



Abschlussbericht

zum FHProfUnt-Projekt

**Probenahmeverfahren zur Kontrolle von Objekten
auf Explosivstoffe mittels Spürhund**

(PrObEx)

(Förderkennzeichen 13FH004PX4)

Zeitraum: Sep. 2014- Aug. 2017

**Ansprechpartner
Prof. Dr. Gerhard Holl
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
Institut für Detektionstechnologien**

**Von-Liebig-Str. 20
53359 Rheinbach
Tel: +49 2241 865-586
E-Mail: gerhard.holl@h-brs.de**

Inhaltsverzeichnis

I.	Aufgabenstellung und Projektdurchführung	3
I.1	Aufgabenstellung	3
I.1.1	Ziele	3
I.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	4
I.2.1	Motivation	4
I.2.2	Institut für Detektionstechnologien, Institut für Sicherheitsforschung	4
I.3	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	6
I.4	Stand der Wissenschaft und Technik.....	7
I.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	11
II.	Projektergebnisse und Verwertung	11
II.1	Ergebnisse im Projekt PrObEx.....	11
II.2	Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	20
II.3	Verwertung	20
II.4	Notwendigkeit der Förderung.....	21
II.5	Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	21
II.6	Veröffentlichungen im Rahmen des Projektes	21
II.7	Literatur.....	22

I. Aufgabenstellung und Projektdurchführung

I.1 Aufgabenstellung

Als rohstoffarme und exportorientierte Wirtschaftsnation ist die Bundesrepublik in hohem Maß auf die Sicherung und Sicherheit der Logistikketten im grenzüberschreitenden Verkehr angewiesen. Angesichts der komplexen Transportstrukturen bei grenzüberschreitenden Transporten kommt den eingesetzten Kontroll- und Prüfverfahren besondere Bedeutung zu: Einerseits müssen Kostenbelastungen, Unterbrechungen und Verzögerungen in der Transportkette minimiert, andererseits besonders illegale Einfuhren, Transporte und Substanzen unterbunden werden. Von besonderer Bedeutung für Verdachts- bzw. Stichprobenkontrollen ist der Einsatz speziell trainierter Spürhunde. Als besonders leistungsfähige ‚lebende Sensoren‘ sind sie in der Lage, eine Vielzahl von Stoffen zu detektieren. Der Einsatz von Spürhunden unterliegt allerdings engen Grenzen: Hoher Trainingsaufwand, eng begrenzte Einsatzdauer, begrenzte Verfügbarkeit. Die Entwicklung neuer, optimierter Einsatzverfahren für Spürhunde z. B. mit höheren Durchsatzraten und überprüfbarer Verlässlichkeit durch Einbindung technischer Systeme ist daher ein wichtiger Beitrag für die Sicherung und Sicherheit der Logistikketten.

I.1.1 Ziele

Ziel des Projektes ist die Entwicklung und Bewertung eines abstandsfähigen Detektionsverfahrens (Labormuster) zur Bestimmung luftgetragener Explosivstoffe (Gase und Partikel) auf Filtermedien mit Hilfe olfaktometrischer und technischer Detektoren.

Das Gesamtziel gliedert sich in nachfolgende Teilziele:

a. **Entwicklung eines Verfahrens zur Probenahme und Bewertung von luftgetragenen Explosivstoffen auf Filtermedien für biologische und elektronische Detektoren**

Es müssen Partikel und verdampfte Analyten aus großen Luftvolumina bei kurzer Probenahmezeit möglichst effizient auf einen Filter abgeschieden werden. Die Filter sollten kostengünstig und sowohl für Spürhunde, als auch für technische Detektionsverfahren geeignet sein (z.B. keinen Eigengeruch aufweisen und eine verlustarme Desorption ermöglichen).

b. **Modellierung der chemischen Signatur von Luftproben**

Reale Sprengstoffe sind komplexe Mehrkomponentensysteme, die in Abhängigkeit von physikalischen chemischen Parametern und szenarienspezifischen Randbedingungen (z.B. Dampfdrücke, Temperatur, Verpackung) unterschiedlich abgasen, permeieren, diffundieren und auf Oberflächen (z.B. Wandungen und Staubpartikel) kondensieren [11].

c. **Beschreibung eines Funktionsmodells und Demonstration des Gesamtkonzeptes**

Entwicklung eines Funktionsmodells, welches die Teilprozesse, Fehlerquellen und Verfahrensgrenzen des Gesamtverfahrens abbildet. Das Konzept soll exemplarisch erprobt werden.

