



# Arbeitshilfe für die Untersuchung von Sprengplätzen Anhang 2.4

– Fachliche Hintergrundinformationen –  
Gefährdungsabschätzung für Streugebiete



# Arbeitshilfe für die Untersuchung von Sprengplätzen Anhang 2.4

– Fachliche Hintergrundinformationen –  
Gefährdungsabschätzung für Streugebiete

## Impressum

Arbeitshilfe für die Untersuchung von Sprengplätzen – Anhang 2.4 Gefährdungsabschätzung Streugebiete

### Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg  
Tel.: (08 21) 90 71-0  
Fax: (08 21) 90 71-55 56  
E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)  
Internet: [www.lfu.bayern.de](http://www.lfu.bayern.de)

### Bearbeitung/Text/Konzept:

Alexander Schwendner  
LGA Institut für Umweltgeologie und Altlasten GmbH  
Tillystraße 2  
90431 Nürnberg  
Tel.: (0911 655-5620  
Fax: (0911) 655-5699  
E-Mail: [geo@lga.de](mailto:geo@lga.de)  
Internet: [www.lga-geo.de](http://www.lga-geo.de)

### Redaktion:

LfU Referat 95 "Altlasten, schädliche Bodenveränderungen"

### Bildnachweis:

siehe Bildnachweis auf Seite 64

### Stand:

September 2009

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

## Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Zusammenfassung</b>                         | <b>5</b>  |
| <b>1 Einführung</b>                            | <b>8</b>  |
| <b>2 Technische Untersuchungen</b>             | <b>10</b> |
| 2.1 Testsondierungen                           | 10        |
| 2.1.1 Auswahl der Plätze                       | 10        |
| 2.1.2 Vorarbeiten                              | 11        |
| 2.1.3 Feldarbeiten                             | 12        |
| 2.1.4 Ergebnisse und Interpretation            | 13        |
| 2.1.4.1 Sprengplatz A                          | 13        |
| 2.1.4.2 Sprengplatz SD                         | 19        |
| 2.2 Elutionsversuche                           | 29        |
| 2.2.1 Versuchsplanung                          | 29        |
| 2.2.2 Sprengstoffproben                        | 29        |
| 2.2.3 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung  | 36        |
| 2.2.4 Chemische Untersuchungen                 | 39        |
| 2.2.5 Ergebnisse der chemischen Untersuchungen | 40        |
| 2.2.6 Folgerungen                              | 40        |
| <b>3 Emissionsberechnung</b>                   | <b>42</b> |
| <b>4 Gefährdungsabschätzung</b>                | <b>45</b> |
| <b>5 Fehlerbetrachtung</b>                     | <b>48</b> |
| <b>6 Ausblick</b>                              | <b>49</b> |
| <b>7 Dank</b>                                  | <b>50</b> |
| <b>8 Anhang</b>                                | <b>51</b> |



Ziel des vorliegenden Teilprojekts 2.4 war es, die Gefährdung durch **offen liegenden Sprengstoff in aufgebrochener Munition** und in **losen Brocken** auf Sprengplätzen zu beurteilen. Dieser Anhang behandelt demnach n i c h t die Gefahren aus fein verteilten, nicht mehr visuell wahrnehmbaren Sprengstoffbelastungen auf Sprengplätzen!

## Zusammenfassung

Bei den Massensprengungen nach dem 2. Weltkrieg (2. WK) wurde vor allem großkalibrige Munition oft nur mechanisch „zerknackt“, ohne dass sich die Sprengstofffüllung umgesetzt hat. Diese **aufgebrochene „Streumunition“** liegt zum Teil noch heute im Umfeld von Sprengplätzen, da die nachfolgenden Räumungen zu kleinräumig und nach heutigen Standards zu uneffektiv waren. Das Hauptverbreitungsgebiet der Streumunition ist erfahrungsgemäß schwerpunktmäßig im Radius von maximal 500 m um die ehemaligen Sprengstellen zu erwarten.

Für einen Teil der damals gesprengten Munition ist anzunehmen, dass auch die Ladung selbst sowie das häufig als Sprengmittel verwendete lose TNT trotz Initiierung (Zündung) nicht komplett durchdetonierten. In diesem Fall spricht man im Amerikanischen von „Low-Order-Detonations“. Sie hinterlassen stets große sprengstoffgefüllte oder -behaftete Bruchstücke der Hülle sowie größere Mengen an „**losen“ Sprengstoffbrocken** als Reste. Die losen Brocken sind heute vorrangig im Auswurfbereich bzw. im Rückfüllmaterial der Sprengtrichter anzutreffen. Daneben entstehen erhebliche Mengen an mikroskopisch kleinen Rückständen.

Der „offen liegende Sprengstoff“ ist – ob nun an Munitionsbruchstücken anhaftend oder als lose Brocken verstreut – seit Jahren als Gefahrenquelle für die Umwelt und speziell das Grundwasser in Diskussion. Im Rahmen dieses Teilprojekts war deswegen zu klären:

- **Wie häufig kommen aufgebrochene Munition oder lose Sprengstoffbrocken auf einem Sprengplatz vor?**
- **Wie groß ist näherungsweise der Flächenanteil an offen liegendem Sprengstoff?**
- **Stellt offen liegender Sprengstoff eine Gefährdung für das Grundwasser dar?**

**Testsondierungen** auf zwei ausgewählten Sprengplätzen ergaben trotz erheblicher Unterschiede bei den gefundenen Munitionstypen ähnliche Ergebnisse. **Pro Tonne** an prognostizierter **Streumunition** lagen die **offen liegenden Sprengstoffoberflächen** zwischen **0,14 und 0,16 m<sup>2</sup>**. Diese Befunde sind jedoch wahrscheinlich nur sehr eingeschränkt repräsentativ und sollten auf anderen Plätzen, z. B. im Zuge von Räummaßnahmen, überprüft werden.

Derzeit gibt es keine Methoden zur Erfassung von **Sprengstoffbrocken**. Die Menge lässt sich nur sehr vage an Hand von Funden abschätzen, die innerhalb einer bestimmten Zeit bei visueller oberflächlicher Absuche gemacht wurden. Dann müssen die Funde bzw. die ermittelte Gesamtoberfläche mit einem Faktor multipliziert werden. Die Größe des Faktors richtet sich nach der Einschätzung des bei der Suche geborgenen Anteils an der Gesamtmenge. Wir haben für best case und worst case Betrachtungen Faktoren von 500 und 10.000 eingesetzt. Auf dieser Basis errechneten sich Flächengrößen an offen liegenden Sprengstoff in Brockenform von **7,5 m<sup>2</sup> bis 150 m<sup>2</sup>**. Viele kleine Brocken sind hierbei kritischer als wenige große, da sie eine größere Oberfläche aufweisen.

Die **Ergebnisse der Laborversuche** deuten darauf hin, dass Sickerwasser „offen liegenden Sprengstoff“ bzw. Sprengstoffbrocken anlösen und langfristig wohl auch auflösen kann. In einer Niederschlagssimulation wurde auf drei Versuchssäulen mit eingebauten Prüfkörpern aus TNT bzw. TNT/Hexogen-Mischungen pH-neutrales Wasser, mit Huminstoffen angereichertes Wasser und saures Wasser verregnet.

In den Eluaten stellten sich daraufhin **sehr hohe Sprengstoff-Konzentrationen von 5 bis 12 mg/l** ( $\Sigma$  Sprengstoffe) ein. Die höchsten Eluierbarkeiten ergaben sich für pH-neutrales destilliertes Wasser. Stark saures Elutionsmittel brachte aber nur geringfügig weniger Sprengstoffe in Lösung. Die niedrigsten STV-Gehalte enthielten die Eluate, wenn mit Huminstoff-Wasser bewässert worden ist. Letzteres ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den Einbau von TNT bzw. der Nitroaromaten in Huminstoffe zurückzuführen. Hexogen wird offensichtlich in geringerem Maße an Huminstoffen fixiert.

Ein Zusammenhang zwischen der Größe der benetzbaren Sprengstoffoberfläche und der Sprengstoffmenge, die in Lösung geht, ließ sich auf Grund der unterschiedlichen Zusammensetzung und des unterschiedlichen Verwitterungszustands nicht eindeutig ableiten. Diesbezüglich spielen offensichtlich auch spezifische Eigenschaften der Füllung eine Rolle, womit Prognosen zu eluierbaren Mengen auch bei gut prognostizierbarer benetzbarer Sprengstoffoberfläche mit großen Unsicherheiten behaftet sein werden.

Geht man mit den Ergebnissen ungeachtet der aufgezeigten Unsicherheiten in eine Abschätzung der **Schadstoff-Emission**, so ergibt sich hinsichtlich offenem Sprengstoff in Munitionsresten für eine Grundwasserneubildung von 300 l/m<sup>2</sup>·a ein **jährlicher Austrag von 0,4 bis 5,3 g an Sprengstoff pro Quadratmeter offen liegender Sprengstoffoberfläche**.

Das Emissionspotenzial eines Platzes ist neben der Lösungsrate des offen liegenden Sprengstoffs vor allem von der Menge an Streumunition abhängig, die heute noch auf einem Platz vorhanden ist bzw. von dem Anteil an aufgebrochenen Kampfmitteln. Bei einer **best case-Betrachtung**, die von lediglich 5 t Streumunition ausgeht, ergibt sich aus offener Munition und losen Sprengstoffbrocken ein **Jahreseintrag von ca. 16 g**. Eine **worst case-Abschätzung** mit 300 t Streumunition, höheren Anteilen an aufgebrochener Munition und geringfügig höheren Lösungsraten kommt zu **1.200 g** an STV als Jahreseintrag.

Für Streugebiete von **Standorten**, auf die das **best case-Szenario** zutrifft, stellen offene Munition und Sprengstoffbrocken unter Umständen **keine Gefahr für das Grundwasser** dar. Derartige best case-Verhältnisse werden vermutlich auf Sprengplätzen gegeben sein,

- -die in die Kategorie S fallen, sich also nur durch einen sehr geringen Sprengumsatz bis 800 t auszeichnen, oder
- -die in der Vergangenheit sehr „sauber“ bzw. gewissenhaft beräumt wurden, einschließlich Sprengstoff in Brockenform, oder
- -auf denen vorrangig Munition kleineren Kalibers gesprengt wurde, der Anteil an „zerknackbarer“ Munition und an losen Sprengstoffbrocken also gering ist.

Das **worst case-Szenario** trifft wahrscheinlich auf **mittlere und große Sprengplätze** der Kategorien M, L und XL zu, insbesondere wenn vor den Sprengungen der StEG auch unkontrollierte Massensprengungen durch die Wehrmacht (und / oder US) stattgefunden haben oder wenn eine hohe Munitionsbelastung, vor allem an größeren Kalibern, bekannt ist. In diesen

Fällen kann allein das Vorhandensein von offener Munition und losen Brocken bereits zu Frachten im Sickerwasser führen, die nicht mehr als „geringfügig“ zu betrachten sind.

**Sprengplätze müssen** daher stets – zusätzlich zu den Gefahren aus fein verteilten Sprengrückständen – **auch hinsichtlich des Gefährdungspotenzials aus offener Streumunition und aus losen Sprengstoffbrocken bewertet werden**. Hierzu sind im Regelfall **Testfeldsondierungen** mit entsprechender Kategorisierung der Fundmunition erforderlich. Eine Bewertung der aufgefundenen Munition kann/darf nur unter Beteiligung von fachkundigem Personal vorgenommen werden.

Bei der Erkundung und Bewertung sowie bei der ggf. erforderlich werdenden Sanierung eines Sprengplatzes ist eine **enge Zusammenarbeit** zwischen dem betreuenden **Kampfmittel-fachkundigen** bzw. dem Kampfmittelbeseitigungsdienst (KBD) und dem **Rüstungsaltsachverständigen** erforderlich.

## 1 Einführung

Unmittelbar nach dem Ende des 2. WK hatten die US-Truppen die Verantwortung für die beschlagnahmte deutsche Munition. Der Bestand soll einige hunderttausend Tonnen einschließlich Kampfstoffmunition betragen haben. Bereits früh begannen sie mit der Vernichtung der konventionellen (sprengstoffgefüllten) Munition auf gesondert eingerichteten Plätzen, so genannten „demolition sites“. Erfahrungen, wie vorzugehen ist, um möglichst schnell große Munitionsmengen schadlos zu vernichten, hatte zu dieser Zeit niemand. So bildete man üblicherweise zunächst große unsortierte Stapel aus Granaten, Kartuschen und Infanteriemunition und versuchte, sie mit einem Schlag umzusetzen. Die Initialladungen waren meist jedoch deutlich unterdimensioniert, sodass jeweils nur ein kleiner Teil der gestapelten Munition detonierte und der Rest weggeschleudert wurde. Insbesondere Infanteriemunition, Kartuschen und Granaten mit kleinem Kaliber ließen sich durch Sprengen praktisch nicht vernichten. Sie wurden meist nur deformiert oder aufgerissen.

Schnell erkannte die Truppe, dass der „Job“ nicht nur gefährlich und die Rate der Unbrauchbarmachung niedrig war, sondern dass die Vernichtung viel länger als erwartet dauern würde. Vermutlich spielte dies gegen Mitte des Jahres 1946 eine Rolle bei der Entscheidung, der neu eingerichteten Militärregierung (OMGUS) bzw. dem süddeutschen Länderrat die Munition zur Demilitarisierung zu übergeben. Nach der Entschärfung sollten sämtliche Rohstoffe in Produktionsprozesse rückgeführt werden und so der deutschen Wirtschaft zu Gute kommen. Die Aufarbeitung der Munition übernahm deswegen die Staatliche Erfassungsstelle für öffentliches Gut (StEG), die man eigens hierfür gegründet hatte. Obwohl einige tausend Menschen im Munitionsprogramm der StEG beschäftigt waren, wurde bereits nach wenigen Monaten klar, dass der gesetzte Endtermin keinesfalls einzuhalten war. Daraufhin erließ die Militärregierung im September 1947 den Sprengbefehl für die gesamten Restbestände. Die Sprengarbeiten mussten bis zum 31.12.1947 abgeschlossen sein.

Die Munitionsvernichtungen standen folglich unter großem Zeitdruck, denn monatlich waren gesprengte Mengen und noch zu vernichtende Restbestände zu melden. Um den Munitionsumsatz zu erhöhen, beschritten die verantwortlichen Sprengmeister zwei Wege: Sie vergrößerten die Sprengplätze, indem sie die Anzahl der Sprengstellen bzw. der Sprengtrichter erhöhten, und sie steigerten die pro Zündung umzusetzenden Mengen, soweit es die vorhandenen Sicherheitsabstände zu Siedlungen erlaubten. Die **Massen- oder Stapelsprengungen** brachten es mit sich, dass – wie schon bei den Vernichtungen durch die US-Truppen - ein erheblicher Anteil der Munition nicht durchdetonierte sondern beschädigt oder intakt bis zu 1.000 m im Umkreis der Sprengstellen, im so genannten Streugebiet, niederging. Diese Munition trug die Bezeichnung **Streumunition** oder auch **Räummunition**. Der Anteil der Streumunition am Gesamtumsatz erreichte bis zu einigen Zehner Prozent.



Abb. 1:  
Bei Massensprengung  
"zerknackte" (aufgebrochene) 15 cm  
Sprenggranate. Die  
Sprengstofffüllung liegt  
offen.

Die StEG ging mittlerweile geschickter als die US-Truppen vor, indem sie die Kleinmunition nicht mehr sprengte sondern in Öfen ausbrannte. Der Großteil der Kartuschen war bereits zerlegt und entleert

worden, sodass diesbezüglich keine Rückstände mehr anfielen. Doch auch große, dickwandige Granaten – so musste die StEG feststellen - wurden bei Massensprengungen durch den Druck oft nur mechanisch zerknackt oder aufgebrochen, ohne dass sich der Sprengstoff hierbei richtig umsetzte (Abb. 1). Im amerikanischen Sprachgebrauch spricht man diesbezüglich von „Low-Order-Detonations“. Hierbei verbleiben - neben großen Mengen an mikroskopischen und submikroskopischen Rückständen - stets große Bruchstücke der Hüllen, die entweder noch sprengstoffgefüllt oder mit Sprengstoff behaftet sind. Zum Teil zerbricht die Sprengstofffüllung auch in kleinere Brocken, die dann durch die Sprengung im Umfeld verteilt werden. Die Größe der Brocken kann schwanken. Einige Zentimeter Kantenlänge sind keine Seltenheit (Abb. 2).

Auf allen Plätzen wurden nach der Einstellung der Sprengarbeiten umfangreiche Nachräumungen erforderlich. Hierbei barg man Munition und Munitionsteile (Munitionsteile mit Sprengstoffanhaftungen) sowie meist auch den „Schrott“ (ohne Anhaftungen). Sprengstoffbrocken verblieben aber in der Regel im Boden. Auch die Nachräumungen führte zunächst noch die StEG durch. Nach deren Auflösung im Mai 1949 ging die Zuständigkeit dann auf das Ministerium für Wirtschaft und Verkehr über, das verschiedene Privatfirmen mit der Räumung kampfmittelbelasteter Flächen beauftragte.



Abb. 2:  
Lose Sprengstoffbrocken (TNT) in Folge von „Low-Order-Detonation“ auf einem deutschen Sprengplatz.

Zu den Sucharbeiten ist anzumerken, dass die heutige Sondentechnik noch nicht entwickelt war. Minensuchgeräte waren nur vereinzelt vorhanden und häufig fehlte es an Batterien. Die Suchgeräte kamen meist nur in den kleinräumigen Trichtergebieten zum Einsatz. Im Streugebiet arbeitete man üblicherweise visuell oder durch Stochern mit Stöcken. Der Suchradius reichte meist nur 200 bis 300 m um das Sprengfeld. Angesichts heute bekannter Flugweiten von 1.000 m war dies deutlich zu wenig. Die Haupträumungen waren Mitte der 50er Jahre im Wesentlichen abgeschlossen. Danach fanden in Bayern keine systematischen Entmunitionierungen mehr statt.

Aus den Zusammenhängen ist abzuleiten, dass die Streugebiete von Sprengplätzen heute noch in vielen Fällen munitionsbelastet sein können. Räumungen von Sprengplätzen, auch in anderen Bundesländern, bestätigen dies.

Der Belastungsgrad wird sicherlich von Platz zu Platz stark schwanken. Dies hängt neben dem Gesamtumsatz von weiteren Faktoren wie der Munitionsart, dem damaligen Zeitdruck, den verfügbaren Sprengmitteln bzw. deren Qualität, der Qualifikation des Sprengmeisters und der Qualität der Nachräummaßnahmen ab. Hier spielt außerdem der Untergrund eine große Rolle. Zerbrochene bzw. offene Munition kann prinzipiell auch innerhalb rückverfüllter Sprengtrichter vorhanden sein. Diesen Teil schätzen wir jedoch deutlich geringer als den Anteil im Streugebiet ein, da die Trichter damals intensiver bzw. gewissenhafter (durch Umgraben) entmunitioniert worden sind. Der durchschnittliche Anteil

an aufgebrochener Munition an der Gesamtstreumunition ist nicht bekannt. Dieser Aspekt wurde bisher auch nicht von den Räumkommandos der Länder thematisiert. Es ist ebenfalls nicht bekannt, wo und wie häufig Sprengstoffbrocken auf Sprengplätzen anzutreffen sind. Sie werden wohl vorrangig im direkten Umfeld des Trichterfeldes bzw. in den Rückverfüllungen vorliegen.

In Fachkreisen besteht Konsens darüber, dass die meiste geschlossene Munition noch hunderte von Jahren benötigen dürfte, bis sie durchgerostet ist. Dies ist von Bodenmilieu und Hüllendicke abhängig. Bei aufgebrochener Munition jedoch liegt die Sprengstofffüllung offen. Je nach Bauweise der Munition und der entstandenen Bruchstruktur können unterschiedlich große Flächen vorhanden sein, die seit über 60 Jahren mit Sickerwasser in Kontakt treten können. Es ist anzunehmen, dass die Sprengstofffüllung mit der Zeit ausgewaschen wird, aufgebrochene Munition in Streugebieten also ein Gefährdungspotenzial für das Grundwasser darstellen kann. Gleiches gilt für die damals nicht geborgenen Sprengstoffbrocken.

**Ziel des vorliegenden Teilprojekts war es, die Gefährdung durch offene Munition bzw. offenen Sprengstoff zu beurteilen. Diese Studie behandelt nicht die Gefahren aus fein verteilten nicht mehr visuell wahrnehmbaren Sprengstoffbelastungen auf Sprengplätzen.**

## 2 Technische Untersuchungen

Im Rahmen dieser Studie sollten mit Hilfe von Feld- und Laborversuchen grundlegende Fakten und Zahlen für die Beurteilung von Gefahrenpotenzialen aus angesprengter Munition und Sprengstoffbrocken im Boden eruiert werden.

Mit **Feldversuchen** waren Daten zur Menge und zum Flächenanteil stückiger Munitionsreste zu erheben. Hierzu dienten geomagnetische Testflächensondierungen im Streugebiet zweier Sprengplätze. Alle Anomalien wurden überprüft, Kampfmittel geborgen und gemäß ihrem Auslaugungspotenzial in Kategorien eingeteilt und vermessen. Hierbei sollte geklärt bzw. abgeschätzt werden, wie hoch der Anteil der Kategorie „Munition, offen“ am Gesamtkampfmittelaufkommen ist und wie groß durchschnittlich die offenen Flächen des Sprengstoffinhalts sind.

Eine Methode, wie man die Anzahl bzw. die Gesamtoberfläche von Sprengstoffbrocken auf einem Sprengplatz ermitteln kann, ist derzeit nicht bekannt, sodass auf diesbezügliche Prüfungen verzichtet werden musste.

In **Laborversuchen** wurden Sprengstoffproben definierter Oberflächengröße (und chemischer Zusammensetzung) aus Fundstücken angesprengter Munition im Labor ausgelaut. Der Schwerpunkt der Betrachtungen bzw. Auswertungen lag hierbei auf der Größe der Oberfläche. Inwiefern Merkmale wie Verwitterungszustand, Qualität oder Reinheit des Sprengstoffs (Beimischungen, Streckmittel) eine Rolle spielen, konnte im Rahmen dieser Studie nicht geklärt werden.

Feld- und Laborversuche zu einander in Bezug gesetzt, sollten eine Abschätzung des Gefährdungspotenzials von Streugebieten bzw. von offen liegendem Sprengstoff ermöglichen.

### 2.1 Testsondierungen

#### 2.1.1 Auswahl der Plätze

Um möglichst viel Munition mit offen liegendem Sprengstoff („Munition, offen“) vermessen zu können und einen fundierten Einblick in Anteil und Ausprägung zu erhalten, sollten Testplätze untergesucht werden, die stark mit Kampfmitteln belastet sind. Das heißt, der Munitionsumsatz während der Entmili-

tarisierung musste möglichst hoch gewesen sein. Auch sollte auf den Plätzen ein möglichst repräsentativer Querschnitt an Munition vernichtet worden sein. Bei „speziellen Sprengplätzen“ (mit einer „Monokultur“ an vernichteter Munition) hätten Testsondierungen womöglich keine Rückschlüsse auf andere Sprengplätze zugelassen. Schließlich sollten die Testplätze noch seit den Arbeiten durch das StMWV Anfang der 50er Jahre nicht mehr beräumt worden sein.

Nach sorgfältiger Prüfung aller bayerischen Standorte zusammen mit dem *Innenministerium* und dem *Bayerischen Landesamt für Umwelt* fiel die Wahl auf die im Folgenden als Sprengplatz A und SD bezeichneten Standorte (alle Standorte sind im Rahmen der Arbeitshilfe vereinbarungsgemäß anonymisiert). Der Platz SD ist bisher nicht orientierend erkundet.

### 2.1.2 Vorarbeiten

Von beiden ausgewählten Plätzen lagen Luftbilder aus der Nachkriegszeit vor. Sie wurden als Arbeitsgrundlage gescannt und georeferenziert. Beim Platz A ist das Sprengfeld deutlich durch ein großes Trichterfeld und einen gut abgrenzbaren Auswurfbereich - definitionsgemäß die Grenze des Sprengbereichs - zu erkennen. Im GIS<sup>1</sup> wurden fünf Pufferzonen im Radius von 100 m bis 500 m um das Sprengfeld definiert und je Zone eine 1.000 m<sup>2</sup> große Fläche für Testsondierungen (TF1 – TF5) festgelegt. Die Testflächen liegen bevorzugt im Wald und nicht auf Feldern, da im Wald am ehesten die „munitionstechnische Unberührtheit“ gewährleistet schien (Abb. 3, Abb. 4).

