

2. Grundlagenwissen zu Sprengstoffen

2.1 Was sind Sprengstoffe?

Wer sich mit Sprengstoffen beschäftigt, muss wissen:

Es gibt viele unterschiedliche Sprengstoffe, weil es viele unterschiedliche Anwendungen gibt.

Auch Terroristen und Kriminelle nutzen Sprengstoffe für ihre Zwecke. Dieses Buch stellt den Missbrauch in den Vordergrund. Dennoch stellt dieser Missbrauch nur einen Bruchteil aller Anwendungen dar, auch wenn anderslautende Meldungen, z. B. in den täglichen Medien, etwas anderes vermuten lassen.

Ob im Bergbau, egal ob über oder unter Tage, bei Abbruchunternehmen oder in der Kaltverformung bestimmter Metalle – ohne Sprengstoffe würden Teile unserer Wirtschaft stillstehen. Feuerwerke zu Sylvester, Bühneneffekte im Fernsehen oder Kino und nicht zuletzt der Airbag im Kraftfahrzeug – alle nutzen Sprengstoffe unterschiedlichster Art und Menge.

Auch die ursprüngliche Anwendung, nämlich zu militärischen Zwecken, ist in ihrer Vielfalt ungebrochen. Die physikalischen Grundsätze haben sich nicht verändert, seit Sprengstoffe ihre erste Erwähnung als **griechisches Feuer** durch Julius Africanus im Jahr 232 fanden oder der Vorläufer des Schwarzpulvers im Jahre 846 von Marcus Graecus in seinem Buch **liber ignium** beschrieben wurde. Weiterentwickelt haben sich nur die Methoden der Herstellung, die Leistungsfähigkeit und andere Parameter.

Sicherheitspersonal ist regelmäßig in der Gefahrenabwehr eingesetzt. Es muss daher die spezifischen physikalischen und chemischen Eigenschaften unterschiedlicher Sprengstoffe kennen. Nur dann kann es nämlich die Eignung für bestimmte Vorhaben einschätzen, Gefahren realistisch beurteilen und ohne Eigen- und Fremdgefährdung zweckmäßig reagieren. Aus diesem Grunde werden zunächst einige grundlegende Aussagen und Einstufungen zu Sprengstoffen getätigt. Aussagen die hier nur angerissen sind, werden im weiteren Verlauf des Buches detailliert dargestellt und erklärt.

Das SprengG unterscheidet zwischen Explosivstoffen und Sprengstoffen. Es beschreibt Sprengstoffe als zur Sprengung geeignete Explosivstoffe stellt also den (legalen) Verwendungszweck in den Vordergrund.

Explosivstoffe hingegen sind feste oder flüssige Stoffe (...), die durch eine nicht außergewöhnliche thermische, mechanische oder sonstige Beanspruchung zur Explosion gebracht werden können (...)

SprengG – Abschnitt I Allgemeine Vorschriften – § 1 Anwendungsbereich

Im Umfeld der Tätigkeit einer Sicherheitskraft ist diese Definition nicht zielführend. Daher wird im Weiteren als vorläufige Arbeitsgrundlage die nachfolgende Definition verwendet:

Sprengstoffe sind einheitliche chemische Verbindungen oder Gemenge unterschiedlicher Stoffe und können unter bestimmten Umständen explodieren.

Das bedeutet: Jeder Sprengstoff hat seine spezifische Stabilitätsschwelle. Wird ihm Energie unterhalb dieser Schwelle zugeführt (z. B. durch Wärme, Druck oder sonstige Beanspruchung), so geschieht gar nichts. Wird diese Schwelle aber überschritten, dann wird der Sprengstoff schlagartig seinen Aggregatzustand ändern. Er verwandelt sich in Gas, vergrößert dadurch sein Volumen binnen kürzester Zeit erheblich und wirkt durch den daraus resultierenden Druck und die entstehende Hitze zerstörerisch auf seine Umgebung.

Die Verwandlung in den gasförmigen Zustand vollzieht sich innerhalb weniger tausendstel Sekunden, die Volumenvergrößerung kann einen Faktor 10 000 betragen und kurzfristige Temperaturspitzen von bis zu 6 000 °C sind keine Ausnahme. Hinzu kommt bei vielen Sprengstoffen die Ausbildung einer Stosswellenfront. Es findet eine Detonation statt.

