



# PRAXISLEITFADEN „VERNICHTUNG KONVENTIONELLER MUNITION“

# INHALTSVERZEICHNIS

I.	EINLEITUNG	161
	1. Ziele	161
	2. Anwendungsbereich	161
	3. Allgemeiner Prozess für Demilitarisierungsaktivitäten	161
	4. Umweltfolgen	163
	5. Ökonomie der Demilitarisierung	163
	6. Überwachung des Demilitarisierungsprozesses	163
	7. Zerstörungsprozess	164
II.	ABLAGERUNG DER MUNITION	164
	1. Versenken im Meer	164
	2. Ablagerung auf Deponien	164
III.	ABBRAND IM FREIEN/SPRENGUNG IM FREIEN	165
	1. Sprengung im Freien	165
	2. Abbrand im Freien	166
IV.	ABBRAND IN GESCHLOSSENER ANLAGE	167
	1. Drehofen	167
	2. Wirbelschichtverbrennungsofen	168
	3. Herdwagenofen	168
	4. Heißgas-Dekontaminierungsanlage	169
	5. Geschlossene oder kontrollierte Sprengkammer	169
V.	WEITERE VERFAHREN ZUR MUNITIONSENTSORGUNG	170
	1. Zerlegung	170
	2. Mechanische Zerkleinerung	171
	3. Kryogene Zerkleinerung	172
VI.	TRENNVERFAHREN	173
	1. Ausschmelztechniken	173
	2. Auswaschung mit Wasserstrahl	174
	3. Auswaschung mit Lösungsmittel	174
VII.	EXPERIMENTELLE UMWANDLUNGSTECHNIKEN	175
	1. Überkritische Nassoxydation	175
	2. Plasmabogen-Pyrolyse	175
	3. Elektrochemische Oxidation	176
	4. Biologischer Abbau	176
VIII.	DISKUSSION	177
IX.	SCHLUSSFOLGERUNGEN	179
X.	LISTE DER ABKÜRZUNGEN	179
XI.	QUELLENVERZEICHNIS	180

Dieser Leitfaden wurde von der Regierung der Niederlande erstellt.

FSC.DEL/59/08/Rev.1

2. Juni 2008

# I. Einleitung

Wie im *OSZE-Dokument über Lagerbestände konventioneller Munition (FSC.DOC/1/03)* vom 19. November 2003 festgestellt, sind mit dem Vorhandensein von Munition immer gewisse Risiken für die Sicherheit des Menschen verbunden. Die endgültige Lösung dieses Problems liegt in der Vernichtung der gesamten überschüssigen Munition. In diesem Dokument werden die bewährtesten Methoden zur Vernichtung konventioneller Munition besprochen.

## 1. Ziele

Ziel dieses Praxishandbuchs ist es, Anleitungen für die wirksame Zerstörung von überschüssiger Munition zu geben, die etwa nach Konflikten oder infolge der Umstrukturierung der Streitkräfte im Zuge der Verteidigungsreform anfällt. Es ist davon auszugehen, dass dieser Leitfaden zur Entwicklung und Anwendung hoher gemeinsamer Standards in diesem Bereich beitragen und sie erleichtern wird. Für die Empfehlung, Planung und Durchführung konkreter Zerstörungsprojekte sollten ergänzende ausführlichere Leitlinien jeweils im Rahmen der nationalen Vorschriften und Verfahren ausgearbeitet werden. Bei diesen zusätzlichen Leitlinien könnten die jeweils verfügbaren bewährtesten Vorgehensweisen berücksichtigt werden.

## 2. Anwendungsbereich

Der vorliegende Praxisleitfaden beschränkt sich auf die Vernichtung von konventioneller Munition. Die Neutralisierung von Kernwaffen sowie von chemischen und biologischen Waffen wird nicht behandelt; allerdings wird mehrmals auf chemische Munition Bezug genommen. Nicht behandelt werden ferner die Zerstörung von UXO (nicht zur Wirkung gelangte Kampfmittel) und Fundmunition von Schießplätzen.

Die verfügbaren physischen Zerstörungstechniken reichen von Abbrand und Sprengung im Freien bis zu hochentwickelten Industrieprozessen.

Im vorliegenden Dokument werden für jedes Verfahren die Vor- und Nachteile besprochen. Welche Zerstörungstechniken für ein bestimmtes Gebiet die geeignetsten sind, wird in erster Linie von folgenden Faktoren abhängen:

- (i) den im betreffenden Gebiet verfügbaren Ressourcen
- (ii) dem technischen Zustand der Lagerbestände, d. h. ob die Munition transportsicher ist
- (iii) der Menge der Munition und Explosivstoffe im Sinne des mengenabhängigen Kostenvorteils
- (iv) den nationalen Kapazitäten
- (v) den innerstaatlichen Rechtsvorschriften betreffend die Sicherung von Explosivstoffen bzw. dem Umweltrecht

Im Allgemeinen ist der Kostenvorteil umso größer und steht auch eine größere Zahl wirtschaftlich vertretbarer und wirksamer Verfahren zur Verfügung, je mehr Munition zur Zerstörung gelangt.

## 3. Allgemeiner Prozess für Demilitarisierungsaktivitäten

Der Prozess der Entwicklung eines Plans für ein Demilitarisierungsprojekt beginnt bei der Munition und verlangt Antworten auf folgende grundlegende Fragen:

### 3.1. Kann die Munition gefahrlos transportiert werden?

Wenn nicht, dann eignet sich die Munition nicht für eine andere Demilitarisierung als die kontrollierte Sprengung vor Ort.

**3.2 Kann die Munition international transportiert werden im Einklang mit den Empfehlungen der Vereinten Nationen über die Beförderung gefährlicher Güter und den damit verbundenen Erfordernissen der einzelnen Verkehrsarten wie den Regelungen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter mit der Eisenbahn (RID) bzw. auf der Straße (ADR) und dem Internationalen Code für die Beförderung gefährlicher Güter mit Seeschiffen (IMDG-Code)?**

Um den grundlegenden Anforderungen für die internationale grenzüberschreitende Beförderung zu entsprechen, muss Munition als gefährliches Gut der Klasse 1 und die Verpackung als typgeprüft (type-tested) und als im Einklang mit den Vorschriften der Vereinten Nationen stehend genehmigt sein. Diesen zeitraubenden und potenziell kostspieligen Prozess für Munition zu durchlaufen, die entsorgt werden soll, wäre im Normalfall nur für große Mengen sinnvoll [1].

**3.3 Wie hoch ist der Anteil der Transportkosten?**

Für die Zwecke der Budgeterstellung sollte der grenzüberschreitende Transport mit 30 % bis 40 % der veranschlagten Gesamtkosten der Demilitarisierung angesetzt werden.

**3.4 Welche Mengen an Munition (aufgeschlüsselt nach Art) sind vorhanden?**

Die Menge der zu demilitarisierenden Munition ist ein entscheidender Faktor, wenn Budgetzwänge von ausschlaggebender Bedeutung sind. Sofern die Eignerorganisation nicht schon Zugang zu einer bestehenden Demilitarisierungseinrichtung hat, in der die erforderliche Infrastruktur, technische Ausrüstung und das entsprechende Fachpersonal verfügbar sind, werden die Stückkosten unverhältnismäßig hoch sein. Die Antwort auf diese Frage muss im Zusammenhang mit der Antwort auf die unter 3.2 gestellte Frage überlegt werden.

