

1 Einführung in den Strahlenschutz der Feuerwehr

Als das erste Rote Heft »Strahlenschutz« im Jahr 1960 erschien, war das Thema radioaktive Stoffe Neuland für die Feuerwehren. Heute finden die Feuerwehren Literatur in vielfältiger Form und insbesondere mit Einführung der Feuerwehr-Dienstvorschrift 500 (FwDV 500) erhielten sie ein zentrales Werk für Ausbildung und Einsatz bei Gefahrstoffen. Die FwDV 500 »Einheiten im ABC-Einsatz« regelt für die deutschen Feuerwehren die Grundsätze bei Gefahren durch radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung (A-Einsatz), biologische Stoffe und Agenzien (B-Einsatz) sowie chemische Stoffe und Materialien (C-Einsatz). Sie gibt allgemeine Hinweise zur Gefährdungsbeurteilung, zu vorbereitenden Maßnahmen, zu Schutzmaßnahmen für Einsatzkräfte, zur taktischen Vorgehensweise im Einsatz und zur Dekontamination (Bild 1).

Feuerwehreinsätze sind vielseitig. Um die Regelungen und Empfehlungen der FwDV 500 für den Teil Strahlenschutz besser zu verstehen, in der Praxis anzuwenden und einsatzbezogen Schutzmaßnahmen sowie einsatztaktische Entscheidungen fachlich fundiert treffen zu können, sind tiefer gehende Kenntnisse des Strahlenschutzes unabdingbar. Dieses Rote Heft »Strahlenschutz« soll die FwDV 500 ergänzen, die physikalisch-technischen Grundlagen des Strahlenschutzes in verständlicher Form erläutern und unterschiedliche einsatztaktische Überlegungen darstellen.



Bild 1:
Feuerwehr im
Strahlenschutz-
einsatz

Zum klassischen Strahlenschutz der Feuerwehr zählt der Schutz vor ionisierender Strahlung aus dem Zerfall radioaktiver Kerne und von Neutronenquellen sowie der Strahlung von Röntgenröhren und Beschleunigern. Daneben gibt es die so genannte nicht ionisierende Strahlung in der Form von elektrischen und magnetischen Feldern, wie wir sie heute überall in unserer Umwelt in Kommunikations- und Energieübertragungseinrichtungen sowie medizinischen Einrichtungen finden. Wir betrachten sie in der Regel nicht als akute Gefahr, aber dennoch können diese Strahlung-

gen unter bestimmten Umständen im Feuerwehreinsatz Gefährdungen hervorrufen. Auch die Entwicklung und Anwendung der Lasertechnologie hat dazu geführt, dass sich die Feuerwehr mit den Gefahren der Laserstrahlung in der Ausbildung befassen sollte.

2 Strahlenschutz bei ionisierender Strahlung

2.1 Physikalische Grundlagen ionisierender Strahlung

2.1.1 Aufbau der Materie

Seit dem Altertum machen sich die Menschen Gedanken über den Aufbau der Materie. Am Anfang stand der Gedanke der vier Elemente Luft, Feuer, Wasser und Erde. Aber schon 500 Jahre vor Christus postulierte der griechische Philosoph Demokrit, dass alle Stoffe aus definierten kleinsten Teilchen, den Atomen (von *ato-mos* = unteilbar) bestehen. Als sich im Mittelalter aus der Alchemie die Chemie entwickelte, hat z. B. Daniel Sennert (1618) das Gesetz der Erhaltung der Elemente formuliert: Bei einer chemischen Reaktion sollen Elemente weder verloren noch Elemente neu geschaffen werden. Robert Boyle (1661) sprach davon, dass Elemente bestimmte primitive und einfache, völlig unvermischte Körper seien, sie enthielten keine anderen Körper und seien Zutaten, aus denen alle perfekt gemischten Körper zusammengesetzt sind und in welche diese letztlich zerlegt würden.

Heute wissen wir, dass ein chemisches Element aus Atomen mit gleichen chemischen Eigenschaften besteht. Atome setzen sich aus einem Kern, der Protonen und Neutronen enthält, sowie einer Hülle aus Elektronen zusammen. Atome sind nicht unteil-

bar, sondern veränderbar: chemische Reaktionen greifen in ihre Hülle ein und verbinden Atome zu Molekülen. Durch physikalische Prozesse können die Kerne der Atome geändert oder sogar gespalten werden.