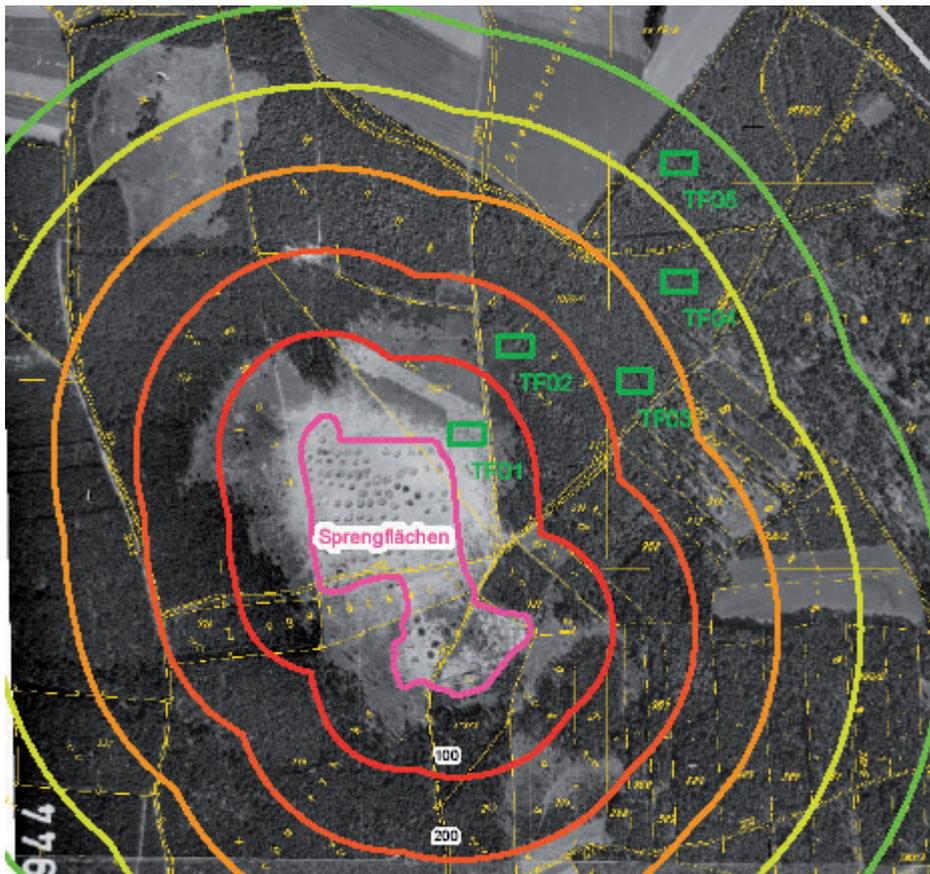


Abb. 3:  
Anordnung der Testflächen auf Platz A (unmaßstäblich).

<sup>1</sup> GIS = Geographisches Informationssystem

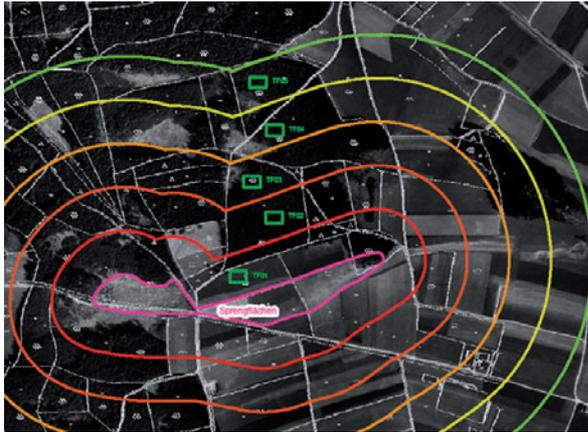


Abb. 4:  
Anordnung der Testflächen Platz SD (unmaßstäblich).

Die Begrenzung der äußersten Zone auf eine Distanz von 500 m zum Außenrand des Sprengbereichs erfolgte, obwohl Munition bei Sprengungen bis 1.000 m weit flog, weil bekannt ist, dass das Fundmunitionsaufkommen ab 500 m sehr stark abnimmt.

Beim Platz SD konnte der Sprengbereich durch Vergleich von Luftbildern, Archivalien und alten Plänen in etwa lokalisiert werden, wenngleich die genaue Anzahl und Lage der Trichter nicht rekonstruierbar waren. Auch hier wurden fünf Pufferzonen im Radius bis 500 m um den vermuteten Sprengbereich angeordnet und Testflächen definiert. Mittels GPS ließen sich die Eckpunkte der Flächen im Vorgriff auf die Feldarbeiten in die Natur übertragen und mit Trassierungsband markieren. Größe und Lage der Testflächen legte das Projektteam zusammen mit dem Innenministerium in Anlehnung an übliche Suchmodi fest.

### 2.1.3 Feldarbeiten

Im November 2006 fanden die Feldarbeiten in Zusammenarbeit mit dem *Bayerischen Innenministerium* bzw. den Sprengkommandos Nürnberg und München statt. Die Munitionssuche erfolgte mittels Magnetometersonden vom Typ *Vallon* auf Suchstufe 4. Zur Orientierung dienten Fluchtstangen bzw. parallel gespannte Schnüre. Die Suchstreifenbreite betrug knapp 1 m. Alle Anomalien wurden aufgegraben und die Fundstücke von einem Sachverständigen folgenden Kategorien zugeordnet:

- **Munition, geschlossen:** Hierzu zählen im Wesentlichen Granaten, jedoch keine Zünder oder Kartuschhülsen, da diese keinen Sprengstoff sondern Treibmittel bzw. Initialsprengstoff enthalten
- **Munition, offen:** Hierzu zählen alle Komponenten mit offen liegendem Sprengstoff, z. B. aufgebrochene Granaten oder Munitionsteile mit Anhaftungen, jedoch wiederum keine mit Treibmittel oder Initialsprengstoff gefüllten Komponenten
- **Splitter** (ohne Anhaftungen)
- **Sonstige** (z. B. Zünder, Kartuschhülsen, Infanteriemunition)
- **Nicht-munitionsspezifische Teile** (im Wesentlichen ziviler Schrott).

Es ist darauf hinzuweisen, dass sich diese „umwelttechnischen“ Kategorien nicht mit denen der Kampfmittelbeseitigungsdienste (KBD) decken! Ihrer Einteilung liegt der Sicherheitsaspekt der Munition zu Grunde. Daher unterscheiden sich die später getroffenen „Munitionsprognosen“ voneinander, je nachdem, welcher Ansatzpunkt zu Grunde liegt. Die KBD fassen in der Regel die Umweltkategorien „Munition, offen“ und „Sonstige“ zur Kategorie „Mun-Teile“ zusammen. Granaten werden nicht in „offen“ und „geschlossen“ unterteilt.

Alle Fundstücke wurden gezählt, von Erde befreit, sofern es der Sicherheitsaspekt zuließ, und mittels

einer digitalen Waage im Gelände verwogen. Die Splitter wurden durch Abklopfen weitgehend von Erde, sodass visuell sichtbare Sprengstoffanhaftungen ausgeschlossen werden konnten. Bei der Kategorie „Munition, offen“ ermittelte der Sachverständige die Größe der offen liegende Sprengstofffläche mit Hilfe von Schablonen und notierte das Ergebnis in einem Protokollblatt. Im Fall von dreidimensionalen Bruchstrukturen wurden einzelne Teilflächen gebildet und addiert. Zum Teil war nicht direkt sichtbar, ob die aufgebrochenen Hüllen noch Sprengstoff enthielten, da die offenen Gehäusestellen mit Erde verschmutzt waren. Aus Sicherheitsgründen war hier kein Säubern möglich, sodass prinzipiell galt, dass Sprengstoff vorliegt. Danach war die Fläche der Öffnung zu vermessen. Relevante Objekte wurden fotografiert.

## 2.1.4 Ergebnisse und Interpretation

### 2.1.4.1 Sprengplatz A

Am **Sprengplatz A** konnten in der budgetierten Zeit nur zwei der fünf vorgesehenen Testflächen sondiert werden. Dies lag daran, dass die Testflächen der 100 m- und 200 m-Zonen extrem stark mit **Splittern** belegt waren (TF1 443 Stück mit insgesamt 105 kg / dies entspricht 44 Stück pro 100 m<sup>2</sup>; TF2 818 Stück mit insgesamt 301 kg. Dies entspricht 81 Stück pro 100 m<sup>2</sup>). Drei Viertel (TF1) bzw. knapp zwei Drittel (TF2) waren klein und leichter als 300 g, sodass sich die Absuche bzw. das Lokalisieren des Störsignals in der ausgehobenen Erde sehr zeitintensiv gestaltete (Abb. 5a, b). Das Durchschnittsgewicht betrug 240 g (TF1) bzw. rund 360 g (TF2).

Im Bereich TF1 lagen die Splitter relativ flach (< 0,3 m). Dies deutet - lässt man frühere Räumfaktoren außer acht - darauf hin, dass schwerere Splitter weiter davon geschleudert wurden als leichtere. Obwohl es sich nur um kleine Splitter gehandelt hat, verzeichnete die Sonde große Ausschläge was für eine Magnetisierung der Fragmente durch die Sprengung spricht. Nach dem ersten Räumtag wurden daher „Kleinstsignale“ nicht mehr überprüft. In den Kategorien „**Munition, geschlossen**“ und „**Munition, offen**“ fanden sich dagegen kaum Fundobjekte.

Es können für den Platz A folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

In der Zone 0 bis 200 m um das Sprengfeld sind ca. 100 t Splitter und 6 t an geschlossener Munition zu prognostizieren. Über den Anteil an „offener Munition“ lassen sich keine gesicherten Angaben machen. Möglicherweise sind 7,5 t an „Munition, offen“ vorhanden, die zusammen 2,5 m<sup>2</sup> an offen liegendem Sprengstoff aufweisen. Pro Tonne an zu erwartenden Kampfmitteln bzw. an prognostizierter Streumunition (17,3 t) errechnet sich somit eine **Fläche an offen liegendem Sprengstoff von 0,14 m<sup>2</sup>**.

Die Gesamtprognose für diesen Platz aus kampfmittel-technischer Sicht liegt für die Zonen 0 bis 200 m bei **17,3 t** (Summe aus „Munition, geschlossen“ und „offen“ sowie „Sonstiges“. Die Zahl erscheint relativ groß, ist aber durch die „schweren“ Fundstücke in der Kategorie „Munition, geschlossen“ begründet. Die Belegungsdichte lässt sich auf 2,3 Kampfmittel pro 100 m<sup>2</sup> errechnen (rund 3,7 kg/100 m<sup>2</sup>). Die 2,3 Kampfmittel pro 100 m<sup>2</sup> liegen eingebettet in mindestens 133 Störsignalen. Nur 4,5 davon (entspricht 3,3 %) sind tatsächlich „scharfe“ Kampfmittel, der Rest nicht explosive Teile (Splitter). Lägen in den Zonen von 200 bis 500 m vergleichbare Verhältnisse vor, so wären insgesamt rund 50 t an Kampfmitteln zu erwarten.

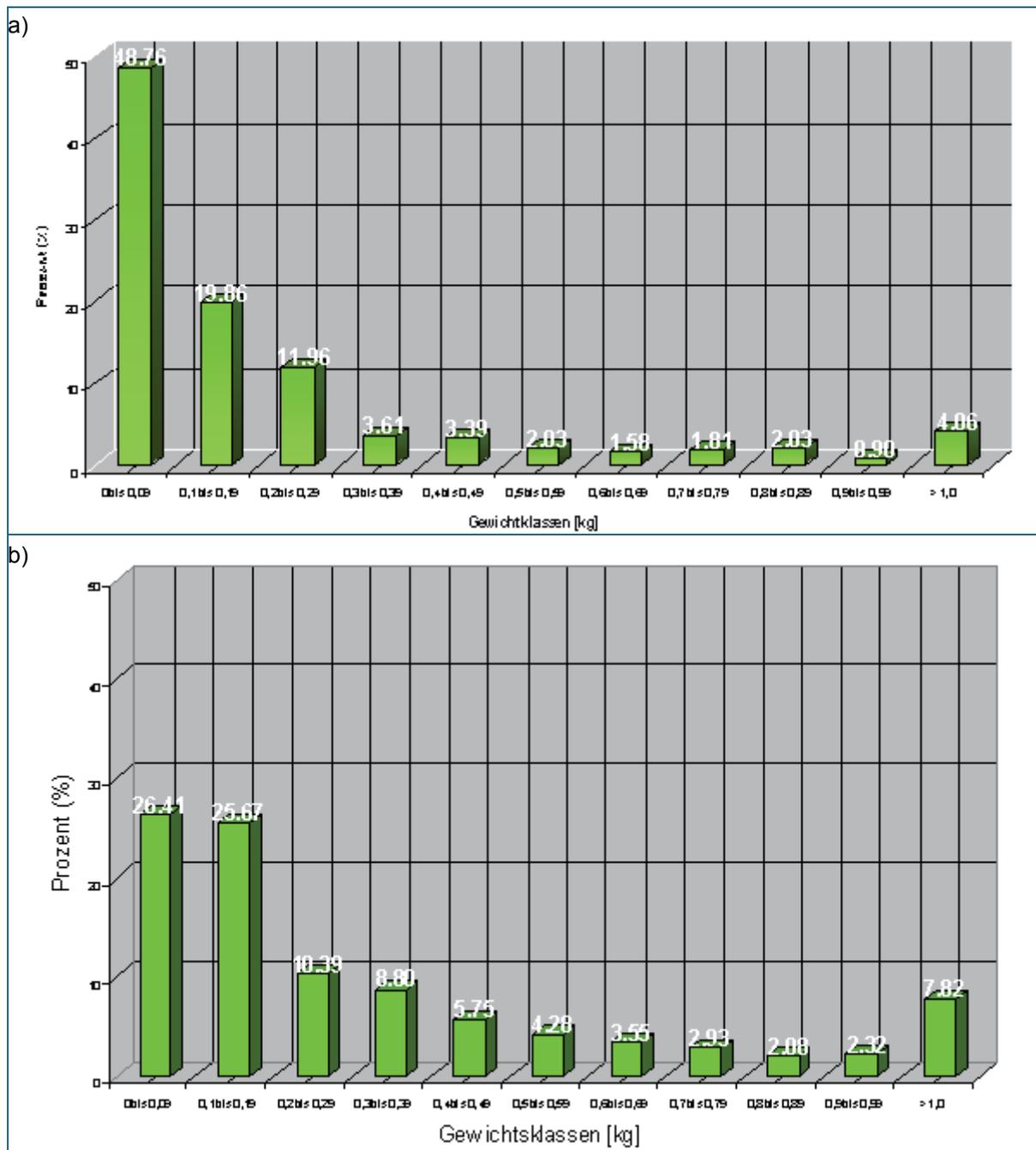


Abb. 5: a) Prozentuale Splittverteilung nach Gewichtsklassen – Platz A / TF1, b) Prozentuale Splittverteilung nach Gewichtsklassen – Platz A / TF2.

Auf beiden Testflächen zusammen wurden nur fünf Granaten geborgen. Sie waren mit 5 cm bis 9,5 cm relativ großkalibrig und lagen insbesondere im Testfeld TF2 tiefer, teilweise bis zu 1 m. Zwei Granaten sind italienischen, eine russischen Ursprungs. Die anderen beiden konnten nicht zugeordnet werden. Mit Ausnahme der italienischen 6,5 cm Sprenggranate waren alle bezündert bzw. enthielten Reste von Zündsystemen. Die russische Granate wurde als „nicht transportfähig“ eingestuft und Vor-Ort gesprengt. Eine erhöhte Gefahr ging auch von einer 7,5 cm-Sprenggranate auf TF1 aus, da die Zündkappe fehlte und im Zünder reibungsempfindliche Kupfersalze zu erkennen waren (Abb. 6).

Bei der Kategorie „**Munition, offen**“, handelte es sich - im Gegensatz zu den Funden in der Kategorie „Munition, geschlossen - überwiegend um Teile von kleineren Granaten. Meist enthalten sie nur unbe-

deutende Sprengstoffreste. Idealtypische offene großkalibrige Munition mit großen offenen Flächen fand sich kaum.



Abb. 6:  
7,5 cm Gr. o. Zünd-  
kappe mit reibungs-  
empfindlichen Kupfer-  
salz-Ausblühungen.

Einen Überblick über Funde und Fundzahlen gibt die Tab. 1. Das Verhältnis „Munition, geschlossen“ zu „Munition, offen“ wäre bei diesem Sprengplatz theoretisch als 1:1 bzw. 1:2,5 anzugeben (bez. auf die Stückzahlen). Dies erscheint jedoch nicht repräsentativ, da im Regelfall wesentlich mehr „Munition, geschlossen“ als „Munition offen“ zu erwarten sein sollte. Ursache kann sein, dass das ursprüngliche Verhältnis durch selektive Räumungen verschoben worden ist. Warum auf dem Platz A so viele Splitter aber kaum Munition geborgen wurden, ist unverständlich. Folgende Erklärungsversuche sind denkbar:

- Die Blindgängerrate war so niedrig. Dies widerspricht jedoch den bisherigen Erfahrungen.
- Das Verhältnis Munition zu Splitter ist tatsächlich für die inneren Zonen eines Streugebiets charakteristisch. Hierüber gibt es keine Erhebungen.
- Die Räumungen zu Anfang der 50er Jahre verliefen selektiv, d. h. es wurden nur Munition und Munitionsteile geborgen, während die Splitter liegen geblieben sind. Dies wäre möglich, aber untypisch, da Metall damals einen wertvollen Rohstoff darstellte und die Splitter nach der Sichtung bzw. Identifizierung sicherlich nicht wieder weggeworfen wurden.

Rechnerisch ergibt sich folgende Prognose:

Zone bis 100 m

- rund 20 t Splitter
- knapp 2 t geschl. Munition (576 Stück),
- 576 Stück Munition, offen
- Gesamtoberfläche benetzbarer Sprengstoff **0,6 m<sup>2</sup>**.

Zone bis 200 m

- rund 76 t Splitter,
- etwa 4 t geschl. Munition (508 Granaten),
- 1.271 Stück „offene Munition,
- Gesamtoberfläche benetzbarer Sprengstoff ca. **1,9 m<sup>2</sup>**.

Die Datenlage ist für eine belastbare Hochrechnung zu gering.

Tab. 1: Sprengplatz A. Ergebnisse und Prognosen der Testfeldsondierungen.

| Kategorien   | Stücke | Gesamtgewicht [kg] | Ø Gewicht [kg] | Sprengstoff, offen<br>Σ Einzelflächen [cm <sup>2</sup> ] | Sprengstoff, offen<br>Prognose für Zone-gesamt [m <sup>2</sup> ] | Gewicht<br>Prognose für Zone gesamt [t] |
|--|--------|--------------------|----------------|--|--|---|
| Sprengplatz A TF1 1.000 m <sup>2</sup> / Gesamtgröße der Zone bis 100 m 192.755 m <sup>2</sup>   |        |                    |                |  |  |   |
| geschlossen  | 3      | 10,3               | 3,4            | -  | -  | 2                                       |
| offen  | 3      | 4,3                | 1,4            | 33   | <b>0,6</b>   | 0,8                                     |
| sonstige   | 12     | 9,8                | 0,8            | -  | -  | 1,9                                     |
| Splitter   | 445    | 105                | 0,24           | -  | -  | 20,2                                    |
| nicht Mun. spez. Schrott   | 23     | 2,3                | 0,1            | -  | -  | 0,4                                     |
| insgesamt  | 486    | 28,2               | -              | 33   |  | 25,3                                    |
| Sprengplatz A TF2 / 1.000 m <sup>2</sup> Gesamtgröße der Zone 100 bis 200 m 254.286 m <sup>2</sup>   |        |                    |                |  |  |   |
| geschlossen  | 2      | 16                 | 8              | -  | -  | 4                                       |
| offen  | 5      | 26,5               | 5,3            | 77   | <b>1,9</b>   | 6,7                                     |
| sonstige   | 20     | 7,6                | 0,38           | -  | -  | 1,9                                     |
| Splitter   | 818    | 301                | 0,36           | -  | -  | 76,5                                    |
| nicht Mun. spez. Schrott   | -      | -                  | -              | -  | -  | -                                       |
| insgesamt  | 845    | 351,1              | -              | 77   |  | 89,1                                    |
| Summe an offen liegendem Sprengstoff hochgerechnet für die beiden Zonen bis 200 m  |        |                    |                |  | <b>2,5</b>   |   |
| Summe an „Mun. gesch.“, „Mun. offen“, „sonstige“, Splitter und nicht Mun. spez. Schrott hochgerechnet für die beiden Zonen bis 200 m                     |        |                    |                |  |  | 114                                     |
| „Munition, geschlossen“ hochgerechnet für die beiden Zonen bis 200 m   |        |                    |                |  |  | 6                                       |
| „Munition, offen hochgerechnet für die beiden Zonen bis 200 m  |        |                    |                |  |  | 7,5                                     |
| „Sonstige“, hochgerechnet für die beiden Zonen bis 200 m   |        |                    |                |  |  | 3,8                                     |
| „Splitter“ hochgerechnet für die beiden Zonen bis 200 m  |        |                    |                |  |  | 96,7                                    |
| „nicht Mun. spezifische Teile“ hochgerechnet für die beiden Zonen bis 200 m  |        |                    |                |  |  | 0,4                                     |
| Kampfmittelprognose (Summe aus Munition geschlossen, Munition offen und sonstige) für die beiden Zonen bis 200 m   |        |                    |                |  |  | 17,3                                    |
| <b>offen liegende Sprengstoffoberfläche pro Tonne prognostizierter Streumunition (Quotient aus „Offen liegendem Sprengstoff“ und Kampfmittelprognose</b> |        |                    |                |  |  | <b>0,14 m<sup>2</sup>/t</b>             |

Tab. 2: Ergebnisse der Testsondierungen auf dem Sprengplatz A. [Alle Fotos: A. Schwendner]

| Kategorie  | Gesamtzahl                    | Abbildung   | Gesamtgewicht [kg] | Gesamtfläche [cm <sup>2</sup> ] |
|--|-------------------------------|---|--------------------|---------------------------------|
| <b>Sprengplatz A; Testfeld TF1 (1.000 m<sup>2</sup>); 100 m-Zone (Gesamtgröße 192.755 m<sup>2</sup>)</b> |                               |   |                    |                                 |
| Munition, geschlossen  | 3<br>(alle bezündert)         | <br>6,5 cm italienische Panzergranate      7,5 cm Sprenggranate (Herkunft?)      5 cm russische Panzergranate   | 10,3               | -                               |
| Munition, offen  | 3                             | <br>Teil von 7,5 cm Granate      Teil von 2 cm Granate      Teil von 2,5 cm Granate                             | 4,3                | 33                              |
| Sonstige   | 12<br>(11 Zünder;<br>1 Hülse) | <br>diverse Zünder; teils. mit Verstärkungsladungen, teils. deformiert; korrodierte Hülse mit Treibladung (re) | 9,8                | -                               |
| Splitter   | 445                           |   | 105                | -                               |
| n. mun. Teile / Schrott  | 23                            |   | 2,3                | -                               |

| Sprengplatz A; Testfeld TF2 (1.000 m²); 200 m-Zone; Gesamtgröße 254.286 m²) |   |  |      |    |  |
|---|---|--|------|----|--|
| Munition, geschlossen   | 2   |  <p>6,5 cm italienische Sprenggranate;      9,5 cm Sprenggranate (Herkunft ungeklärt)</p>                          | 16   | -  |  |
| Munition, offen   | 5   |  <p>div. offene Granaten Kaliber 2 bis 7,5 cm.; nicht idealtypisch, teils nur kleine Reste an Sprst. vorhanden</p> | 26,5 | 77 |  |
| Sonstige  | 20<br>(13 Zünder;<br>6 Hülsen,<br>1 Nebel-<br>büchse ?) |  <p>diverse Zünder</p>  | 7,6  | -  |  |
| Splitter  | 818   |  | 301  |    |  |
| n. mun. Teile / Schrott   | -   |  | -    |    |  |

### 2.1.4.2 Sprengplatz SD

Am Sprengplatz SD wurden relevante Mengen an Kampfmitteln in den vier Zonen bis 400 m um das vermutete Sprengfeld aufgefunden. Die Verhältnisse unterscheiden sich stark von denen am Sprengplatz A: Die Zahl der Splitter ist deutlich geringer (TF1 13,7 / TF2 4,6 / TF3 4,3 / TF4 0,4 Splitter pro 100 m<sup>2</sup> gegenüber TF1 und TF2 mit 45 und 82 Stck. pro 100 m<sup>2</sup> am Sprengplatz A; Abb. 5). In den Kategorien „Munition, geschlossen“ und „Munition, offen“ treten dagegen wesentlich höhere Zahlen an Fundstücken auf (31 Fundstücke gegenüber 13 auf Platz A). Es handelt sich aber nahezu ausnahmslos um 2 cm Granaten für Flugzeug-Bordkanonen. Dieser Munitionstyp kommt vor allem in drei Ausführungen vor (Abb. 7): Als sprengstofffreies, zünderloses Panzerbrandgeschoss, als sprengstofffreies, bezündertes Brandgeschoss–Glimmspur sowie als bezündertes sprengstoffgefülltes Minengeschoss. Die ersten beiden liefern keinen Beitrag zum betrachteten Gefährdungspotenzial. Bei Sprengstücken ist eine Zuordnung zu diesen drei Typen jedoch oft nicht möglich, sodass Funde generell als sprengstoffgefüllt eingestuft worden sind. Lediglich im TF3 fand sich ein Stück „Munition, offen“, das als idealtypisch bezeichnet werden kann (aufgesprengte 7,5 cm Granate). Die Funde an deformierter Infanteriemunition und an Kartuschen sind typisch für Sprengungen durch US. Warum nur 2 cm-Munition gefunden wurde, ist unklar, da ein repräsentativer Querschnitt vernichtet worden sein soll. Möglicherweise war die Qualität der Absuche damals sehr gut, sodass nur die kleinsten Vertreter – 2 cm-Granaten und Infanteriemunition – nicht detektiert werden konnten. In diesem Fall wären die Ergebnisse jedoch nur als sehr eingeschränkt repräsentativ zu betrachten. Gestützt auf die oben beschriebenen Suchergebnisse ergeben sich folgende Prognosen (Tab. 3):

#### TF1-Zone bis 100 m

- 0,2 t „Munition, geschl.“ (1.840 Stück)
- 736 Stück „offene Munition“ (0,1 t)
- rund 2,4 t Splitter
- Gesamtoberfläche benetzbarer Sprengstoff 0,18 m<sup>2</sup>.