**3.5 Sind genügend technische Informationen vorhanden?**

Die Bedeutung dieser Anforderung zeigt sich am besten an folgendem Beispiel: Ein Demilitarisierungsprojekt bezieht sich auf mit Sprengstoff befüllte Geschosse. Zur Demilitarisierung dieser Geschosse stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Das bevorzugte Verfahren ist das Ausschmelzen der Explosivstofffüllung mit heißem Wasser (über 81° Celsius) für späteres Recycling in der Produktion handelsüblicher Sprengstoffe. Dies ist die beste Option für die Wiederverwendung und Verwertung und verursacht die geringste Umweltbelastung. So einfach ist die Sache jedoch nicht. Von den möglichen Explosivstofffüllungen hat nur TNT einen niedrigen Schmelzpunkt. Die am häufigsten vorkommende Alternativfüllung ist RDX, das unter 205,5° Celsius nicht geschmolzen werden kann. Gleichzeitig werden dem TNT aus verschiedenen verfahrenstechnischen Gründen Zuschlagstoffe wie RDX, Wachs und Aluminium beige-mischt. Es hat noch immer einen niedrigen Schmelzpunkt, und die Geschosse können durch Eingießen der Schmelze relativ einfach befüllt werden. Es kann auch geschmolzen und entfernt werden, aber von jedem rekristallisierten RDX geht eine erhebliche potenzielle Gefahr aus. Der Zusatz von fein gepulvertem Aluminium erschwert das Problem weiter. Diese Art von technischer Information ist unerlässlich, um festzustellen, welches Demilitarisierungsverfahren die beste Lösung darstellt. In dem hier angeführten Beispiel kann ohne Angaben über die Explosivstofffüllung nicht entschieden werden, welches das am besten geeignete Demilitarisierungsverfahren ist, was dazu führen kann, dass ein potenziell gefährlicher Prozess gewählt wird.

### **3.6 Erfolgt die Auftragsvergabe durch Ausschreibung oder in Form der Vergabe an eine einzige Quelle?**

Im letzteren Fall kann eine unabhängige Kostenbeurteilung angezeigt sein.

### **3.7 Müssen zeitliche Vorgaben eingehalten werden?**

Es kann zeitliche Auflagen operativer, logistischer oder finanzieller Art geben, die durchaus Einfluss auf die Fristen für die Budgetierung und Finanzierung des Projekts haben können.

### **3.8 Sind Sicherheitsaspekte zu berücksichtigen?**

Mit zunehmendem Einsatz präzisionsgelenkter Kampfmittel und elektronischer Lenksysteme können Kampfmittel integrierte elektronische Daten vertraulicher Natur enthalten. Derartige Bauteile bedürfen der Sonderbehandlung und ihre Zerstörung muss verifiziert werden.

### **3.9 Sind Umweltauflagen zu beachten?**

Das Ziel der Munitionsentsorgung sollte es sein, Schäden für die Umwelt so gering wie möglich zu halten oder überhaupt auszuschließen. Solche Ziele sind jedoch nur mit großem Aufwand zu verwirklichen und könnten für geringe Mengen nicht gerechtfertigt oder überhaupt unerreichbar sein.

### **3.10 Bestehen Auflagen in Bezug auf die Wiederverwendung und Weiterverarbeitung von zurückgewonnenem Material?**

Innerstaatliche Rechtsvorschriften können gegebenenfalls die Wiederverwendung und Weiterverarbeitung von zurückgewonnenem Material, insbesondere von Explosiv- und Treibstoffen, verbieten oder einschränken.

## **4. Umweltfolgen**

Es existiert kein Verfahren zur Zerstörung von Munition und Explosivstoffen, das völlig unbedenklich für die Umwelt ist, doch müssen wo immer möglich Schritte zur Minimierung der Umweltfolgen für Luft, Boden und Wasser unternommen werden. Bei der Planung der Zerstörung müssen stets Maßnahmen zur Begrenzung der Umweltbelastung berücksichtigt werden. Das Einsammeln von Schrott und Rückständen kann mithelfen, die Auswirkungen auf die Umwelt auf ein Mindestmaß zu beschränken [2]. Konkrete örtliche Umweltvorschriften müssen berücksichtigt werden.

## **5. Ökonomie der Demilitarisierung**

Ein Kostenvergleich der verschiedenen Demilitarisierungsmethoden ist schwierig und kann irreführend sein, weil so viele Variablen wie Transport, Kapitaleinsatz, Arbeit, Energie, Abfallbeseitigung und der Wert des verwertbaren Materials in Betracht zu ziehen sind.

## **6. Überwachung des Demilitarisierungsprozesses**

Demilitarisierungsaktivitäten müssen während der gesamten Projektdauer überwacht und verifiziert werden. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die Arbeiten der Aufgabenstellung entsprechend im Einklang mit den vereinbarten Zeitplänen durchgeführt und die nötigen Aufzeichnungen korrekt geführt werden. Wo fristgerechte Zahlungen für fertige Ergebnisse getätigt werden, sollten die damit verbundenen Entsorgungsbestätigungen von der akkreditierten Validierungsbehörde gegengezeichnet werden. Das Ausmaß und die Häufigkeit der Validierung werden in der Regel von Umfang und Komplexität des Projekts bestimmt sein. Bei groß angelegten Projekten über lange Zeit hinweg ist es nicht unüblich, dass eine ständige Verifikationspräsenz vor Ort vorhanden ist.

## 7. Zerstörungsprozess

In diesem Dokument wird die von der OSZE in der oben angegebenen Referenz verwendete Klassifizierungsterminologie für Munition verwendet, nämlich:

- (i) Munition für Kleinwaffen und leichte Waffen (SALW)
- (ii) Munition für Hauptwaffensysteme und Großgerät (einschließlich Lenkflugkörpern)
- (iii) Raketen
- (iv) Landminen und andere Minenarten
- (v) andere konventionelle Munition, Sprengstoffe und Zündmittel

Welche Techniken zur Zerstörung der Munition verwendet werden, wird ferner auch von der zu zerstörenden Munitionsmenge sowie von den örtlich verfügbaren Technologien abhängen.

Das vorliegende Handbuch gibt eine Übersicht über die gebräuchlichsten Techniken. Beginnend mit der Ablagerung der Munition (Kapitel II) beschreibt das Buch die Entstehungsgeschichte bzw. die zeitliche Aufeinanderfolge der angewandten Techniken. Kapitel III ist dem

Abbrand und der Sprengung im Freien gewidmet, und Kapitel IV beschäftigt sich mit dem Abbrand und der Sprengung von Munition in geschlossenen Anlagen. In Kapitel V werden die notwendigen Zerlegungstechniken erörtert, und Kapitel VI behandelt die Trennung der Explosivstoffe von den metallischen Teilen. Dieses Handbuch befasst sich im Wesentlichen mit der Zerstörung von Munition, doch kann auch die Wiederverwendung und die Wiederverwertung von Material ein wichtiger in Kapitel VI zu berücksichtigender Faktor sein.

In Kapitel VII wird auf Verfahren zur Zerstörung der aus Munition stammenden chemischen Stoffe eingegangen, die im Verbrennungsprozess Probleme verursachen können.

Kapitel VIII befasst sich mit den Bedingungen, die für die verschiedenen Verfahren sprechen, und enthält eine Tabelle der geeignetsten Methoden. Kapitel IX schließlich fasst die wichtigsten Schlussfolgerungen zu allen Methoden zusammen, die zur Zerstörung von Munition angewendet werden können.