Die entstehenden Drücke können im Nahfeld einige 10 000 bar betragen. Sie verlieren allerdings mit zunehmender Entfernung schnell an Kraft und Energie.

Der auf weitere Entfernung unvermeidliche Splitterwurf aufgrund von Verdämmungen jeglicher Art wird in Kapitel 3.2 ausführlich beschrieben. Die meisten Verletzungen bei Anschlägen in Gebäuden werden durch Splitter, insbesondere Glassplitter, verursacht.

Beispiel:

Ein Kilogramm TNT hat ein Volumen von etwa 650 cm³, was dem Inhalt von zwei 0,33 l Flaschen Bier entspricht. Nach der Detonation ist ein Gasvolumen von 975 000 cm³ entstanden. Dieses entspricht etwa 2 950 Bierflaschen oder 145 Kästen mit je 20 Flaschen Inhalt. Die dabei entstehende Druckwelle breitet sich zunächst mit fast 7 000 m/sec aus und zerstört einfache Fensterscheiben noch in bis zu 70 Metern Entfernung.

Tatsächlich ist das entstandene Gasvolumen noch um einen Faktor 20 höher, da die entstehenden Gase auf etwa 6 000 Grad Celsius erhitzt werden und sich je Grad Erwärmung um $1/273$ ausdehnen.

2.2 Erscheinungsformen von Sprengstoffen

Sprengstoffe unterscheiden sich hinsichtlich vieler Kriterien. Einer dieser Unterschiede ist der Aggregatzustand. Üblicherweise treten Sprengstoffe in einem der nachfolgenden Zustände auf:

- fest (einschließlich pulverförmig, kristallin oder gekörnt)
- flüssig (einschließlich zähflüssig bis gelatinös)
- plastisch (vergleichbar mit Knete oder Marzipanmasse)

Das klassische Beispiel für feste Sprengstoffe ist das bereits erwähnte TNT, welches vor allem für militärische Anwendungen genutzt wird. TNT wird in unterschiedlichsten Formen, Gewichten und Volumina hergestellt. Ausschlaggebend ist allein die vorgesehene Verwendung.

Pulverförmige Sprengstoffe sind im Vergleich dazu meist weniger leistungsfähig, aber dafür auch im Alltag gebräuchlich. Wohl jeder hatte schon einmal mit Schwarzpulver zu tun.

Pyrotechnik, wie beispielsweise Sylvesterfeuerwerk gehört meistens in diese Kategorie.

Obwohl im Vergleich zu anderen Stoffen leistungsschwach, ist auch mit diesen Stoffen nicht zu spaßen, wie regelmäßig am Jahresanfang erscheinende Zeitungsmeldungen über abgerissene Finger, verlorenes Augenlicht und ähnliche Verletzungen zeigen.

Sogar Anschläge mit Schwarzpulver wurden in der Vergangenheit verübt. So zum Beispiel am 9. Juni 2004 in Köln durch bisher nicht ermittelte Täter. Ganz aktuell verbreitet die Terrororganisation al-Qaida der Arabischen Halbinsel (AQAP) über das Internet Bauanleitungen für pulverbasierte Sprengsätze in englischer Sprache und im modernen Layout einer Jugendzeitschrift. Sie ruft ihre Anhänger dazu auf, diese in Europa und den USA gegen weiche Ziele einzusetzen. Eine nicht zu unterschätzende Bedrohung und eine Herausforderung für alle behördlichen und zivilen Sicherheitskräfte.

Kristallin und in hohem Maße unberechenbar ist beispielsweise Triacetontriperoxid, besser bekannt unter dem Kürzel TATP. Dieser Sprengstoff wurde unter anderem bei den Anschlägen vom 7. Juli 2005 in London verwendet. Luftsicherheitskräften dagegen ist das Resultat der versuchten Anschläge vom 10. August 2006 auf Flugzeuge besser bekannt. Die darauf-

hin von der EU eingeführte Regelung limitiert die Flüssigkeitsmenge für das Handgepäck von Fluggästen und bildet seit Ende 2006 ein tägliches Ärgernis.