I.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

I.2.1 Motivation

Das Vorhaben baut auf dem REST-Konzept (REST = Remote Explosive Scent Tracing) für den Einsatz von Sprengstoffspürhunden (im weiteren SSH) auf, bei dem aber eine Einbindung technischer Detektionsverfahren nicht vorgesehen ist. Im Vergleich zu üblichen Einsatzverfahren, bei denen Hunde vor Ort mit hohem Zeitaufwand große Objekte einzeln und unter nicht kontrollierbaren Bedingungen abprüfen, wird bei REST der Geruch eines großen, schwerzugänglichen Objektes (z. B. Container) auf einen Filter konzentriert und dieser dem SSH unter optimierten Umgebungsbedingungen zur Bewertung gebracht. Da ein SSH eine große Anzahl Filter innerhalb kurzer Zeit abprüfen kann, verspricht das Konzept eine enorme Effizienzsteigerung und kann bei nachgewiesener Eignung auch in Deutschland im großen Umfang bei der Detektion von Explosivstoffen eingesetzt werden. Bisher findet REST nur im Ausland Anwendung (siehe Stand der Technik). Eine integrierte Möglichkeit der Überprüfung bzw. Verifizierung der Suchleistung von Sprengstoffspürhunden mittels orthogonaler technischer Detektionsverfahren existiert bislang nicht.

I.2.2 Institut für Detektionstechnologien, Institut für Sicherheitsforschung

Die Hochschule Bonn-Rhein-Sieg betreibt bereits seit Jahren enge Kooperationen mit

Partnern aus der Wirtschaft und Forschungseinrichtungen zur Verbesserung der Fachkompetenz und zur Gewährleistung einer modernen und bedarfsgerechten Ausbildung. Der Hochschule gelang es über die vergangenen Jahre exzellente Forschung insbesondere im Bereich der Sensorik, Analytik und Detektion von Explosivstoffen – hier besonders im Themenbereich der Erkennung von behelfsmäßigen Sprengvorrichtungen (Improvised Explosive Devices - IED) - zu betreiben; der Fokus richtete sich hierbei auf den Bereich chemischer Detektionstechnologien. Besonderes bei der Bewertung neuer Sensoren, der Entwicklung und Anwendung von Verfahren im Bereich der Spurenanalytik, sowie bei der Nutzung von Spürhunden konnten spezifische Kernkompetenzen aufgebaut werden.

2010 hat die Hochschule die Einrichtung von Hochschulforschungsschwerpunkten (HFSP) beschlossen, die die Aktivitäten interdisziplinärer Forschungsgruppen in zukunftsweisenden Schwerpunktthemen mit hohem Innovationspotential und großer gesellschaftlicher und wissenschaftlicher Relevanz bündeln. Unter dem Dach des HFSP wurden die Institute für Sicherheitsforschung (ISF) mit den Schwerpunkten zivile Sicherheit, IT-Sicherheit, Maschinensicherheit und Lebensmittelsicherheit sowie das Institut für Detektionstechnologien (IDT) gegründet. Das IDT konnte zusätzlich mit einer forschungsorientierten EADS-Stiftungsprofessur ausgestattet werden. Seit dem 1.1.2018 wird der Bereich der Sicherheitsforschung auch im Rahmen einer erfolgreichen Antragstellung in der Förderinitiative „Innovative Hochschule“ weiter ausgebaut. Besonderes Potenzial hat sich das IDT im Bereich der Sensorik, der Odorologie der Spürhunde, sowie der Spurenanalytik (Gasphase, Wischprobeneffizienz, Feststoffphase) aneignen können – Bereiche, die für die erfolgreiche Umsetzung des Vorhabens PrObEx von entscheidender Bedeutung sind:

Das Institut für Detektionstechnologien (IDT) der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg und das für dieses Vorhaben eingeplante Personal des Instituts führen seit Jahren Forschungsarbeiten und andere Aktivitäten im Bereich des (Sprengstoff)spürhundewesens durch:

- Ringversuche mit Sprengstoffspürhunden aus diensthundehaltenden Behörden am WIWEB (Wehrwissenschaftliches Institut für Werk-, Explosiv- und Betriebsstoffe); 2001 (TNT) und 2005/6 (TATP)