## II. Ablagerung der Munition

### 1. Versenken im Meer

Für die Länder, die die verschiedenen Vereinbarungen und Übereinkommen ratifiziert haben, ist das Versenken von Munition im Meer gesetzlich verboten. (Übereinkommen von London 1972 und Protokoll von 1996 [3], OSPAR-Übereinkommen vom 22. September 1992 [4]). Die meisten westeuropäischen Staaten haben diese Übereinkünfte unterzeichnet.

Außerdem kann das Versenken zu unerwünschten Situationen führen, da die Regierungen keine Kontrolle mehr über die Munition ausüben.

### 2. Ablagerung auf Deponien

Wenn Munition in Seen versenkt oder auf Deponien abgelagert wird, kommt es über einen langen und unabsehbaren Zeitraum hinweg zu einer Umweltbelastung durch die aus der Munition entweichenden toxischen Chemikalien. Viele in Munition verwendete Kompo-

nenen schädigen die Umwelt. Zu diesen Komponenten zählen Schwermetalle (z. B. Blei, Antimon, Zink, Kupfer), Explosivstoffe (z. B. 2,4,6-Trinitrotoluol (TNT), Nitroglyzerin (NG) und RDX) und Bestandteile von Treibstoffen (z. B. Dinitrotoluol (DNT), Diphenylamin (DPA) und Dibutylphthalat (DBP)). Bestandteile pyrotechnischer Stoffe wie Hexachloroethan und Barium-/Strontiumsalze in Leuchtspurnmunition und Leuchtsätzen belasten ebenfalls die Umwelt.

Angesichts des unkontrollierten Versickerns, vor allem in das Grundwasser, der aus der abgelagerten Munition entweichenden toxischen Chemikalien werden große Gebiete kontaminiert, etwa auch das Trinkwasser für die Bevölkerung in diesen Gebieten.

## III. Abbrand im Freien/Sprengung im Freien

### 1. Sprengung im Freien

Die Zerstörung von Munition durch Sprengung im Freien (OD) und Abbrand im Freien (OB) wird noch immer häufig verwendet und wird als OBOD bezeichnet.

Bei der Sprengung im Freien wird die Munition aufgestapelt und durch gekoppelte Detonation unter Verwendung von Hohlladungen gebrauchsfähiger Explosivstoffe zerstört. Das wird durch die Explosion von Sprengladungen in engem Kontakt mit der dicht an dicht gestapelten Munition erreicht. Diese Methode ist daher nur für Munition mit einem relativ hohen Explosivstoff/Gewicht-Verhältnis geeignet.



Abbildung 3.1: Zur Zerstörung ausgelegte Artilleriegranaten und Panzerabwehrminen

Aufgrund der durch die Hohlladungen ausgelösten Detonationsstoßwelle wird die Munition gesprengt. Der Vorteil der Sprengung im Freien ist die von ihr gebotene Möglichkeit, große Mengen von Munition wirksam zu zerstören. Der Sprengplatz muss sich auf ein ausreichend großes Gebiet erstrecken, um zu gewährleisten, dass die Auswirkungen der Druckwelle, der Lärmentwicklung sowie die Splitterwirkung auf den Sprengbereich begrenzt bleiben. Die meisten Sprengplätze außerhalb von Gefechtsgebieten sind in der Regel relativ klein. Die Sprengung im Freien ermöglicht auch die Zerstörung von Munition ohne spezielle Ausrüstung. Die Nachteile der Sprengung im Freien sind folgende:

- Gefahr der unkontrollierten Kontamination des Bodens, des (Grund-)Wassers und der Luft [5]
- Risiken in Verbindung mit der Stoßwelle und Splittern
- die Gefahr, dass möglicherweise nicht die gesamten Munitionsartikel sachgerecht zerstört werden und dass nicht explodierte Kampfmittel in der unmittelbaren Umgebung verbleiben
- Abhängigkeit von den Tageslichtstunden und geeigneten Witterungsverhältnissen

Zur Verhinderung einer möglichen unkontrollierten Migration von Schadstoffen muss die Sprengung im Freien bevorzugt an Standorten durchgeführt werden, an denen nicht die Gefahr besteht, dass versickernde Schadstoffe das Grundwasser erreichen.

Die Druckwelle und Splitter können verringert werden, indem die zu sprengende Gesamtmenge pro Charge begrenzt oder der Sprengplatz in geeigneter Weise abgeschirmt wird. Diese zusätzlichen Sicherheitsmaßnahmen sind abhängig von gefährdeter Infrastruktur in der Umgebung.

Aufgrund der unkontrollierbaren Umweltbelastung ist die Sprengung großer Munitionslagerbestände im Freien in den meisten westeuropäischen Ländern verboten.

Bei der Sprengung im Freien sollte das EOD-Personal Schutzausrüstung tragen, um keiner Schadstoffbelastung ausgesetzt zu werden [6]. Diese Ausrüstung kann aus einem einfachen Haut- und Atemschutz sowie aus (Einweg-)Schutzanzügen, Handschuhen und Staubmasken bestehen.

## 2. Abbrand im Freien

Der Abbrand im Freien wird hauptsächlich zur Vernichtung überschüssiger (loser) Treibstoffe und pyrotechnischer Sätze eingesetzt. Auch unverpackte (lose) Explosivstoffe können mittels dieses Verfahrens zerstört werden, möglichst in kleinen Mengen, da die Gefahr besteht, dass brennende Explosiv- und Treibstoffe eine volle Detonation auslösen.

Der Abbrand im Freien von Munition, die Rauch-, Leucht- und Farb- oder Reizmittel enthält, ist in den USA und vielen anderen Ländern aufgrund der während des Abbrands im Freien entstehenden hohen Konzentrationen gefährlicher Substanzen verboten [7].

Der Abbrand im Freien wird in der Regel auf eigens hergestellten Strukturen wie Betonplatten oder in Metallwannen vorgenommen, um den Kontakt mit dem Boden sowie das Versickern in das Grundwasser zu verhindern. Offene Verbrennungswannen sollten aus einem Material gefertigt werden, das dem Verbrennungsprozess standhält, und sollten groß und tief genug sein, um die Rückstände der Behandlung aufzunehmen. Die Wannen können leicht erhöht aufgestellt werden, um eine bessere Kühlung sowie Inspektionen auf undichte Stellen zu ermöglichen. Die Wannen sollten abgedeckt werden, wenn sie nicht in Gebrauch sind [8].



Abbildung 3.2: Zum Abbrand im Freien vorbereitete Säcke mit Treibstoffen

Abschließend wird festgestellt, dass der Einsatz des Abbrands und der Sprengung im Freien auf Standorte beschränkt werden sollte, an denen keine Gefahr des Versickerns ins Grundwasser gegeben ist. Wenn mit Versickern (OB) gerechnet werden muss, ist die Verwendung einer wasserdichten Konstruktion wie Beton- oder Metallwannen zwingend erforderlich. Das bei der Zerstörung eingesetzte Personal sollte mit entsprechender Schutzausrüstung wie (Einweg-)Schutzbekleidung und Atemschutz ausgestattet werden.



## IV. Abbrand in geschlossener Anlage

### 1. Drehofen

Der Drehofen erlaubt die kontrollierte thermische Zerstörung von Munition oder Explosivstoffen in einem vorgegebenen Zeitrahmen sowie die Behandlung der Abgase.

Der am häufigsten für die Zerstörung von Munition verwendete Verbrennungs-ofen ist der Drehofen.