TATP wird aus drei relativ einfach zu beschaffenden Flüssigkeiten hergestellt. Tatsächlich geht die Gefahr aber von den getrockneten Kristallen aus, welche als Endprodukt aus dem Mix der Flüssigkeiten entstehen. Diese Kristalle sind hochempfindlich und detonieren bei geringster Energiezufuhr, beispielsweise durch Druck oder Reibung.

TATP wird häufig zu den Flüssigsprengstoffen gezählt, was aber streng genommen falsch ist.

Gekörnte Sprengstoffe basieren häufig auf Basis von **Ammoniumnitrat (AN)**, da dieser Stoff leicht und preiswert herzustellen ist und seine Lagerung auf Grund der geringen Empfindlichkeit unkritisch ist. Aus diesen Eigenschaften resultiert die ideale Eignung für Sprengungen im gewerblichen Bereich. Ein Nachteil ist, dass AN in Form von Düngemitteln relativ einfach zu beschaffen ist. In Verbindung mit brennbaren Flüssigkeiten wie Öl oder Benzin wird es zu einem leicht herstellbaren Sprengstoff. Terroristen in aller Welt benutzen ihn für Anschläge; vordringlich in Form von Autobomben, sogenannten **VBIED (Vehicle Born Improvised Explosive Device)**. Bei Mengen von mehreren hundert Kilogramm bis hin zu einigen Tonnen, sind die Wirkungen meistens verheerend.

Bekanntestes Beispiel ist der Anschlag auf das Murrah Federal Building in Oklahoma City vom 19. April 1995. In einem Fahrzeug wurden etwa 2400 kg AN in Verbindung mit einigen hundert Litern Nitromethan vor dem Gebäude gezündet. Der Anschlag tötete 168 Menschen und verletzte etwa 800 weitere.

Flüssige Sprengstoffe spielen in der terroristischen oder kriminellen Szene bisher keine nennenswerte Rolle. Entweder sind sie zu empfindlich, wie beispielsweise **Nitroglycerin (NG)**, und dadurch nicht sicher zu transportieren oder zu handhaben oder aber zu umständlich in der Zündung, wie bestimmte Sprengschlämme.

Ganz anders dagegen sieht es bei den plastischen oder formbaren Sprengstoffen aus. Wohl jeder hat schon einmal von **SEMTEX** oder **C-4** gehört, und sei es in einem mittelmäßigen amerikanischen Krimi. Diese Art von Sprengstoffen wurde ursprünglich für das Militär entwickelt. Und für diese Zwecke besitzen sie geradezu ideale Eigenschaften. Sie können gefahrlos transportiert werden, sind unempfindlich gegen Erschütterungen, Hitze und Kälte, und sie sind relativ einfach zu handhaben. Eine normale Sprengkapsel, wie sie später in diesem Kapitel vorgestellt wird, reicht für eine sichere Zündung.

Diese idealen Eigenschaften wecken leider auch terroristische oder kriminelle Begehrlichkeiten. Viele Terroranschläge in den letzten Jahrzehnten wurden mittels dieser Stoffe durchgeführt und kosteten viele Menschen das Leben.

Am 21. Dezember 1988 wurde eine Boeing 747 über dem schottischen Ort Lockerbie zerrissen. Ursache war ein Sprengsatz mit etwa 450 g SEMTEX, welcher in einem Radiorecorder verbaut war.