- Evaluation und Adaption von Mikromengenprüfkörpern für den Feldtest mit Suchhunden (Pilotlehrgang „Minensuche“) (Gefördert vom BmVg, Zuwendungsnummer: E/E210/6D021/2F082); 2006-2007
- FaDi - Führen von Sprengstoffspürhunden auf Distanz (Gefördert vom BmVg, Zuwendungsnummer: E/E210/6D019_4F101); 2006-2007
- Weiterentwicklung der Echtstoffmikromengenprüfkörper in Hinblick auf die Verwendung als Referenzstandard und Riechprobenausstattung (Gefördert vom BmVg, Zuwendungsnummer: E/E210/7D042_4F101); 2007-2009
- Untersuchungen zum Einfluss von Fremdgerüchen auf die Leistungsfähigkeit von Sprengstoffspürhunden/Kampfmittelspürhunden (Gefördert vom BmVg, Auftragsnummer: M/SAB X/9A008); 2010-2011
- Untersuchungen zum Einfluss der Temperatur auf die Leistungsfähigkeit von explosivstoff-anzeigenden Diensthunden (Gefördert vom BmVg, Auftragsnummer: M/SAB X/9A008); 2013-2014
- „Sniffer For Concealed People Discovery“ EU-Collaborative Project (FP7-Sec-2012.3.4-4), teilnehmend als Spezialist für Detektion durch Hunde und technische Systeme; 2014-2016

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt konnte in weiten Teilen wie im Projektantrag geplant durchgeführt werden. Es kam zu einzelnen Verzögerungen in den Arbeitspaketen, die aber überwiegend während der Projektlaufzeit kompensiert werden konnten. Bei Versuchen mit Spürhunden war die Hochschule Bonn-Rhein-Sieg auf die Unterstützung der assoziierten Partner, insbesondere der WISAG Militärische Einrichtungen GmbH angewiesen. Jedoch führte - unter anderem - die zunehmende Nachfrage nach Spürhunden zur Kontrolle von Luftfracht in der realen Wirtschaft zu erheblichen Engpässen bei Spürhunden und Hundeführern für das Projekt. Versuche mit Hunden konnten daher nur in sehr eingeschränkten Maße durchgeführt werden.

Es fanden jährlich Workshops zur Vorstellung und Diskussion des Arbeitsstands mit den assoziierten Partnern statt, bei dem auch weitere Akteure aus dem Bereich der Luftsicherheit teilnahmen. Die Workshops führten zu einer unmittelbaren und fortlaufenden Einbindung von Endnutzern (Logistikunternehmen, Sicherheitsdienstleister, Polizei, Aufsichtsbehörde) in das Projekt.

I.4 Stand der Wissenschaft und Technik

Im Bereich der Luftfahrtsicherheit legt die EU-Verordnung 185/2010 als alternative Kontrollverfahren zur Röntgendurchleuchtung die Handdurchsuchung, die Kontrolle mittels Sprengstoffspurendetektor (SSD) oder Sprengstoffspürhund (SSH) fest. Die Verfahren kommen unter anderem zum Einsatz, wenn das zu kontrollierende Objekt nicht für eine Durchleuchtung geeignet ist (z.B. bedingt durch Geometrie oder Abschirmung). Die Handdurchsuchung und Kontrolle mittels Wischproben führt bei der Kontrolle von Fracht, Containern und anderen Objekten (Fahrzeuge, Flugzeuge aus unsicheren Ländern) zu komplexen, fehlerträchtigen Abläufen, hohen Kosten und großem Zeitaufwand. Dieses ist mit einem schnellen und sicheren Umschlag von Waren und Zugang zum Flughafen kaum zu vereinbaren [1].

Spürhunde werden weltweit mit Erfolg für eine Vielzahl von Detektionsaufgaben (Explosivstoffe, Drogen, Geld, Schädlinge, Brandbeschleuniger, Personen etc.) herangezogen [2]. Angesichts der teilweise sehr geringen Dampfdrücke von Explosivstoffen und der sehr guten, aber dennoch begrenzten Sensitivität von Spürhunden ist bisher nicht aufgeklärt, wie SSH diese Stoffe detektieren. Es wird angenommen, dass bei besonders schwerflüchtigen Stoffen die Wahrnehmung über flüchtigere Schlüsselkomponenten erfolgt [2, 3, 13]. Versuche diese Schlüsselkomponenten zu identifizieren und Hunde damit auszubilden, waren bisher nur bedingt erfolgreich [4, 14].