#### TF2-Zone bis 200 m

- 0,3 t „Munition geschl.“ (2.450 Granaten)
- 1.715 Stück „offene Munition“ (0,3 t)
- rund 1,9 t Splitter
- Gesamtoberfläche benetzbarer Sprengstoff etwa 0,29 m<sup>2</sup>.

#### TF3-Zone bis 300 m

- 0,5 t „Munition, geschl.“ (3.684 Granaten)
- 1.842 Stück „offene Munition“ (0,8 t)
- 3,2 t Splitter
- Gesamtoberfläche benetzbarer Sprengstoff von etwa 0,4 m<sup>2</sup>.

#### TF4-Zone bis 400 m

- 0,3 t „Munition, geschl.“ (1.845 Gr.)
- 369 Stück „offene Munition“ (0,03 t)
- 0,1 t Splitter
- Gesamtoberfläche benetzbarer Sprengstoff etwa 0,03 m<sup>2</sup>.

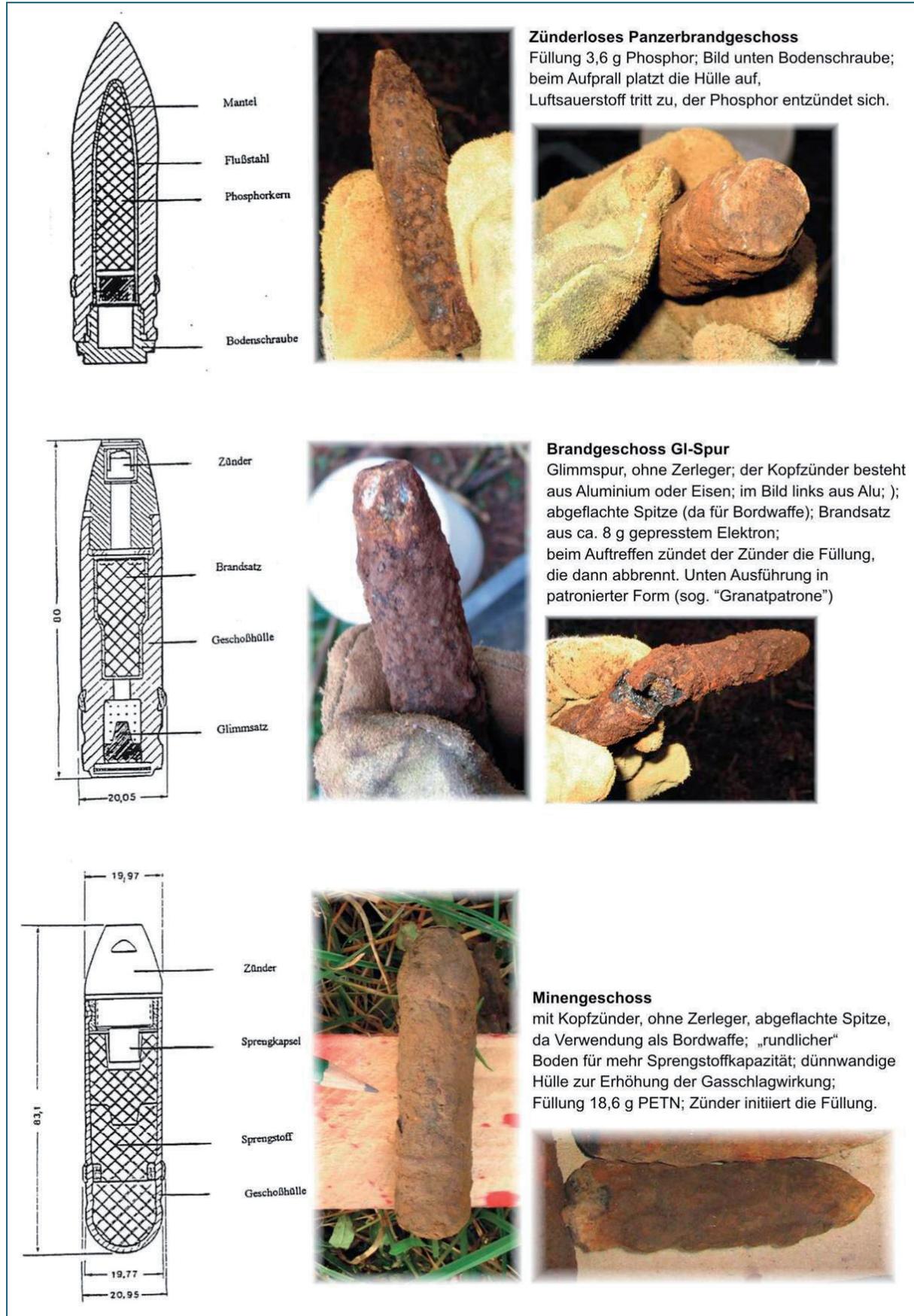


Abb. 7: Häufige Typen von 2-cm Granaten für Bordkanone. Elektron ist eine Leichtmetalllegierung aus über 90% Magnesium sowie aus Aluminium, Mangan, Kupfer und Zink.

Die ersten vier Zonen liegen hinsichtlich der Munitionsfunde annähernd in der gleichen Größenordnung. Splitter kommen aber nur bis zur 300 m-Linie in größerer Menge vor.

Die **Zone bis 500 m** weist praktisch keine Relikte von Sprengungen mehr auf (daher oben nicht mehr dargestellt).

Aus Sicht des KBD wären auf dem Platz in den Zonen 0 - 500 m insgesamt 5,43 t an Kampfmitteln zu erwarten. Daraus errechnet sich pro Tonne prognostizierter Fundmunition eine **Fläche an offen liegendem Sprengstoff von 0,16 m<sup>2</sup>**. Dieser Wert liegt auffallend nahe an dem Wert von 0,14 m<sup>2</sup>, der für den Sprengplatz A errechnet wurde.

Zusammenfassend wurde bei den Testsondierungen auf den beiden Plätzen einfach zu wenig Munition gefunden, um damit eine belastbare Abschätzung des Anteils an angesprengter Munition bzw. der offen liegenden Sprengstoffoberfläche generieren zu können. Auch erscheinen die ermittelten Verhältnisse von „Munition, geschlossen“ zu „Munition, offen“ auf beiden Plätzen unplausibel. Der Anteil an angesprengter Munition erscheint deutlich zu hoch. Unserer Einschätzung nach sollte die Menge an intakter Munition die Menge an zerbrochener Munition wesentlich übersteigen.

**An Hand der vorliegenden Ergebnisse liegen die Werte für offen liegenden Sprengstoff bei 0,14 und 0,16 m<sup>2</sup> pro Tonne prognostizierter Streumunition.**

Gestützt auf die Untersuchungsbefunde können für den Platz SD folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Auf dem Platz SD sind in den Zonen bis 400 m um das vermutete Sprengfeld 7,7 t Splitter und 1,3 t „Munition, geschlossen“ zu erwarten. Es dürfte sich fast ausschließlich um 2 cm Granaten handeln. Ein wesentlicher Teil davon ist sprengstofffrei.

An „Munition, offen“ sind 4.662 Stücke zu erwarten, die (auf Grund ihrer geringen Größe) zusammen lediglich eine benetzbare Sprengstoffoberfläche von 0,9 m<sup>2</sup> bilden.

**Pro Tonne an zu erwartenden Kampfmitteln bzw. an prognostizierter Streumunition errechnet sich eine Fläche an offen liegendem Sprengstoff von 0,16 m<sup>2</sup>.**

Die Gesamtprognose für diesen Platz sieht aus KBD-Sicht wie folgt aus:

In den fünf Zonen bis 500 m um das Sprengfeld sind **5,43 t** an Kampfmitteln bzw. an Streumunition zu erwarten. Dies entspricht 34.500 Stück. In der Zone 400 bis 500 m treten nur noch Munitionsteile auf.

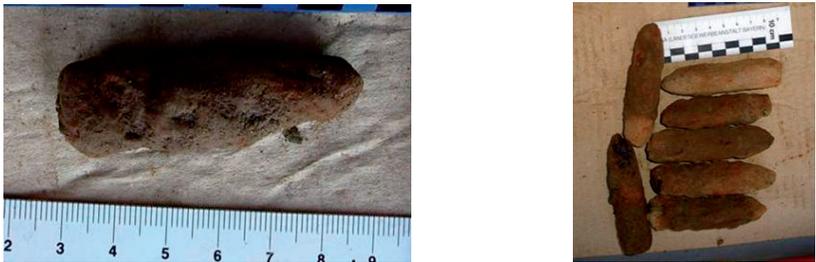
Die Menge von 5,4 t ist angesichts der annähernd 154 ha großen potenziell mit Kampfmitteln belasteten Fläche als sehr niedrig anzusehen. Es ergäbe sich lediglich eine Kampfmittelbelastung von durchschnittlich 2,2 Stück pro 100 m<sup>2</sup> (0,35 kg/100 m<sup>2</sup>).

Tab. 3: Sprengplatz SD. Ergebnisse und Prognosen der Testfeldsondierungen.

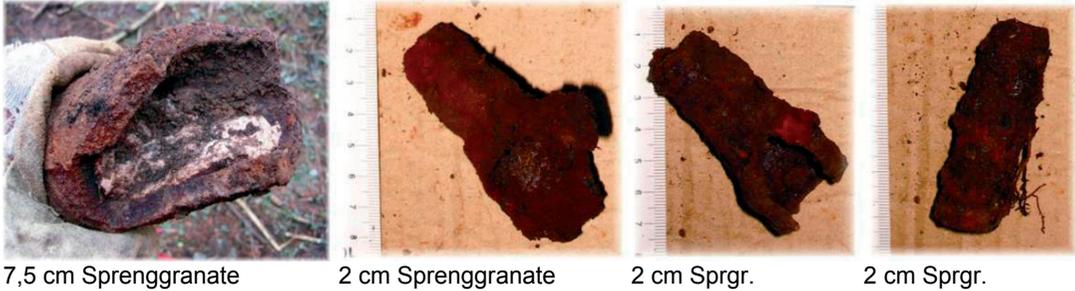
| Kategorien  | Stücke | Gesamtgewicht [kg] | Ø Gewicht [kg] | Sprengstoff, offen<br>Σ Einzelflächen [cm <sup>2</sup> ] | Sprengstoff, offen<br>Prognose für Zone-gesamt [m <sup>2</sup> ] | Gewicht, Prognose für<br>Zone gesamt [t] |
|---|--------|--------------------|----------------|--|--|--|
| Sprengplatz SD TF1 / 1.000 m <sup>2</sup> / Gesamtgröße der Zone bis 100 m 184.649 m <sup>2</sup> |        |                    |                |  |  |  |
| geschlossen   | 10     | 1,1                | 0,1            | -  | -  | 0,2                                      |
| offen   | 4      | 0,5                | 0,1            | 10   | <b>0,18</b>  | 0,1                                      |
| sonstige  | 39     | 0,9                | 0,02           | -  | -  | 0,2                                      |
| Splitter  | 137    | 13,2               | 0,1            | -  | -  | 2,4                                      |
| nicht Mun. spez. Schrott  | 3      | 0,1                | 0,03           | -  | -  | 0,02                                     |
| insgesamt   | 193    | 15,8               | 0,08           | 10   |  | 2,9                                      |
| Sprengplatz SD TF2 / 1.000 m <sup>2</sup> Gesamtgröße der Zone bis 200 m 245.562 m <sup>2</sup>   |        |                    |                |  |  |  |
| geschlossen   | 10     | 1,1                | 0,1            | -  | -  | 0,3                                      |
| offen   | 7      | 1,4                | 0,2            | 12   | <b>0,29</b>  | 0,3                                      |
| sonstige  | 12     | 2,1                | 0,17           | -  | -  | 0,5                                      |
| Splitter  | 46     | 7,7                | 0,16           | -  | -  | 1,9                                      |
| nicht Mun. spez. Schrott  | 4      | 1                  | 0,24           | -  | -  | 0,2                                      |
| insgesamt   | 79     | 13,1               | 0,17           | 12   |  | 3,2                                      |
| Sprengplatz SD TF3 / 1.000 m <sup>2</sup> Gesamtgröße der Zone bis 300 m 307.453 m <sup>2</sup>   |        |                    |                |  |  |  |
| geschlossen   | 12     | 1,6                | 0,13           | -  | -  | 0,5                                      |
| offen   | 6      | 2,5                | 0,41           | 13   | <b>0,4</b>   | 0,8                                      |
| sonstige  | 9      | 2,6                | 0,29           | -  | -  | 0,8                                      |
| Splitter  | 43     | 10,3               | 0,24           | -  | -  | 3,2                                      |
| nicht Mun. spez. Schrott  | 4      | 1,7                | 0,41           | -  | -  | 0,5                                      |
| insgesamt   | 74     | 18,6               | 0,25           | 13   |  | 5,8                                      |
| Sprengplatz SD TF4 / 1.000 m <sup>2</sup> Gesamtgröße der Zone bis 400 m 369.806 m <sup>2</sup>   |        |                    |                |  |  |  |
| geschlossen   | 5      | 0,7                | 0,14           | -  | -  | 0,3                                      |
| offen   | 1      | 0,1                | 0,07           | 1  | <b>0,03</b>  | 0,03                                     |
| sonstige  | 5      | 1,5                | 0,29           | -  | -  | 0,5                                      |
| Splitter  | 4      | 0,3                | 0,07           | -  | -  | 0,1                                      |
| nicht Mun. spez. Schrott  | 1      | 0,1                | 0,06           | -  | -  | 0,02                                     |
| insgesamt   | 16     | 2,56               | 0,16           | 1  |  | 0,9                                      |

| Kategorien   | Stücke | Gesamtgewicht [kg] | Ø Gewicht [kg] | Sprengstoff, offen<br>Σ Einzelflächen [cm <sup>2</sup> ] | Sprengstoff, offen<br>Prognose für Zone-gesamt [m <sup>2</sup> ] | Gewicht, Prognose für<br>Zone gesamt [t] |
|--|--------|--------------------|----------------|--|--|--|
| Sprengplatz SD TF5 / 1.000 m <sup>2</sup> Gesamtgröße der Zone bis 500 m 432.325 m <sup>2</sup>  |        |                    |                |  |  |  |
| geschlossen  | 0      | 0                  | 0              | -  | -  | 0  |
| offen  | 0      | 0                  | 0              | 0  | <b>0</b>   | 0  |
| sonstige   | 8      | 1,97               | 0,25           | -  | -  | 0,9                                      |
| Splitter   | 1      | 0,21               | 0,21           | -  | -  | 0,09                                     |
| nicht Mun. spez. Schrott   | 6      | 0,51               | 0,09           | 0  | -  | 0,2                                      |
| insgesamt  | 15     | 2,69               | 0,18           | 0  |  | 1,2                                      |
| Summe an offen liegendem Sprengstoff hochgerechnet für alle fünf (bzw. vier) Zonen bis 500 m   |        |                    |                |  | <b>0,9 m<sup>2</sup></b>   |  |
| Summe an „Mun. gesch.“, „Mun. offen“, „sonstige“, Splitter und nicht Mun. spez. Schrott hochgerechnet für alle fünf Zonen                                |        |                    |                |  |  | <b>14</b>                                |
| „Munition, geschlossen“ hochgerechnet für alle fünf Zonen (bzw. 4, da Zone 400-500 m keine Funde in dieser Kategorie)                                    |        |                    |                |  |  | <b>1,3</b>                               |
| „Munition, offen“ hochgerechnet für alle fünf Zonen (bzw. 4, da Zone 400-500 m keine Funde in dieser Kategorie)  |        |                    |                |  |  | <b>1,23</b>                              |
| „Sonstige“, hochgerechnet für alle fünf Zonen  |        |                    |                |  |  | <b>2,9</b>                               |
| „Splitter“ hochgerechnet für alle fünf Zonen   |        |                    |                |  |  | <b>7,69</b>                              |
| „nicht Mun. spezifische Teile“ hochgerechnet für alle fünf Zonen   |        |                    |                |  |  | <b>0,94</b>                              |
| Kampfmittelprognose (Summe aus Munition geschlossen, Munition offen und sonstige) hochgerechnet für alle fünf Zonen                                      |        |                    |                |  |  | <b>5,43</b>                              |
| <b>offen liegende Sprengstoffoberfläche pro Tonne prognostizierter Streumunition (Quotient aus „Offen liegendem Sprengstoff“ und Kampfmittelprognose</b> |        |                    |                |  |  | <b>0,16</b>                              |

Tab. 4: Zusammenstellung und Beschreibungen der Testfeldsondierungen Sprengplatz SD. [Alle Fotos: A. Schwendner]

| Kategorie  | Gesamtzahl   | Abbildung  | Gesamtgewicht [kg]             | Gesamtfläche [cm²] |
|--|--|--|--------------------------------|--------------------|
| <b>Sprengplatz SD; Testfeld TF1 (1.000 m²); 100 m-Zone; Gesamtgröße 184.649 m2</b> |  |  |                                |                    |
| Munition, geschlossen  | 10<br>(2x13mm Sprgr<br>7x2 cm Pzgr.<br>1x2cm Minengr.                      |  <p>links: 13 mm Granate;<br/>rechts: 6 Panzer(brand)granaten, teils mit Leuchtpureinsatz; am Boden der Gr. an Schraube zu erkennen; ein Minengeschos, unten ,liegend, zu erkennen am gewölbten Boden;</p> | 1,2                            | -                  |
| Munition, offen  | 4<br>(alle 2 cm Granaten)  |  <p>links: aufgesprengte 2 cm Sprenggranate; vermutlich sind Reste der Füllung vorhanden;<br/>rechts: Teil einer 2 cm Sprenggranate; in diesem Munitionsteil sind nur geringe Restmengen zu erwarten;</p>  | 0,47<br>(durchschnittl. 0,117) | 10                 |
| Sonstige   | 39<br>(4 Zünder; 17 Hülsen, 17 Geschößspitzen;<br>1 Teil von Panzergranate |  <p>Infanterie-Geschößspitzen      Infanterie-Hülsen; angesprengt      Reste von Alu-Zünder</p>  | 0,928                          | -                  |
| Splitter   | 137  |  | 13,26                          | -                  |
| n. mun. Teile / Schrott  | 3  |  | 0,1                            | -                  |

| Kategorie  | Gesamtzahl   | Abbildung | Gesamtgewicht [kg]          | Gesamtfläche [cm <sup>2</sup> ] |
|--|--|-----------|-----------------------------|---------------------------------|
| <b>Sprengplatz SD; Testfeld TF2 (1.000 m<sup>2</sup>); 200 m-Zone; Gesamtgröße 245.562 m<sup>2</sup></b> |  |           |                             |                                 |
| Munition, geschlossen  | 10<br>(8x2cm Pz. u. Spr.gr 1x2 cm Granatpatr. (Spreng./Flak) 1x7,5 cm Pzgr)                        |           | 1,06                        | -                               |
| Munition, offen  | 7<br>(alle 2 cm)   |           | 1,4<br>(durchschnittl. 0,2) | 12                              |
| Sonstige   | 12<br>7xKartuschen bzw. Teile<br>3x Zdr.<br>1x Inf.gesch.<br>1x Mun.teil<br>2 cm Pzgr. (o. Sprst.) |           | 2,07                        |                                 |
| Splitter   | 46   |           | 7,7                         | -                               |
| n. mun. Teile / Schrott  | 4  |           | 0,96                        | -                               |

| Kategorie  | Gesamtzahl   | Abbildung  | Gesamtgewicht [kg] | Gesamtfläche [cm <sup>2</sup> ] |
|--|--|--|--------------------|---------------------------------|
| <b>Sprengplatz SD; Testfeld TF3 (1.000 m<sup>2</sup>); 300 m-Zone; Gesamtgröße 307.453 m<sup>2</sup></b> |  |  |                    |                                 |
| Munition, geschlossen  | 12<br>(5x 2 cm Sprgr.;<br>4x 2 cm Minengr.<br>2x 2 cm Panzergr.<br>1x 2 cm Sprenggranatpatrone Flak) |    | 1,57               | -                               |
| Munition, offen  | 6<br>(1x 7,5 cm Sprenggr.<br>5 x 2 cm Sprenggr.)   |   | 2,5                | 13                              |
| Sonstige   | 9<br>6x Kart. bzw. -teile<br>1x Zdr<br>1x Rohr<br>Pzfaust<br>1x Patr. u. Geschoß<br>Inf.mun.         |  | 2,64               |                                 |
| Splitter   | 43   |  | 10,25              |                                 |
| n. mun. Teile / Schrott  | 4  |  |                    |                                 |

| Kategorie  | Gesamtzahl   | Abbildung | Gesamtgewicht [kg] | Gesamtfläche [cm <sup>2</sup> ] |
|--|--|-----------|--------------------|---------------------------------|
| <b>Sprengplatz SD; Testfeld TF4 (1.000 m<sup>2</sup>); 400 m-Zone; Gesamtgröße 369.806 m<sup>2</sup></b> |  |           |                    |                                 |
| Munition, geschlossen  | 5<br>(3x2 cm Sprenggr.<br>1x2 cm Panzergr.<br>1x3cm nicht ident. Objekt) |           | 0,68               | -                               |
| Munition, offen  | 1<br>(Teil von 2 cm Sprenggr.)   |           | 0,07               | 1                               |
| Sonstige   | 5<br>3x Infanteriepatrone.<br>1x Inf. Geschöß u. Patron)<br>1x Nebeltopf |           | 1,46               |                                 |
| Splitter   | 4  |           | 0,29               | -                               |
| n. mun. Teile / Schrott  | 1  |           | Eisenhaken         | 0,06                            |

| Kategorie  | Gesamtzahl   | Abbildung   | Gesamtgewicht [kg] | Gesamtfläche [cm²] |
|--|--|---|--------------------|--------------------|
| <b>Sprengplatz SD; Testfeld TF5 (1.000 m²); 500 m-Zone; Gesamtgröße 432.325 m²</b> |  |   |                    |                    |
| Munition, geschlossen  | 0  |   | 0                  | -                  |
| Munition, offen  | 0  |   | 0                  |                    |
| Sonstige   | 8<br>7x<br>Infanteriepatrone u.<br>Geschoss<br>1x<br>Infanteriepatrone |  | 1,97               |                    |
| Splitter   | 1  |   | 0,21               |                    |
| n. mun. Teile / Schrott  | 6  |   | 0,51               |                    |

## 2.2 Elutionsversuche

### 2.2.1 Versuchsplanung

Laborversuche sollten zeigen, ob und in welcher Größenordnung Sprengstoff aus (bzw. in) aufgebrochener Munition bei Kontakt mit Niederschlagswasser angelöst wird. Um mögliche Schwankungen in der Austragsdynamik während des Versuchs zu minimieren, wurde es als sinnvoll erachtet, den Gesamtaustrag des Versuchssystems durch „Beregnen“ mit einem Jahresniederschlag zu simulieren. Die verwendeten Proben zur Elution sollten (im Idealfall) „frisch“ aus dem Feld stammen, d. h. seit langem den Umwelteinflüssen ausgesetzt gewesen sein. Bei den Brocken konnte es sich um Entnahmestücke aus alter aufgebrochener Munition handeln oder um lose Fundbrocken (aus Low-Order-Detonationen) einer Bergungsmaßnahme. Vorrangig war der „physikalische Lösungsvorgang“ zu betrachten. Andere Effekte, wie z. B. (Rück-)Sorption am Boden, waren durch Verwendung entsprechender Bodenmaterialien soweit möglich zu unterdrücken. Um drei prinzipielle Sickerwassermilieus zu simulieren, sah die Planung die Verwendung von neutralem, saurem und mit Huminstoffen angereichertem Wasser vor. Da von unterschiedlichem Lösungsverhalten auszugehen war, sollten die Versuche mit drei verschiedenen Sprengstoffen bzw. verschiedenen Mischungen durchgeführt werden. Die Proben waren so auszuwählen, dass zwei davon Hexogen enthielten, da dieser Sprengstoff erfahrungsgemäß die größte Umweltrelevanz aufweist.

Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass auf Sprengplätzen zwar häufig TNT und dessen Metaboliten bei den Kontaminationen im Boden dominieren, das Grundwasser jedoch meist mit Hexogen verunreinigt ist. Dieser Parameter ist im Boden häufig nicht nachzuweisen, was derzeit nicht plausibel ist. Darüber hinaus wurde Hexogen im Deutschen Reich nur in geringeren Mengen hergestellt. Auf Grund seiner deutlich höheren Detonationsgeschwindigkeit fand er vor allem als Hohlladungssprengstoff in panzerbrechender Munition, untergeordnet auch in größeren Bomben Anwendung, wenn eine hohe Gasschlagswirkung erzielt werden sollte. Teilweise wurden in dieser Spezialmunition auch Mischungen mit TNT verwendet, da Hexogen in Reinform nicht gießbar ist. Diese Spezialmunition bildete insgesamt jedoch einen nahezu vernachlässigbar geringen Anteil an der Munition der Deutschen Wehrmacht. Demzufolge dürfte diese Spezialmunition auch nur untergeordnet auf Sprengplätzen vernichtet worden sein. Es stellt sich also die Frage, woher das Hexogen im Grundwasser kommt, das im Boden nicht zu finden ist und seinen Ursprung nicht in deutscher Munition zu haben scheint. Die Laborversuche verfolgten deswegen auch das Ziel, das Verhalten von TNT/Hexogen gegenüber Niederschlagswasser näher zu untersuchen.