Abbildung 4.1: Außenansicht eines Drehofens  
 (Copyright NAMSA)

Die Munition wird über einen Fülltrichter (links) zugeführt, der die Munitionsmenge (aus einem getrennten Raum) pro Zeiteinheit in die Verbrennungsanlage einbringt. Das ist eine wichtige Sicherheitsfrage, die eine zu hohe Munitionskonzentration im Ofen verhindert. Die Munition reagiert auf die hohe Temperatur im Ofen, die durch Brenner am Ende des Ofens erreicht wird. Die Brenner können mit Gas oder Öl befeuert werden. Der Verbrennungsofen ist eine dickwandige rotierende zylindrische Stahltrommel mit einem innen angebrachten Schneckenförderer. Durch die kontrollierte Drehgeschwindigkeit bewegt sich die Munition durch die erhitzte Trommel. Da verschiedene Arten von Muni-

tion unterschiedliche Verweilzeiten benötigen, muss die Drehgeschwindigkeit des Ofens entsprechend angepasst werden. Bei einer bestimmten Verweildauer zünden die Explosivstoffe. Die Reaktionsprodukte werden mit zugeführter Luft vermischt, damit sie in der (hinter dem Brenner angeordneten) Nachbrennkammer vollständig verbrennen können. Die festen Reaktionsprodukte werden vom Ascheabscheider, den Zyklonen und Filtern, bei denen es sich um Schlauch- oder Keramikfilter handeln kann, gesammelt. Die gasförmigen Produkte werden einem Wasch- und Entstickungsvorgang unterzogen. Die Behandlung in der Denox-Anlage ist bei der Verbrennung von Explosivstoffen wie TNT aufgrund der entstehenden hohen NO<sub>x</sub>-Konzentrationen von besonderer Bedeutung. Dank dieser Vorgänge entsprechen die emittierten Abgase den strengen Auflagen der nationalen Umweltbehörden [9].

Abhängig von ihrer Größe und Leistungsfähigkeit können Drehöfen für die Verbrennung loser Explosiv- und Treibstoffe, kleinkalibriger Munition (bis zu 20.000 Schuss pro Stunde) sowie von Zündern, Sprengkapseln und anderen Zündvorrichtungen eingesetzt werden, vor allem wenn es sich um große Mengen handelt. Groß- und mittelkalibrige Munition sollte gegebenenfalls einer Vorbehandlung unterzogen werden, um die explosive Füllung freizulegen. Geeignete Vorbehandlungsmethoden werden in späteren Kapiteln erörtert.

Drehöfen werden in den USA, Deutschland, Frankreich, Italien, dem Vereinigten Königreich, Albanien und der Ukraine sehr häufig auf kommerzieller Basis eingesetzt. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich der Drehofen ganz besonders für die Zerstörung verschiedenster Munitionsarten und Demilitarisierung eignet.

In Bosnien setzt das UNDP ein containerisiertes mobiles Munitionszerstörungssystem (TADS) ein. Dieses System kann zu einem Viertel der Kosten eines vollwertigen Drehofens an jeden beliebigen Standort gebracht werden. Derartige mobile Systeme können zur Zerstörung von kleinkalibriger Munition bis zu erheblichen Mengen eingesetzt werden.



Abbildung 4.2: Das von UNDP in Bosnien eingesetzte containerisierte Munitionszerstörungssystem

## 2. Wirbelschichtverbrennungsofen

Die explosiven Abfälle werden als nicht explosibler Schlamm [10] in den Herd (roter Bereich) eingebracht. Im Herd befinden sich Sandpartikel (hauptsächlich Siliziumdioxid) von genau definierter Korngröße. Durch den Heißluftstrom beginnen die Sandpartikel zu schweben und sich wie eine Flüssigkeit zu verhalten. Das ist ein sehr sicheres Konzept zur Verbrennung von explosiven Abfällen.

Der Wirbelschichtofen kann in jeder Größe ausgeführt werden. Abbildung 4.4 zeigt eine große Industrieanlage. Für die Verbrennung von explosiven Abfällen genügen kleine Anlagen mit einem Durchmesser von 0,5 Metern.

Der größte Vorteil der Wirbelschichtverbrennung ist ihr geringer Energieverbrauch. Dadurch kann die vom Ofen abgegebene überschüssige Wärme zum Aufheizen einer getrennten Kammer/Ofen für die Wärmebehandlung kleiner Mengen von Munitionsteilen mittlerer Größe verwendet werden (siehe auch Abb. 4.4 Herdwagenofen).

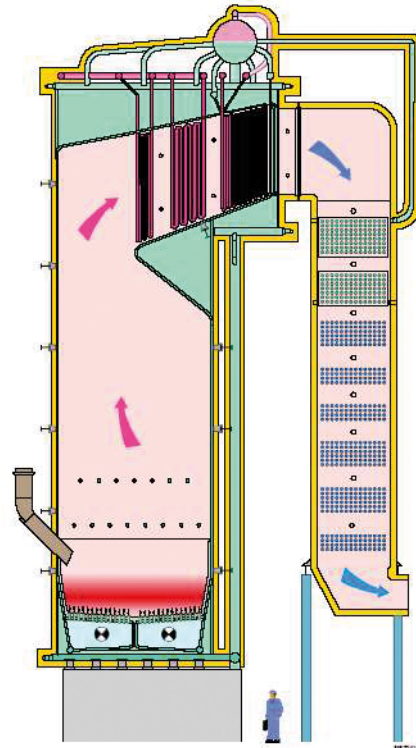


Abbildung 4.3: Wirbelschichtverbrennungsofen

Der Wirbelschichtverbrennungsofen dient speziell der Zerstörung von losen Explosiv- und Treibstoffen in Form von Schlamm bestehend aus energetischem Material und Wasser.

Die Entsorgung pyrotechnischer Sätze durch Wirbelschichtverbrennung ist nicht immer möglich, da dabei Produkte entstehen, die mit den Sandpartikeln des Wirbelschichtofens reagieren. Dadurch können sich Klumpen bilden, die das reibungslose Funktionieren der Wirbelschicht behindern.

## 3. Herdwagenofen

Dieser Typ von Verbrennungsofen wird für die Wärmebehandlung von kleinkalibriger Munition (Teile) wie Zündvorrichtungen, Zündkapseln und Zünder verwendet. Meist wird der Ofen für die Behandlung kleiner

Mengen eingesetzt; große Mengen dieser Artikel können im Drehofen behandelt werden. Der Herdwagenofen wird auch zur Wärmebehandlung von mit geringen Sprengstoffmengen verunreinigtem Metallschrott verwendet. In der Praxis wird der Ofen in Verbindung mit anderen Anlagen eingesetzt, etwa in Kombination mit einem anderen Ofen. Die zum Aufheizen des Ofens erforderliche Wärme stammt aus der vom großen Ofen abgegebenen überschüssigen Wärme.



Abbildung 4.4: Der Herdwagenofen mit halb geöffneten Türen

Die Munition wird in den Wagen gelegt (der auf Schienen in den Ofen gerollt werden kann). Die Verweilzeit der Munition bzw. des Metallschrotts im Ofen beträgt in der Regel 30 Minuten. Die Abgase des Ofens können in das Schadstoffkontrollsystem (PCS) der nächstgelegenen Einrichtung (z. B. des Wirbelschichtofens) geleitet werden. Nach der Wärmebehandlung können die im Wagen verbliebenen Metallteile als sprengstofffrei (FFE) zertifiziert, verpackt und in die Altmetallindustrie transportiert werden.