Es besteht die allgemeine Auffassung, dass Spürhunde im Vergleich zu technischen Detektionssystemen Vorteile im Bereich Detektionsgeschwindigkeit, Selektivität und Mobilität bei gleichzeitig herausragender Sensitivität aufweisen. Zudem können Hunde innerhalb weniger Tage neue Zielgerüche erlernen und ermöglichen so eine flexible Reaktion auf neue Gefährdungen. Gewichtige Nachteile beim Einsatz von Hunden gegenüber technischen Systemen sind die begrenzte Einsatzzeit, die Beeinflussbarkeit durch Umweltbedingungen und die stärkere Abhängigkeit vom „Bediener“ [3].

Etwa seit 1980 wird versucht die Einsatzfähigkeit von Hunden zu verbessern, in dem von größeren oder begrenzt zugänglichen Objekten zunächst Luftproben genommen und diese anschließend dem Hund unter kontrollierten Bedingungen zur Bewertung gegeben werden. Das Konzept hat das Potential zu einer erheblichen Effizienzsteigerung beim Einsatz von Spürhunden führen, macht diese unabhängiger von Umweltbedingungen und vom Hundeführer. Folgende Schlüsselemente für den Erfolg des Konzeptes wurden identifiziert [5]:

- Ausstattung und Vorgehen bei der Probenahme
- Aufbewahrung, Überbringung und Handhabung der Filter
- Training der Detektoren (im Bereich der Minensuche ungelöst)
- Absichern der Verlässlichkeit des Analyseprozesses

Obwohl vielversprechend ist es bis 2011 nicht gelungen das Konzept im Bereich der Minensuche in eine reguläre Anwendung zu bringen [5]. Tatsächlich wird trotz der bereits erfolgten erheblichen Anstrengungen weiterer Forschungsbedarf insbesondere im Bereich der Probenahme und der (olfaktorischen) Ausbildung der Spürhunde gesehen.

Im Bereich der Luftsicherheit erlangt das Verfahren REST (wenn auch unter anderem Namen: z.B. RASCargO™) zunehmend an internationaler Bedeutung und wird für eine Zulassung zur Kontrolle von Luftfracht [6, 7] diskutiert. Das Verfahren wird als sehr erfolgreich (Detektionswahrscheinlichkeit > 98 %, Fehlalarmquote < 1%) bei der Überprüfung von Fracht (LKW und Luftfracht) beschrieben. Jedoch fehlen wichtige Verfahrensparameter (Anzahl der Versuche, berücksichtigte Stoffe, Verfahren zur Ausbildung der Hunde, usw.). Zudem sind viele Aspekte des Verfahrens (z.B. Transport der Spur innerhalb des Containers, Abhängigkeit des Detektionserfolgs von Umgebungsbedingungen und Frachtkonfiguration) nicht verstanden [8]. Insgesamt fehlen öffentlich verfügbare wissenschaftliche Daten [9]. Die Literaturrecherche im Rahmen des Projektes führten hier zu keinen neuen Erkenntnissen.

Dennoch besteht auch in Deutschland insbesondere bei Logistikunternehmen erhebliches Interesse an der Einführung von REST-Spürhunden für die Kontrolle von Luftfracht, da durch die Nutzung von REST in europäischen Nachbarländern Wettbewerbs Nachteile für deutsche Unternehmen ohne vergleichbare verfügbare Kontrolltechnik gesehen werden.

SSH verfügen über außerordentliche Fähigkeiten in der Geruchsdiskriminierung. Die Geruchseingabe ist daher entscheidend. In der wissenschaftlichen Literatur ist beschrieben, dass Abweichungen vom gelernten Geruchsbild, insbesondere das Fehlen einzelner Teilkomponenten dazu führen kann, dass ein Sprengstoff nicht mehr von einem SSH angezeigt wird [10]. Das Geruchsbouquet des Filters wird sich von dem des Explosivstoffes unterscheiden. Inwieweit dies Einfluss auf die Detektion durch einen mit herkömmlichen Stoffen ausgebildeten SSH hat, ist nicht bekannt.

Im Flughafenbereich eingesetzte Geräte basieren überwiegend auf der Ionenmobilitätsspektrometrie. Bei diesen erfolgt die Detektion in der Regel über eine Wischprobenahme. Eine Detektion über die Gasphase ist hingegen nur bei Portallösungen zur Kontrolle von Passagieren umgesetzt und deutlich weniger verbreitet.

