>]
- V Volumen, [m<sup>3</sup>]
- V<sub>M</sub> Molares Volumen, [m<sup>3</sup> kmol<sup>-1</sup>]

**Verwendete Indizes:**

- 1: Gas oder Dampf mit ρ > ρ<sub>Luft</sub>
- 2: Gas oder Dampf mit ρ < ρ<sub>Luft</sub>
- Exu: untere Explosionsgrenze
- Gem: Gemisch

**2 Berechnungen zur Dichte von binären Gas- oder Dampf-Gemischen**

Die Dichte von binären Gas- oder Dampf-Gemischen berechnet sich wie folgt:

$$(1) \rho_{Gem} = \frac{m_{Gem}}{V_{Gem}} = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2} \quad (2) m = \frac{M}{V_M} \cdot V$$

Mit (1) und (2) ergibt sich:

$$(3) \rho_{Gem} = \frac{\frac{M_1}{V_{M1}} \cdot V_1 + \frac{M_2}{V_{M2}} \cdot V_2}{V_1 + V_2}$$

$$(4) c_2 = \frac{V_2}{V_1 + V_2} = \frac{1}{\frac{V_1}{V_2} + 1}$$

$$(3') \rho_{Gem} = \frac{\frac{M_1}{V_{M1}} \cdot \frac{V_1}{V_2} + \frac{M_2}{V_{M2}}}{\frac{V_1}{V_2} + 1}$$

$$(4') \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{c_1} - 1$$

Mit (3') und (4') ergibt sich:

$$(5) \rho_{Gem} = \frac{\frac{M_1}{V_{M1}} \cdot \left(\frac{1}{c_2} - 1\right) + \frac{M_2}{V_{M2}}}{\left(\frac{1}{c_2}\right)}$$

$$(6) \rho_{Gem} = \left[ \frac{M_1}{V_{M1}} \cdot \left(\frac{1}{c_2} - 1\right) + \frac{M_2}{V_{M2}} \right] \cdot c_2$$

In der Tabelle 1 werden Stoffwerte bei 0 °C und 101,325 kPa für Praxisgemische angegeben. Bei Änderungen dieser Umgebungsparameter ändern sich auch die berechneten Konzentrationen.

**Tab.1:** Eingangsgrößen in die Berechnung für Praxisgemische

Gas-/Dampf-gemisch aus der Praxis	M1 [kg·kmol <sup>-1</sup> ]	VM1 [m <sup>3</sup> ·kmol <sup>-1</sup> ]	M2 [kg·kmol <sup>-1</sup> ]	VM2 [m <sup>3</sup> ·kmol <sup>-1</sup> ]
Wasserstoff-Sauerstoff	31,988 Sauerstoff	22,39 Sauerstoff	2,016 Wasserstoff	22,43 Wasserstoff
Wasserstoff-Chlorwasserstoff	36,458 Chlorwasserstoff	22,25 Chlorwasserstoff	2,016 Wasserstoff	22,43 Wasserstoff
Methan-Kohlendioxid	44,008 Kohlendioxid	22,26 Kohlendioxid	16,042 Methan	22,36 Methan
Ethanol-dampf-Wasserdampf	46,067 Ethanol	~22,4 Ethanol	18,015 Wasserdampf	~22,4 Wasserdampf

**3 Binäre Gas- oder Dampf-Gemische in der Praxis**

**3.1 Wasserstoff-Sauerstoff-Gemische**

Wasserstoff-Sauerstoff-Gemische treten z. B. bei der elektrolytischen Verzinkung auf. Das entstehende Gas-Gemisch muss so durch Lüftung entfernt werden, dass keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre auftritt. Wenn das Gemisch leichter als Luft ist, muss

es oben abgesaugt werden. Ist es dagegen schwerer als Luft, ist es unten abzusaugen.

Die Dichte-Konzentrations-Funktion lautet:

$$(7) \frac{\rho_{\text{Gem}}}{\text{kg m}^{-3}} = 1,42912 - 1,33924 \cdot \frac{c_{\text{H}_2}}{\text{Vol. - Anteile}}$$

Ein Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch mit der Dichte der Luft ( $\rho_L = 1,2928 \text{ kg m}^{-3}$ ) besitzt eine Wasserstoffkonzentration von 0,1018 Vol.-Anteilen.

Ein Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch mit weniger als 10,2 Vol.-% Wasserstoff ist daher schwerer als Luft und sinkt nach der Freisetzung nach unten.

Wegen des großen Explosionsbereiches können sowohl die leichteren als auch die schwereren Wasserstoff-Sauerstoff-Gemische explosionsfähige Gemische in Luft bilden.

Bei der elektrolytischen Verzinkung überwiegt meist der Fall, dass Gemische von weniger als 10,2 Vol.-% Wasserstoff auftreten, diese sind daher schwerer als Luft. Wird eine Konzentration über der unteren Explosionsgrenze von Wasserstoff erreicht, ist dieses schwere Gas-Gemisch immer explosionsfähig.