#### 4. Heißgas-Dekontaminierungsanlage

Die Heißgas-Dekontaminierungsanlage (im Grunde eine vergrößerte Version des Herdwagenofens) kann dazu verwendet werden, Gegenstände, die Spuren von energetischem Material enthalten, in einen Zustand zu ver-

setzen, in dem die Gegenstände als frei von erheblichen Mengen an energetischem Material gelten können (Kapitel V). Die zu behandelnden Gegenstände werden in Körbe geladen, an Metallpaletten gebunden oder direkt an der Oberfläche eines speziell konstruierten Schienenwagens befestigt. Dieser Wagen wird dann in eine Dekontaminierungskammer geschoben, in der er mit der Kammer eine absolut dichte Einheit bildet. Es wird Heißluft zugeführt, die die Kammer für 1-2 Stunden auf einer konstanten Temperatur von 300° Celsius hält.



Abbildung 4.5: Heißgas-Dekontaminierungsanlage  
 Der auf Schienen laufende Wagen wird mit Metallkörben beladen, die ihrerseits mit vorbehandelter Munition gefüllt sind.

Diese Anlage eignet sich vor allem für die Reinigung großer Mengen von kontaminiertem Schrott.

### 5. Geschlossene oder kontrollierte Sprengkammer

Diese Art der Ausrüstung wird für die Zerstörung durch gekoppelte Detonation verwendet. Das Prinzip beruht auf der gekoppelten Detonation einer kleinen Sprengladung von Explosivstoffen, meist Plastiksprengstoff, in engem Kontakt mit der zu zerstörenden Munition. Die Kammer ist so ausgelegt, dass sie dem durch die detonierenden Sprengstoffe erzeugten Überdruck widersteht, der Gewalt benachbarter Detonationen jedoch nicht standhält. Die größtmögliche Ladung von Explosivstoffen, die gleichzeitig gesprengt werden können, hängt von Bauart und Größe der Sprengkammer ab.

Die Sprengkammer eignet sich ideal für die Beseitigung kleiner Mengen mittelgroßer Munition, einschließlich Handgranaten und Antipersonenminen. Munition von größerem Kaliber (> 105-mm-Patronen) muss gegebenenfalls vor ihrer Zerstörung in der Sprengkammer zerkleinert werden.

Um die Kontaminierung des Personals zu verhindern, müssen einfache Schutzvorkehrungen wie jene für den Abbrand und die Sprengung im Freien eingehalten werden.



Abbildung 4.6: Mobile Version einer Sprengkammer mit Erweiterung und Luftreinigungseinheit

## V. Weitere Verfahren zur Munitionsentsorgung

In Kapitel 4 wurden einige Verfahren zum Abbrand und zur Sprengung in geschlossenen Anlagen erörtert. Bei den meisten dieser Verfahren wird es zwingend notwendig sein, die Menge der Munition zu begrenzen oder die größtmögliche Wirkung der Munition zu mildern. Für größere Gegenstände wird es notwendig sein, die Munition zu zerlegen. Durch diese Zerlegung erhält man

- vollständige separate explosive Gegenstände, die für die anschließende Entsorgung geeignet sind, und
- explosive Gegenstände, die mechanisch zerkleinert werden müssen.

### 1. Zerlegung

Dieser Prozess kann möglicherweise in den Werken durchgeführt werden, die die Munition erzeugt haben. Bei der Zerlegung werden die Einzelkomponenten der Munition voneinander getrennt, manchmal mit derselben Ausrüstung, die auch für die Herstellung der Munition verwendet wird. Die Ausrüstung muss für den Zerlegungsvorgang angepasst und von qualifiziertem

Personal bedient werden. Der Prozess kann aus mehreren Arbeitsschritten bestehen.

- Die Zündvorrichtungen – Zündschnüre und Anzündler – werden aus der Patrone entfernt.
- Die Zünder werden aus den Geschossen entfernt.
- Die Zündladungen werden von den Zündern getrennt.
- Die Zünder und die Zünder im Mittelkern werden aus der Patrone entfernt.
- Die Treibstoffpatronen werden von den Geschossen getrennt und der Treibstoff wird entfernt.

Die Zerkleinerung erfolgt durch eine entsprechende Kombination von Ausrüstung und qualifiziertem Personal. Bei der mechanischen Zerlegung wird die Munition unter Einsatz mechanisch betriebener Systeme zerlegt. Im Gegensatz zur manuellen Zerlegung bietet das mechanische Zerlegen den Vorteil hoher Produktionsraten; es ist ein effizientes Arbeitssystem mit geringem Personalbedarf. Um allen Anforderungen der Zerkleinerung zu entsprechen, ist eine umfangreiche Ausrüstung erforderlich.



Abbildung 5.1: Manuelle Zerlegung von Antipersonenminen (Donezk, Ukraine)



Abbildung 5.2: Drehmaschine für das Aufschneiden eines 81-mm-Mörsers

## 2. Mechanische Zerkleinerung

Bei der Zerkleinerung auf mechanischem Wege kommen verschiedene Ausrüstungen wie Drehmaschinen und Sägen (insbesondere Bandsägen) bzw. Verfahren wie die Abrasiv-Wasserstrahlschneidtechnik zum Einsatz. Das Schneidwerkzeug dient zum Öffnen der Munition, zur Trennung des Zünders vom Geschoss, zur Trennung der Patronen von den Geschossen usw., ohne dass dazu die für die Zerlegungsmethode nötige Spezialausrüstung erforderlich ist. Allerdings ist die Anzahl des notwendigen Personals und die Menge der auf diese Weise zerstörbaren Munition vergleichbar mit jener des Zerlegungsprozesses.

Abgesehen von der Verwendung einer Drehmaschine kann das Zerkleinern durch Zersägen oder Zerschneiden der Munition in kleinere Teile erreicht werden, wenn entsprechende Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden. Diese Verfahren können auf der ganzen Welt eingesetzt werden. Bei der Anwendung dieser Techniken zur Zerlegung von Munition können gefährliche Situationen entstehen, da die meisten Explosivstofffüllungen empfindlich auf Reibung reagieren.

Diese Methode der Zerkleinerung kann gewählt werden, wenn die Sicherheit des Personals garantiert ist. Der Einsatz von ferngesteuerten Prozessen wird in den meisten Fällen ausreichen und aus Sicherheitsgründen zwingend erforderlich sein.

Die Munition kann auch mittels der Abrasiv-Hochdruck-Wasserstrahlschneidtechnik zerschnitten werden, wobei der Wasserdruck die Grenze von 2000 bar nicht überschreiten darf. Der typische Betriebsdruck liegt bei 200 bar.

Diese Technologie stammt aus der Offshore-Erdölindustrie, wo sie zum Aufschneiden von Pipelines oder offenen Lagertanks verwendet wurde, die Kohlenwasserstoffdämpfe enthielten.

Der Vorteil der Abrasiv-Wasserstrahlschneidtechnik (HAC) ist ihre Flexibilität, die das Zerschneiden sämtlicher Munitionsarten von 40 mm bis zu großen Flugzeugbomben und Torpedos ermöglicht. Ein weiterer Vorteil ist die erwiesene Sicherheit des Verfahrens innerhalb der höchstzulässigen Druckgrenzen. Das HAC-System eignet sich besonders gut für das Zerschneiden von Munition, die kunststoffummantelte Explosivstoffe enthält.

Abschließend wird festgestellt, dass das mechanische Zerkleinern ein geeignetes Verfahren darstellt, wenn es ferngesteuert durchgeführt wird.



Abbildung 5.3: Ausrüstung für Abrasiv-Wasserstrahlschneiden; das kleine Foto zeigt die 155 mm großen zerschnittenen Teile.