Im Bereich der Sprengstoffspurendetektion werden vielfach Ionenmobilitätsspektrometer wie der Itemiser DX eingesetzt. Das Gerät dient der Detektion von Sprengstoff- und Drogenspuren durch Wischprobenahme, gefolgt von einer Thermodesorption des Wischers im Thermodesorber des Gerätes und der Analyse der abgedampften Bestandteile mittels „ion-trap-ion-mobility spectrometer“ (ITMS). Ionisierte Analyten werden anhand ihrer Driftzeit unterschieden und identifiziert. Durch die Gegenwart eines geeigneten Dotiermittels bei der Ionisierung wird die Selektivität weiter erhöht. Das Gerät verfügt über zwei Kanäle und detektiert sowohl positive als auch negative Ionen. Im Projekt wurde das Gerät mit einer für die Luftsicherheit zertifizierten Firmware-Version, mit der sich nur Explosivstoffe detektieren lassen, genutzt.

Eine relativ neue Entwicklung ist das System ACES der Firma SEDET, bei der Luftproben von Fracht auf einen Filter gezogen und mittels Differential Mobility Analysis (DMA) und API Tandem Massenspektroskopie (API MS/MS) analysiert werden. Das Verfahren ist technisch sehr aufwändig. Im Bereich der Detektion von Drogen in Seefracht-Containern befindet sich das DrugCON™ der Firma Securetec (Deutschland) im praktischen Einsatz. Hierfür werden großvolumige Luftproben auf Antikörper-Teststreifen angereichert und detektiert.

Im aktuell laufenden EU-Projekt C-BORD, an dem das Institut für Detektionstechnologien ebenfalls beteiligt ist, konnte die routinemäßige Nutzung des DrugCon-Systems im Hafen Rotterdam beobachtet werden. In dem EU-Projekt wird an einem Multi-sensorsystem zur Detektion von Drogen, Explosivstoffen, Precursoren, Menschen und Tabak mittels Luftprobenfilter gearbeitet.

In der Analytik gibt es verschiedene Verfahren, um Luftproben zu nehmen. (siehe Abbildung 1). Mit Prüfröhrchen

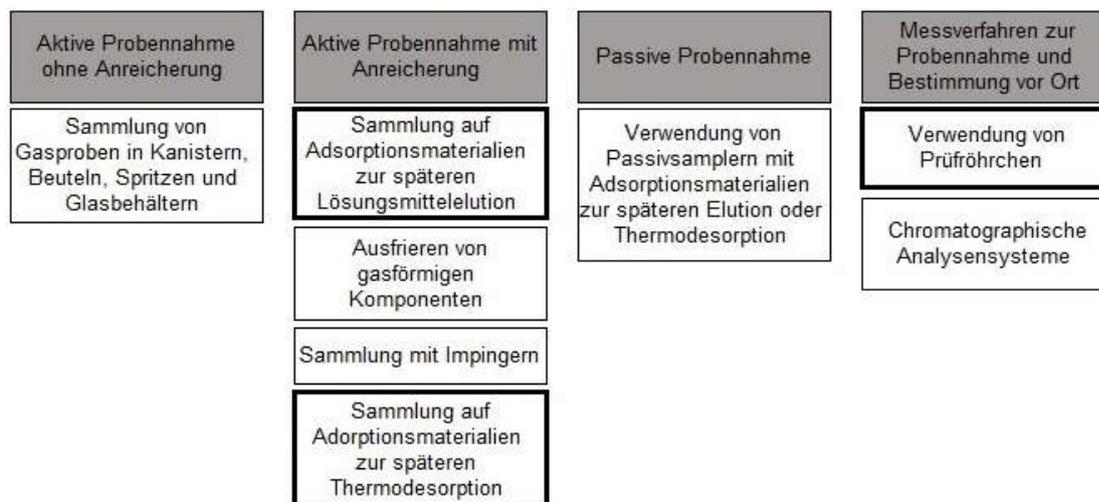


Abbildung 1: Übersicht über Arten und Verfahren der Luftprobennahme. Nach Cammann, „Instrumentelle Analytische Chemie“ [20]; die schwarz markierten Techniken eignen sich besonders für die Luftprobennahme von Explosivstoffen

kann eine schnelle Aussage bereits am Ort der Probenahme getroffen werden. Die am häufigsten genutzte und daher auch wichtigste Methode ist aber die Anreicherung auf Adsorptionsmaterialien. Die Technik erlaubt sowohl lange Probenahmezeiten, als auch große Probenvolumina. Meist befinden sich die Adsorbentien in einem Metall- oder Glasröhrchen.

