Kapitel 5
Sicherheitstechnische Kennzahlen

Für die Gefährdungsbeurteilung von Tätigkeiten mit Gefahrstoffen spielen nicht nur mögliche toxische oder andere schädigende Eigenschaften der Stoffe eine Rolle, sondern auch physikalisch-chemische Eigenschaften, die z.B. das Freisetzungsverhalten der Stoffe beeinflussen.

Entsprechende Angaben finden sich im Sicherheitsdatenblatt im Abschnitt 9 „Physikalische und chemische Eigenschaften“ (zum Sicherheitsdatenblatt → *Kapitel 4 „Informationen über Gefahrstoffe“*). Nach der derzeit gültigen Verordnung (EU) 2020/878 sind in diesem Abschnitt über 20 Parameter zu nennen, wie z.B. Aggregatzustand, Dampfdruck oder Siedepunkt. Leider geben viele Hersteller hier nur einen Teil der notwendigen Informationen an, so dass gelegentlich mit Datenlücken zu rechnen ist.

Dessen ungeachtet sind viele dieser Parameter wertvolle Hilfen bei der Gefährdungsbeurteilung. In diesem Kapitel werden die Kennzahlen, die für die Gefährdungsbeurteilung wichtig sind, vorgestellt und besprochen. Eine vollständige Beschreibung aller Parameter wird hier nicht angestrebt. Relevant für die Gefährdungsbeurteilung sind vor allem:

- Aggregatzustand,
- pH-Wert,
- Dampfdruck, Siedepunkt, Flammpunkt,
- Dampfdichte, Gasdichte,
- untere und obere Explosionsgrenze,
- Zündtemperatur, Selbstentzündungstemperatur, Zersetzungstemperatur,
- Löslichkeit und
- N-Octanol/Wasser-Verteilungskoeffizient.

5.1 Aggregatzustand und Feststoffkennzahlen

Die Angabe des Aggregatzustandes ist die erste wichtige „Landkarte“, in welcher Richtung Informationen zu beschaffen sind. Selbstverständlich spielt für einen Feststoff z.B. der Dampfdruck keine Rolle, wohl aber die Art des Materials, also z.B. ob der Stoff oder das Gemisch pastös oder pulverförmig vorliegt. Dementsprechend können dem Aggregatzustand weitere relevante

sicherheitstechnische Kennzahlen zugeordnet sein, die es dann ausgehend von dieser Basisinformation systematisch zu betrachten gilt (→ *Tabelle*).

Vom Aggregatzustand abhängige, weiter zu prüfende sicherheitstechnische Kennzahlen

Feststoff	Flüssigkeit	Gas
• Korngröße, spezifische Oberfläche • pH-Wert • Schmelz-, Gefrierpunkt • Siedebeginn, Siedebereich • Entzündbarkeit • Dichte • Löslichkeit • Selbstentzündungstemperatur • Zersetzungstemperatur • Explosive Eigenschaften • Oxidierende Eigenschaften	• pH-Wert • Siedebeginn, Siedebereich • Flammpunkt • Verdampfungsgeschwindigkeit • UEG, OEG*) • Untere, obere Zündtemperatur • Dampfdruck • Dampfdichte • Selbstentzündungstemperatur • Zersetzungstemperatur • Viskosität • Explosive Eigenschaften • Oxidierende Eigenschaften	• Molekulargewicht • Dichte • UEG, OEG*) • Untere, obere Zündtemperatur • Selbstentzündungstemperatur • Explosive Eigenschaften • Oxidierende Eigenschaften

*) UEG, OEG = untere, obere Explosionsgrenze

Insbesondere für Feststoffe sollten im Sicherheitsdatenblatt entsprechende spezifizierende Materialangaben vorliegen. Die Verordnung (EU) 2020/878 führt hierzu die Partikelgröße, häufig auch Korngröße genannt, und die spezifische Oberfläche (also etwa m^2/g) auf. In der Praxis wird man diese Angaben aber noch kaum finden. Typische Beschreibungen sind daher z.B. „Pulver“, „Granulat“, „Blöcke“, „Pellets“, „Paste“ oder verwandte adjektivische Beschreibungen wie z.B. „pulvrig“.

Dementsprechend ist hier eher mit qualitativen als mit quantitativen Angaben zu rechnen, so dass nur tendenzielle Aussagen gemacht werden können.

Merke:

Die inhalative Gefährdung und auch die Explosionsgefahr ist umgekehrt proportional zur Partikelgröße. In der Regel haben grobe Materialien diesbezüglich ein geringeres Gefahrenpotenzial als Pulver oder andere feinkörnige Verteilungen, wobei aber keine festen Grenzgrößen angegeben werden können.