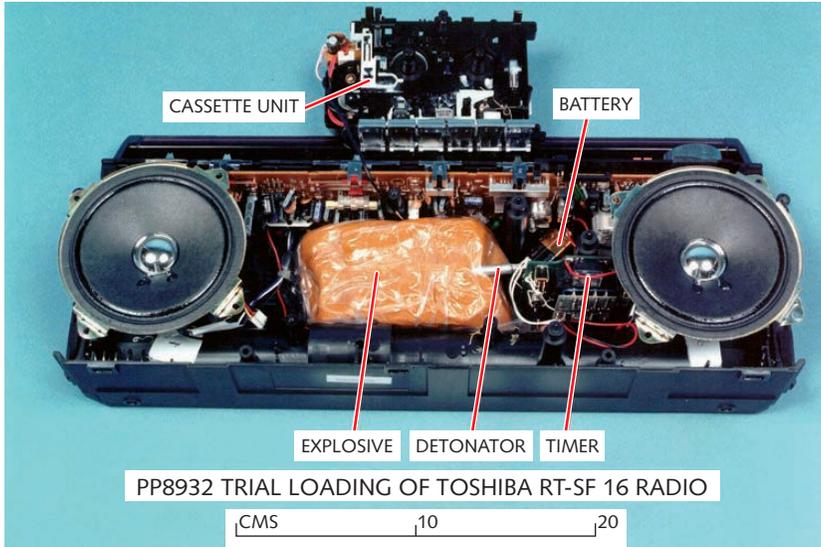


Bild 1: USBV vom Lockerbie-Anschlag

Es starben 270 Menschen. Dieser fürchterliche Anschlag führte in der Folge zu einer Weiterentwicklung der Detektion von Sprengstoffen und zu einem neuen Stellenwert von Luftsicherheit.

Bei der Aufzählung der möglichen Aggregatzustände fehlen gasförmige Sprengstoffe. Der Grund ist banal. Es gibt sie nicht. Und zwar per definitionem. Genauer gesagt, sieht sie das Sprengstoffgesetz nicht vor, da für Gase andere Vorschriften gelten. Dennoch können Gase explodieren. Ein Faktum, welches unter anderem durch den Terroranschlag in Djerba vom 11. April 2002 leider mit schrecklichen Folgen belegt ist.

Zum Erscheinungsbild gehört aber nicht nur der Aggregatzustand der jeweiligen Substanz, sondern gleichermaßen Farbe und Form. Sowohl von ihrem originären Erscheinungsbild als auch bei Hinzufügung von Farbstof-

fen können Sprengstoffe in allen Farben auftreten. Feste wie auch plastische Sprengstoffe können in (fast) alle Formen modelliert werden. Für Sicherheitskräfte ist vor allem Letzteres von Nachteil. Es erschwert beispielsweise den Monitorkräften am Flughafen die korrekte Interpretation von Röntgenbildern. Wie dieser Nachteil wenigstens teilweise ausgeglichen werden kann, wird in Kapitel 5.1 ausführlich beschrieben.

Die Literatur und die deutsche Sprengstoffgesetzgebung unterscheiden Sprengstoffe nach Herkunft und Verwendungszweck. Die **DIN 20163** beschreibt **militärische** und **gewerbliche** Sprengstoffe. In diesem Buch werden diese als **konventionelle Sprengstoffe** bezeichnet. Dementsprechend gibt es eine dritte Gruppe; die sogenannten **Selbstlaborate**, welche dann folgerichtig als **unkonventionelle Sprengstoffe** bezeichnet werden. Diese dürfen nicht mit dem Begriff Unkonventionelle Spreng- und Brandvorrichtungen (USBV) gleichgesetzt werden.

Für konventionelle, also für militärische wie auch für gewerbliche, Sprengstoffe gilt in der Regel, dass sie sowohl handhabungs- als auch transportsicher sind. Beide müssen in der Lagerung und Anwendung bestimmte thermische Belastungen (Hitze, Kälte) wie auch mechanische Einwirkungen (Erschütterungen, Beschuss) ertragen, ohne dadurch zur Wirkung zu kommen. Ein sicherer Sprengstoff darf nur dann umsetzen (explodieren), wenn der Anwender es bestimmt.

Weder möchte der Sprengmeister, dass der auf dem LKW gelagerte Sprengstoff (z.B. für eine Bauwerksprengung) durch die Erschütterung beim Überfahren der ersten Bodenwelle unplanmäßig explodiert noch der Soldat, dass der Sprengkopf einer Artilleriegranate allein schon durch die hohe Beschleunigung im Rohr ausgelöst wird. Beides wäre tödlich.

Selbstlaborate hingegen sind selbst hergestellte Sprengstoffe. Sie bestehen häufig aus frei verfügbaren oder leicht zu erwerbenden Grundstoffen und ihre Handhabungs- und Transportsicherheit ist zumindest zweifelhaft. Die Herstellung von Sprengstoffen ohne Genehmigung amtlicher Stellen ist selbstverständlich strafbar. Das hindert allerdings bestimmte Personen nicht, es dennoch zu tun. Das kann der 14-jährige Jugendliche sein, den es fasziniert, Nachbars Mülltonne in die Luft zu sprengen, aber auch der terroristische oder kriminelle Profi, um einen Anschlag zu verüben oder einen Tresor zu knacken.