Elemente und chemische Verbindungen

Alle Stoffe, ob gasförmig, flüssig oder fest, sind aus Molekülen bzw. Atomen aufgebaut. In Bild 2 ist gezeigt, wie man sich den Zusammenschluss von zwei Wasserstoffatomen (chemisches Zeichen H) und einem Sauerstoffatom (chemisches Zeichen O) zu einem Wassermolekül H_2O vorstellen kann. Ähnlich wird bei der Verbrennung von Kohle (Hauptbestandteil Kohlenstoff C) ein Kohlenstoffatom mit zwei Sauerstoffatomen zu einem Molekül des Kohlenstoffdioxids CO_2 verbunden. Aus Bild 3 geht hervor, dass man sich das Atom als ein Gebilde mit einem Kern in der Mitte und einer Hülle aus Elektronen (e^-) vorstellt. Diese Elektronen umkreisen den Atomkern ähnlich wie die Planeten (Erde, Ve-

Chemie: Aufbau von Molekülen aus Atomen

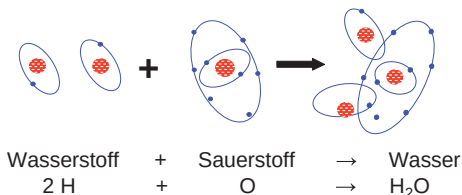


Bild 2: Vereinfachte Darstellung eines Wassermoleküls. Die Atomkerne sind rot schraffiert, die Hüllenelektronen blau gezeichnet. Die Größenverhältnisse zwischen Kern und Hülle sind nicht maßstabsgetreu wiedergegeben.

Physik: Aufbau der Atome und der Atomkerne

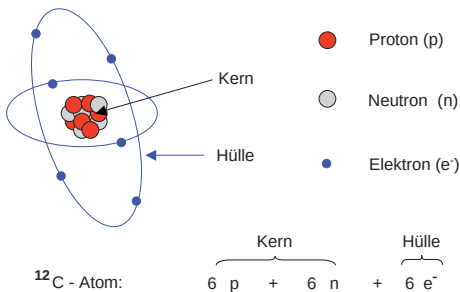


Bild 3: Vereinfachte Darstellung eines Kohlenstoff-12-Atoms. Im Vergleich zum Durchmesser des Atoms ist der Kern zu groß gezeichnet. Tatsächlich ist das Atom mit seiner Hülle etwa 100 000 Mal größer als sein Kern.

nus, Mars usw.) die Sonne umkreisen. Die Elektronen sind dabei auf verschiedenen »Schalen« angeordnet.

Eine chemische Bindung, also die Verbindung von Atomen zu einem Molekül, entsteht dadurch, dass sich die Elektronenbahnen der einzelnen Atome überlappen bzw. durchdringen. Das chemische Verhalten der Stoffe wird somit durch die Zahl der Elektronen in der Hülle bestimmt; damit wird das Element selbst festgelegt. Bild 2 zeigt, dass das Element Wasserstoff ein Elektron, das Element Sauerstoff acht Elektronen in der Atomhülle besitzt. Durch »Abzählen« der Elektronen eines Atoms kann man also feststellen, zu welchem Element es gehört (eine chemische Analyse bestimmt das Element natürlich auf eine andere Weise!).

Jedes Elektron besitzt eine negative Elementarladung. Da man weiß, dass die Atome nach außen hin alle neutral sind, muss der Kern also so viele positive Ladungen enthalten wie Elektronen ihn umkreisen. In Bild 3 ist der Aufbau eines Kohlenstoffatoms und seines Kerns genauer dargestellt. Man erkennt, dass auch der Kern aus vielen Teilchen besteht und dass es davon zwei Arten gibt. Dies sind die positiv geladenen Protonen (p) und die neutralen, d. h. ungeladenen Neutronen (n).

Ein Kohlenstoffatom, das in der Hülle immer sechs negative Elektronen besitzt, hat im Kern also, damit es nach außen neutral ist, sechs Protonen. Die Zahl der Protonen im Kern (und damit auch der Elektronen in der Hülle) nennt man Kernladungszahl, mit »Z« abgekürzt. Die Zahl der Neutronen im Kern heißt Neutronenzahl »N«. Beide Teilchen im Kern, Neutronen und Protonen, haben etwa die gleiche Masse (d. h. sie sind etwa gleich »schwer«); die Masse der Hüllenelektronen ist dagegen sehr gering, sodass die Massenzahl »A« als Summe von Protonenzahl Z und Neutronenzahl N die Masse des Kerns und damit näherungsweise die Masse des Atoms angibt:

$$A = Z + N$$

Bei dem in Bild 3 gezeigten Kohlenstoffatom ist $Z = 6$ (gilt immer für Kohlenstoff!), $N = 6$ und somit ist $A = 12$, zur genauen Bezeichnung schreibt man daher ^{12}C (Kohlenstoff-12, C-12). In der Natur kommt aber auch ein anderes Kohlenstoffatom vor, bei dem der Kern 7 Neutronen enthält; dieses Atom hat also die Massenzahl $A = 6 + 7 = 13$, es handelt sich hier um ein Atom von ^{13}C (Kohlenstoff-13). Zur genauen Kennzeichnung eines Atoms muss man also neben dem Element (hier Kohlenstoff, chemisches Zei-

chen C) auch die Massenzahl angeben, in unserem Beispiel also 13, daher ^{13}C .