Je feiner also das Material ist, umso eher neigt es dazu zu stauben. Allerdings kann bei sehr geringen Korngrößen, insbesondere im Nanobereich, wieder der gegenteilige Effekt eintreten. Aufgrund von Oberflächeneffekten „backt“ das Material zusammen, so dass die Staubungsaktivität zurückgeht. Dies ist aber nicht grundsätzlich so, sondern hängt vom Material ab und kann daher nur als „Faustregel“ angegeben werden.

Außerhalb des Nanobereichs sind durch verschiedene Normen Staubungszahlen bzw. Staubklassen definiert. Allerdings nützt das dem Ersteller der Gefährdungsbeurteilung in der Regel relativ wenig, da meist die entsprechenden Angaben im Sicherheitsdatenblatt fehlen und es nur in Ausnahmefällen Sinn macht, eigene Messungen durchzuführen bzw. ausführen zu lassen.

Hinzu kommt, dass die Partikelgröße bei der Handhabung des Materials nicht konstant bleibt, sondern sich durch Abriebvorgänge verkleinern oder durch Oberflächeneffekte vergrößern kann. Aus diesem Grund sind bei der Beurteilung von Arbeiten mit besonders hoher Staubungsaktivität gegebenenfalls Spezialisten hinzuzuziehen, da auch die Gefahren der Staubexplosion bedacht werden müssen. Dies überschreitet in der Regel die Kenntnisse einer Fachkraft für Arbeitssicherheit oder auch eines nicht eigens dafür ausgebildeten Sicherheitsingenieurs; hier sind Ex-Schutz-Experten gefragt.

Eine weitere Gefährdung für Beschäftigte entsteht bei Feststoffen, wenn diese mit der Haut in Berührung kommen können. Viele Feststoffe sind bei Kontakt mit der Haut giftig. Eine wichtige Rolle spielt aber auch der pH-Wert. Viele ätzende Stoffe werden in fester Form vertrieben und können sich bei Hautkontakt in der natürlichen Feuchtigkeit lösen und so z.B. ihre ätzende Wirkung entfalten. Grundsätzlich ist also auch für einen Feststoff zu prüfen, welchen pH-Wert er erzeugt.

5.2 pH-Wert

Der pH-Wert ist ein Maß, wie sauer oder basisch eine Lösung reagiert. Die Werte entsprechen dem negativen dekadischen Logarithmus der Wasser-

stoff-Ionen-Konzentration bzw. – genauer – deren Aktivität. Ein pH von 1 entspricht z.B. einer Konzentration von 10^{-1} mmol/l an Wasserstoff-Ionen, während bei pH 14 deren Konzentration bei 10^{-14} mmol/l liegt. Um diese gewaltige Konzentrationsspanne mit übersichtlichen Zahlen zu beschreiben, wurde der logarithmische pH-Wert geschaffen.

Merke:

Je saurer eine Lösung ist, umso geringer ist der pH-Wert. Dabei hat der neutrale Bereich den pH-Wert 7, darüber beginnt der basische Bereich. Je größer der Abstand des pH-Wertes vom neutralen Bereich ist, umso stärker ist die Ätzwirkung.

Reine Natronlauge hat z.B. einen pH-Wert von 14, reine Salzsäure von 1. Hohe Gefährdungen von Lösungen oder Feststoffen gehen bei pH-Werten kleiner 4 und größer 9 aus.

5.3 Dampfdruck, Siedepunkt, Flammpunkt

Die drei jetzt zu besprechenden Kennzahlen sind insbesondere bei der Anwendung von Flüssigkeiten, wie Lösemittel oder lösemittelhaltige Produkte, von so grundlegender Bedeutung, dass hier eine breitere Darstellung erfolgen muss.

Grundlage ist der **Dampfdruck**. Darunter versteht man den Druck, der sich aufgrund von Verdunstungsvorgängen in einem abgeschlossenen System über einer Flüssigkeit einstellt. Materiell handelt es sich um die Anzahl an Molekülen, die aufgrund der thermischen Gegebenheiten aus einer Flüssigkeit austreten, Dämpfe bilden und damit im geschlossenen System aufgrund ihrer kinetischen Energie einen Druck aufbauen.

Der Dampfdruck ist eine materialspezifische Kenngröße, die in hPa (Hektopascal) gemessen bzw. angegeben wird. So hat z.B. das Lösemittel Aceton einen Dampfdruck von 246 hPa, was einem Viertel des normalen Luftdruckes (ca. 1000 hPa) entspricht.

Vereinfacht kann der Dampfdruck als das Potenzial einer Flüssigkeit zu verdampfen angesehen werden: Stoffe oder Gemische mit einem hohen Dampfdruck verdunsten schneller und setzen pro Zeiteinheit mehr Dämpfe frei als solche mit einem niedrigen Dampfdruck.