### 3.2 Wasserstoff-Chlorwasserstoff-Gemische

Wasserstoff-Chlorwasserstoff-Gemische treten in der Praxis z. B. bei Auflösung von Metallen in Salzsäure und bei der Herstellung, Reinigung und Verarbeitung von Reinstsilicium auf.

Die Dichte-Konzentrations-Funktion lautet:

$$(8) \frac{\rho_{\text{Gem}}}{\text{kg m}^{-3}} = 1,63856 - 1,54868 \cdot \frac{c_{\text{H}_2}}{\text{Vol. - Anteile}}$$

Ein Wasserstoff-Chlorwasserstoff-Gemisch mit der Dichte der Luft ( $\rho_L = 1,2928 \text{ kg m}^{-3}$ ) besitzt eine Wasserstoffkonzentration von 0,2233 Vol.-Anteilen.

Ein Wasserstoff-Chlorwasserstoff-Gemisch mit weniger als 22,3 Vol.-% Wasserstoff ist schwerer als Luft.

Über 22,3 Vol.-% ist das Wasserstoff-Chlorwasserstoff-Gemisch leichter als Luft. Aufgrund des großen Explosionsbereiches können sowohl die schwereren als auch die leichteren Wasserstoff-Chlorwasserstoff-Gemische gefährliche explosionsfähige Atmosphären mit der Umgebungsluft bilden.

### 3.3 Methan-Kohlendioxid-Gemische bei Biogas

Methan-Kohlendioxid-Gemische treten z. B. bei Biogas auf. Für Biogas kann allgemein in etwa die folgende Zusammensetzung angegeben werden, die sich, in Abhängigkeit der zur Gärung eingesetzten Substrate, in einem Schwankungsbereich befindet:

Tab. 2: Beispiel für Biogaszusammensetzung

Gas	Volumenanteil in %
Methan	40 – 75
Kohlendioxid	25 – 55
Wasserdampf	0 - 10
Stickstoff	0 - 5
Sauerstoff	0 - 2
Wasserstoff	0 - 1
Ammoniak	0 - 1
Schwefelwasserstoff	0 - 1

Die Hauptkomponenten bestehen aus Methan und Kohlendioxid. Vereinfacht werden im Folgenden nur diese beiden betrachtet.

Die Dichte-Konzentrationsfunktion lautet:

$$(9) \frac{\rho_{\text{Gem}}}{\text{kg m}^{-3}} = 1,97700 - 1,25956 \cdot \frac{c_{\text{CH}_4}}{\text{Vol. - Anteile}}$$

Das Methan-Kohlendioxid-Gemisch besitzt bei der Luftdichte ( $\rho_L = 1,2928 \text{ kg m}^{-3}$ ) eine Methankonzentration von 0,5432 Vol.-Anteilen. Methan-Kohlendioxid-Gemische mit 0 ... 54,3 Vol.-% Methan sind schwerer als Luft. Über 54,3 Vol.-% Methan sind sie leichter als Luft. Sowohl die leichteren als auch die schwereren Gemische können in Luft gefährliche explosionsfähige Atmosphären bilden.

In Biogasanlagen liegen ca. 40–75 Vol.-% Methan und 25 – 55 Vol.-%  $\text{CO}_2$  vor. Daraus errechnet sich eine Methankonzentration in Methan-Kohlendioxid-Gemischen von  $C_{\text{CH}_4} = 42,1 \dots 75$  Vol.-%

Methan-Kohlendioxid-Gemische in Biogasanlagen sind je nach Konzentration leichter oder schwerer als Luft. Im Explosionsschutzkonzept ist dies zu berücksichtigen.

### 3.4 Alkoholdampf-Wasserdampf-Gemische

Alkohol-Wasserdampf-Gemische kommen insbesondere im Bereich der Spirituosenherstellung und Verarbeitung vor. Hier wird daher als Beispiel Ethanol dargestellt.

Die Dichte-Konzentrationsfunktion lautet:

$$(10) \frac{\rho_{\text{Gem}}}{\text{kg m}^{-3}} = 2,05656 - 1,25232 \cdot \frac{c_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{Vol. - Anteile}}$$

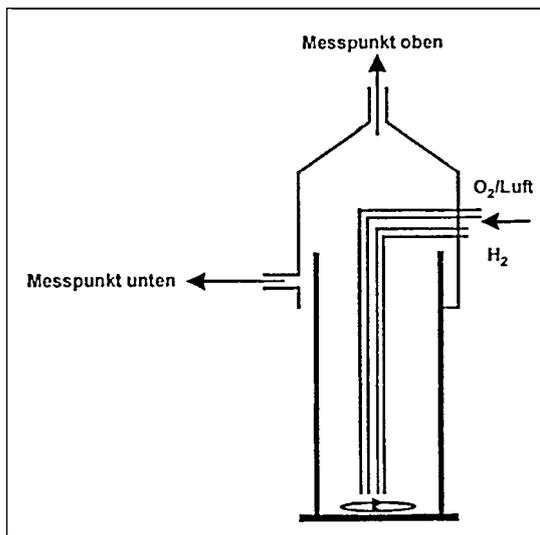
Bei Luftdichte  $\rho_L = 1,2928 \text{ kg m}^{-3}$  hat das Gemisch eine Konzentration von 61 Vol.-% Wasserdampf und 39 Vol.-% Ethanoldampf.