Chemisch unterscheiden sich die Atome von ^{12}C und ^{13}C nicht, da sie die gleiche Elektronenanzahl in der Hülle haben und diese, wie weiter oben angeführt, das chemische Verhalten bestimmen. Man spricht in diesem Zusammenhang von Isotopen, also Atomen mit gleichem chemischen Verhalten, aber unterschiedlichen Kernmassen und damit unterschiedlichen Atomkernen. Dem gegenüber ist beim Nuklid der Atomkern durch Angabe der Massenzahl genau festgelegt, also z. B. ^{13}C . Eine Übersicht über alle in der Natur vorkommenden oder künstlich herstellbaren Nuklide gibt die Nuklidkarte, deren Aufbau in Bild 4 skizziert ist.

In der Nuklidkarte werden alle Nuklide gemäß ihrer Protonen- und Neutronenzahl angeordnet: nach oben wächst die Protonenzahl Z jeweils um 1, nach rechts die Neutronenzahl N . Jedes Kästchen entspricht einem Nuklid, wobei Isotope, d. h. die Atome eines Elements, in einer waagerechten Reihe stehen.

In einer vollständigen Nuklidkarte [1] werden neben anderen Eigenschaften für die stabilen Nuklide, die schwarz dargestellt sind, die relativen Häufigkeiten des natürlichen Vorkommens angegeben, für instabile Nuklide (farbig hinterlegt) die Halbwertszeiten. Instabile Nuklide, Radionuklide genannt, sind solche, bei denen die Kombination der Anzahl der Protonen und Neutronen nicht zueinander »passt«; sie zerfallen unter Aussendung von Strahlung in andere Nuklide.

Der leichteste Kern ist ^1H , der leichte Wasserstoff, nur aus einem Proton bestehend. Der schwerste stabile Kern ist Wismut-209 (^{209}Bi), aus 83 Protonen und 126 Neutronen zusammenge-

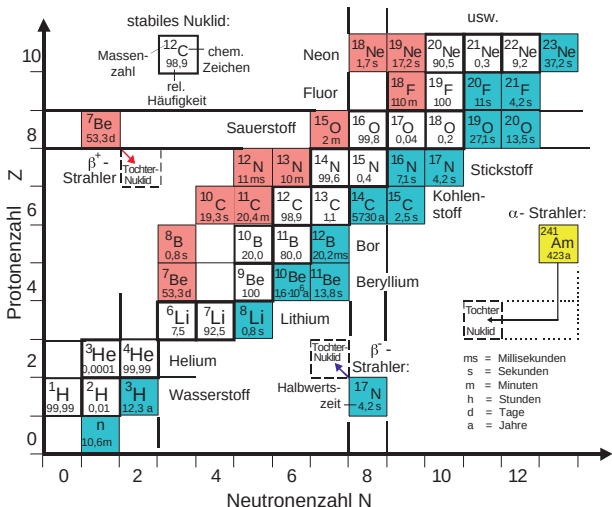


Bild 4: Auszug aus der Nuklidkarte. Gezeigt werden der Anfang mit den leichten Elementen und ein Teil der in der Originalkarte enthaltenen Informationen. Die fett eingerahmten Nuklide (mit Angabe der relativen Häufigkeiten in %) sind stabil, die übrigen (farblich hinterlegt) sind radioaktiv und werden daher Radionuklide genannt (bei diesen ist ihre Halbwertszeit angegeben).

setzt. Zurzeit sind etwa 2 700 Nuklide bekannt, die sich auf 114 verschiedene chemische Elemente verteilen. Davon sind nur 274 Nuklide stabil. Die instabilen, also radioaktiven Nuklide wandeln sich nach und nach in andere Nuklide um, und zwar so lange, bis ein stabiles Nuklid entstanden ist.

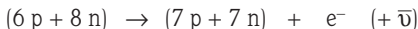
2.1.2 Radioaktivität und ionisierende Strahlung

Die Eigenschaft von Atomkernen, sich ohne äußere Einwirkung unter Aussendung von Strahlung in andere Kerne umzuwandeln, nennt man Radioaktivität. Da die dabei entstehende Strahlung die Bindung in Atomen und Molekülen zu zerstören vermag und dabei Ionen bildet, bezeichnet man sie als ionisierende Strahlung.

So ist beispielsweise ^{14}C , ein Kohlenstoffkern, der 8 Neutronen enthält, nicht stabil. Er zerfällt unter Aussendung von Betastrahlung (β -Strahlung) in Stickstoff-14, ^{14}N . Dabei wandelt sich im ^{14}C -Kern ein Neutron in ein Proton und ein Elektron um, was wie folgt geschrieben wird:



Für den Kern schreibt man wie folgt:



Das Elektron (e^{-}) wird dabei als β^{-} -Teilchen aus dem Kern ausgestoßen (siehe Bild 5). Das ebenfalls emittierte Neutrino ($\bar{\nu}$) wurde hier nur der Vollständigkeit halber angegeben; es spielt für den praktischen Strahlenschutz keine Rolle und wird im Weiteren daher vernachlässigt. Diese Art des Kernzerfalls nennt man Beta-Minus-Zerfall (β^{-} -Zerfall), da ein negativ geladenes Teilchen emittiert wird.

Enthält ein Atomkern jedoch zu wenig Neutronen (d. h. zu viele Protonen), so wandelt sich im Kern ein Proton in ein Neu-