Grundsätzlich kann jeder Sprengstoff selbst hergestellt werden. Es ist eine Frage der Erfahrung, des Könnens, der vorhandenen Laborausstattung und der Bereitschaft zur Inkaufnahme der vorzeitigen Beendigung des eige-

nen Lebens. Da hinreichende Laborausrüstungen meist nicht in erforderlichem Maße vorhanden sind, reduzieren sich Selbstlaborate häufig auf bestimmte Sprengstoffe. Diese erfüllen in vielen Fällen nicht die Sicherheitsanforderungen ihrer konventionellen Gegenstücke. Konkret bedeutet dies, dass eine unfreiwillige Zündung nie auszuschließen, oft sogar wahrscheinlich ist. Und das wiederum stellt eine erhebliche Gefahr für Leib und Leben des Herstellers dar. Tödliche Unfälle, gerade unter Jugendlichen kommen immer wieder vor. Hinzu kommt, dass Anleitungen zur Herstellung von Selbstlaboraten, welche im Internet kursieren, häufig fehlerhaft sind. Im günstigsten Fall ist der so erzeugte Sprengstoff unwirksam, im schlimmsten Fall ist er unberechenbar. Für professionelle Terroristen gilt das leider nur in eingeschränktem Maße. Diese erhalten ihre Ausbildung häufig in Trainingscamps in Krisen- und Kriegsgebieten, in virtuellen Trainingscamps im Internet oder über Ausbildungs-DVDs, welche allesamt eine hohe Qualität haben.

Neben den bereits genannten Punkten gibt es ein weiteres, gravierendes Merkmal, welches Sprengstoffe bestimmten Gruppen zuordnet. Die Empfindlichkeit oder der Aufwand, welcher für die Zündung betrieben werden muss.

Bei Sprengstoffen wird unterschieden zwischen solchen, die nur sehr geringe Energien zur Umsetzung benötigen (**Initial-** oder **Primärsprengstoffe**, vom Gesetz als Zündmittel definiert) und Sekundärsprengstoffen, die durch normale thermische oder mechanische Einwirkung nicht gezündet werden können. Viele, vor allem militärische Sprengstoffe, sind von ihren Grundsubstanzen ausgehend sehr empfindlich. Das heißt, sie besitzen nur eine niedrige Stabilitätsschwelle und können durch sehr geringe Energiezufuhr zur Umsetzung gebracht werden.

Damit sind sie zugleich nicht ausreichend handhabungs- und transport-sicher. Für den Nutzer wäre das unpraktisch und gefährlich. Diese Sprengstoffe können aber durch Zugabe bestimmter Stoffe (meist Wachse) unempfindlicher gemacht werden. Das jedem Menschen bekannte **Dynamit** ist ein klassisches Beispiel für diese Art von Phlegmatisierung: Aus dem extrem empfindlichen und handhabungsunsicheren Nitroglycerin wird durch Zumischung von Kieselgur oder Sägemehl das wesentlich sicherere Dynamit. Da Dynamit unter bestimmten Umständen aber Nitroglycerin absondern kann (und dadurch wieder sehr gefährlich wird), ist es in dieser Form heute nicht mehr gebräuchlich. Es gibt heute bessere, leistungsstärkere und vor allem sicherere Arten, gewerbliche Sprengstoffe herzustellen. Die gelatinösen Sprengstoffe gehören in diese Kategorie.

Zusammenfassend ergibt sich aus dem bisher geschriebenen folgendes Bild:

Sprengstoffe sind täterfreundlich. Ein geübter Täter kann sich für einen Anschlag diejenigen Hilfsmittel und Sprengstoffe zusammenstellen, welche für ihn den optimalen Effekt ergeben. Die notwendigen Sprengmittel kann er entweder selbst herstellen (zumindest innerhalb gewisser Grenzen) oder sich auf legalem oder illegalem Wege beschaffen. Wie in Kapitel 2.5 beschrieben wird, gilt diese Aussage mit Ausnahme des Zündmittels für alle anderen notwendigen Komponenten, um eine erfolgreiche Sprengung oder einen erfolgreichen Anschlag durchzuführen. Das Zündmittel stellt insofern ein Problem dar, da es einen Anteil an hochdetonativem und empfindlichem Initialsprengstoff beinhaltet.