### 2.2.2 Sprengstoffproben

Die Probenbeschaffung erfolgte in Zusammenarbeit mit den Innenministerien der Länder Bayern und Hessen. Bei Ortsterminen bei den staatlichen Zerlegebetrieben in Ingolstadt (Bayern) und Romrod (Hessen) im September 2006 wurden die dort vorhandenen Kampfmittel gesichtet. Aufgesprengte Munition oder „Sprengstoffbrocken aus dem Feld“ waren zu der Zeit jedoch nicht in wünschenswerter Menge bzw. Auswahl vorhanden, sodass zum Teil auf Sprengstoff aus frisch aufgesägter Munition ausgewichen werden musste.

In Amtshilfe wurden ergänzend von zwei Sprengplätzen aus anderen Bundesländern Sprengstoffbrocken (Fundstücke) zur Verfügung gestellt.

Da die chemische Zusammensetzung von Sprengstoffen visuell nicht erkenntlich ist, wurden insgesamt 21 Proben (EV1 bis EV21) ausgewählt und vom *Büro für Altlastenerkundung und Umweltforschung*, Dr. Rainer Haas, Marburg, hinsichtlich der Zusammensetzung voruntersucht. Zur Untersuchung wurde je ein Körnchen von 20-50 mg des Materials mit 20 ml Methanol im Ultraschallbad für 15 min extrahiert. Die Extrakte wurden über Nacht im Kühlschrank stehen gelassen. Die Substanzidentifizierung erfolgte mit HPLC mit Diodenarraydetektion. Die Methode erfasst alle gängigen

Sprengstoffe. Die Nachweisgrenzen liegen bei etwa 0,5 Gew.-%, d. h. Nebengemenganteile bleiben ab einer Größenordnung von < 5 g/kg unerkannt. Da zur chemischen Untersuchung der Proben sehr hohe Verdünnungen erforderlich sind, können durch Aufsummieren von Messungenauigkeiten Analysenwerte über 100% auftreten. Tab. 5 zeigt die beprobte Munition und ihre Zusammensetzung im Überblick.

Erwartungsgemäß enthielten nur die beiden panzerbrechenden Typen Hexogen (in Mischung mit TNT). Bei allen anderen Proben sowie bei allen Sprengstoffbrocken handelte es sich um „reines“ TNT.

Für die Elutionsversuche wurden die Proben EV8, EV21 und eine Mischprobe aus EV11 bis EV20 als Prüfkörper ausgewählt.

Der grobkristalline Sprengstoff von **EV8** stammt aus einer stärker korrodierten deutschen Panzerfaust, deren Hülle bereichsweise weg gebrochen war. Der Sprengstoff erwies sich im Kontaktbereich zur Hülle dunkel verfärbt. Dies kann als chemische Veränderung (durch Einwirkung von Sauerstoff oder UV-Licht) interpretiert werden. Die Zusammensetzung dieser Lage entsprach jedoch weitgehend der Zusammensetzung im „Zentrum“ der Füllung. Der Durchschnittswert der beiden Analysen (Rand und Zentrum) liegt bei 58,5% TNT/ 49% Hexogen. Die 158 g schwere Probe wurde vor ihrem Einbau in drei Brocken aufgeteilt. Sie haben zusammen eine Oberfläche von 55 cm<sup>2</sup>.

**EV21** stammt aus einer frisch aufgesägten deutschen Panzerbüchse. Bei der Entnahme des Sprengstoffs entstanden 20 kleinere Brocken. Sie ergaben eine Zusammensetzung von 56% TNT und 32% Hexogen. Die Masse der 20 Bröckchen beträgt 26 g, die Summe ihrer Oberflächen 120 cm<sup>2</sup>.

Bei den **Proben EV11 bis EV20** handelte es sich um insgesamt 19 kleinere Sprengstoffbrocken „aus dem Feld“. Ihre Oberflächen waren durch Witterungs- bzw. UV-Einfluss dunkel verfärbt. Alle Brocken wurden zu einer Mischprobe zusammengefasst, die insgesamt 121 g wog. Der Mittelwert der 19 Einzelanalysen ergab eine durchschnittliche Zusammensetzung von 96% TNT. Die Summe ihrer Oberflächen beträgt 291 cm<sup>2</sup>.

Die Proben wurden zunächst mit einer digitalen Präzisionswaage der *Fa. Mettler Toledo (VIPER SW35 IntCal*; Messgenauigkeit 0,1 g) gewogen und die Oberflächen dann mittels Schieblehre bzw. Lineal vermessen.

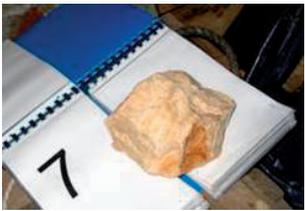
Da offener Sprengstoff „allseitig“ in feuchtem Boden eingebettet ist, geht die Flächenbetrachtung davon aus, dass bei Kontakt mit Niederschlagswasser die gesamte Oberfläche eines Brockens benetzt wird, also nicht nur der Teil (bzw. Querschnittsoberfläche), der der Geländeoberfläche zugewandt ist. Dieser Ansatz ist zwar idealisiert, dürfte den tatsächlichen Verhältnissen aber nahe kommen. Die Gesamtoberfläche der „dreidimensionalen Prüfkörper“ ergibt sich, indem man ihre Oberfläche in einzelne zweidimensionale Teilflächen zerlegt und die einzelnen Flächen addiert. Die resultierenden Daten sind in der Tab. 6 zusammengestellt.

Eine gewisse Wasseraufnahme war im Oberflächenbereich der Brocken zwar anzunehmen, doch eine komplette „Durchsickerung“ im Sinne einer vollständigen Durchwanderung der Wassermoleküle „von einer Seite auf die andere“ wurde ausgeschlossen.

Unterschiede zu Sprengstoffbrocken in der gesättigten Zone, wie sie von LOOK [206] (eigentlich unbeabsichtigt) simuliert wurden, ergeben sich im Vergleich zum vorliegenden Versuchsansatz im wesentlichen im höheren Wasserdargebot und der praktisch unbegrenzten Kontaktzeit (LOOK hat Sprengstoffproben verschiedener Korngrößen in Wasser „ingelegt“ und die Konzentrationen in definierten Zeitabständen bestimmt). Dieses Szenario dürfte jedoch den natürlichen Verhältnissen weniger nahe kommen, als der von uns konzipierte Versuchsaufbau.

Tab. 5: Zusammenstellung der vor untersuchten Sprengstoffproben. [Alle Fotos: A. Schwendner]

| Probenr. | Ursprung / Bezugsquelle                                  | Zustand  | Foto  | Analysenergebnis  |
|----------|--|--|---|---|
| EV1      | Deutsche Bombe / Kommando Ingolstadt                     | Zerscheller; steckte im Grund des Ismaninger Sees; zum Teil im Schlamm, zum Teil im Wasser;<br>Sprengstoff ist körnig und sehr bröselig, zerfällt leicht; sehr starker Geruch nach Naphthalin oder Nitroaromaten |    | kein Nachweis mittels HPLC;<br>Hauptbestandteil vermutlich Ammoniumnitrat |
| EV2      | US-Bombe; / Kommando Ingolstadt                          | Zerscheller; Fundort Neumarkt Opf.;<br>Sprengstoff ist fest und feinkristallin; wenig angewittert; im Kontaktbereich zur Hülle ist er schwarz verfärbt   |    | 87% TNT   |
| EV3      | Deutsche Do-Werfer-Granate (21 cm) / Kommando Ingolstadt | Granate war zerbrochen; Sprengstoff braungrau, feinkristallin  |   | 79 % TNT  |
| EV4      | Deutsche Sprenggranate 10,5 cm / Kommando Ingolstadt     | Granate wurde frisch aufgesägt; war geschlossen; Sprengstoff orangefarben, feinkristallin, fest  |  | 86 % TNT  |

| Probenr. | Ursprung / Bezugsquelle  | Zustand   | Foto  | Analysenergebnis   |
|----------|--|---|---|--|
| EV5      | Deutsche Sprenggranate 15 cm mit Zünder / Kommando Ingolstadt      | Granate wurde frisch aufgesägt; war unversehrt; Sprengstoff bröckeliger als EV4; apricotfarben  |    | 86 % TNT   |
| EV6      | loser Sprengstoff aus einer aufgesägten Bombe; Kommando Ingolstadt | Ursprung und Fundort der Bombe unbekannt; Sprengstoff lagerte in Kisten in Plastiktüte verpackt; Sprengstoff ist fest, kristallin; rosa   |    | 89 % TNT   |
| EV7      | loser Sprengstoff aus einer aufgesägten Bombe; Kommando Ingolstadt | Ursprung und Fundort der Bombe unbekannt /Sprengstoff lagerte in Kiste in Plastiktüte; Sprengstoff ist fest, kristallin; grau   |   | 79 % TNT   |
| EV8      | Deutsche Panzerfaust; Kommando Ingolstadt                          | stärker korrodiert; Sprengstoff lag zum Teil offen, da ein Stück der Hülle durch Korrosion weg gebrochen war; Sprengstoff, große Kristalle, radial angeordnet; im Kontaktbereich zur Wandung bzw. Außenseite verfärbt; vermutlich durch Einfluss von UV-Licht 4 |  | 8a (verfärbter Rand)<br>60% TNT<br>47 % RDX<br>8b (unverfärbter Sprengstoff)<br>57 % TNT<br>51 % RDX |

| Probennr. | Ursprung / Bezugsquelle   | Zustand  | Foto  | Analysenergebnis |
|-----------|---|--|---|------------------|
| EV9       | 15 cm Granate, aufgeplatzt;<br>Kommando Ingolstadt                      | Mun-Teile hatte Kommando Feucht angeliefert; Sprengstoff kristallin und kompakt; ließ sich sehr schwer aus der Granate lösen |    | 88 % TNT         |
| EV10      | Granate evtl. 10,5 cm; ohne Zünder; aufgeplatzt / Kommando Ingolstadt   | Sprengstoff angewittert; zerfällt leicht; braungrau; zum Teil verfärbt   |    | 71 % TNT         |
| EV11      | offen liegender, loser Brocken von Sprengplatz (Wald); Norddeutschland  | Sprengstoff (gelb)braun; angewittert?; vermutlich Bruchstück eines Presslings  |   | 90% TNT          |
| EV12      | offen liegender, loser Brocken von Sprengplatz (Wald) / Norddeutschland | lagige Struktur; hellbraun, rotbraun; vermutlich Bruchstück eines Presslings   |  | 91 % TNT         |

| Probenr. | Ursprung / Bezugsquelle  | Zustand   | Foto  | Analysenergebnis |
|----------|--|---|---|------------------|
| EV13     | offen liegender, loser Brocken<br>von Sprengplatz (Wald) /<br>Norddeutschland          | feinkristallin, ohne Struktur, braun, rotbraun, gelbbraun                   |    | 96 % TNT         |
| EV14     | offen liegender, loser Brocken<br>von Sprengplatz (Wald) /<br>Norddeutschland          | feinkristallin, schichtige Struktur; rostbraun                              |    | 88 % TNT         |
| EV15     | offen liegender, loser Brocken<br>von Sprengplatz (offene Fläche) /<br>Norddeutschland | grauschwarz, vermutlich durch Kontakt mit Boden verfärbt;<br>feinkristallin |   | 103 % TNT        |
| EV16     | offen liegender, loser Brocken<br>von Sprengplatz (offene Fläche) /<br>Norddeutschland | dunkelbraun, rötlich, evtl. durch Sonnenlicht verfärbt; feinkristallin      |  | 102 % TNT        |

| Probenr. | Ursprung / Bezugsquelle  | Zustand   | Foto  | Analysenergebnis    |
|----------|--|---|---|---------------------|
| EV17     | offen liegender, loser Brocken<br>von Sprengplatz (offene Fläche) /<br>Norddeutschland | vier Brocken; vermutlich gleiche Zusammensetzung; davon ein Bruchstück eines Brockens zur Voruntersuchung; feinkristallin; schwarzbraun |    | 101 % TNT           |
| EV18     | offen liegender, loser Brocken<br>von Sprengplatz (offene Fläche) /<br>Norddeutschland | vier Brocken; vermutlich alle gleiche Zusammensetzung; nur ein Bruchstück eines Brockens zur Voranalyse; schwarzbraun, feinkristallin   |    | 96 % TNT            |
| EV19     | offen liegender, loser Brocken<br>von Sprengplatz (offene Fläche) /<br>Norddeutschland | sieben Brocken; vermutlich alle gleiche Zusammensetzung; helle Seite lag stets unten im Boden; feinkristallin; schwarzbraun             | kein Bild vorhanden   | 100 % TNT           |
| EV20     | offen liegender, loser Brocken<br>von Sprengplatz (Wald) /<br>Norddeutschland          | zwei Brocken; lagen im Feld nebeneinander; von beiden Proben Teilmenge zur Untersuchung geschickt; schwarz; grauschwarz; feinkristallin |   | 97 % TNT            |
| EV21     | Panzerschreck<br>(Panzerbüchse 54);<br>deutsch /<br><br>Kommando Hessen                | grobkristalliner Sprengstoff; brennt unter heller Flamme rasch ab; vermutlich TNT/RDX-Mischung  |  | 56% TNT<br>32 % RDX |

Tab. 6: Gewichte und Oberflächen der eingebauten Sprengstoffproben.

| Probe | Anzahl Sprengstoffbrocken | Gesamtgewicht Sprengstoff (g) | Oberfläche Sprengstoffproben (cm <sup>2</sup> ) | Gesamtoberfläche Sprengstoffproben (cm <sup>2</sup> ) |
|-------|---------------------------|-------------------------------|---|---|
| EV 8  | 3                         | 157,68                        | 55  | <b>55</b>   |
| EV 21 | 20                        | 26,04                         | 120   | <b>120</b>  |
| EV 11 | 1                         | 15,54                         | 31  | <b>291</b>  |
| EV 12 | 1                         | 29,15                         | 54  |   |
| EV 13 | 1                         | 26,27                         | 49  |   |
| EV 14 | 1                         | 20,64                         | 39  |   |
| EV 15 | 1                         | 6,71                          | 19  |   |
| EV 16 | 1                         | 4,86                          | 16  |   |
| EV 17 | 3                         | 5,68                          | 24  |   |
| EV 18 | 3                         | 3,1                           | 14  |   |
| EV 19 | 5                         | 4,38                          | 25  |   |
| EV 20 | 2                         | 4,91                          | 20  |   |

### 2.2.3 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Für die Elutionsversuche wurden drei Versuchszylinder aus Edelstahl angefertigt, um Reaktionen des gelösten Sprengstoffs mit dem Behältermaterial auszuschließen. Ihre Höhe beträgt 30 cm, der Durchmesser 10 cm. Dies entspricht einer Grundfläche von 78,54 cm<sup>2</sup> bzw. 0,00785 m<sup>2</sup>. Das Top ist offen, der Boden ist mit einem feinen Metallgitter als Auffangsieb verschweißt. Die Zylinder haben einen dreibeinigen Standfuß, der darunter einen ausreichenden Arbeitsraum gewährleistet (Abb. 8).



Abb. 8: Elutionszylinder und Versuchsstruktur. Die Prüfkörper bestanden aus 58,5/49 bzw. 56/32% TNT/RDX und 96% TNT. Sie wurden nacheinander mit destilliertem Wasser, Huminstoff-Wasser und saurem Wasser mit der Grundwassererneubildungsrate eines Jahres eluiert.

An der Basis der Behälter wurde zunächst eine 1 cm dicke Filterlage aus 250 g Feinkies eingebaut. Sie dient zum Rückhalt von Feinpartikeln.

Darüber folgen 1,5 kg Luft getrockneter fein- bis mittelkörniger, schwach schluffiger Quarzsand. Er stammt aus einer Sandgrube bzw. von ehemaligen Sandabbauflächen südöstlich von Nürnberg. Es ist davon auszugehen, dass die Böden keine Vorbelastungen durch Sprengstoffe aufweisen und dass das Adsorptionsvermögen für Sprengstoffe vernachlässigbar ist. In den Quarzsand wurden die Sprengstoffproben über den gesamten Schüttbereich verteilt eingebaut (Abb. 9).



Abb. 9:  
Sprengstoff-Prüfkörper  
beim Einbau.

Eine abschließende wiederum 1 cm dicke Kiesschicht (250 g) über dem Sand mit den Sprengstoffproben sollte beim Bewässern eine möglichst homogene Verteilung des Sickerwassers sicherstellen.

Um als worst case eine möglichst lange Kontaktzeit von Wasser und Sprengstoff zu erreichen, wurden mit dem Sand Vorversuche (ohne Sprengstoffprüfkörper) durchgeführt. Die längste Verweildauer des Sickerwassers ergab sich bei einer manuellen Verdichtung der Sandlage. Eine Abdeckung mit lichtundurchlässiger Kunststoffolie, die nur zur Bewässerung des Systems abgenommen wurde, stellte sicher, dass kein Abbau der Sprengstoffe durch UV-Licht während des Versuchs stattfand.

Nach Durchlauf der Apparatur sammelte sich das Wasser in einer Edelstahlschüssel unter der Versuchsapparatur. Das Eluat wurde arbeitstäglich in Braunglasflaschen umgefüllt und dunkel und kühl eingelagert. Nach der Beendigung der Versuche wurde von der insgesamt pro Versuch aufgefangenen Wassermenge jeweils eine 1 l Mischprobe hergestellt.

Das Versuchskonzept ging - als „worst case“-Fall - von einer Grundwasserneubildungsrate von 300 l pro Quadratmeter und Jahr aus, die den Versuchsaufbau durchlaufen sollte. Um eine möglichst hohe Vergleichbarkeit zu erreichen schien es sinnvoll als Berechnungsgrundlage für die Schüttmenge die 0,00785 m<sup>2</sup> große Grundfläche des Versuchsbehälters als Bezugsgröße heranzuziehen. So ergab sich eine Schüttmenge von (mindestens) 2,35 l pro Versuch. Wasser wurde so lange auf die Versuchsbehälter gegeben, bis diese Menge in den Auffangbehältern mindestens erreicht war. Durch Sprühverluste, Verdunstung und die zunächst (beim ersten Versuch) erforderliche Sättigung des luftgetrockneten Einbaumediums lag die Gesamtzugabemenge in der Regel über 2,35 Liter. Versuchsbedingt schwankten auch die insgesamt aufgefangenen Mengen geringfügig. (max. 2,5 l). Die geringen Abweichungen vom Zielwert sollten aber die Konzentrationen in der Lösung nicht wesentlich verändert haben.

Zum prinzipiellen Versuchsaufbau ist zu ergänzen, dass sich die Flächensummen der eingebauten Sprengstoffprüfkörper von den Grundflächen der Zylinder unterschieden. Im Fall EV8 betrug das Ver-

hältnis von eingebauter Sprengstoff-Gesamtoberfläche zu Zylindergrundfläche 0,7. In den anderen beiden Fällen hatten die Sprengstoffbrocken insgesamt eine größere Oberfläche als die Grundfläche des Zylinders. Die Verhältnismerte betragen 1,5 bzw. 3,7.

Für die Simulation der Grundwasserneubildung blieb aber allein die Grundfläche der Versuchszylinder maßgebend.

Die Tests wurden von November 2006 bis Januar 2007 durchgeführt. Die jeweiligen Versuchsdauern lagen bei rund 20 Tagen. Die Bewässerung erfolgte mit einer Sprühflasche über einen Zeitraum von jeweils etwa 5 Minuten. Dies garantierte eine gleichmäßige langsame Durchnässung bzw. Durchsickerung des eingebauten Materials. Pro Bewässerungstag wurden in der Regel jeweils 200 ml (2x100 ml vormittags und abends) zugegeben. Vorher fanden Messungen von Temperatur, pH-Wert und elektrischer Leitfähigkeit statt. Das Wasser begann noch während der Besprühung (nach Zugabe von etwa 20-30 ml also nach 20-30% der Einzel-Zugabemenge) aus dem Zylinder zu tropfen.

Standardmäßig wurde für alle drei Versuchsreihen destilliertes Wasser aus dem Labor-Versorgungssystem der LGA verwendet. Es weist eine Leitfähigkeit von 1 µS/cm und einen pH-Wert von 7,3 auf. Es wurde eine sequenzielle Extraktion durchgeführt. Die **erste Elution** erfolgte mit **destilliertem Wasser** ohne weitere Zusätze.

Die **zweite Elution** wurde nach Anreicherung des destillierten Wassers mit **Huminstoffen** durchgeführt. Hierzu wurden je Liter Wasser 5 ml *Torumin* zugegeben. Dies sollte eine Sickerwasserqualität simulieren, wie sie z. B. in Braun- oder Schwarzerden gegeben ist. Durch die Zugabe sank der pH-Wert auf annähernd 6 ab. Dies entspricht dem pH-Wert des *Torumin*. Die Leitfähigkeit des nun leicht bräunlichen Wassers stieg auf 80 µS/cm an. Der TOC- bzw. DOC wurde nicht bestimmt. *Torumin* wird in der Aquaristik eingesetzt. Die Zusammensetzung ist nicht bekannt. Nach Beendigung der zweiten Elution bereitete eine Spülung der drei Versuchssysteme mit je 500 ml destilliertem Wasser die Säulen für den dritten Versuch vor.

Für die **dritte Elution** kam destilliertes Wasser zum Einsatz, das mittels HNO<sub>3</sub> auf einen **pH-Wert von 2,8** eingestellt war. Die Leitfähigkeit des saueren Elutionsmittels betrug 965 µS/cm.

Die wichtigsten Parameter der Versuchsreihen sind in der Tab. 9 bzw. in den Grafiken im Anhang (Abb. 10 - Abb. 12) zusammengestellt. Die Proben der ersten beiden Versuche gingen am 22.01.2007 zur chemischen Untersuchung auf STV (gemäß DIN 38407-F21) in das Labor *Orgalab*, Zirndorf. Die Proben des letzten Versuchs folgten am 30.01.2007 nach Beendigung des dritten Versuchs. Nach Versuchsende wurden die Sprengstoffproben ausgebaut, vorsichtig abgebürstet, abgewaschen, trocken getupft und anschließend erneut gewogen. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle 7 zusammengestellt.

| Probe    | Gewicht vorher [g] | Gewicht nachher [g] | Differenz [g] (%) |
|----------|--------------------|---------------------|-------------------|
| EV/8     | 157,68             | 159,2               | +1,52 (+1%)       |
| EV21     | 26,04              | 24,3                | -1,74 (-6,7%)     |
| EV/11-20 | 121,03             | 124,2               | +3,17 (+2,6%)     |

Tab. 7: Gewichtsveränderungen der Proben.

Der Vergleich zeigt, dass die Sprengstoffproben EV8 und EV11-20 zwischen 1 und 2,6 % an Gewicht zunahmen. Dieser Gewichtszuwachs kann nur durch Wasser bedingt sein. Insbesondere die angewitterten TNT-Bocken „aus dem Feld“ scheinen verstärkt Wasser aufzunehmen. Ein scheinbarer Gewichtsverlust in EV21 liegt in der geringen Größe der eingebauten Brocken begründet, die nach Ende

des Versuchs nicht mehr alle im Sand wieder auffindbar waren (nur 15 von 20 Brocken ließen sich wieder finden).

## 2.2.4 Chemische Untersuchungen

Zunächst untersuchte die *Fa. Orgalab* die Proben der ersten beiden Versuchsreihen (destilliertes Wasser und Huminstoff-Wasser) hinsichtlich ihres Sprengstoffgehalts. Die Eluate enthielten unerwarteter Weise so hohe Sprengstoffmengen, dass das Adsorptionsvermögen der SPE-Extraktionskartuschen um etwa das Zweifache – so vermutet das Labor – überschritten war (also Minderbefunde auftraten).