Ein Ethanoldampf-Wasserdampf-Gemisch mit weniger als 39 Vol.-% Ethanol in der Gasphase ist leichter als Luft. Ein Gemisch mit mehr als 39 Vol.-% Ethanol in der Gasphase ist schwerer als Luft.

**4 Experimenteller Nachweis**

Für den experimentellen Nachweis wird in einen Messzylinder, nach der Versuchsanordnung in Bild 1, Wasserstoff eingegeben und in einer zweiten Zuleitung Sauerstoff oder Luft. Über dem Messzylinder wird eine Auffangvorrichtung vorgesehen mit einem unteren und einem oberen Messpunkt. Es soll geprüft werden, ob sich das Gas-Gemisch nach unten oder nach oben bewegt. Die Strömungsverhältnisse werden so eingestellt, dass sich eine Wasserstoffeingangskonzentration von 4,5 Vol.-% ergibt. Es wird nun gemessen, ob sich Wasserstoff am unteren oder oberen Messpunkt nachweisen lässt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 dargestellt.

**Bild 1:** Versuchsanordnung zur Bestimmung der Strömungsrichtung von Wasserstoff-Luft- bzw. Wasserstoff-Sauerstoff-Gemischen



**Tab.3:** Wasserstoffkonzentration an den Messpunkten bei einer Ausgangskonzentration von 4,5 Vol.-% Wasserstoff.

Konzentrationsprofil bei einer Wasserstoff-Ausgangskonzentration von 4,5 Vol.-%	H <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> [Vol.-%]	H <sub>2</sub> /Luft [Vol.-%]
Messpunkt oben	0	2,5
Messpunkt unten	4,0	0
Schlussfolgerung	Das Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch sinkt nach <b>unten</b>	Das Wasserstoff-Luft-Gemisch steigt nach <b>oben</b>

Wie erwartet zeigt sich beim Wasserstoff-Luft-Gemisch eine Wasserstoffkonzentration am

oberen Messpunkt, am unteren Messpunkt lässt sich kein Wasserstoff feststellen. Das Wasserstoff-Luft-Gemisch ist leichter als Luft. Beim Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch dagegen lässt sich Wasserstoff am unteren Messpunkt finden, am oberen jedoch nicht (siehe Tabelle 3). Damit ist die Hypothese experimentell bestätigt, dass es Wasserstoff-Sauerstoff-Gemische gibt, die schwerer als Luft sind.

**5 Zusammenfassung**

Binäre Gas- oder Dampfgemische, bei denen eine Komponente leichter, die andere schwerer als Luft ist, können in der Praxis zur Fehleinschätzung hinsichtlich der Dampfdichte führen. Dadurch können Fehler in der Auslegung des Explosionsschutzes entstehen.

Solche Gemische bestehen z. B. aus:

- Wasserstoff und Sauerstoff
- Wasserstoff und Chlorwasserstoff
- Methan und Kohlendioxid
- Ethanol Dampf und Wasserdampf.

Bei solchen Gemischen muss der gesamte Konzentrationsbereich, der im konkreten Anwendungsfall vorliegt, festgestellt werden, damit die Dichte klar beurteilt werden kann. Erst dann lässt sich feststellen, ob das Gemisch nach oben oder nach unten strömt. Es gibt jeweils eine kritische Konzentration, bei der genau die Luftdichte erreicht wird. Bei Gemischen, die leichter als Luft sind, sind Explosionszonen oder Absaugöffnungen oberhalb des Austrittsbereiches vorzusehen, bei Gemischen, die schwerer als Luft sind, sind Explosionszonen oder Absaugöffnungen unterhalb des Bereiches vorzusehen.

Die vorhergehenden Betrachtungen sind unter stationären Bedingungen, bei der gleichen Temperatur (0°C) und für binäre Gas- und Dampfgemische gültig. Unterschiedliche Temperaturen haben aber Einfluss auf die Dichte und können daher das Ergebnis beeinflussen.

Unter nicht stationären Bedingungen zeigt sich durchaus eine Entmischung der Komponenten. Dieser Prozess ist aber relativ langsam und bietet Zündquellen genügend Zeit, das Gemisch zu zünden. Bei den Gemischen mit Wasserstoff erfolgt die Entmischung schneller als bei anderen Gemischen.

Besonders schwierig wird die Situation, wenn die in der Praxis vorkommenden Gemischdichten schwanken und deshalb sowohl oberhalb als auch unterhalb der Luftdichte liegen können. Dann ist je nach Situation mit Gas-Gemischen zu rechnen, die sowohl nach oben als auch nach unten strömen können.

Das gleiche Phänomen lässt sich naturgemäß auch bei Mehrkomponentengemischen finden.