### 3. Kryogene Zerkleinerung

Diese Technik wurde für die Demilitarisierung von chemischen Kampfmitteln entwickelt [10]. Die Munition wird in einem mit flüssigem Stickstoff gefüllten Container gekühlt. Der Stahl der Geschosse wird aufgrund der niedrigen Temperatur brüchig. Anschließend werden die Geschosse in eine hydraulische Presse eingebracht und zur Rückgewinnung des Explosivstoffs oder der chemischen Substanz zerlegt, während die Hülsen zu kleineren Metallfragmenten zerkleinert werden.

Aufgrund der niedrigen Temperaturen konnte der chemische Kampfstoff in den Geschossen nicht entweichen, sodass die Metallfragmente und der chemische Stoff in einem speziellen Ofen mit Abgasreinigung behandelt wurden.



Abbildung 5.4: Eine Anlage für kryogene Zerkleinerung in Alsetex, Frankreich (Copyright NAMSA)

Kryogene Zerkleinerung wird in Europa für die kommerzielle Demilitarisierung kleiner geschlossener explosiver Einheiten und Komponenten eingesetzt. Durch das Tiefrieren des Gegenstandes wird der Sprengstoff unempfindlich gemacht, sodass er sicher zermahlen und anschließend in einem Ofen behandelt werden kann. Anhand dieser Methode wurden viele Zehntausende Streumunition-Bomblets entsorgt.

## VI. Trennverfahren

Zu den häufig eingesetzten Verfahren zur Trennung des Sprengstoffs von den Metallbehältern zählen folgende:

- Ausschmelztechniken
- Auswaschen mit Hochdruck-Wasserstrahl
- Auswaschen mit Lösungsmittel

### 1. Ausschmelztechniken

Ausschmelztechniken sind eine gängige Methode zur Entfernung des Sprengstoffs und der Füllungen aus der Munition, die in geschmolzenem Zustand befüllt wird. Meist handelt es sich um TNT und TNT-Derivate wie TNT/RDX, die in geschmolzenem Zustand mit einer Temperatur von 80,35° Celsius oder mehr eingegossen werden. Ausschmelzmethoden eignen sich für alle Arten von Kampfmitteln auf TNT-Basis. Aufgrund des hohen Schmelzpunkts von RDX (205,5° Celsius) eignet sich dieses Verfahren nicht für Munition mit RDX-Füllung.



Abbildung 6.1: Ausschmelzen von TNT in Dampfkesseln in einem Werk für Kampfmittelbeseitigung in Ankara (Copyright NAMSA)

Die Munition wird mit Hilfe von heißem Wasser/Dampf oder in Induktionsöfen erhitzt. Der Sprengstoff schmilzt bei einer Temperatur von über 80,35° Celsius und fließt aus der Hülse. Der geschmolzene Sprengstoff kann dann

zur weiteren Behandlung oder Entsorgung aufgefangen werden. Kommerziell wird diese Methode oft bei der Erzeugung von Explosivstoffen für Sprengungen eingesetzt.

- Die TNT-Dampfschwaden müssen durch eine entsprechende Entlüftung abgesaugt werden.
- Die verbliebene Sprengstoffschicht macht es notwendig, die Munition einer zusätzlichen Wärmebehandlung zu unterziehen (Herdwagenofen oder Heißgas-Dekontaminierungsanlage (Kapitel IV)).

Die Ausschmelztechnik wird auch für die Demilitarisierung von Munition verwendet, die weißen Phosphor (WP) enthält. Diese Munition wird in einem Bad mit warmem (50° Celsius) Wasser versenkt. Der Phosphor schmilzt bei 42° Celsius und kann unter Wasser aufgefangen werden. Dieses Verfahren ist aufgrund der enormen Reaktivität von Phosphor mit dem Sauerstoff in der Luft notwendig. Der rückgewonnene WP hat Handelswert. Kleine Mengen von Kampfmitteln mit WP-Füllung können durch offene Sprengung entsorgt werden, doch sollte wegen des Umweltrisikos der Rat von Experten eingeholt werden.



Abbildung 6.2: Rückgewinnung von weißem Phosphor durch Ausschmelzung

## 2. Auswaschung mit Wasserstrahl

Die Methode des Auswaschens von Sprengstofffüllungen mittels Wasserstrahl beruht auf dem Einsatz eines Hochdruckwasserstrahls. Der Wasserstrahl wird mittels einer Drehdüse auf die Explosivstofffüllung gerichtet. Mit dieser Hochdruckauswaschung ist es möglich, alle Arten von Sprengstofffüllungen aus der Metallhülle der Munition herauszuspülen. Die Auswaschung ist besonders geeignet für die Entfernung kunststoffummantelter Explosivstoffe (PBX) und anderer nicht gegossener Explosivstoffe.



Abbildung 6.3: Auswaschung von 155-mm-Granaten mittels Wasserstrahl

Die in Abbildung 6.3 dargestellte Anlage kann zwei Objekte gleichzeitig auswaschen. Alle acht Artikel werden in dieser Anlage in einer halben Stunde ausgewaschen.

Merkmale der Auswaschung durch Wasserstrahl:

- Der Wasserstrahl entfernt vollständig alle Arten von Explosivstoffen (nicht nur die schmelzgegossenen Typen/es bleibt keine dünne Restschicht von explosivem Material).
- Weniger Kontamination in den Gebäuden, weniger TNT-Dämpfe bedeuten bessere und hygienischere Arbeitsbedingungen.

- Das Wasser wird in den Auswaschungsprozess rückgeführt (kein Abwasserproblem).
- Die Explosivstoffe können zum Wiedereinsatz vom Wasser getrennt werden.
- Die Explosivstoffe können in Schlamm umgewandelt werden, der als Klasse 4.1 klassifiziert werden kann [11].

Die Wasserstrahl-Auswaschanlage kann sinnvoll mit dem System für Abrasiv-Wasserstrahlschneiden kombiniert werden (Kapitel V Absatz 2).

## 3. Auswaschung mit Lösungsmittel

Bei dieser Technik wird ein Lösungsmittel verwendet, das die Explosivstoffe leicht auflöst. Da die meisten Explosivstoffe wie TNT und RDX nicht (oder nur schlecht) wasserlöslich sind, müssen andere Lösungsmittel gewählt werden. Die meisten Explosivstoffe werden in Lösungsmitteln wie Methylenchlorid, Methylalkohol, Aceton oder Toluol aufgelöst. Es sei darauf verwiesen, dass große Mengen Lösungsmittel notwendig sind; große Rückgewinnungs- und Lagerungseinrichtungen für das Lösungsmittel sind unbedingt erforderlich. Die Auswaschung mittels Lösungsmittel ermöglicht die Rückgewinnung der Explosivstoffe. Diese Technik wird bevorzugt für die Wiederverwendung militärischer Explosivstoffe von hohem Wert einzusetzen sein. Sie ist nur für kleine Munitionsmengen geeignet.

Die Auswaschung mit Lösungsmittel kann auch für die Reinigung kontaminierter Metallteile, z. B. von Granaten nach Entfernung des Explosivstoffs durch Ausschmelzen, verwendet werden. Das Lösungsmittel löst die dünne Schicht von Explosivstoffen auf, die nach dem Vorgang des Ausschmelzens in den Granaten zurückbleibt.

Diese Art der Behandlung muss unter entsprechenden Sicherheitsbedingungen durchgeführt werden; einige



Lösungsmittel haben einen hohen Dampfdruck und könnten explosive Mischungen mit Luft bilden, während andere Lösungsmittel aufgrund ihrer Toxizität (Toluol, Methylenchlorid) schädlich für den Menschen sein können.