Bei anschließender thermischer Desorption wird der Luftstrom in entgegengesetzter Richtung durch das Röhrchen geleitet, um den Desorptionsvorgang zu erleichtern.

Eine andere Möglichkeit ist die anschließende Elution in einem geeigneten Lösemittel, das im Idealfall nur die gesuchten Substanzen löst [15]. Bei der Probenahme für lebende Detektoren (Hunde, Ratten) fällt der Schritt der Desorption oder Eluierung weg. Die Proben stehen also noch für weitere technisch/analytische Untersuchungen zur Verfügung.

Besonders Tenax® TA muss im Zusammenhang mit Explosivstoffen hervorgehoben werden. So nutzt die Firma SEDET bei ihrem zuvor genannten System mit Tenax® beschichtete Stahlgitter, um Explosivstoff aus den Luftproben anzureichern und anschließend thermisch zu desorbieren [12]. Generell scheinen Kunststoffe als Adsorbentien für Explosivstoffe eine gute Wahl zu sein. Bei der Anreicherung aus Luftproben und anschließender Detektion mit Sprengstoffspürhunden (REST-Verfahren) wird ein Netz aus Polyvinylchlorid (PVC) als Adsorbens genutzt [5].

Kunststoffe haben allerdings einen deutlichen Eigengeruch. Geruchsänderungen

durch Wechsel der Produktionschargen können Einfluss auf das Detektionsverhalten von SSH nehmen.

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Für die Darstellung der Zusammenarbeit mit anderen Stellen sei auf das Kapitel II.1 verwiesen, in dem aufgeteilt nach den einzelnen Arbeitspaketen die assoziierten Projektpartner aufgelistet sind, mit denen eng zusammengearbeitet wurde. Darüber hinaus konnte die Zusammenarbeit mit den folgenden Stellen zur Bearbeitung der Arbeitspakete genutzt werden:

- Luftfahrtbundesamt in Braunschweig: Unterstützte das Projekt mit Informationen bezüglich des Zulassungsverfahrens und der Anwendung des REST-Verfahrens im europäischen Ausland.
- UPS am Flughafen Köln-Bonn: Der Logistikdienstleister stellte Informationen zu den logistischen Abläufen im Luftfrachtverkehr und der Frachtkontrolle, Transportzeiten und den Luftfrachtcontainer zur Verfügung.

II. Projektergebnisse und Verwertung

II.1 Ergebnisse im Projekt PrObEx

Die folgenden Tabellen zeigen zusammengefasst eine Kurzdarstellung der im Antrag beschriebenen Ziele und die erreichten Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete. Eine detaillierte Darstellung der Projektergebnisse befindet sich der besseren Lesbarkeit wegen im Anhang.

Arbeitspaket 1
Aufbau einer Teststrecke zur Bewertung von Filtersystemen
Arbeitspaket 1.1
Beschaffung und Adaption von Probenahmepumpen und Aufbau einer Teststrecke zur Erzeugung definierter Explosivstoffausgasungen
Arbeitspaket 1.2
Kontrolle der Teststrecke mit instrumentell-analytischen Verfahren
Beschreibung des Arbeitspaketes:
Es müssen Filtersysteme z. B. in Hinblick auf ihre Sammeleffizienz und Durch-

bruchszeit mit verschiedenen Stoffen getestet werden. Hierfür muss eine Teststrecke aufgebaut werden, mit der reproduzierbar über einen längeren Zeitraum definierte Explosivstoffausgasungen zur Verfügung gestellt werden können. Teil der Teststrecke sind geeignete Probenahmepumpen mit hohen Durchflussraten (circa 60 L/min). Diese sind zu beschaffen und auf die zu testenden Filtermodelle anzupassen. Aufbau, Betrieb und Kontrolle der Teststrecke erfolgt durch das IDT. Die Fa. ExploTech unterstützt das Arbeitspaket durch Bereitstellung sprengstoffhaltiger Testkörper und –materialien. Der Aufbau dient zur Herstellung von Filtern zu Test- und Trainingszwecken dienen.

Ziele und Arbeitsinhalte:

Fertigstellung Teststrecke zur Bewertung von Filtersystemen

Ergebnisse:

Es wurde eine regelbare Probennahmepumpe für umweltanalytische Fragestellungen beschafft und in Betrieb genommen.