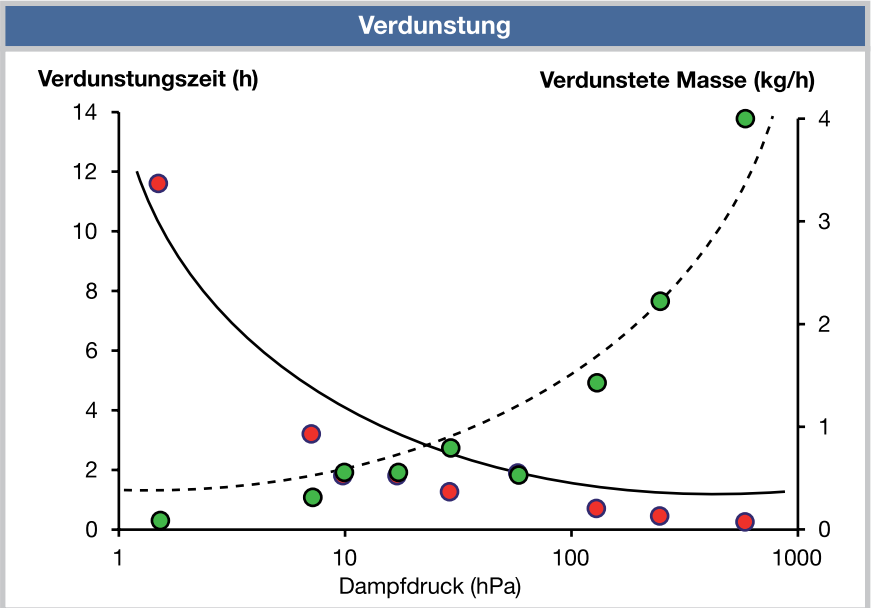

Abb. 6: *Abhängigkeit der Verdunstungsgeschwindigkeit (rote Punkte, durchgezogene Linie) bzw. der verdampften Masse (grüne Punkte, gestrichelte Linie) vom Dampfdruck bei 20 °C; Daten nach GESTIS*

Abbildung 6 stellt die Abhängigkeit der Verdunstung von jeweils 1 kg Lösemittel vom Dampfdruck dar. Während Furfurol mit einem Dampfdruck von 1,5 hPa erst nach 12 Stunden verdunstet ist, benötigt Diethylether mit einem Dampfdruck von 586 hPa dafür lediglich 15 Minuten. Entsprechend ist die pro Zeiteinheit verdunstete Masse in kg/h (bei 1 m^2 Grundfläche) umgekehrt proportional zu diesem Zusammenhang. So verdunsten in einer Stunde nur 90 g Furfurol, aber 4 kg Diethylether.

Merke:

Für die Gefährdungsbeurteilung bedeutet dies: Lösemittel oder andere Flüssigkeiten mit hohen Dampfdrücken stellen eine höhere Gefährdung dar als solche mit niedrigen.

Dieser Merksatz gilt sowohl für die inhalative Gefährdung als auch für die Explosionsgefährdung. Hilfreich als anzugebende Größe ist daher auch die

Verdampfungsgeschwindigkeit. Allerdings sind in den meisten derzeit existierenden Sicherheitsdatenblättern keine Daten zu diesem Parameter vorhanden.

Selbstverständlich hängt die freigesetzte Stoffmenge nicht nur von dem Dampfdruck ab, sondern auch von der Verdunstungsfläche. So entweichen aus einer offenstehenden 2-Liter-Laborflasche mit Aceton, die einen Flaschenhals von 2,5 cm Durchmesser aufweist, gerade mal 1,5 g Aceton pro Stunde. Fällt die Flasche aber auf den Boden und das Aceton verbreitet sich über 3 m^2, so ist die gesamte Menge in weniger als 6 Minuten verdunstet.

Lässt sich nun auf einfache Weise berechnen, welche Stoffmassen durch ein Lösemittel in die Luft freigesetzt werden? Diese Frage kann man zumindest für eine ganze Reihe von Stoffen bejahen. Zur Berechnung wird die sogenannte „Verdunstungszahl“ (VD) herangezogen, eine Bezugszahl, die ein relatives Maß für die Verdunstungsgeschwindigkeit ist. Die Werte für VD reichen von 1 bis ca. 3000, wobei eine niedrige VD eine hohe Verdunstungskapazität bedeutet.

Die Berechnungsformel lautet:

$$M = \rho \times 5571 \times A \times T \times VD^{-1}$$

Dabei gilt:

M = verdunstete Masse ($g/h/m^2$)
ρ = Dichte des Lösemittels (g/cm^3)
A = Verdunstungsfläche (m^2)
T = Betrachtungszeitraum (h)
VD = Verdunstungszahl (dimensionslos)

Mithilfe der Daten in der folgenden Tabelle lassen sich dann leicht die oben genannten Werte errechnen.

Verdunstungszahlen und Dichten von Lösemitteln; Quellen: GESTIS, BGIA-Report 3/2001

Stoff	VD	Dichte
Aceton	2,0	0,79
Amylacetat	15,0	0,87
Butanol	33,0	0,81
Butylacetat	12,0	0,88
Butyldiglycol	3750,0	0,95