Ein Terrorist wird für den Anschlag auf ein Luftfahrzeug eher einen plastischen Sprengstoff wie zum Beispiel SEMTEX oder C-4 benutzen, zur Zerstörung eines Gebäudes aber vermutlich ANFO in großer Menge. Erfahrungsgemäß bis zu mehreren hundert Kilogramm, verborgen im Kofferraum eines Kraftfahrzeugs. Gerade bei kleineren Sprengstoffmengen braucht er sich um Farbe und Form keine Gedanken zu machen. Ist die Sprengladung beispielsweise in einem Elektrogerät (zum Beispiel Radiorecorder) verbaut, so ist sie für die Sicherheitskraft eben optisch nicht wahrnehmbar. Im Röntgenbild hingegen spielt die Farbe keine Rolle. Eher schon die Form. Der Täter weiß um die Eigenheiten seines Sprengsatzes; die Sicherheitskraft nicht. Die Sicherheitskraft muss bei jedem Verdacht vom gefährlichsten möglichen Szenario ausgehen. Selbst, falls sich hinterher herausstellen sollte, dass die Vorrichtung gar nicht funktionsfähig war. Oder, um es mit den Worten eines Terroristen der nordirischen Terrororganisation PIRA zu sagen:

Eine Terrororganisation hat dann gewonnen, wenn sie auch nur einen Anschlag erfolgreich durchführt. Die Sicherheitsorgane dagegen müssen jeden Anschlag verhindern, um Erfolg zu haben.

Wie die Erfahrung gezeigt hat, nutzen Terroristen diese Überlegungen in zweierlei Hinsicht. Zum einen haben sie absolute Profis in ihren Reihen. Diese bauen funktionierende, schwer detektierbare und in ihrer Wirkung genau berechnete Sprengsätze. Diese Profis sind entweder selber tätig oder fungieren als Ausbilder. Ferner arbeiten Gruppen wie beispielsweise die AQAP nach dem Gesetz der großen Zahl. Über Internetpublikationen werden einfach zu verwirklichende Bauanleitungen verbreitet. Die meisten Leser werden die Bauanleitung nicht ausprobieren; einige wenige schon.

Von diesen wiederum wird nur ein geringer Teil terroristische Ambitionen haben; einige wenige schon. Von diesen verbliebenen wird sich ein Teil als unfähig erweisen oder sich bei der Herstellung selber in die Luft sprengen. Der winzige Rest wird versuchen einen Anschlag erfolgreich durchzuführen. Im Klartext bedeutet dies, dass für die AQAP der Erfolg eine Funktion der Statistik ist. Je höher die Anzahl der Leser ist, desto wahrscheinlicher wird ein erfolgreich durchgeführter Anschlag.

Selbst Anschläge, welche aufgedeckt wurden oder bei denen die Sprengwirkung geringer war, als erwartet, sind aus Sicht der Täter häufig ein Erfolg. Sie verursachen Unruhe und Kosten. Diese stehen vielfach in keinerlei Verhältnis zu den Aufwendungen, welche der Terrorist tätigen musste. Hinzu kommt eine gewaltige psychologische Wirkung. Diese kann um ein Vielfaches größer sein als die tatsächlichen Auswirkungen eines erfolgreichen Anschlages.

Letztlich zeigen sie dem Terroristen die Handlungssicherheit und Reaktionsgeschwindigkeit der Sicherheitskräfte, helfen ihnen, eigene und gegnerische Schwachstellen zu entdecken und dienen damit als **proof of mission**.

2.3 Chemische und physikalische Abläufe bei einer Explosion

Fast jeder Leser wird schon einmal einen Silvesterknaller gezündet haben. Ein Großteil dieser Gruppe wird auch schon mal einen solchen aufgewickelt und das so gewonnene Pulver angezündet haben. Der Unterschied ist enorm. Im ersteren Falle knallt es mehr oder minder kräftig, im zweiten Fall brennt das Pulver lediglich mit heller Flamme ab. Die maximale Geräuschentwicklung ist allenfalls ein Zischen. Worin liegt der Unterschied? In beiden Fällen wurde Schwarzpulver (oder doch zumindest ein schwarzpulverähnliches Pulver) angezündet.

Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, haben Explosionen etwas mit der Veränderung des Aggregatzustandes und der Umwandlung in ein Gas zu tun. Haben sie auch, aber eben nicht nur. Eine (chemische) Explosion in ihrer einfachsten Form, ist zunächst nichts anderes, als eine sehr schnell ablaufende Verbrennung. Bei dieser wird Energie freigesetzt, zum Beispiel in der Form von Hitze. Auch ein Baumstamm gibt Hitze ab, wenn er verbrennt. Wie der offene Kamin zeigt, ist das Ergebnis eher romantischer statt zerstörerischer Art. Worin liegt also der Unterschied?

An der im Sprengstoff verfügbaren Energie liegt er jedenfalls nicht. Dies zeigt ein kleines anschauliches Beispiel:

Ein Kilogramm Petroleum setzt bei seiner Verbrennung etwa 50 400 kJ frei. Ein Kilogramm Nitroglycerin nur etwa 6 300 kJ; also ein Achtel. Dennoch besitzt das Nitroglycerin eine ungleich zerstörerische Wirkung. Was ist der Grund?

Das Eingangsbeispiel Schwarzpulver zeigt, dass der gleiche Stoff auf sehr unterschiedliche Art reagieren kann. Der Baumstamm im Übrigen, zu ganz feinem Sägemehl verarbeitet, ist unter Umständen auch explosionsfähig. Jede Holzmühle kennt das Problem. Explosionen haben also offenkundig etwas damit zu tun, dass ein brennbarer Stoff vorhanden ist. Eine Verbrennung ist wiederum nichts anderes, als die Reaktion eben dieses Stoffes mit Sauerstoff. Die Luft, die wir atmen, enthält Sauerstoff. Der brennende Baum nutzt diesen, ebenso das Schwarzpulver. Der vorrangige Unterschied von beiden ist, dass die Sauerstoffreaktion (Oxidation) beim Baum länger dauert, als beim offen hingeschütteten Schwarzpulver. Energie, in Form von Licht und Wärme, wird in beiden Fällen freigesetzt. Beim Silvesterknaller befindet sich das Schwarzpulver in einer Papphülle. Es ist eingeschlossen oder verdämmt. Auch hier reagiert das Schwarzpulver mit Sauerstoff. Allerdings nicht mit dem Luftsauerstoff, denn auf diesen kann das Schwarzpulver aufgrund des Einschlusses nicht zugreifen. Der Sauerstoff befindet sich daher im Schwarzpulver selbst.

Er ist in einem der drei Bestandteile chemisch gebunden. In diesem Falle im Kalisalpeter, welches mit 75 % neben 10 % Schwefel und 15 % Holzkohle, den Hauptbestandteil darstellt. Die Holzkohle verbrennt unter Nutzung des gebundenen Sauerstoffs. Das Schwarzpulver verwandelt sich dabei in Gas und gibt Wärme frei. Ein Kilogramm Schwarzpulver ergibt etwa 350 l Gas. Dieses Gas drückt gegen die Papphülle (und eine innere Umhüllung aus Ton) und versucht nach außen zu entweichen. Sobald der Ton und die Papphülle dem Druck nicht mehr gewachsen sind, zerreißen sie und ihre Fetzen fliegen durch die Gegend. Zu sehen ist ein Lichtblitz und zu hören ein lauter Knall.

Für die menschlichen Sinne geschieht dies sehr schnell. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Druckwelle beträgt in diesem Fall zu Anfang etwa 400–600 m/s. Da sie sich mit zunehmender Entfernung verläuft und rapide an Energie verliert, nehmen sowohl Druck als auch Geschwindigkeit, sehr schnell ab. Explodiert der Silvesterknaller in der Hand, so wird das böse Folgen für den unvorsichtigen Nutzer haben. Aus zwei Metern Entfernung ist nur noch ein lauter Knall zu hören und ein typischer Geruch liegt in der Luft. Es ist der Geruch der entstandenen Reaktionsprodukte. Diese Gase werden als **Schwaden** oder Sprengschwaden bezeichnet.