## VII. Experimentelle Umwandlungstechniken

In den Kapiteln 3 und 4 wurde das Verbrennen von explosiven Abfällen als Umwandlungstechnik erörtert. In den zwei vergangenen Jahrzehnten wurden neue experimentelle Technologien auf ihre Eignung zur Umwandlung von explosiven Abfällen getestet. Zu diesen Techniken zählen:

- Überkritische Nassoxidation
- Plasmabogen-Pyrolyse
- Elektrochemische Oxidation
- Chemische Reaktion
- Biologischer Abbau

Diese Techniken im kleinen Maßstab wurden für den Einsatz bei sehr speziellen Arten von explosiven Abfällen entwickelt.

### 1. Überkritische Nassoxidation

Die überkritische Nassoxidation (SCWO), auch unter dem Begriff hydrothermale Oxidation bekannt, zerstört toxische und gefährliche organische Abfälle in einem kompakten, völlig geschlossenen System. Das macht sie zu einem interessanten Verfahren für die Zerstörung chlorhaltiger pyrotechnischer Sätze (z. B. Hexachlorethan, Polyvinylchlorid), aber auch von Reizstoffen und chemischen Kampfmitteln. Es handelt sich um einen hochentwickelten technischen Prozess zur Zerstörung von chlorhaltigen Verbindungen, da dabei kein Dioxin entsteht.

### 2. Plasmabogen-Pyrolyse

Der Plasmareaktor besteht aus einer internen Zentrifuge, in der das gefährliche Abfallmaterial durch Schmelzbrenner erhitzt wird und ein Plasmabogen mit einer Temperatur von rund 20.000° Celsius entsteht. Das Abwasser des Abgasreinigungssystems wird in einer Wasserverdampfungseinheit behandelt. Es gelangt somit kein Abwasser in die Kanalisation. Aufgrund ihres toxischen Gehalts (toxische Metalle) müssen die trockenen Rückstände aus dem Verdampfer in einer Sondermülldeponie endgelagert werden.

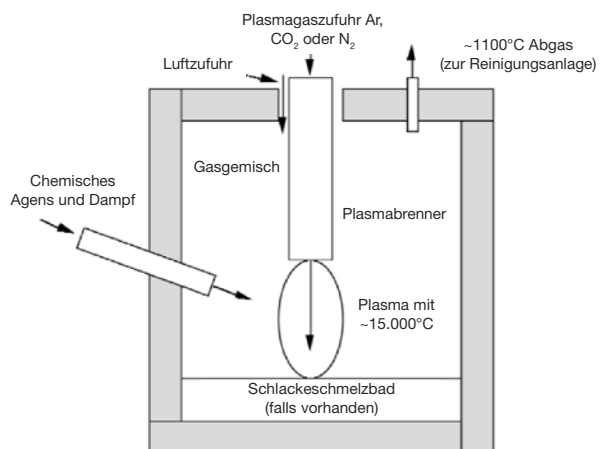


Abbildung 7.1: Schematische Darstellung eines Plasmareaktors

Die Plasmabogen-Technologie wurde zur Zerstörung von gefährlichen Abfällen wie arsenhaltigen chemischen

Substanzen entwickelt. Da das Reaktionsprodukt eine glasartige Substanz ist, in der die toxischen Verbindungen eingeschlossen sind, muss das Endprodukt in einer Sondermülldeponie endgelagert werden.

Energetische Verbindungen (Explosivstoffe, Treibstoffe und pyrotechnische Stoffe) oxidieren bei Vorhandensein einer geringen Menge Sauerstoff in einem Plasmareaktor zu gasförmigen Produkten, die hauptsächlich aus Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und kleinen Kohlenwasserstoffen wie Methan, Ethen und Ethan bestehen. Bogenöfen haben sehr kurze Anlaufzeiten (rund 5 Minuten bis zum vollen Betrieb) und kurze Abschaltzeiten. Der Prozess benötigt viel Energie, ist sehr kostenintensiv, aber bestens geeignet zur Neutralisierung bestimmter Arten von chemischen Kampfmitteln. Die Plasmabogen-Pyrolyse eignet sich ferner auch sehr gut für die Dekontaminierung metallischer Teile.

### 3. Elektrochemische Oxidation

Die AEA-Technologie (AEA) SILVER-IITM-Technologie baut auf der hoch oxidierenden Eigenschaft der  $\text{Ag}^{2+}$ -Ionen auf, die entstehen, wenn elektrischer Strom durch eine Lösung von Silbernitrat in Salpetersäure in einer elektrochemischen Zelle geleitet wird, wie sie in kommerziellen elektrochemischen Prozessen im Einsatz stehen. Die in der SILVER-II<sup>TM</sup>-Technologie genutzten elektrochemischen Reaktionen zählen zu jenen chemischen Prozessen, die unter dem Überbegriff „Elektrochemische Oxidation mit Reaktionsvermittler“ (*Mediated Electrochemical Oxidation*) (MEO) bekannt sind. MEO-Prozesse werden zur Zerstörung gefährlicher Abfälle als Alternative zur konventionellen Verbrennung angeboten. Da sie relativ neu in Entwicklung und Anwendung sind, liegen noch nicht sehr viele Erfahrungen mit diesen Prozessen vor.

Das Verfahren kann zur Neutralisierung von Zündstoffen wie Bleiazid und Bleitrinitroresorcinat verwendet werden.

### 4. Biologischer Abbau

Biologischer Abbau macht sich die Fähigkeit von Mikroorganismen zunutze, aus Munition stammende Chemikalien wie TNT und andere Explosiv- oder Treibstoffkomponenten abzubauen. Biodegradation kann wie ein chemischer Prozess in einer reaktorähnlichen Anlage ablaufen.



Abbildung 7.2: Ausrüstung für biologischen Abbau

Aufgrund der langsamen Reaktionsgeschwindigkeit sind große Lagereinrichtungen erforderlich; die Technologie der Bodenbearbeitung könnte daher besser geeignet sein. Viele Mikroorganismen, die chemische Substanzen umwandeln können, sind bereits im Boden vorhanden. Durch Bodenbearbeitung werden optimale Bodenbedingungen für die Mikroorganismen geschaffen, damit diese die organischen energiereichen Verbindungen umwandeln:

- Sauerstoffanteil in Prozent
- pH-Wert des Bodens
- Wassergehalt des Bodens in Prozent
- Zusätzliche Ernährung für Mikroorganismen

Für die Behandlung von explosiven Abfällen mit hohen Konzentrationen ist der Reaktor besser geeignet, während die Bodenbearbeitung für die Sanierung vor Ort von kontaminierten militärischen Standorten (mit niedrigen Konzentrationen von energiereichem Material) eingesetzt werden kann. Der biologische Abbau ist für

die Behandlung von Treibstoffen (Abfällen) mit hohem Schwermetallanteil (als Zusatzstoffe zum Schutz der Gewehrläufe vor Erosion bzw. gegen Hitzeentwicklung im Lauf) nicht zu empfehlen.

## VIII. Diskussion

Zur Vernichtung von Munition sind zahlreiche unterschiedliche Technologien im Einsatz. Nachstehend werden einige Kriterien als Entscheidungshilfe bei der Auswahl der am besten geeigneten Methode aufgeführt.