Tab. 8: Sprengstoffgehalte der Eluate (Nachanalysen vom *Labor Haas* in Klammern)

| Probe   | EV8<br>(58,5% TNT/ 49% RDX)             |   |   | EV21<br>(56 % TNT / 32% RDX)            |   |   | EV11-20<br>(96% TNT)                    |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|   | dest.                                   | Humin                                   | sauer                                   | dest.                                   | Humin                                   | sauer                                   | dest.                                   | Humin                                   | sauer                                   |
| Probengewicht [g]   | 158                                     |   |   | 26                                      |   |   | 121                                     |   |   |
| Oberfläche [cm <sup>2</sup> ]                                   | 55                                      |   |   | 120                                     |   |   | 291                                     |   |   |
| Elutionsversuch   | dest.                                   | Humin                                   | sauer                                   | dest.                                   | Humin                                   | sauer                                   | dest.                                   | Humin                                   | sauer                                   |
| aufgefangene Eluatmenge [ml]                                    | 2.363                                   | 2.402                                   | 2.355                                   | 2.450                                   | 2.398                                   | 2.355                                   | 2.507                                   | 2.435                                   | 2.355                                   |
| Hexogen [µg/l]  | >840<br>(2.560)                         | >860<br>(1.880)                         | 2.000<br>(2.100)                        | >950<br>(4.580)                         | >1.700<br>(3.180)                       | 2.600<br>(3.360)                        | >24<br>(< 25)                           | >79<br>(< 25)                           | n. n.<br>(< 25)                         |
| 1,3,5-TNB [µg/l]  | >96<br>(96)                             | >20<br>(<25)                            | 34<br>(26)                              | >13<br>(< 25)                           | n. n.<br>(< 25)                         | n. n.<br>(<25)                          | >14<br>(< 25)                           | n. n.<br>(< 25)                         | n. n.<br>(<25)                          |
| 1,3-DNB [µg/l]  | >820                                    | >230                                    | 280                                     | >16                                     | n. n.                                   |
| 2,4,6-TNT [µg/l]  | >4.400<br>(5.890)                       | >2.400<br>(3.790)                       | 4.500<br>(4.850)                        | >3.200<br>(4.885)                       | >1.800<br>(2.910)                       | 3.400<br>(4.505)                        | >3.700<br>(7.100)                       | >2.400<br>(4.695)                       | 6.500<br>(6.985)                        |
| 4A-2,6-DNT [µg/l]   | >230<br>(210)                           | >140<br>(188)                           | 200<br>(111)                            | >250<br>(293)                           | >210<br>(249)                           | 150<br>(138)                            | >260<br>(278)                           | >210<br>(282)                           | 180<br>(150)                            |
| 2A-4,6-DNT [µg/l]   | >120<br>(144)                           | >86<br>(117)                            | 100<br>(89)                             | >100<br>(110)                           | >110<br>(104)                           | 69<br>(60)                              | >110<br>(104)                           | >99<br>(108)                            | 88<br>(71)                              |
| 2,6-DNT [µg/l]  | >310<br>(< 25)                          | >140<br>(< 25)                          | 170<br>(< 25)                           | >11<br>(< 25)                           | n. n.<br>(< 25)                         | n. n.<br>(< 25)                         | n. n.<br>(< 25)                         | n. n.<br>(< 25)                         | n. n.<br>(< 25)                         |
| 2,4-DNT [µg/l]  | >2.200<br>(2.860)                       | >890<br>(1.240)                         | 930<br>(949)                            | >110<br>(160)                           | >52<br>(70)                             | 57<br>(51)                              | >7<br>(< 25)                            | n. n.<br>(< 25)                         | n. n.<br>(< 25)                         |
| 2A-4,6-DNBSre   | (33,3)                                  | (18)                                    | (10)                                    | (<10)                                   | (<10)                                   | (<10)                                   | (52)                                    | (30)                                    | (21)                                    |
| <b>Summe [µg/l]<sup>1)</sup></b>                                | <b>12.226</b>                           | <b>7.176</b>                            | <b>8.864</b>                            | <b>9.965</b>                            | <b>6.462</b>                            | <b>8.141</b>                            | <b>7.515</b>                            | <b>5.083</b>                            | <b>7.253</b>                            |
| STV Austrag/Jahr [mg] (x 2,35)                                  | 29                                      | 17                                      | 21                                      | 23                                      | 15                                      | 19                                      | 18                                      | 12                                      | 17                                      |
| STV-Austrag/Jahr [mg] pro cm <sup>2</sup> Sprengstoffoberfläche | <b>0,53</b><br>(=5,3 g/m <sup>2</sup> ) | <b>0,31</b><br>(=3,1 g/m <sup>2</sup> ) | <b>0,38</b><br>(=3,8 g/m <sup>2</sup> ) | <b>0,12</b><br>(=1,9 g/m <sup>2</sup> ) | <b>0,13</b><br>(=1,3 g/m <sup>2</sup> ) | <b>0,16</b><br>(=1,6 g/m <sup>2</sup> ) | <b>0,06</b><br>(=0,6 g/m <sup>2</sup> ) | <b>0,04</b><br>(=0,4 g/m <sup>2</sup> ) | <b>0,06</b><br>(=0,6 g/m <sup>2</sup> ) |

<sup>1)</sup> Der Parameter 1,3-DNB wurde vom Labor Haas nicht analysiert. In die Ermittlung der STV-Summen gingen nur die blau markierten Zahlenwerte ein. Um ein „Springen“ zwischen den Labors bei der Berücksichtigung der Ergebnisse zu vermeiden, wurden mit Ausnahme der Parameter TNT und Hexogen generell die Orgalab-Ergebnisse verwendet.

Die quantitative Bestimmung konnte erst in einem zweiten Gang nach 100-facher Verdünnung der Extrakte durchgeführt werden. Durch die hohe Verdünnung waren die Nachweisgrenzen erheblich angezogen.

Zur Verifizierung der *Orgalab*-Ergebnisse hat das *Labor Haas* zurück gestellte Wasserproben der ersten beiden Versuchsreihen erneut untersucht. Die Wasserproben wurden dabei direkt in die HPLC eingespritzt. Angesichts der zu erwartenden hohen Konzentrationen war dies verfahrenstechnisch möglich. Allerdings beträgt die Nachweisgrenze beim Direkteinspritz-Verfahren lediglich 100 µg/l. Das bedeutet, dass die von *Orgalab* identifizierten NebenkompONENTEN bei der Nachuntersuchung durch *HAAS* nicht mehr erfassbar waren. Dies schien jedoch nicht relevant, da durch die Kontrolluntersuchung in erster Linie die Größenordnung der festgestellten Belastung verifiziert werden sollte.

Das *Labor Haas* hat über den regulären Umfang auch polare Nitroverbindungen bestimmt.

Bei der Untersuchung der Proben aus dem letzten Versuch mit saurem Wasser konnte das *Labor Orgalab* das Untersuchungsverfahren modifizieren, sodass für alle untersuchten Parameter gute Nachweisgrenzen erreichbar waren.

### 2.2.5 Ergebnisse der chemischen Untersuchungen

Die Ergebnisse der drei Versuchsreihen sind in der Tab. 8 zusammengestellt. Alle Eluate enthielten Konzentrationen an Sprengstoffen in der **Größenordnung von 5 bis 12 mg/l** ( $\Sigma$  STV). Vergleicht man die Ergebnisse der beiden Labore, so wird deutlich, dass bei den Erstuntersuchungen (dest. Wasser und Huminstoff-Wasser) die Kapazität der SPE-Kartuschen von *Orgalab* offensichtlich vor allem für die Parameter Hexogen und (in geringerem Umfang) TNT überschritten war. Die anderen Parameter sind weitgehend vergleichbar, ebenso die Ergebnisse der dritten Versuchsreihe mit saurem Wasser.

### 2.2.6 Folgerungen

Aus der Zusammenstellung der Versuchsergebnisse in der Tab. 8 ist zunächst grundsätzlich zu erkennen, dass sich ungeachtet der vorliegenden Sprengstoffmischungen die höchsten Eluierbarkeiten stets für pH-neutrales destilliertes Wasser ergaben (ggf. auch, da es der 1. Elutionsschritt war). Stark saueres Elutionsmittel brachte aber nur geringfügig weniger Sprengstoffe in Lösung. Die niedrigsten STV-Gehalte enthielten die Eluate, wenn mit Huminstoff-Wasser bewässert worden ist. Die Differenzen zu destilliertem Wasser betragen hier annähernd 40%. Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den Einbau des TNT bzw. der Nitroaromaten in Huminstoffe zurückzuführen, von dem z. B. in **[178]**, **[179]** und **[180]** berichtet wird. Wie aus den Ergebnissen zu erkennen ist, wird Hexogen offensichtlich in geringerem Maße an Huminstoffen fixiert.

Auffallend ist weiterhin, dass die Menge und die Zusammensetzung des in den Säulen eingebauten Sprengstoffs nicht zu wesentlich unterschiedlichen STV-Summenkonzentrationen in den Eluaten geführt haben. Trotz eines Mengen- und Flächen-Spagats mit dem Faktor 6 (26 g Sprengstoff gegenüber 158 g bzw. 55 cm<sup>2</sup> gegenüber 291 cm<sup>2</sup>) liegen die Mengen an gelösten STV in den Eluaten in ähnlichen Größenordnungen..

In den aufgefangenen Wässern aus den Säulen mit den Sprengstoff-Proben EV8 und EV21, die aus Mischungen von TNT und Hexogen bestehen, wird dagegen die höhere Löslichkeit des TNT (140 mg/l) gegenüber Hexogen (60 - 70 mg/l) - bei jeweils 25°C - deutlich. Die gelösten Anteile an TNT dominieren hier auffällig.

Richtet man das Augenmerk allein auf die Einflussgröße Sprengstoffoberfläche, so fällt auf, dass Probe EV8 - mit der kleinsten Oberfläche - die höchsten STV-Gehalte im Eluat erzeugt hat. Aus der Probe EV11-20 haben sich bei vergleichbarem Flächengewicht und fast sechsfach größerer Oberfläche deutlich geringere STV-Mengen gelöst, obwohl sie praktisch zu 100% aus dem gut wasserlöslichen TNT besteht. Offensichtlich ist also nicht die Größe der benetzbaren Sprengstoffoberfläche entscheidend für die Menge, die in Lösung geht, sondern spezifische Eigenschaften der Füllung. Inwiefern diese Eigenschaften schwanken können (z. B. verfahrensbedingt beim Gießen des Sprengstoffs oder durch Verwitterungseinflüsse), ist derzeit nicht bekannt. Auch das Vorkommen von Sprengstoff-

Füllungen mit noch höheren Löslichkeiten kann aber nicht ausgeschlossen werden.

Zu guter Letzt fiel bei der Auswertung der Analysenergebnisse auf, dass sich die Stoffspektren aus den Voranalysen von denen der Eluate unterscheiden. Während die Voranalysen praktisch ausschließlich TNT und Hexogen in Mischung (EV8, EV21) bzw. TNT allein (EV11-20) nachwiesen, kommen in den Eluaten auch geringe Konzentrationen an 1,3,5-TNB, 1,3-DNB, 4A-2,6-DNT, 2A-4,6-DNT sowie 2,6- und 2,4-DNT vor.

Als eine Ursache für die Veränderung der Stoffspektren kommen Ab- und Umbauprozesse in den Versuchssäulen oder auch im aufgefangenen Wasser in Betracht. 1,3,5-TNB kann auf einen photolytischen oder einen oxidativen Abbau (aus TNT über Trinitrobenzoesäure), die beiden Aminotoluole dagegen auf einen (reduktiven) Abbau des TNT durch Mikroorganismen hinweisen. Auf einen oxidativen Abbau deutet auch die von Haas in zwei Proben nachgewiesene 2-Amino-4,6-dinitrobenzoesäure hin. Sie stellt ein Abbauprodukt des 2A-4,6-dinitrotoluols dar.

Bei 1,3-DNB und 2,4- bzw. 2,6-DNT kann es sich um Verunreinigungen bzw. Nebengemenganteile des TNT handeln. Hierzu ist anzumerken, dass die stoffliche Zusammensetzung der Eluate nicht zwangsläufig die Zusammensetzung der Originalproben widerspiegeln muss, da für den Übertritt der Stoffe in die Lösung neben der Löslichkeit auch thermodynamische und kinetische Faktoren von Bedeutung sein können. Die sehr deutlichen Nachweise an 2,4-DNT in EV8 erscheinen jedoch wenig plausibel, da dieser Sprengstoff in den Voruntersuchungen nicht nachgewiesen wurde.

Das in den „reinen TNT-Proben“ EV11-20 teilweise nachgewiesene Hexogen ist kein Nebenprodukt der TNT-Herstellung. Die Verunreinigungen können darauf hindeuten, dass bei der Verfüllung der Munition auch umgearbeiteter Alt-Sprengstoff aus TNT/Hexogen-Mischungen verwendet worden ist.

In diesem Zusammenhang ist ebenfalls darauf hinzuweisen, dass bei der Voruntersuchung der Sprengstoffe Anteile < 5 % versuchsbedingt nicht erfasst werden konnten.

Abschließend soll eine beispielhafte Berechnung der auslaugbaren Sprengstoffanteile gegeben werden.

Multipliziert man die ermittelten STV-Konzentrationen im aufgefangenen Wasser mit der für die Zylindergrundfläche assoziierten Grundwasserneubildungsrate ( $300 \text{ l/m}^2 \times \text{Zylindergrundfläche} = 2,35 \text{ l/a}$ ), so würden die eingebauten Sprengstoffbrocken zwischen 12 und 29 mg/a emittieren (Summe STV).

Um die Resultate der Laborversuche mit den Munitions-Ergebnissen aus dem Feld vergleichen zu können, müssen die Gesamt-Emission zu den eingebauten relativen Oberflächengrößen der Sprengstoffproben in Bezug gesetzt werden. Dabei ergeben sich Emissionen von 0,04 bis 0,53 mg (Summe STV) pro  $\text{cm}^2$  offen liegender Sprengstoffoberfläche und Jahr. **Wählt man die gleiche Bezugsgröße wie die Munitionsfeldversuche, so entspricht dies 0,4 bis 5,3 g pro  $\text{m}^2$  offen liegendem Sprengstoff.**

### 3 Emissionsberechnung

Im Folgenden werden die Laborwerte mit den Gelände- bzw. munitionstechnischen Gegebenheiten in Bezug gesetzt. Die größten Unsicherheiten bestehen hierbei bei der auf einem Sprengplatz vorhandenen Menge an Streumunition, bei dem Anteil an „offener Munition“ sowie bei der damit verbundenen „Gesamt-Fläche an offen liegendem Sprengstoff“. Unklar ist ebenso die Flächengröße aus **losen Sprengstoffbrocken** (Rückstände aus Low-Order-Detonationen), die zum Immissionspotenzial von „Sprengstoff, offen“ aus Munition zu addieren ist.

**Die Laborversuche ergaben, dass bei einer Grundwasserneubildungsrate von 300 l/m<sup>2</sup> sich im Jahr 0,4 bis 5,3 g pro m<sup>2</sup> offen liegendem Sprengstoff lösen.**

Dieser Wert bezieht sich auf die Summe an STV, RDX, TNT und die anaeroben TNT-Metaboliten bilden hierbei den wesentlichen Anteil. Eine Unterscheidung zwischen diesen Komponenten war mit dem Versuchsaufbau nicht möglich.

Zur Abschätzung der Größenordnung des Parameters „Munition, offen“ wurden die beiden Sprengplätze testsondierd. Sie erwiesen sich hinsichtlich der Belegung mit Munitionsresten als sehr unterschiedlich und entsprachen in keiner Weise den Erwartungen, die sich aus den Standortunterlagen ergeben hatten. So war Sprengplatz A zwar in die „Kategorie XL“ (Sprengumsatz > 8.000 t; Kategorien siehe Anhang 2.1) eingestuft, doch die Fundmengen in den Kategorien „Munition, geschlossen“, „Munition offen“ und „sonstige“ waren gering. Für die zwei Zonen bis 200 m waren 17,3 t an Streumunition zu prognostizieren. Wenn die Verhältnisse in den drei Zonen 200 bis 500 m vergleichbar sind, dürften auf dem Standort Sprengplatz A etwa 50 t Streu- bzw. Fundmunition zu erwarten sein. Ohne über konkrete Vergleichszahlen anderer Plätze zu verfügen, dürfte diese Menge für die „XL-Kategorie“ wesentlich zu niedrig sein. Auch das Verhältnis von „Munition, geschlossen“ zu „Munition offen“ erscheint auf diesem Platz unplausibel klein.

Die Testfeldsondierungen auf den beiden Sprengplätzen ergaben, dass pro Tonne prognostizierter Streumunition die offen liegenden Sprengstoffflächen zwischen **0,14 und 0,16 m<sup>2</sup>** betragen.

Auf dem zweiten Platz (SD) wurden im Wesentlichen - entgegen den Erwartungen - nur 2 cm Granaten geborgen. Da dieser Typ ein sehr geringes Gewicht aufweist, fällt die Munitionsprognose für den gesamten Bereich bis 500 m mit 5,4 t entsprechend niedrig aus. Auch dies war ausgehend von den Standortunterlagen nicht erwartet worden. Darüber hinaus dürfte der größte Teil der aufgefundenen Kampfmittel keine oder nur sehr wenig Sprengstoff enthalten. Es ist daher sehr wahrscheinlich, dass die Repräsentativität der munitionsspezifischen Werte, die für beide Plätze ermittelt wurden, gering ist und deswegen die jeweiligen Prognosen für „Sprengstoff, offen“ unter Vorbehalt zu verwenden sind.

Dividiert man die prognostizierten offenen Sprengstoffoberflächen durch die Prognose für Streumunition, so ergibt sich, dass die **offenen Sprengstoffoberflächen zwischen 0,14 m<sup>2</sup> (Platz A) und 0,16 m<sup>2</sup> (Platz SD) pro Tonne prognostizierter Streumunition liegen**. Trotz der Unterschiedlichkeit der beiden Sprengplätze liegen die Werte erstaunlich nahe beieinander.

Bisher ist nicht bekannt, wie viel Munition auf einem „durchschnittlichen“ Sprengplatz liegt bzw. wie viel davon aufgebrochene Munition mit „offen liegendem Sprengstoff“ ist. Dies dürfte im Wesentlichen vom damaligen Gesamtumsatz, dem Munitionstyp, der damaligen Sprengtechnik und vom Räumumfang bzw. dem Räumefolg nach Beendigung der Sprengungen abhängen. Die Räummaßnahmen in den Nachkriegsjahren sind in den einzelnen Bundesländern vermutlich nicht vergleichbar. Nicht überall hat es intensive Räumungen wie in Bayern (bzw. in der US-Zone) gegeben. Oft hat man aus Kostengründen nur Teilbereiche geräumt, deren Anteil von Standort zu Standort stark schwanken kann. In grober Annäherung ist heute auf einem „normalen“ Sprengplatz mit zwei- bis dreistelligen Tonnagen an Fundmunition zu rechnen. Bei dieser Zahl ist jedoch zu bedenken, dass darin auch vergrabene oder versenkte Munition enthalten sein kann (vorrangig außerhalb von Bayern). Im Einzelfall können sich unter der Tonnagemenge auch „komplette Stapel“ verbergen, also Munition, die in der Entmilitarisierungszeit aus bestimmten Gründen nicht zur Zündung gekommen ist. Munition in Stapelform würde zwar die Munitionserwartungen deutlich erhöhen, sie ist jedoch nicht umweltrelevant, da sie im Regelfall „geschlossen“ sein wird.

Die Gesamttonnage der bei Entmunitionierungen geborgenen Munition könnte zwar Hilfestellungen bei der allgemeinen Beurteilung der Gefährdung durch Streumunition bieten, die Daten müssen jedoch sorgfältig interpretiert werden. Auch mit sachverständigem und sorgfältigem Vorgehen ist eine Prognose zur Munitionsbelastung eines „durchschnittlichen Sprengplatzes“ nur näherungsweise möglich.

Die Kampfmittel-Prognosen von 5,4 bzw. rund 50 t für die beiden getesteten Plätze bzw. ihre Streugebietszonen bis 500 m dürften eher für niedrig bis mittel kampfmittelbelastete Streugebiete von Sprengplätzen charakteristisch sein. Es ist wahrscheinlich, dass Plätze existieren, die deutlich höher belastet sind, insbesondere die Vernichtungsplätze der E-Stellen und Plätze, an denen die Wehrmacht Massensprengungen vorgenommen hat.

Die „durchschnittliche“ Menge an losem Sprengstoff bzw. an Brocken auf einem Sprengplatz ist ebenfalls nicht bekannt. Es ist auch unklar, ob dieser Parameter von Platz zu Platz starken Schwankungen unterliegt bzw. welche Bedingungen für das vermehrte Entstehen von Brocken gegeben sein müssen. Generell kann davon ausgegangen werden, dass sich Sprengstoffbrocken vor allem beim Sprengen größerer Granaten (Kaliber > 10 cm) gebildet haben.

Derzeit ist uns kein Untersuchungsverfahren bekannt, an Hand dessen die Anzahl von Brocken abgeschätzt werden könnte. Außerdem besteht noch keine Definition, bis zu welcher Größe Sprengstoffrückstände als „Brocken“ definiert werden. Zur Mengenabschätzung sind jedoch folgende Überlegungen möglich:

Die 19 „Brocken“ der Proben EV11 bis EV20 stammen von zwei verschiedenen Sprengplätzen. Sie wiesen zusammen eine Oberflächengröße von knapp 300 cm<sup>2</sup> auf (jeweils ca. 150 cm<sup>2</sup>). Sie wurden nach wenigen Stunden Suchzeit, ohne jeden Eingriff ins Erdreich gefunden. Es ist daher wahrscheinlich, dass die tatsächlich dort noch vorhandene Menge ein Vielfaches der Fundmenge beträgt, vermutlich ein Hundert- bis Mehrtausendfaches. Die Gesamtfläche an offen liegendem Sprengstoff wird daher vermutlich mindestens im Bereich einiger m<sup>2</sup> liegen und damit sehr wahrscheinlich die Größenordnung der Oberflächen aus aufgebrochenen Streumunition erreichen bzw. übersteigen.

## Rechenansätze

### Frachtbetrachtung bzw. relative Fracht (vgl. Tab. 8)

Grundwasserneubildungsrate: 300 l/m<sup>2</sup> (worst case-Annahme); Zylindergrundfläche: 0,00785 m<sup>2</sup>

**Frachtbetrachtung** - Wie viel Sprengstoff löst sich im Jahr – wenn die Grundwasserneubildungsrate auf die Zylindergrundfläche bezogen wird (Austrag pro Jahr [mg])?

$$GW\text{-Neubildungsrate [l/m}^2] \times \text{Zylindergrundfläche [m}^2] \times \text{gemessene Konzentration [mg/l]}$$

**Betrachtung der relativen Fracht** - Wie viel löst sich an Sprengstoffen pro cm<sup>2</sup> offen liegendem Sprengstoff [mg/cm<sup>2</sup>] im Jahr?

$$\frac{STV\text{-Austrag pro Jahr [mg]}}{\text{Größe der offen liegenden Sprengstoffoberflächen [cm}^2]}$$

### Munitionsbelastung

**Munitionsbelastungs-Prognose (pro Zone)** – Wie viel Munition liegt in der betrachteten Zone?

$$\frac{\text{Munitionsfunde Testfläche [kg]} \times \text{Größe der Gesamtzone [m}^2]}{1.000 \text{ m}^2}$$

**Offen liegender Sprengstoff-Prognose (pro Zone)** – Wie groß ist die Gesamtfläche an offen liegendem Sprengstoff in der betrachteten Zone?

$$\frac{\text{ermittelte offen liegende Sprengstoffoberfläche [cm}^2] \times \text{Größe der Gesamtzone [m}^2]}{1.000 \text{ m}^2}$$

**Gesamtprognose:** Addition der einzelnen Zonen (für Munition bzw. offen liegender Sprengstoff)

**relative Größe an offen liegendem Sprengstoff pro Tonne** – Wie groß ist die Fläche offen liegenden Sprengstoffs pro prognostizierter Tonne Streumunition (Summe aus Munition geschlossen und offen und „Sonstige“)

$$\frac{\text{Gesamtprognose offen liegende Sprengstoffoberfläche [m}^2] \text{ für alle relevanten Zonen}}{\text{Gesamtprognose Streumunition [t]}}$$

## 4 Gefährdungsabschätzung

Im Folgenden wird eine best case-Gefährdungsabschätzung einer worst case-Betrachtung gegenübergestellt.

Der best case geht davon aus,

- dass im Streugebiet eines Sprengplatzes (mit Radius 500 m ab Rand Sprengfeld) lediglich 5 t an Streumunition bzw. Kampfmitteln vorhanden sind,
- dass pro Tonne Streumunition 0,14 m<sup>2</sup> an offener Sprengstoffoberfläche vorhanden sind,
- und dass 0,4 g an Sprengstoffen (Summe Sprengstoffe) pro m<sup>2</sup> offener Sprengstoffoberfläche und Jahr gelöst werden. Dies ist der niedrigste Wert aus den Laborversuchen.

Unter diesen Annahmen ergibt sich nach der Formel

$$\frac{5 \text{ [t]} \times 0,14 \text{ [m}^2\text{]} \times 0,4 \text{ [g]}}{\text{[t]} \times \text{[m}^2\text{]}} = 0,28 \text{ g}$$

ein Eintrag an  $\Sigma$  STV in das Grundwasser von lediglich **0,28 g** pro Jahr.

Der worst case geht davon aus,

- dass im Streugebiet eines Sprengplatzes (mit Radius 500 m ab Rand Sprengfeld) 300 t an Streumunition bzw. Kampfmitteln vorhanden sind,
- dass pro Tonne Streumunition 0,5 m<sup>2</sup> an offener Sprengstoffoberfläche vorhanden sind (im Feld wurden max. 0,16 m<sup>2</sup> ermittelt),
- und dass 6 g an Sprengstoffen (Summe Sprengstoffe) pro m<sup>2</sup> offener Sprengstoffoberfläche und Jahr gelöst werden (das Maximum in den Laborversuchen lag bei 5,3 g/m<sup>2</sup>).

Unter diesen Annahmen ergäbe sich nach der Formel

$$\frac{300 \text{ [t]} \times 0,5 \text{ [m}^2\text{]} \times 6 \text{ [g]}}{\text{[t]} \times \text{[m}^2\text{]}} = 900 \text{ g}$$

ein erheblicher Eintrag in das Grundwasser von **900 g** ( $\Sigma$  STV) pro Jahr.

Die Annahme von 300 t an Streumunition auf Sprengplätzen ist nicht abwegig. Nach Rücksprache mit den KBDs einzelner Länder ist dies eine Größenordnung, mit der auf Sprengplätzen durchaus zu rechnen ist. Dies hängt sehr von Grad der bereits gelaufenen Räummaßnahmen ab.

Auch die worst case-Annahme von 0,5 m<sup>2</sup> an offen liegendem Sprengstoff pro Tonne prognostizierter Streumunition liegt nur rund drei Mal so hoch, wie der maximal ermittelte Wert von 0,16 m<sup>2</sup>. Es ist durchaus möglich, dass die offenen Flächen diese Größenordnung erreichen können. Insbesondere auf dem Sprengplatz SD trat ja praktisch nur 2 cm Munition auf, die kaum zum „Zerbrechen“ neigt. Der hier erhaltene Wert von 0,16 m<sup>2</sup> erscheint daher nur eingeschränkt repräsentativ.

Die worst case-Annahme, dass sich 6 g pro m<sup>2</sup> offen liegendem Sprengstoff lösen, liegt nicht erheblich über dem Maximalwert der Laborversuche von 5,3 g pro m<sup>2</sup>. Auch diese Höhe erscheint nicht unrealistisch angesichts der gemessenen Schwankungsbreite von 0,4 bis 5,3 g pro m<sup>2</sup>.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass mit dem best case auf Plätzen zu rechnen ist,

- die in die Kategorie S fallen
- oder die in der Vergangenheit sehr „sauber“ bzw. gewissenhaft geräumt wurden, einschließlich Brocken
- oder, auf welchen vorrangig Munition kleineren Kalibers gesprengt wurde, der Anteil an „zerknackbarer“ Munition also gering ist.

Ein „durchschnittlicher“ Sprengplatz wird dagegen eher in Richtung „worst case“ abzuschätzen sein.

Zur Beurteilung der Gefahren aus losen Sprengstoffbrocken wird für eine best case-Abschätzung davon ausgegangen, dass lediglich **500 Mal so viele lose Sprengstoffbrocken** vorhanden sind, wie bei der Absuche der beiden Sprengplätze in Amtshilfe eingesammelt werden konnten (auf jedem Standort jeweils ca. 10 Brocken mit jeweils zusammen 150 cm<sup>2</sup> Oberfläche), so ergäbe sich eine **offen liegende Sprengstoffoberfläche durch „Brocken“ von 7,5 m<sup>2</sup>**.

Bei der worst case Betrachtung wird davon ausgegangen, dass **10.000 Mal so viele lose Sprengstoffbrocken** vorhanden sind, wie bei der Beprobung der beiden Sprengplätze in Amtshilfe eingesammelt werden konnten. Im worst case ergäbe sich dann eine **offen liegende Sprengstoffoberfläche durch „Brocken“ von 150 m<sup>2</sup>**.

In der Regel werden auf Sprengplätzen vorrangig TNT-Brocken gefunden. Als Immissionsberechnungsgrundlage erscheint es sinnvoll, den Mittelwert der neun Austragswerte aus den Laborversuchen heranzuziehen, der bei der zu Grunde gelegten Grundwasserneubildungsrate bei 2 g pro m<sup>2</sup> und Jahr liegt.

Im best case ergäbe sich somit ein **Eintrag an STV durch lose Sprengstoffbrocken** von 7,5 m<sup>2</sup> x 2 g/m<sup>2</sup> = **15 g**, im worst case von 150 m<sup>2</sup> x 2 g/m<sup>2</sup> = **300 g**.

Lässt man Adsorptions- und Abbauvorgänge im Boden unberücksichtigt, so belasten offener Sprengstoff aus offener Munition und brockenförmige Rückstände von „Low-Order-Detonationen“ das Grundwasser unter einem Sprengplatz

- im best case mit ca. **16 g** (15 g + 0,3 g),
- im worst case dagegen mit **1.200 g** (900 g + 300 g).

**Emissionspotenzial „best case“**

0,3 g Summe STV aus offener Munition

15 g aus losen Sprengstoffbrocken

**Emissionspotenzial „worst case“**

900 g Summe STV aus offener Munition

300 g aus losen Sprengstoffbrocken

Eine **geringe Stofffracht** liegt gemäß LAWA/LABO-Papier [181] dann vor, wenn durch den Eintrag aus dem Boden in das Grundwasser über einen bestimmten Zeitraum die Stoffkonzentration in einem definierten Vergleichsvolumen maximal die Geringfügigkeitsschwelle erreicht. Das LAWA/LABO-Papier ist jedoch in Bayern nicht offiziell für die Bewertung von Altlasten eingeführt.

Die Geringfügigkeitsschwelle liegt für Hexogen bei 1 µg/l, für TNT und die beiden Hauptmetaboliten 2-ADNT und 4-ADNT bei 0,2 µg/l.

Im Allgemeinen wird für die Abschätzung eine Grundwassermenge vorgeschlagen, welche sich unter Annahme einer „Einzelfall unabhängigen“ Grundwasserneubildungsrate (172 mm für Deutschland; vgl. auch [181] Punkt 6.1.2) unter einer Bezugsfläche von 1 km<sup>2</sup> ergibt. In diesem Fall ergäben sich bei Geringfügigkeitsschwellen von 0,2 µg/l und 1 µg/l jährliche Schadstofffrachten von je 34 g für TNT, 2-ADNT und 4-ADNT sowie von 172 g für Hexogen, die gemäß [181] noch als „gering“ zu bewerten wären.

Der Vergleich mit den Ergebnissen lässt die Vermutung zu, dass bei kleinen Sprengplätzen der Kategorie S und bei Plätzen, die auf Grund ihrer munitionstechnischen Charakteristik nur wenig Low-Order-Umsetzungen erwarten lassen, das Emissionspotenzial durch offene Streumunition und lose Sprengstoffbrocken in der Größenordnung von 16 g pro Jahr unter den geringen Frachten der LAWA/LABO von 3x34 (rd. 100 g) für TNT und ADNTs bzw. 172 g für Hexogen liegen werden.

Bei mittleren und großen Sprengplätzen jedoch zeichnet sich ab, dass das dortige jährliche Emissionspotenzial aus offener Munition und losen Sprengstoffbrocken wahrscheinlich in einer Größenordnung von einigen 100 g bis über 1.000 g an STV liegt und damit keine „geringen Frachten“ vorliegen.

Auch eine Abschätzung der Grundwasserkonzentrationen zeigt, dass relevante Einträge stattfinden können: Würde man die Jahresemission von 600 g (also nur die Hälfte der worst case-Menge) eines Streugebiets mit Radius 500 m in der Menge Grundwasser lösen, die sich bei einer Grundwasserneubildungsrate von 300 l/m<sup>2</sup> bildet, so wäre ohne Verdünnungseffekte durch anströmendes Grundwasser nach der Formel

$$\frac{600.000.000 [\mu\text{g}] [m^2]}{785.000 [m^2] \times 300 [l]} = 2,5\mu\text{g/l}$$

eine STV-Konzentration von **2,5 µg/l** (Σ Sprengstoffe) im Grundwasser zu prognostizieren. Die 785.000 m<sup>2</sup> entsprechen der Größe eines durchschnittlichen Streugebiets mit Radius 500 m.

Die ermittelten freisetzbaren Frachten an STV zeigen, dass bereits bei einem „mittleren“ Sprengplatz allein aus offenem Sprengstoff aus Munition und aus Rückständen von „Low-Order-Detonationen“ so große Sprengstoffmengen pro Jahr in Lösung gehen können, dass die Einzelstoff spezifische Geringfügigkeitsschwelle im Grundwasser überschritten werden kann.

Sprengplätze müssen daher stets - zusätzlich zu den Gefahren aus fein verteilten Rückständen! - hinsichtlich des Gefährdungspotenzials aus offener Streumunition und aus losen Sprengstoffbrocken bewertet werden. Hierzu sind im Regelfall Testfeldsondierungen mit entsprechender Kategorisierung der Fundmunition durch fachkundiges Personal erforderlich. Es muss in der Lage sein, Munition und Munitionsteile hinsichtlich ihres Freisetzungspotenzials korrekt anzusprechen und die offen liegenden Sprengstoffoberflächen korrekt zu bestimmen. Hierbei ist eine Betreuung durch einen Munitionsfachkundigen erforderlich.

Bereits bei der Orientierenden Erkundung als auch bei allen danach folgenden Erkundungsstufen ist eine enge Zusammenarbeit zwischen dem betreuenden Kampfmittelfachkundigen bzw. dem KBD und dem Ingenieurbüro erforderlich.

## 5 Fehlerbetrachtung

Bei der durchgeführten Gefährdungsabschätzung für Streugebiete sind folgende Fehlerquellen zu berücksichtigen:

- Es wurden lediglich drei verschiedene Sprengstoffe bzw. Sprengstoffmischungen untersucht. Die Ergebnisse liegen zwar in vergleichbarer Größenordnung, trotzdem kann nicht ausgeschlossen werden, dass andere Sprengstoffproben ein abweichendes Lösungsverhalten zeigen, wenn sie mit Sickerwasser in Kontakt kommen.
- Die Gefahrbetrachtung basiert auf Laborversuchen, deren Ergebnisse auf Grund einer Vielzahl nicht simulierbarer Einflüsse möglicherweise nicht mit den tatsächlichen Gegebenheiten in der Natur übereinstimmen. In diesem Zusammenhang ist z. B. nicht bekannt, wie groß der Einfluss der Anordnung der Versuchsapparatur bzw. die Einbaudichte der Prüfkörper auf die ermittelten Eluat-Konzentrationen ist.
- Bei der Bewässerung wurden dem System in der Regel mit Ausnahme der Wochenenden 2 x 100 ml pro Tag zugegeben. Die Menge entspräche extremen Niederschlagsereignissen und damit nicht den natürlichen Verhältnissen (die selbst starken Schwankungen unterliegen können). Welchen Einfluss Niederschlagsmengen bzw. Kontaktzeiten auf den Lösungsvorgang haben, ist nicht bekannt. Möglicherweise steigen die gelösten Mengen bei geringerer Befeuchtung bzw. der damit verbundenen längeren Kontaktzeit an. Möglicherweise führt aber auch das größere Dargebot an Sickerwasser bei einem Starkregen zu einer verstärkten Anlösung.
- Auch physikalische und mikrobiologische Einwirkungen (Temperaturverwitterung, Einwirkung von Wurzeln, Mikroorganismen) könnten theoretisch eine Erhöhung der Eluierbarkeit erzeugen. Die Untersuchungen der TNT-Brocken (EV11-20) „aus dem Feld“ geben darauf aber keine Hinweise.
- Ein erheblicher Unsicherheitsfaktor besteht in der Ermittlung der Größe der offen liegenden Sprengstoffoberflächen bei Munition. Zunächst wurde vorausgesetzt, dass die beiden Testplätze repräsentative Messungen erlauben würden. Dies scheint jedoch nicht der Fall gewesen zu sein. Darüber hinaus musste davon ausgegangen werden, dass die 1.000 m<sup>2</sup> große Testfläche repräsentativ für die gesamte Zone ist. Bei der Hochrechnung auf die gesamte Zone verstärken sich Ungenauigkeiten oder Abweichungen erheblich.
- Verlässliche Daten wären nur zu erhalten, wenn Testsondierungen auf einer größeren Anzahl von Sprengplätzen durchgeführt werden.

## 6 Ausblick

Die Ergebnisse dieser Teilstudie lassen trotz der genannten Einschränkungen den Schluss zu, dass von angesprengter Munition und Munitionsbrocken eine Gefahr für das Grundwasser ausgehen kann, wenn sie in relevanten Mengen – wie sie auf mittleren bis großen Sprengplätzen gegeben sein können – vorhanden sind. Damit muss die **Gefährdungsabschätzung** eines Sprengplatzes neben den fein verteilten Rückständen im **Bereich der Sprengtrichter** bzw. im Bereich der **Auswurfmassen** auch **das Gefährdungspotenzial von aufgebrochener Munition sowie von losen Sprengstoffbrocken mitberücksichtigen**.

Die Untersuchungen für das Teilprojekt 2.4 „Gefährdungsabschätzung Streugebiete“ gestatten den Schluss, dass aufgeplatzte Munition bzw. lose Sprengstoffbrocken auf Sprengplätzen der Kategorien M, L und XL hinsichtlich der Gefährdung des Grundwassers eine Rolle spielen können. Hauptgrund dafür ist, dass die brockigen Munitionsreste trotz ihrer insgesamt geringen spezifischen Oberfläche bei Kontakt mit Wasser sehr hohe Sickerwasserkonzentrationen generieren können.

Die erforderliche sicherheitstechnische Beurteilung des Streugebiets und der Sprengstoffbrocken bleibt hiervon unberührt.

Um die Datenlage zu „Munition, offen“ abzusichern müssen Räumungen von Sprengplätzen (ggf. auch in anderen Bundesländern) munitionstechnisch begleitet werden, um belastbarere Aussagen bezüglich dem Verhältnis von „Munition, geschlossen“ zu „Munition, offen“ bzw. der durchschnittlichen Flächengröße des offen liegenden Sprengstoffs zu erhalten.

Die vorliegende Studie hat stichpunktartige Untersuchungen an lediglich drei Sprengstoffproben zur Grundlage. Die ermittelten Löslichkeiten lagen zwar für alle Proben in der gleichen Größenordnung und erscheinen plausibel. Trotzdem sind die Ergebnisse mit versuchsbedingten Unsicherheiten behaftet. Um eine höhere Belastbarkeit der Aussagen zu erreichen, müssten Reihenuntersuchungen mit einer größeren Anzahl von Brocken unterschiedlicher Herkunft und Zusammensetzung sowie unterschiedlichem Zustand durchzuführen. Hierbei sollte auch überprüft werden, inwiefern die Anordnung der Versuchsanordnung einen Einfluss auf die Ergebnisse hat.

## **7 Dank**

Wir danken den Innenministerien der Länder Hessen und Bayern für die Kooperationsbereitschaft und für das große Interesse, das dem Projekt entgegengebracht worden ist.

## **8 Anhang**

Die wichtigsten Daten zu den Sickersuchen sind auf der folgenden Tab. 9 bzw. den nachfolgenden Grafiken (Abb. 10 - Abb. 12) zusammengestellt.

Tab. 9: Versuchsdaten zu den drei Messreihen mit destilliertem Wasser, Huminstoff-Wasser und saurem Wasser.

| Parameter                           | T(°C)<br>Versuchsraum | T(°C)<br>Sprühwasser | Lf<br>(µs/m) | O <sub>2</sub><br>(mg/l) | pH   | Einzel-<br>Sprüh-<br>menge (ml) | Σ Sprüh-<br>menge (ml) | Versuchs-<br>dauer (h) | Probe-<br>nahmezeit-<br>punkt | Durchbruch<br>nach (ml) | Durchflussmenge<br>(ml) nach<br>Einzelsprühung |
|-------------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|--------------------------|------|---------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|--|
| <b>EV8 mit destilliertem Wasser</b> |                       |                      |              |                          |      |                                 |                        |                        |                               |                         |  |
| 29. Nov. 06                         | 10,2                  | 15,3                 | 2            | 4,5                      | 6,4  | 50                              | 50                     | 0                      | 16:40                         |                         | 0  |
| 30. Nov. 06                         | 10,5                  | 10,7                 | 4            | 4,9                      | 6,7  | 50                              | 100                    | 22,5                   | 15:10                         |                         | 0  |
| 30. Nov. 06                         | 10,5                  | 10,7                 | 4            | 4,9                      | 6,7  | 50                              | 150                    | 24                     | 16:40                         |                         | 0  |
| 1. Dez. 06                          | 9,3                   | 10                   | 8            | 5,7                      | 6,52 | 50                              | 200                    | 40                     | 8:40                          |                         | 0  |
| 1. Dez. 06                          | 9,8                   | 9,9                  | 2            | 5,9                      | 6,88 | 50                              | 250                    | 47                     | 15:40                         |                         | 9  |
| 5. Dez. 06                          | 12,6                  | 11,2                 | 2            | 6,7                      | 5,9  | 50                              | 300                    | 151                    | 13:40                         |                         | 29   |
| 5. Dez. 06                          | 11,3                  | 11,2                 | 2            | 6,7                      | 5,9  | 50                              | 350                    | 153,5                  | 16:10                         | 30                      | 140  |
| 6. Dez. 06                          | 12,5                  | 17,2                 | 2            | 5,9                      | 7,36 | 100                             | 450                    | 176,5                  | 15:10                         | 30                      | 92   |
| 6. Dez. 06                          | 12,5                  | 16,7                 | 1            | 5,5                      | 6,91 | 100                             | 550                    | 177,5                  | 16:10                         | 30                      | 93   |
| 7. Dez. 06                          | 10,8                  | 16,8                 | 1            | 6,4                      | 7,15 | 100                             | 650                    | 196                    | 12:40                         | 30                      | 89   |
| 7. Dez. 06                          | 10,5                  | 13,4                 | 1            | 6                        | 7,15 | 100                             | 750                    | 198,5                  | 15:10                         | 30                      | 103  |
| 8. Dez. 06                          | 11,9                  | 15,9                 | 1            | 6,4                      | 6,78 | 100                             | 850                    | 221                    | 13:40                         | 25                      | 97   |
| 8. Dez. 06                          | 9,9                   | 13,1                 | 1            | 5,8                      | 7,33 | 100                             | 950                    | 223                    | 15:40                         | 25                      | 97   |
| 11. Dez. 06                         | 8,9                   | 16,2                 | 1            | 6,8                      | 7,18 | 100                             | 1050                   | 295                    | 15:40                         | 35                      | 86   |
| 11. Dez. 06                         | 8,9                   | 13,3                 | 1            | 6,5                      | 7,21 | 100                             | 1150                   | 295,5                  | 16:10                         | 35                      | 84   |
| 12. Dez. 06                         | 8,2                   | 8,6                  | 2            | 9,5                      | 7,2  | 100                             | 1250                   | 318,5                  | 13:10                         | 30                      | 110  |
| 12. Dez. 06                         | 8                     | 8,5                  | 1            | 8,1                      | 7,5  | 100                             | 1350                   | 321                    | 15:40                         | 25                      | 98   |
| 13. Dez. 06                         | 8,5                   | 8,6                  | 1            | 7,55                     | 7,35 | 100                             | 1450                   | 344                    | 14:40                         | 20                      | 100  |
| 13. Dez. 06                         | 8,5                   | 13,6                 | 1            | 7,18                     | 7,21 | 100                             | 1550                   | 345,5                  | 16:10                         | 30                      | 98   |
| 14. Dez. 06                         | 8,2                   | 8,6                  | 1            | 7,28                     | 7,46 | 100                             | 1650                   | 367,5                  | 14:10                         | 20                      | 99   |
| 14. Dez. 06                         | 8,2                   | 8,6                  | 1            | 7,35                     | 7,33 | 100                             | 1750                   | 369                    | 15:40                         | 20                      | 106  |
| 15. Dez. 06                         | 7,2                   | 8,2                  | 1            | 7,62                     | 7,25 | 100                             | 1850                   | 387,5                  | 10:10                         | 20                      | 103  |
| 15. Dez. 06                         | 7,4                   | 8                    | 1            | 7,58                     | 7,25 | 100                             | 1950                   | 392,5                  | 15:10                         | 25                      | 96   |
| 15. Dez. 06                         | 7,8                   | 8                    | 1            | 7,6                      | 7,28 | 200                             | 2150                   | 393,5                  | 16:10                         | 25                      | 192  |
| 18. Dez. 06                         | 7,5                   | 17,4                 | 1            | 6,88                     | 7,25 | 100                             | 2250                   | 459                    | 9:40                          | 20                      | 121  |

| Parameter                                 | T(°C)<br>Versuchsraum | T(°C)<br>Sprühwasser | Lf<br>(µs/m) | O <sub>2</sub><br>(mg/l) | pH   | Einzel-<br>Sprüh-<br>menge (ml) | Σ Sprüh-<br>menge (ml) | Versuchs-<br>dauer (h) | Probe-<br>nahmezeit-<br>punkt | Durchbruch<br>nach (ml) | Durchflussmenge<br>(ml) nach<br>Einzelsprühung |
|---|-----------------------|----------------------|--------------|--------------------------|------|---------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|--|
| 18. Dez. 06                               | 7,6                   | 8,3                  | 1            | 7,42                     | 7,22 | 100                             | 2350                   | 465,5                  | 16:10                         | 25                      | 99   |
| 19. Dez. 06                               | 7,4                   | 16,6                 | 1            | 7,48                     | 7,33 | 100                             | 2450                   | 486,5                  | 13:10                         | 30                      | 98   |
| 19. Dez. 06                               | 7,4                   | 10                   | 1            | 8                        | 7,29 | 100                             | 2550                   | 488,5                  | 15:10                         | 25                      | 105  |
| 19. Dez. 07                               | 7,4                   | 10                   | 1            | 8                        | 7,29 | 20                              | 2570                   | 489,5                  | 16:10                         |                         | 19   |
| <b>Menge an aufgefangenem Wasser [ml]</b> |                       |                      |              |                          |      |                                 | <b>2363</b>            |                        |                               |                         |  |
| <b>EV21 mit destilliertem Wasser</b>      |                       |                      |              |                          |      |                                 |                        |                        |                               |                         |  |
| 29. Nov. 06                               | 10,2                  | 15,3                 | 2            | 4,5                      | 6,4  | 50                              | 50                     | 0                      | 16:45                         |                         |  |
| 30. Nov. 06                               | 10,5                  | 10,7                 | 4            | 4,9                      | 6,7  | 50                              | 100                    | 22,5                   | 15:15                         |                         | 0  |
| 30. Nov. 06                               | 10,5                  | 10,7                 | 4            | 4,9                      | 6,7  | 50                              | 150                    | 24                     | 16:30                         |                         | 0  |
| 1. Dez. 06                                | 9,3                   | 10                   | 8            | 5,7                      | 6,52 | 50                              | 200                    | 40                     | 8:45                          |                         | 0  |
| 1. Dez. 06                                | 9,8                   | 9,9                  | 2            | 5,9                      | 6,88 | 50                              | 250                    | 47                     | 15:45                         |                         | 23   |
| 5. Dez. 06                                | 12,6                  | 11,2                 | 2            | 6,7                      | 5,9  | 50                              | 300                    | 151                    | 13:45                         |                         | 40   |
| 5. Dez. 06                                | 11,3                  | 11,2                 | 2            | 6,7                      | 5,9  | 50                              | 350                    | 153,5                  | 16:15                         | 30                      | 142  |
| 6. Dez. 06                                | 12,5                  | 17,2                 | 2            | 5,9                      | 7,36 | 100                             | 450                    | 176,5                  | 15:15                         | 30                      | 92   |
| 6. Dez. 06                                | 12,5                  | 16,7                 | 1            | 5,5                      | 6,91 | 100                             | 550                    | 177,5                  | 16:15                         | 25                      | 95   |
| 7. Dez. 06                                | 10,8                  | 16,8                 | 1            | 6,4                      | 7,15 | 100                             | 650                    | 196                    | 12:45                         | 25                      | 98   |
| 7. Dez. 06                                | 10,5                  | 13,4                 | 1            | 6                        | 7,15 | 100                             | 750                    | 198,5                  | 15:15                         | 25                      | 111  |
| 8. Dez. 06                                | 11,9                  | 15,9                 | 1            | 6,4                      | 6,78 | 100                             | 850                    | 221                    | 13:45                         | 25                      | 102  |
| 8. Dez. 06                                | 9,9                   | 13,1                 | 1            | 5,8                      | 7,33 | 100                             | 950                    | 223                    | 15:45                         | 20                      | 99   |
| 11. Dez. 06                               | 8,9                   | 16,2                 | 1            | 6,8                      | 7,18 | 100                             | 1050                   | 295                    | 15:45                         | 25                      | 92   |
| 11. Dez. 06                               | 8,9                   | 13,3                 | 1            | 6,5                      | 7,21 | 100                             | 1150                   | 295,5                  | 16:15                         | 20                      | 83   |
| 12. Dez. 06                               | 8,2                   | 8,6                  | 2            | 9,5                      | 7,2  | 100                             | 1250                   | 318,5                  | 13:15                         | 15                      | 110  |
| 12. Dez. 06                               | 8                     | 8,5                  | 1            | 8,1                      | 7,5  | 100                             | 1350                   | 321                    | 15:45                         | 10                      | 102  |
| 13. Dez. 06                               | 8,5                   | 8,6                  | 1            | 7,55                     | 7,35 | 100                             | 1450                   | 344                    | 14:45                         | 15                      | 106  |
| 13. Dez. 06                               | 8,5                   | 13,6                 | 1            | 7,18                     | 7,21 | 100                             | 1550                   | 345,5                  | 16:15                         | 15                      | 108  |
| 14. Dez. 06                               | 8,2                   | 8,6                  | 1            | 7,28                     | 7,46 | 100                             | 1650                   | 367,5                  | 14:15                         | 10                      | 106  |
| 14. Dez. 06                               | 8,2                   | 8,6                  | 1            | 7,35                     | 7,33 | 100                             | 1750                   | 369                    | 15:45                         | 20                      | 97   |
| 15. Dez. 06                               | 7,2                   | 8,2                  | 1            | 7,62                     | 7,25 | 100                             | 1850                   | 387,5                  | 10:15                         | 15                      | 124  |
| 15. Dez. 06                               | 7,4                   | 8                    | 1            | 7,58                     | 7,25 | 100                             | 1950                   | 392,5                  | 15:15                         | 20                      | 99   |