1. Die angewandte Technologie sollte zur irreversiblen Zerstörung der Munition und der darin enthaltenen Explosiv-, Treib- und pyrotechnischen Stoffe führen.
2. Die angewandte Technologie sollte die Umweltbelastung in Grenzen halten und Sicherheit für das ausführende Personal bieten. Es sollte der Grundsatz der vollständigen Umweltsystemanalyse angewendet werden.
3. Die angewandte Technologie sollte wirtschaftlich sinnvoll sein, die Zerstörung mit möglichst geringem Energiebedarf bewerkstelligen und so rückstandsfrei wie möglich arbeiten.
4. Die angewandte Kombination von Technologien sollte sich für die Vernichtung der meisten Munitionsarten eignen.
5. In manchen Fällen sollte die angewandte Technologie die Munition dort unschädlich machen, wo sie sich gerade befindet. Das gilt für Munition, die nicht gefahrlos transportiert werden kann.

Die Auswahl der geeignetsten Verfahren für die Demilitarisierung von Munition wird weitgehend von der Situation vor Ort abhängig sein. In der allgemeinen Praxis wird es nicht ein Verfahren, sondern eine Kombination von Verfahren sein. Aus diesem Grund findet sich nachstehend eine Liste der am häufigsten eingesetzten Demilitarisierungstechniken und der Voraussetzungen für ihre Anwendung.

Verfahren/Technologie	Anwendungsvoraussetzungen
Sprengung im Freien	Keine andere Technologie verfügbar oder finanziell vertretbar Transport nicht möglich Hohes Sicherheitsrisiko mit Munition im Gebiet Munition mit großem und mittlerem Kaliber
Abbrand im Freien	Keine andere Technologie verfügbar oder finanziell vertretbar Möglichst geringe Explosivstoffmengen
Drehofen	Große Mengen klein- und mittelkalibriger Munition Nach Zerkleinerung gegebenenfalls auch für großkalibrige Munition geeignet
Wirbelschichtverbrennungsofen	Große Mengen loser Explosiv- und Treibstoffe Energierückgewinnung möglich Kombination mit Herdwagenofen
Herdwagenofen (CBF)	Kleine Mengen von Anzündern, Zündkapseln, Zündern, pyrotechnischen Sätzen
Heißgas-Dekontaminierung	Große Mengen von kontaminiertem Metallschrott
Sprengkammer	Geringe Munitionsmengen
Zerkleinerung	In Kombination mit Wiederverwendungsoptionen eingesetzt Als Vorbehandlung für andere Verfahren
Trennverfahren	Verwertung und Wiederverwendung
Experimentelle Umwandlungstechniken	Sonderanwendungen für gefährliches Material zur Verhinderung der Bildung von hoch toxischen Substanzen und zum Schutz der Umwelt

In der Praxis wird die Demilitarisierung von Munition stets aus einer Kombination der oben angeführten technischen Verfahren bestehen. Die entsprechenden Technologien müssen in der örtlichen Situation verfügbar sein. Noch wichtiger ist die Verfügbarkeit von Fachpersonal.

Wenn große Mengen von Munition zur Behandlung anstehen, wird aus Kostengründen einer ortsfesten Anlage der Vorzug zu geben sein. Bei geringeren Munitionsmengen wird zum Einsatz einer mobilen Anlage geraten. Eine vielversprechende Lösung kann die Umwandlung von Munition in Abfall der Klasse 4.1 vor Ort sein. Dazu

werden die Explosivstoffe von den metallischen Teilen getrennt und anschließend mit Wasser und Zusatzstoffen gemischt [10]. Für diese Umwandlung sind allerdings hoch entwickelte Technologien, der Zugang zu Sondermülldeponien – einschließlich Sondermüll aus Verbrennungsanlagen für Explosivabfälle usw. – erforderlich.

Für Sonderanwendungen kann der Einsatz experimenteller Technologien empfohlen werden. Das ist etwa der Fall, wenn beim Einsatz konventioneller Verbrennungstechniken hoch toxische Chemikalien wie Dioxine entstehen könnten.

## IX. Schlussfolgerungen

Durch den Einsatz bewährter Methoden kann den mit der Munitionsdemilitarisierung verbundenen Risiken mit einem Minimum an Kosten und Umweltbelastungen entgegengewirkt werden. Die Anwendbarkeit der einzelnen Verfahren hängt in hohem Maße von der örtlichen Situation und dem durch große Mengen erzielbaren Kostenvorteil ab.

Wenn Explosivstoffe nicht wiederverwertet werden können, müssen sie zerstört werden. Eine vielversprechende Technik ist dabei die Umwandlung der Explosivstoffe in Abfallprodukte der Klasse 4.1. Dazu wird energiereiches Material mit Wasser und Zusatzstoffen versetzt, wonach die dadurch entstandenen Abfallprodukte der Klasse 4.1 in kommerziellen Anlagen andernorts sicher verbrannt werden können.

Eine begrenzte Anzahl von Munitionskomponenten sollte wie in Kapitel VI beschrieben einer Sonderbehandlung unterzogen werden. Das gilt vor allem für chemische Kampfmittel und Rauchsätze, die Hexachloroethan oder weißen Phosphor enthalten. Diese Munitionsarten sollten gesondert unter Einhaltung zusätzlicher Sicherheitsmaßnahmen behandelt werden.

## X. Liste der Abkürzungen

CN	omega-Chloracetophenon	OB	Abbrand im Freien
CS	o-Clorbenzylidenmalonsäuredinitril	OD	Sprengung im Freien
CW	Chemische Waffe	RDX	Hexogen (Research Department X)
DBP	Dibutylphthalat	SCWO	Überkritische Nassoxidation
DNT	Dinitrotoluol	TNT	2,4,6-Trinitrotoluol
DPA	Diphenylamin	UXO	Nicht zur Wirkung gelangte Kampfmittel
NG	Nitroglyzerin		

## XI. Quellenverzeichnis

- [1] *Internationale Normen für Antiminenprogramme (IMAS)*, 2. Auflage 2003, Dienst der Vereinten Nationen für Antiminenprogramme (UNMAS), DC2 0650, Vereinte Nationen, New York, NY 10017, USA, 2003
- [2] Mitchell, A. R., Coburn, M. D., Schmidt, R. D., Pagoria, P. F. & Lee, G. S., *Resource Recovery and Reuse (R3) of Explosives by Conversion to Higher Value Products*, Lawrence Livermore National Laboratory, Energetic Materials Center, Livermore, California 94550, USA
- [3] *Übereinkommen von London von 1972, Internationale Seeschifffahrts-Organisation, Übereinkommen über die Verhütung der Meeresverschmutzung durch das Einbringen von Abfällen und anderen Stoffen von 1972 und dazugehöriges Protokoll von 1996*
- [4] OSPAR-Übereinkommen Paris, *Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks, Anlage II*, 22. September 1992
- [5] *Development of a Protocol for Contaminated sites Characterisation*, KTA 4-28, Schlussbericht, September 2003
- [6] N. H. A. Van Ham; F. R. Groeneveld, *ARBO onderzoek EOCKL* (in Niederländisch), Report TNO 1999 A89, 1999
- [7] Teir, S., *Modern Boiler Types and Applications*, Helsinki University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Energy Engineering and Environmental Protection, Publications Steam Boiler Technology eBook, Espoo 2002
- [8] *A Destruction Handbook*, UN-Hauptabteilung Abrüstungsfragen, Unterabteilung Konventionelle Waffen, S-3170, Vereinte Nationen, New York, USA
- [9] EU-Richtlinie 2000/76, Dezember 2000
- [10] *Cryofracture process, General Atomics. Cryofracture technology for the destruction of AP mines*, Internationale Demil-Konferenz, St. Petersburg 2004
- [11] Van Ham, N. H. A., *Safety Aspects of Slurry Explosives*, in Application of demilitarized gun and rocket propellants in commercial explosives, NATO Science Series II- Band 3