| Parameter                                   | T(°C)<br>Versuchsraum | T(°C)<br>Sprühwasser | Lf<br>(µs/m) | O <sub>2</sub><br>(mg/l) | pH   | Einzel-<br>Sprüh-<br>menge (ml) | Σ Sprüh-<br>menge (ml) | Versuchs-<br>dauer (h) | Probe-<br>nahmezeit-<br>punkt | Durchbruch<br>nach (ml) | Durchflussmenge<br>(ml) nach<br>Einzelsprühung |
|---|-----------------------|----------------------|--------------|--------------------------|------|---------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|--|
| 15. Dez. 06                                 | 7,8                   | 8                    | 1            | 7,6                      | 7,28 | 200                             | 2150                   | 393,5                  | 16:15                         | 20                      | 195  |
| 18. Dez. 06                                 | 7,5                   | 17,4                 | 1            | 6,88                     | 7,25 | 100                             | 2250                   | 459                    | 9:45                          | 15                      | 108  |
| 18. Dez. 06                                 | 7,6                   | 8,3                  | 1            | 7,42                     | 7,22 | 100                             | 2350                   | 465,5                  | 16:15                         | 25                      | 97   |
| 19. Dez. 06                                 | 7,4                   | 16,6                 | 1            | 7,48                     | 7,33 | 100                             | 2450                   | 486,5                  | 13:15                         | 20                      | 101  |
| 19. Dez. 06                                 | 7,4                   | 10                   | 1            | 8                        | 7,29 | 100                             | 2550                   | 488,5                  | 15:15                         | 20                      | 100  |
| 19. Dez. 07                                 | 7,4                   | 10                   | 1            | 8                        | 7,29 | 20                              | 2570                   | 489,5                  | 16:15                         |                         | 20   |
| <b>Menge an aufgefangenem Wasser</b>        |                       |                      |              |                          |      |                                 | <b>2450</b>            |                        |                               |                         |  |
| <b>EV11 bis 20 mit destilliertem Wasser</b> |                       |                      |              |                          |      |                                 |                        |                        |                               |                         |  |
| 29. Nov. 06                                 | 10,2                  | 15,3                 | 2            | 4,5                      | 6,4  | 50                              | 50                     | 0                      | 16:50                         |                         | 0  |
| 30. Nov. 06                                 | 10,5                  | 10,7                 | 4            | 4,9                      | 6,7  | 50                              | 100                    | 22,5                   | 15:20                         |                         | 0  |
| 30. Nov. 06                                 | 10,5                  | 10,7                 | 4            | 4,9                      | 6,7  | 50                              | 150                    | 24                     | 16:50                         |                         | 0  |
| 1. Dez. 06                                  | 9,3                   | 10                   | 8            | 5,7                      | 6,52 | 50                              | 200                    | 40                     | 8:50                          |                         | 0  |
| 1. Dez. 06                                  | 9,8                   | 9,9                  | 2            | 5,9                      | 6,88 | 50                              | 250                    | 47                     | 15:50                         |                         | 11   |
| 4. Dez. 06                                  |                       |                      |              |                          |      |                                 |                        |                        |                               |                         |  |
| 5. Dez. 06                                  | 12,6                  | 11,2                 | 2            | 6,7                      | 5,9  | 50                              | 300                    | 151                    | 13:50                         |                         | 49   |
| 5. Dez. 06                                  | 11,3                  | 11,2                 | 2            | 6,7                      | 5,9  | 50                              | 350                    | 153,5                  | 16:20                         | 30                      | 143  |
| 6. Dez. 06                                  | 12,5                  | 17,2                 | 2            | 5,9                      | 7,36 | 100                             | 450                    | 176,5                  | 15:20                         | 30                      | 92   |
| 6. Dez. 06                                  | 12,5                  | 16,7                 | 1            | 5,5                      | 6,91 | 100                             | 550                    | 177,5                  | 16:20                         | 20                      | 91   |
| 7. Dez. 06                                  | 10,8                  | 16,8                 | 1            | 6,4                      | 7,15 | 100                             | 650                    | 196                    | 12:50                         | 30                      | 120  |
| 7. Dez. 06                                  | 10,5                  | 13,4                 | 1            | 6                        | 7,15 | 100                             | 750                    | 198,5                  | 15:20                         | 20                      | 106  |
| 8. Dez. 06                                  | 11,9                  | 15,9                 | 1            | 6,4                      | 6,78 | 100                             | 850                    | 221                    | 13:50                         | 15                      | 118  |
| 8. Dez. 06                                  | 9,9                   | 13,1                 | 1            | 5,8                      | 7,33 | 100                             | 950                    | 223                    | 15:50                         | 10                      | 102  |
| 11. Dez. 06                                 | 8,9                   | 16,2                 | 1            | 6,8                      | 7,18 | 100                             | 1050                   | 295                    | 15:50                         | 25                      | 92   |
| 11. Dez. 06                                 | 8,9                   | 13,3                 | 1            | 6,5                      | 7,21 | 100                             | 1150                   | 295,5                  | 16:20                         | 20                      | 99   |
| 12. Dez. 06                                 | 8,2                   | 8,6                  | 2            | 9,5                      | 7,2  | 100                             | 1250                   | 318,5                  | 13:20                         | 10                      | 118  |
| 12. Dez. 06                                 | 8                     | 8,5                  | 1            | 8,1                      | 7,5  | 100                             | 1350                   | 321                    | 15:50                         | 15                      | 101  |
| 13. Dez. 06                                 | 8,5                   | 8,6                  | 1            | 7,55                     | 7,35 | 100                             | 1450                   | 344                    | 14:50                         | 10                      | 122  |
| 13. Dez. 06                                 | 8,5                   | 13,6                 | 1            | 7,18                     | 7,21 | 100                             | 1550                   | 345,5                  | 16:20                         | 15                      | 104  |
| 14. Dez. 06                                 | 8,2                   | 8,6                  | 1            | 7,28                     | 7,46 | 100                             | 1650                   | 367,5                  | 14:20                         | 15                      | 89   |
| 14. Dez. 06                                 | 8,2                   | 8,6                  | 1            | 7,35                     | 7,33 | 100                             | 1750                   | 369                    | 15:50                         | 15                      | 104  |

| Parameter                            | T(°C)<br>Versuchsraum | T(°C)<br>Sprühwasser | Lf<br>(µs/m) | O <sub>2</sub><br>(mg/l) | pH   | Einzel-<br>Sprüh-<br>menge (ml) | Σ Sprüh-<br>menge (ml) | Versuchs-<br>dauer (h) | Probe-<br>nahmezeit-<br>punkt | Durchbruch<br>nach (ml) | Durchflussmenge<br>(ml) nach<br>Einzelsprühung |
|--------------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|--------------------------|------|---------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|--|
| 15. Dez. 06                          | 7,2                   | 8,2                  | 1            | 7,62                     | 7,25 | 100                             | 1850                   | 387,5                  | 10:20                         | 10                      | 116  |
| 15. Dez. 06                          | 7,4                   | 8                    | 1            | 7,58                     | 7,25 | 100                             | 1950                   | 392,5                  | 15:20                         | 15                      | 100  |
| 15. Dez. 06                          | 7,8                   | 8                    | 1            | 7,6                      | 7,28 | 200                             | 2150                   | 393,5                  | 16:20                         | 10                      | 200  |
| 18. Dez. 06                          | 7,5                   | 17,4                 | 1            | 6,88                     | 7,25 | 100                             | 2250                   | 459                    | 9:50                          | 15                      | 104  |
| 18. Dez. 06                          | 7,6                   | 8,3                  | 1            | 7,42                     | 7,22 | 100                             | 2350                   | 465,5                  | 16:20                         | 20                      | 104  |
| 19. Dez. 06                          | 7,4                   | 16,6                 | 1            | 7,48                     | 7,33 | 100                             | 2450                   | 486,5                  | 13:20                         | 20                      | 102  |
| 19. Dez. 06                          | 7,4                   | 10                   | 1            | 8                        | 7,29 | 100                             | 2550                   | 488,5                  | 15:20                         | 15                      | 100  |
| 19. Dez. 06                          | 7,4                   | 10                   | 1            | 8                        | 7,29 | 20                              | 2570                   | 489,5                  | 16:20                         |                         | 20   |
| <b>Menge an aufgefangenem Wasser</b> |                       |                      |              |                          |      |                                 | <b>2507</b>            |                        |                               |                         |  |
| <b>EV8 mit Huminstoff-Wasser</b>     |                       |                      |              |                          |      |                                 |                        |                        |                               |                         |  |
| 20. Dez. 06                          | 7,2                   | 7                    | 77           | 13,5                     | 5,8  | 100                             | 100                    | 0                      | 13:00                         | 25                      | 96   |
| 20. Dez. 06                          | 7,2                   | 7                    | 77           | 13,5                     | 5,8  | 100                             | 200                    | 1                      | 14.00                         | 20                      | 95   |
| 21. Dez. 06                          | 7,3                   | 13,5                 | 83           | 10,2                     | 6,01 | 100                             | 300                    | 23                     | 12.00                         | 30                      | 97   |
| 21. Dez. 06                          | 7,6                   | 8,4                  | 82           | 9,99                     | 6,07 | 100                             | 400                    | 26                     | 15.00                         | 20                      | 104  |
| 22. Dez. 06                          | 6,6                   | 7                    | 82           | 14                       | 6,04 | 100                             | 500                    | 45                     | 10.00                         | 25                      | 94   |
| 22. Dez. 06                          | 6,8                   | 6,3                  | 83           | 11,8                     | 6,18 | 100                             | 600                    | 49                     | 14.00                         | 25                      | 104  |
| 27. Dez. 06                          | 4,1                   | 8,9                  | 73           | 9,9                      | 6,07 | 100                             | 700                    | 164                    | 9.00                          | 25                      | 101  |
| 27. Dez. 06                          | 4,1                   | 8,9                  | 73           | 9,9                      | 6,07 | 100                             | 800                    | 165                    | 10.00                         | 20                      | 103  |
| 28. Dez. 06                          | 4,5                   | 7,7                  | 79           | 10,28                    | 6,27 | 100                             | 900                    | 188                    | 9.00                          | 20                      | 96   |
| 28. Dez. 06                          | 4,5                   | 7,7                  | 79           | 10,28                    | 6,27 | 100                             | 1000                   | 189                    | 10.00                         | 15                      | 96   |
| 29. Dez. 06                          | 4,4                   | 6                    | 76           | 10,8                     | 6,17 | 100                             | 1100                   | 211                    | 8.00                          | 15                      | 98   |
| 29. Dez. 06                          | 4,4                   | 6                    | 76           | 10,8                     | 6,17 | 100                             | 1200                   | 212                    | 9.00                          | 10                      | 107  |
| 2. Jan. 07                           | 6,6                   | 15                   | 78           | 7,4                      | 6,25 | 100                             | 1300                   | 300                    | 11.00                         | 20                      | 111  |
| 2. Jan. 07                           | 6,5                   | 7,9                  | 79           | 9,2                      | 6,09 | 100                             | 1400                   | 302                    | 13.00                         | 20                      | 101  |
| 3. Jan. 07                           | 6,7                   | 7,2                  | 80           | 10,6                     | 6,32 | 100                             | 1500                   | 323                    | 10.00                         | 20                      | 108  |
| 3. Jan. 07                           | 7,1                   | 16,3                 | 78           | 8,7                      | 6,01 | 100                             | 1600                   | 326                    | 13.00                         | 20                      | 104  |
| 4. Jan. 07                           | 6,7                   | 7,2                  | 79           | 10,18                    | 6,16 | 100                             | 1700                   | 345                    | 8.00                          | 20                      | 97   |
| 4. Jan. 07                           | 6,7                   | 7,2                  | 79           | 10,18                    | 6,16 | 100                             | 1800                   | 347                    | 10.00                         | 15                      | 102  |
| 5. Jan. 07                           | 7,4                   | 7,8                  | 78           | 9,8                      | 6,12 | 100                             | 1900                   | 369                    | 8.00                          | 15                      | 97   |
| 5. Jan. 07                           | 7,5                   | 16,2                 | 78           | 9,8                      | 6,12 | 100                             | 2000                   | 372                    | 11.00                         | 15                      | 100  |

| Parameter                            | T(°C)<br>Versuchsraum | T(°C)<br>Sprühwasser | Lf<br>(µs/m) | O <sub>2</sub><br>(mg/l) | pH   | Einzel-<br>Sprüh-<br>menge (ml) | Σ Sprüh-<br>menge (ml) | Versuchs-<br>dauer (h) | Probe-<br>nahmezeit-<br>punkt | Durchbruch<br>nach (ml) | Durchflussmenge<br>(ml) nach<br>Einzelsprühung |
|--------------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|--------------------------|------|---------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|--|
| 8. Jan. 07                           | 9,2                   | 17,4                 | 79           | 6,1                      | 6,19 | 100                             | 2100                   | 446                    | 13:00                         | 25                      | 99   |
| 8. Jan. 07                           | 9,2                   | 10,7                 | 79           | 8,1                      | 5,92 | 100                             | 2200                   | 448                    | 15:00                         | 20                      | 98   |
| 9. Jan. 07                           | 9,8                   | 9,9                  | 78           | 8,5                      | 6,14 | 100                             | 2300                   | 470                    | 13:00                         | 20                      | 96   |
| 9. Jan. 07                           | 9,8                   | 9,8                  | 79           | 7,9                      | 5,93 | 100                             | 2400                   | 472                    | 15:00                         | 20                      | 98   |
| <b>Menge an aufgefangenem Wasser</b> |                       |                      |              |                          |      |                                 | <b>2402</b>            |                        |                               |                         |  |
| <b>EV21 mit Huminstoffwasser</b>     |                       |                      |              |                          |      |                                 |                        |                        |                               |                         |  |
| 20. Dez. 06                          | 7,2                   | 7                    | 77           | 13,5                     | 5,8  | 100                             | 100                    | 0                      | 13:05                         | 15                      | 98   |
| 20. Dez. 06                          | 7,2                   | 7                    | 77           | 13,5                     | 5,8  | 100                             | 200                    | 1                      | 14:05                         | 15                      | 95   |
| 21. Dez. 06                          | 7,3                   | 13,5                 | 83           | 10,2                     | 6,01 | 100                             | 300                    | 23                     | 12:05                         | 20                      | 100  |
| 21. Dez. 06                          | 7,6                   | 8,4                  | 82           | 9,99                     | 6,07 | 100                             | 400                    | 26                     | 15:05                         | 15                      | 98   |
| 22. Dez. 06                          | 6,6                   | 7                    | 82           | 14                       | 6,04 | 100                             | 500                    | 45                     | 10:05                         | 20                      | 100  |
| 22. Dez. 06                          | 6,8                   | 6,3                  | 83           | 11,8                     | 6,18 | 100                             | 600                    | 49                     | 14:05                         | 20                      | 102  |
| 27. Dez. 06                          | 4,1                   | 8,9                  | 73           | 9,9                      | 6,07 | 100                             | 700                    | 164                    | 9:05                          | 30                      | 92   |
| 27. Dez. 06                          | 4,1                   | 8,9                  | 73           | 9,9                      | 6,07 | 100                             | 800                    | 165                    | 10:05                         | 20                      | 97   |
| 28. Dez. 06                          | 4,5                   | 7,7                  | 79           | 10,28                    | 6,27 | 100                             | 900                    | 188                    | 9:05                          | 20                      | 99   |
| 28. Dez. 06                          | 4,5                   | 7,7                  | 79           | 10,28                    | 6,27 | 100                             | 1000                   | 189                    | 10:05                         | 10                      | 98   |
| 29. Dez. 06                          | 4,4                   | 6                    | 76           | 10,8                     | 6,17 | 100                             | 1100                   | 211                    | 8:05                          | 10                      | 96   |
| 29. Dez. 06                          | 4,4                   | 6                    | 76           | 10,8                     | 6,17 | 100                             | 1200                   | 212                    | 9:05                          | 5                       | 101  |
| 2. Jan. 07                           | 6,6                   | 15                   | 78           | 7,4                      | 6,25 | 100                             | 1300                   | 300                    | 11:05                         | 20                      | 105  |
| 2. Jan. 07                           | 6,5                   | 7,9                  | 79           | 9,2                      | 6,09 | 100                             | 1400                   | 302                    | 13:05                         | 20                      | 101  |
| 3. Jan. 07                           | 6,7                   | 7,2                  | 80           | 10,6                     | 6,32 | 100                             | 1500                   | 323                    | 10:05                         | 15                      | 99   |
| 3. Jan. 07                           | 7,1                   | 16,3                 | 78           | 8,7                      | 6,01 | 100                             | 1600                   | 326                    | 13:05                         | 10                      | 118  |
| 4. Jan. 07                           | 6,7                   | 7,2                  | 79           | 10,18                    | 6,16 | 100                             | 1700                   | 345                    | 8:05                          | 20                      | 98   |
| 4. Jan. 07                           | 6,7                   | 7,2                  | 79           | 10,18                    | 6,16 | 100                             | 1800                   | 347                    | 10:05                         | 15                      | 103  |
| 5. Jan. 07                           | 7,4                   | 7,8                  | 78           | 9,8                      | 6,12 | 100                             | 1900                   | 369                    | 8:05                          | 15                      | 99   |
| 5. Jan. 07                           | 7,5                   | 16,2                 | 78           | 9,8                      | 6,12 | 100                             | 2000                   | 372                    | 11:05                         | 15                      | 100  |
| 8. Jan. 07                           | 9,2                   | 17,4                 | 79           | 6,1                      | 6,19 | 100                             | 2100                   | 446                    | 13:05                         | 20                      | 98   |
| 8. Jan. 07                           | 9,2                   | 10,7                 | 79           | 8,1                      | 5,92 | 100                             | 2200                   | 448                    | 15:05                         | 15                      | 102  |
| 9. Jan. 07                           | 9,8                   | 9,9                  | 78           | 8,5                      | 6,14 | 100                             | 2300                   | 470                    | 13:05                         | 15                      | 99   |
| 9. Jan. 07                           | 9,8                   | 9,8                  | 79           | 7,9                      | 5,93 | 100                             | 2400                   | 472                    | 15:05                         | 15                      | 100  |

| Parameter                            | T(°C)<br>Versuchsraum | T(°C)<br>Sprühwasser | Lf<br>(µs/m) | O <sub>2</sub><br>(mg/l) | pH   | Einzel-<br>Sprüh-<br>menge (ml) | Σ Sprüh-<br>menge (ml) | Versuchs-<br>dauer (h) | Probe-<br>nahzeit-<br>punkt | Durchbruch<br>nach (ml) | Durchflussmenge<br>(ml) nach<br>Einzelsprühung |
|--------------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|--------------------------|------|---------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------|--|
| <b>Menge an aufgefangenem Wasser</b> |                       |                      |              |                          |      | <b>2398</b>                     |                        |                        |                             |                         |  |
| <b>EV11-20 mit Huminstoff-Wasser</b> |                       |                      |              |                          |      |                                 |                        |                        |                             |                         |  |
| 20. Dez. 06                          | 7,2                   | 7                    | 77           | 13,5                     | 5,8  | 100                             | 100                    | 0                      | 13:10                       | 20                      | 98   |
| 20. Dez. 06                          | 7,2                   | 7                    | 77           | 13,5                     | 5,8  | 100                             | 200                    | 1                      | 14:10                       | 15                      | 94   |
| 21. Dez. 06                          | 7,3                   | 13,5                 | 83           | 10,2                     | 6,01 | 100                             | 300                    | 23                     | 12:10                       | 20                      | 101  |
| 21. Dez. 06                          | 7,6                   | 8,4                  | 82           | 9,99                     | 6,07 | 100                             | 400                    | 26                     | 15:10                       | 15                      | 98   |
| 22. Dez. 06                          | 6,6                   | 7                    | 82           | 14                       | 6,04 | 100                             | 500                    | 45                     | 10:10                       | 15                      | 88   |
| 22. Dez. 06                          | 6,8                   | 6,3                  | 83           | 11,8                     | 6,18 | 100                             | 600                    | 49                     | 14:10                       | 20                      | 108  |
| 27. Dez.                             | 4,1                   | 8,9                  | 73           | 9,9                      | 6,07 | 100                             | 700                    | 164                    | 9:10                        | 25                      | 111  |
| 27. Dez.                             | 4,1                   | 8,9                  | 73           | 9,9                      | 6,07 | 100                             | 800                    | 165                    | 10:10                       | 15                      | 114  |
| 28. Dez.                             | 4,5                   | 7,7                  | 79           | 10,28                    | 6,27 | 100                             | 900                    | 188                    | 9:10                        | 20                      | 100  |
| 28. Dez.                             | 4,5                   | 7,7                  | 79           | 10,28                    | 6,27 | 100                             | 1000                   | 189                    | 10:10                       | 10                      | 94   |
| 29. Dez.                             | 4,4                   | 6                    | 76           | 10,8                     | 6,17 | 100                             | 1100                   | 211                    | 8:10                        | 10                      | 96   |
| 29. Dez.                             | 4,4                   | 6                    | 76           | 10,8                     | 6,17 | 100                             | 1200                   | 212                    | 9:10                        | 5                       | 105  |
| 2. Jan.                              | 6,6                   | 15                   | 78           | 7,4                      | 6,25 | 100                             | 1300                   | 300                    | 11:10                       | 15                      | 104  |
| 2. Jan.                              | 6,5                   | 7,9                  | 79           | 9,2                      | 6,09 | 100                             | 1400                   | 302                    | 13:10                       | 15                      | 117  |
| 3. Jan.                              | 6,7                   | 7,2                  | 80           | 10,6                     | 6,32 | 100                             | 1500                   | 323                    | 10:10                       | 15                      | 104  |
| 3. Jan.                              | 7,1                   | 16,3                 | 78           | 8,7                      | 6,01 | 100                             | 1600                   | 326                    | 13:10                       | 15                      | 109  |
| 4. Jan.                              | 6,7                   | 7,2                  | 79           | 10,18                    | 6,16 | 100                             | 1700                   | 345                    | 8:10                        | 20                      | 100  |
| 4. Jan.                              | 6,7                   | 7,2                  | 79           | 10,18                    | 6,16 | 100                             | 1800                   | 347                    | 10:10                       | 15                      | 103  |
| 5. Jan.                              | 7,4                   | 7,8                  | 78           | 9,8                      | 6,12 | 100                             | 1900                   | 369                    | 8:10                        | 15                      | 96   |
| 5. Jan.                              | 7,5                   | 16,2                 | 78           | 9,8                      | 6,12 | 100                             | 2000                   | 372                    | 11:10                       | 15                      | 100  |
| 8. Jan.                              | 9,2                   | 17,4                 | 79           | 6,1                      | 6,19 | 100                             | 2100                   | 446                    | 13:10                       | 20                      | 99   |
| 8. Jan.                              | 9,2                   | 10,7                 | 79           | 8,1                      | 5,92 | 100                             | 2200                   | 448                    | 15:10                       | 15                      | 98   |
| 9. Jan.                              | 9,8                   | 9,9                  | 78           | 8,5                      | 6,14 | 100                             | 2300                   | 470                    | 13:10                       | 15                      | 98   |
| 9. Jan.                              | 9,8                   | 9,8                  | 79           | 7,9                      | 5,93 | 100                             | 2400                   | 472                    | 15:10                       | 15                      | 100  |
| <b>Menge an aufgefangenem Wasser</b> |                       |                      |              |                          |      | <b>2435</b>                     |                        |                        |                             |                         |  |
| <b>EV8 mit saurem Wasser</b>         |                       |                      |              |                          |      |                                 |                        |                        |                             |                         |  |
| 11. Jan. 07                          | 9,8                   | 12,7                 | 965          | 8,9                      | 2,81 | 100                             | 100                    | 0                      | 13:00                       | 20                      | 100  |
| 11. Jan. 07                          | 9,8                   | 10,9                 | 974          | 8,5                      | 2,79 | 100                             | 200                    | 2                      | 15:00                       | 15                      | 100  |

| Parameter                            | T(°C)<br>Versuchsraum | T(°C)<br>Sprühwasser | Lf<br>(µs/m) | O <sub>2</sub><br>(mg/l) | pH   | Einzel-<br>Sprüh-<br>menge (ml) | Σ Sprüh-<br>menge (ml) | Versuchs-<br>dauer (h) | Probe-<br>nahmezeit-<br>punkt | Durchbruch<br>nach (ml) | Durchflussmenge<br>(ml) nach<br>Einzelsprühung |
|--------------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|--------------------------|------|---------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|--|
| 12. Jan. 07                          | 9,5                   | 9                    | 906          | 8,2                      | 2,88 | 100                             | 300                    | 28                     | 17:00                         | 15                      | 94   |
| 12. Jan. 07                          | 9,5                   | 9                    | 906          | 8,2                      | 2,88 | 100                             | 400                    | 29                     | 18:00                         | 15                      | 100  |
| 15. Jan. 07                          | 8,5                   | 7,9                  | 949          | 7,9                      | 2,81 | 100                             | 500                    | 96                     | 13:00                         | 15                      | 98   |
| 15. Jan. 07                          | 8,7                   | 8,4                  | 941          | 9,4                      | 2,75 | 100                             | 600                    | 98                     | 15:00                         | 15                      | 100  |
| 16. Jan. 07                          | 7,6                   | 11,6                 | 905          | 9,3                      | 2,72 | 100                             | 700                    | 117                    | 10:00                         | 10                      | 106  |
| 16. Jan. 07                          | 8                     | 8,4                  | 929          | 8,7                      | 2,77 | 100                             | 800                    | 120                    | 13:00                         | 10                      | 100  |
| 17. Jan. 07                          | 8,8                   | 9,1                  | 942          | 8,4                      | 2,79 | 100                             | 900                    | 143                    | 12:00                         | 10                      | 96   |
| 17. Jan. 07                          | 8,8                   | 9,1                  | 942          | 8,4                      | 2,79 | 100                             | 1000                   | 145                    | 14:00                         | 10                      | 101  |
| 18. Jan. 07                          | 9,7                   | 17,6                 | 971          | 8,6                      | 2,82 | 100                             | 1100                   | 165                    | 10:00                         | 15                      | 100  |
| 18. Jan. 07                          | 9,7                   | 13,8                 | 966          | 9,3                      | 2,79 | 100                             | 1200                   | 169                    | 14:00                         | 15                      | 100  |
| 19. Jan. 07                          | 10,2                  | 10,1                 | 936          | 8,1                      | 2,8  | 100                             | 1300                   | 190                    | 11:00                         | 20                      | 104  |
| 19. Jan. 07                          | 10,2                  | 10,1                 | 936          | 8,1                      | 2,8  | 100                             | 1400                   | 193                    | 14:00                         | 15                      | 100  |
| 22. Jan. 07                          | 8,9                   | 16,8                 | 968          | 8,2                      | 2,83 | 100                             | 1500                   | 264                    | 13:00                         | 15                      | 101  |
| 22. Jan. 07                          | 8,9                   | 13,4                 | 963          | 8,3                      | 2,81 | 100                             | 1600                   | 266                    | 15:00                         | 20                      | 105  |
| 23. Jan. 07                          | 7                     | 8,1                  | 945          | 8,2                      | 2,79 | 100                             | 1700                   | 288                    | 13:00                         | 15                      | 98   |
| 23. Jan. 07                          | 7                     | 8,1                  | 945          | 8,2                      | 2,79 | 100                             | 1800                   | 290                    | 15:00                         | 20                      | 103  |
| 24. Jan. 07                          | 5,4                   | 7,6                  | 948          | 8,6                      | 2,81 | 100                             | 1900                   | 309                    | 10:00                         | 15                      | 96   |
| 24. Jan. 07                          | 5,4                   | 7,6                  | 948          | 8,6                      | 2,81 | 100                             | 2000                   | 313                    | 14:00                         | 10                      | 102  |
| 26. Jan. 07                          | 2,8                   | 13,2                 | 952          | 8,3                      | 2,81 | 100                             | 2100                   | 357                    | 10:00                         | 25                      | 94   |
| 26. Jan. 07                          | 3,1                   | 13,2                 | 952          | 8,3                      | 2,81 | 100                             | 2200                   | 360                    | 13:00                         | 15                      | 104  |
| 29. Jan. 07                          | 5,6                   | 6,7                  | 947          | 8,6                      | 2,79 | 100                             | 2300                   | 433                    | 11:00                         | 20                      | 93   |
| 29. Jan. 07                          | 5,6                   | 6,7                  | 947          | 8,6                      | 2,79 | 100                             | 2400                   | 436                    | 14:00                         | 15                      | 60   |
| <b>Menge an aufgefangenem Wasser</b> |                       |                      |              |                          |      |                                 | <b>2355</b>            |                        |                               |                         |  |
| <b>EV21 mit saurem Wasser</b>        |                       |                      |              |                          |      |                                 |                        |                        |                               |                         |  |
| 11. Jan. 07                          | 9,8                   | 12,7                 | 965          | 8,9                      | 2,81 | 100                             | 100                    | 0                      | 13:05                         | 15                      | 98   |
| 11. Jan. 07                          | 9,8                   | 10,9                 | 974          | 8,5                      | 2,79 | 100                             | 200                    | 2                      | 15:05                         | 10                      | 102  |
| 12. Jan. 07                          | 9,5                   | 9                    | 906          | 8,2                      | 2,88 | 100                             | 300                    | 28                     | 17:05                         | 15                      | 95   |

| Parameter                            | T(°C)<br>Versuchsraum | T(°C)<br>Sprühwasser | Lf<br>(µs/m) | O <sub>2</sub><br>(mg/l) | pH   | Einzel-<br>Sprüh-<br>menge (ml) | Σ Sprüh-<br>menge (ml) | Versuchs-<br>dauer (h) | Probe-<br>nahmezeit-<br>punkt | Durchbruch<br>nach (ml) | Durchflussmenge<br>(ml) nach<br>Einzelsprühung |
|--------------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|--------------------------|------|---------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|--|
| 12. Jan. 07                          | 9,5                   | 9                    | 906          | 8,2                      | 2,88 | 100                             | 400                    | 29                     | 18:05                         | 15                      | 100  |
| 15. Jan. 07                          | 8,5                   | 7,9                  | 949          | 7,9                      | 2,81 | 100                             | 500                    | 96                     | 13:05                         | 10                      | 97   |
| 15. Jan. 07                          | 8,7                   | 8,4                  | 941          | 9,4                      | 2,75 | 100                             | 600                    | 98                     | 15:05                         | 10                      | 98   |
| 16. Jan. 07                          | 7,6                   | 11,6                 | 905          | 9,3                      | 2,72 | 100                             | 700                    | 117                    | 10:05                         | 5                       | 98   |
| 16. Jan. 07                          | 8                     | 8,4                  | 929          | 8,7                      | 2,77 | 100                             | 800                    | 120                    | 13:05                         | 10                      | 100  |
| 17. Jan. 07                          | 8,8                   | 9,1                  | 942          | 8,4                      | 2,79 | 100                             | 900                    | 143                    | 12:05                         | 10                      | 100  |
| 17. Jan. 07                          | 8,8                   | 9,1                  | 942          | 8,4                      | 2,79 | 100                             | 1000                   | 145                    | 14:05                         | 10                      | 100  |
| 18. Jan. 07                          | 9,7                   | 17,6                 | 971          | 8,6                      | 2,82 | 100                             | 1100                   | 165                    | 10:05                         | 10                      | 98   |
| 18. Jan. 07                          | 9,7                   | 13,8                 | 966          | 9,3                      | 2,79 | 100                             | 1200                   | 169                    | 14:05                         | 10                      | 98   |
| 19. Jan. 07                          | 10,2                  | 10,1                 | 936          | 8,1                      | 2,8  | 100                             | 1300                   | 190                    | 11:05                         | 15                      | 102  |
| 19. Jan. 07                          | 10,2                  | 10,1                 | 936          | 8,1                      | 2,8  | 100                             | 1400                   | 193                    | 14:05                         | 15                      | 100  |
| 22. Jan. 07                          | 8,9                   | 16,8                 | 968          | 8,2                      | 2,83 | 100                             | 1500                   | 264                    | 13:05                         | 15                      | 98   |
| 22. Jan. 07                          | 8,9                   | 13,4                 | 963          | 8,3                      | 2,81 | 100                             | 1600                   | 266                    | 15:05                         | 15                      | 104  |
| 23. Jan. 07                          | 7                     | 8,1                  | 945          | 8,2                      | 2,79 | 100                             | 1700                   | 288                    | 13:05                         | 10                      | 98   |
| 23. Jan. 07                          | 7                     | 8,1                  | 945          | 8,2                      | 2,79 | 100                             | 1800                   | 290                    | 15:05                         | 15                      | 105  |
| 24. Jan. 07                          | 5,4                   | 7,6                  | 948          | 8,6                      | 2,81 | 100                             | 1900                   | 309                    | 10:05                         | 10                      | 97   |
| 24. Jan. 07                          | 5,4                   | 7,6                  | 948          | 8,6                      | 2,81 | 100                             | 2000                   | 313                    | 14:05                         | 10                      | 100  |
| 26. Jan. 07                          | 2,8                   | 13,2                 | 952          | 8,3                      | 2,81 | 100                             | 2100                   | 357                    | 10:05                         | 20                      | 98   |
| 26. Jan. 07                          | 3,1                   | 13,2                 | 952          | 8,3                      | 2,81 | 100                             | 2200                   | 360                    | 13:05                         | 10                      | 102  |
| 29. Jan. 07                          | 5,6                   | 6,7                  | 947          | 8,6                      | 2,79 | 100                             | 2300                   | 433                    | 11:05                         | 15                      | 96   |
| 29. Jan. 07                          | 5,6                   | 6,7                  | 947          | 8,6                      | 2,79 | 100                             | 2400                   | 436                    | 14:05                         | 10                      | 71   |
| <b>Menge an aufgefangenem Wasser</b> |                       |                      |              |                          |      |                                 | <b>2355</b>            |                        |                               |                         |  |
| <b>EV11-20 mit saurem Wasser</b>     |                       |                      |              |                          |      |                                 |                        |                        |                               |                         |  |
| 11. Jan. 07                          | 9,8                   | 12,7                 | 965          | 8,9                      | 2,81 | 100                             | 100                    | 0                      | 13:10                         | 20                      | 98   |
| 11. Jan. 07                          | 9,8                   | 10,9                 | 974          | 8,5                      | 2,79 | 100                             | 200                    | 2                      | 15:10                         | 15                      | 104  |
| 12. Jan. 07                          | 9,5                   | 9                    | 906          | 8,2                      | 2,88 | 100                             | 300                    | 28                     | 17:10                         | 15                      | 94   |
| 12. Jan. 07                          | 9,5                   | 9                    | 906          | 8,2                      | 2,88 | 100                             | 400                    | 29                     | 18:10                         | 15                      | 102  |

| Parameter                            | T(°C)<br>Versuchsraum | T(°C)<br>Sprühwasser | Lf<br>(µs/m) | O <sub>2</sub><br>(mg/l) | pH   | Einzel-<br>Sprüh-<br>menge (ml) | Σ Sprüh-<br>menge (ml) | Versuchs-<br>dauer (h) | Probe-<br>nahmezeit-<br>punkt | Durchbruch<br>nach (ml) | Durchflussmenge<br>(ml) nach<br>Einzelsprühung |
|--------------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|--------------------------|------|---------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|--|
| 15. Jan. 07                          | 8,5                   | 7,9                  | 949          | 7,9                      | 2,81 | 100                             | 500                    | 96                     | 13:10                         | 10                      | 95   |
| 15. Jan. 07                          | 8,7                   | 8,4                  | 941          | 9,4                      | 2,75 | 100                             | 600                    | 98                     | 15:10                         | 15                      | 100  |
| 16. Jan. 07                          | 7,6                   | 11,6                 | 905          | 9,3                      | 2,72 | 100                             | 700                    | 117                    | 10:10                         | 10                      | 100  |
| 16. Jan. 07                          | 8                     | 8,4                  | 929          | 8,7                      | 2,77 | 100                             | 800                    | 120                    | 13:10                         | 10                      | 99   |
| 17. Jan. 07                          | 8,8                   | 9,1                  | 942          | 8,4                      | 2,79 | 100                             | 900                    | 143                    | 12:10                         | 10                      | 98   |
| 17. Jan. 07                          | 8,8                   | 9,1                  | 942          | 8,4                      | 2,79 | 100                             | 1000                   | 145                    | 14:10                         | 10                      | 100  |
| 18. Jan. 07                          | 9,7                   | 17,6                 | 971          | 8,6                      | 2,82 | 100                             | 1100                   | 165                    | 10:10                         | 5                       | 96   |
| 18. Jan. 07                          | 9,7                   | 13,8                 | 966          | 9,3                      | 2,79 | 100                             | 1200                   | 169                    | 14:10                         | 10                      | 101  |
| 19. Jan. 07                          | 10,2                  | 10,1                 | 936          | 8,1                      | 2,8  | 100                             | 1300                   | 190                    | 11:10                         | 10                      | 104  |
| 19. Jan. 07                          | 10,2                  | 10,1                 | 936          | 8,1                      | 2,8  | 100                             | 1400                   | 193                    | 14:10                         | 10                      | 100  |
| 22. Jan. 07                          | 8,9                   | 16,8                 | 968          | 8,2                      | 2,83 | 100                             | 1500                   | 264                    | 13:10                         | 15                      | 102  |
| 22. Jan. 07                          | 8,9                   | 13,4                 | 963          | 8,3                      | 2,81 | 100                             | 1600                   | 266                    | 15:10                         | 10                      | 102  |
| 23. Jan. 07                          | 7                     | 8,1                  | 945          | 8,2                      | 2,79 | 100                             | 1700                   | 288                    | 13:10                         | 15                      | 96   |
| 23. Jan. 07                          | 7                     | 8,1                  | 945          | 8,2                      | 2,79 | 100                             | 1800                   | 290                    | 15:10                         | 15                      | 102  |
| 24. Jan. 07                          | 5,4                   | 7,6                  | 948          | 8,6                      | 2,81 | 100                             | 1900                   | 309                    | 10:10                         | 10                      | 97   |
| 24. Jan. 07                          | 5,4                   | 7,6                  | 948          | 8,6                      | 2,81 | 100                             | 2000                   | 313                    | 14:10                         | 10                      | 101  |
| 26. Jan. 07                          | 2,8                   | 13,2                 | 952          | 8,3                      | 2,81 | 100                             | 2100                   | 357                    | 10:10                         | 20                      | 97   |
| 26. Jan. 07                          | 3,1                   | 13,2                 | 952          | 8,3                      | 2,81 | 100                             | 2200                   | 360                    | 13:10                         | 10                      | 106  |
| 29. Jan. 07                          | 5,6                   | 6,7                  | 947          | 8,6                      | 2,79 | 100                             | 2300                   | 433                    | 11:10                         | 15                      | 93   |
| 29. Jan. 07                          | 5,6                   | 6,7                  | 947          | 8,6                      | 2,79 | 100                             | 2400                   | 436                    | 14:10                         | 10                      | 68   |
| <b>Menge an aufgefangenem Wasser</b> |                       |                      |              |                          |      | <b>2355</b>                     |                        |                        |                               |                         |  |

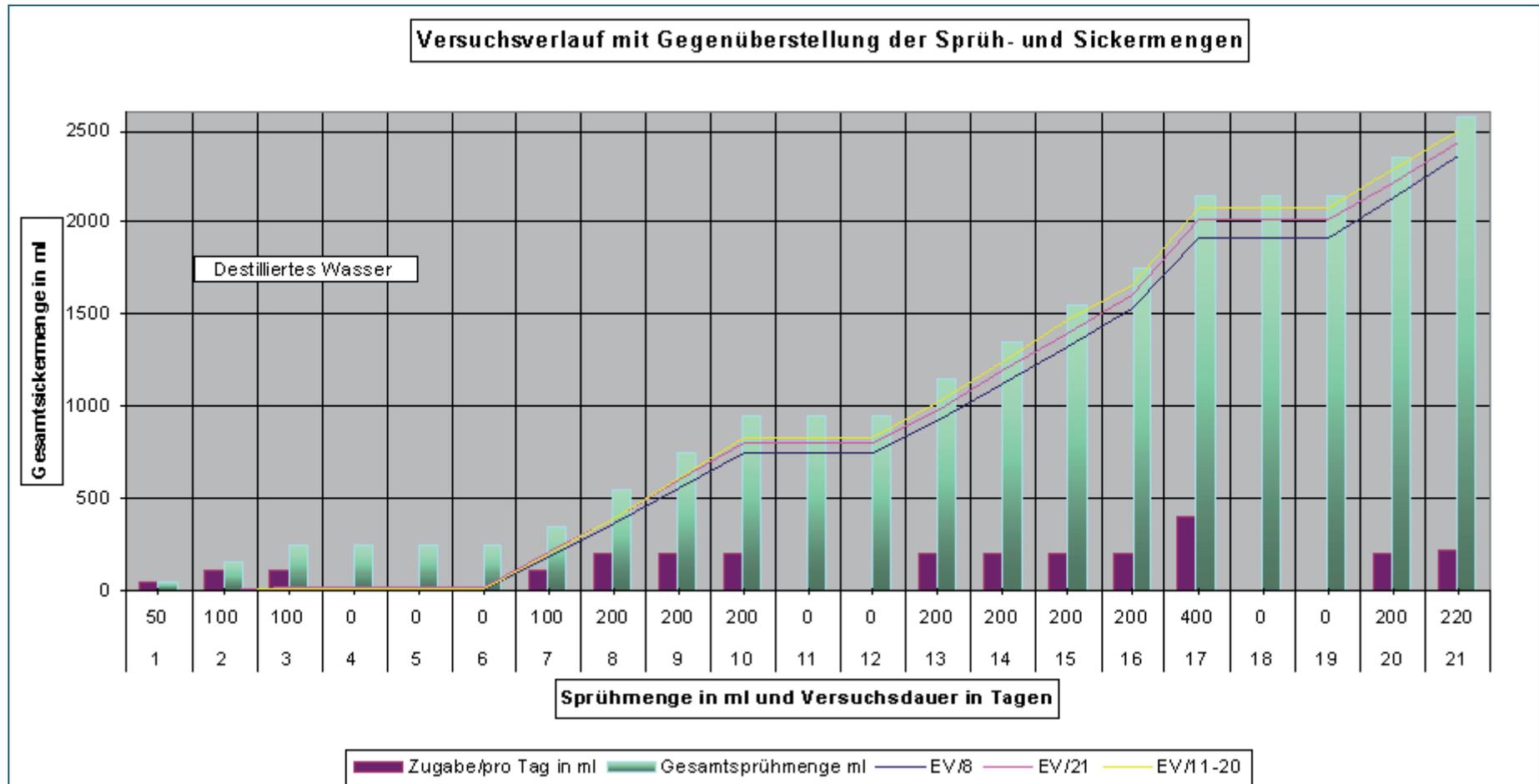


Abb. 10: Daten zum Versuchsverlauf für destilliertes Wasser.

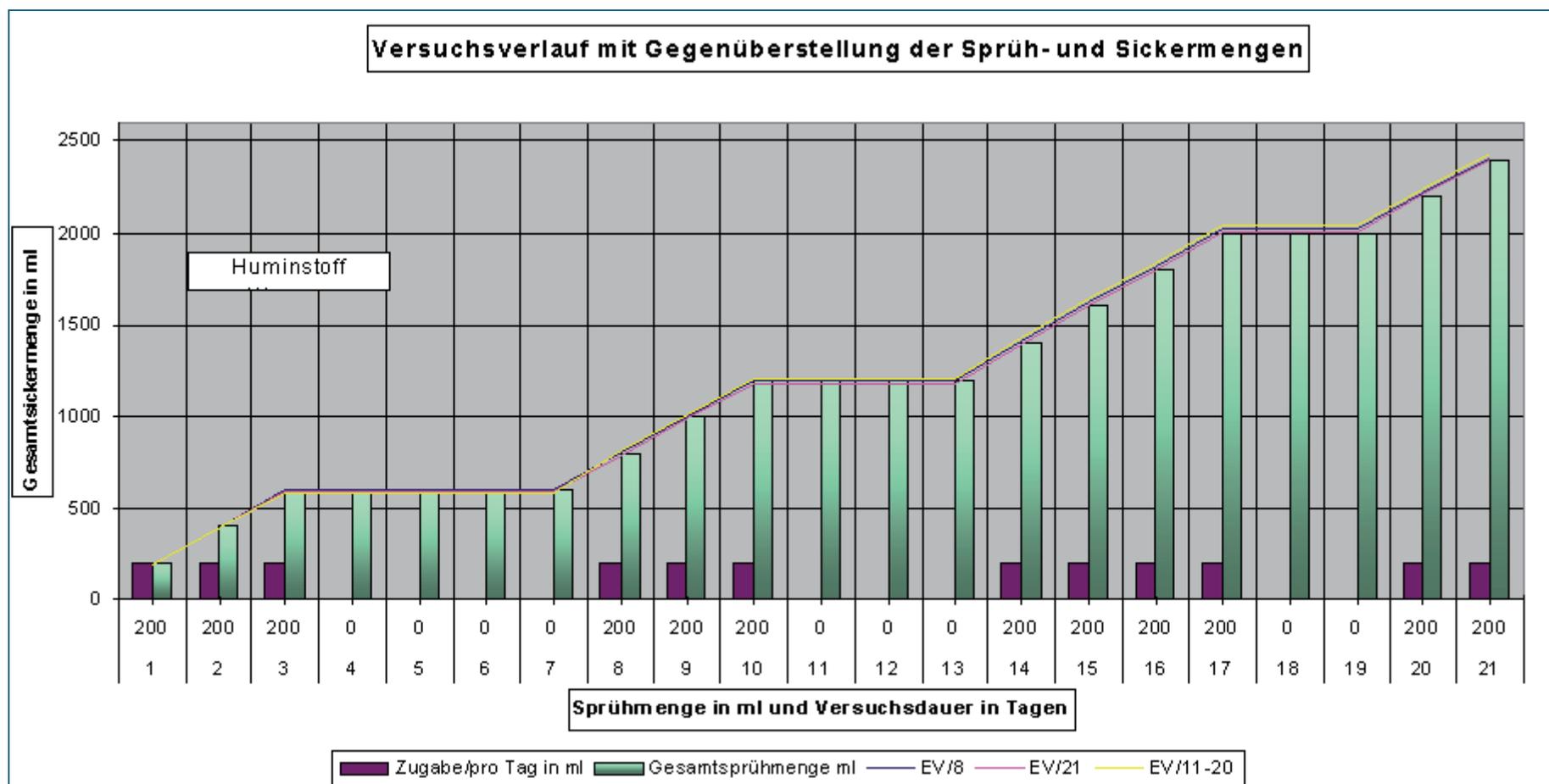


Abb. 11: Daten zum Versuchsverlauf für Huminstoff-Wasser.

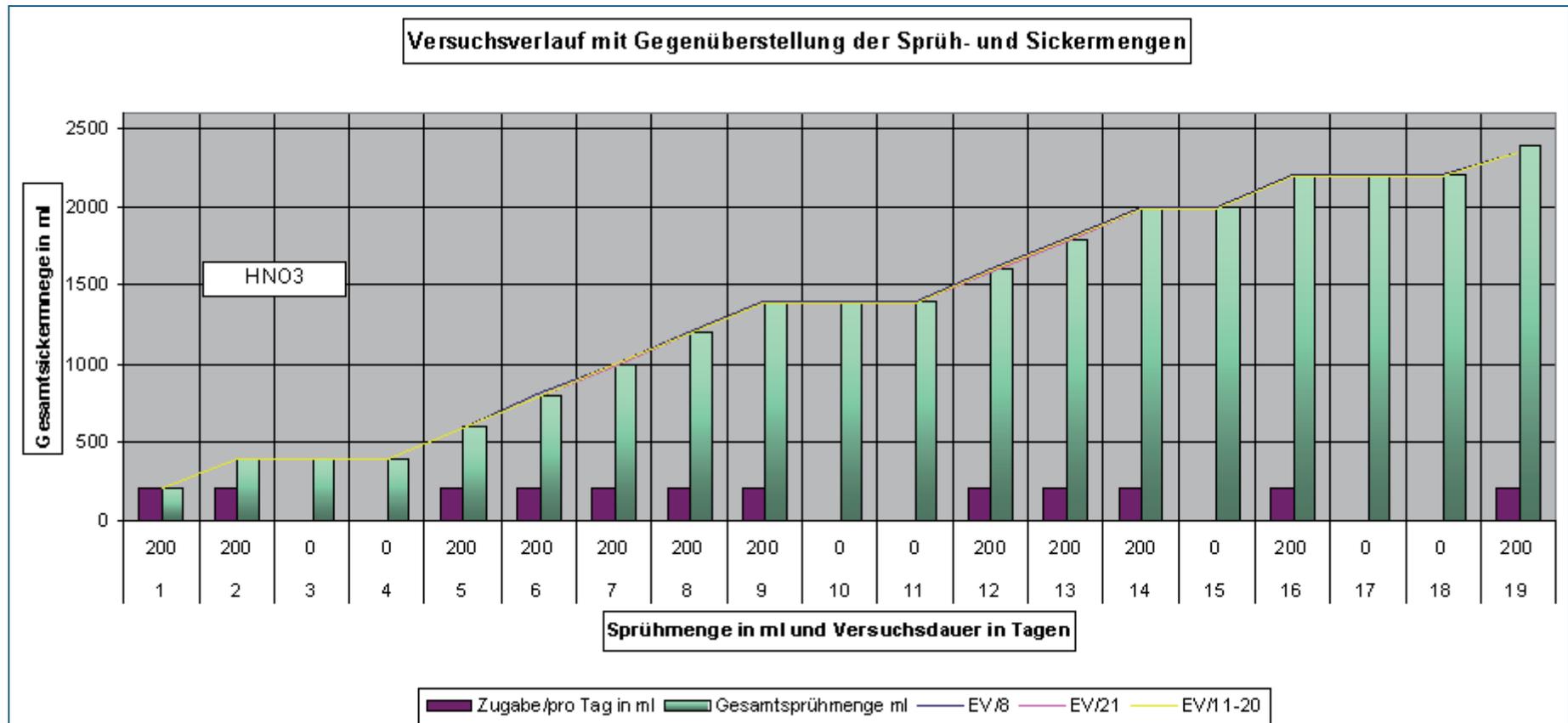


Abb. 12: Daten zum Versuchsverlauf für saures Wasser.

**Bildnachweis:**

|   |   |
|---|---|
| SCHWENDNER, A.  | Seite 8<br>Seite 15<br>Seite 17<br>Seite 18<br>Seite 20<br>Seite 24 - 28<br>Seite 31 - 37 |
| KLATT, J.   | Seite 9   |
| Geobasisdaten: © Bayerische Vermessungsverwaltung<br>( <a href="http://www.geodaten.bayern.de">www.geodaten.bayern.de</a> ) | Seite 11  |
| Luftbild veröffentlicht mit Genehmigung des<br>Geoinformationsdienstes der Bundeswehr, 2009                                 | Seite 12  |