Es wurde eine Teststrecke für die Herstellung definierter TNT und Nitroglycerin Emissionen aufgebaut und in Betrieb genommen. Zur Überprüfung des Aufbaus wurden die Emissionen aus der Teststrecke auf analytischen Tenax TA® gefüllten Sorptionsröhrchen angereichert und diese im Anschluss extrahiert und mittels Hochleistungsflüssigchromatographie-Massenspektrometrie (LC-MS) analysiert.

Arbeitspaket 2

Aufbau von Modellobjekten und Untersuchung der Transportprozesse versteckter Explosivstoffe

Arbeitspaket 2.1

Identifizierung, Auswahl und Aufbau von Modellobjekten

Arbeitspaket 2.2

Untersuchung der Ausbreitung der chemischen Signatur

Arbeitspaket 2.3

Herstellung von Proben zu Trainings- und Testzwecken.

Beschreibung des Arbeitspaketes:

Es wurden Modellobjekte mit Explosivstoffen bestückt und die Ausbreitung der chemischen Signatur im Objekt untersucht. Die Auswahl der untersuchten Szenarien erfolgt nach Beratung durch die BPol. Mit diesen Szenarien werden mittels instrumentell analytischer Verfahren Ausbreitung und Veränderung der chemischen Signatur eines versteckten Explosivstoffs im Objekt auch in Abhängigkeit von Umgebungsbedingungen untersucht. Ziel ist es, die in realen Szenarien zu erwartenden Analytkonzentrationen und –zusammensetzungen, sowie deren zeitliche Abhängigkeit zu bewerten. Die Modellobjekte wurden auch zum realitätsnahen Testen der in AP 4 entwickelten Filtertypen, sowie zur Erzeugung von Trainings- und Testproben verwendet. Die Fa. ExploTech unterstützte das Arbeitspaket durch Bereitstellung und Herstellung sprengstoffhaltiger Testkörper und –materialien.

Ziele und Arbeitsinhalte:

- 1) Aufbau der Modellszenarien
- 2) Teilbericht: Transportprozesse versteckter Explosivstoffe

Ergebnisse:

Als Hauptszenarien wurden zunächst größere, geschlossene Versandstücke (große Kisten) und Palettenstapel ausgewählt. Erste Versuche mit dem Kistenszenario zeigten jedoch die große Herausforderung bei der Detektion der Explosivstoffe in der Gasphase. Das Szenario „Palettenstapel“ lässt im Gegensatz zum geschlossenen Versandstück einen erheblichen Austausch mit der Umgebung zu. Da dies zu einer weiteren Verdünnung der Zielanalyten führt, wurde von einer weiteren Untersuchung der Palettenstapel abgesehen. Die mögliche Freisetzung giftiger, teilweise karzinogener Stoffe an die Umgebung stellt zudem ein erhebliches Problem für den Arbeitsschutz dar.

Als weitere Unterszenarien wurden unter anderem verschiedene Verpackungsvarianten und das Vorhandensein von Beiladung gewählt. Hierbei wurden verschiedene Explosivstoffe und explosivstoffrelevante Verbindungen (z.B. TNT, Nitroglycerin, 2,3-Dimethyldinitrobutan, Cyclohexanon) in desensibilisierter Form verpackt. Die Auswirkung der verschiedenen Szenarien auf die Freisetzung und Ausbreitung der Zielanalyten wurden mit instrumentell-analytischen Verfahren untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Art der Verpackung, aber auch die Beiladung erwartungsgemäß einen erheblichen Einfluss auf die Freisetzung und Ausbreitung der

Zielanalyten hatte.

Die Testszenarien wurden genutzt um die im Projekt entwickelten Filtersystem zu testen.

Arbeitspaket 3

Entwicklung, Test und Optimierung verschiedener Filtertypen

Arbeitspaket 3.1

Auswahl und Konstruktion vielversprechender Filtersystem

Arbeitspaket 3.2

Optimierung und Bewertung der Filtersysteme

Beschreibung des Arbeitspaketes:

Es werden verschiedene Filtersysteme in Hinblick auf ihre gleichzeitige Nutzbarkeit durch Spürhunde und Detektionssysteme bewertet. Die Filter müssen für hohe Durchflüsse und von Größe und Geometrie für eine schnelle und effiziente Thermo-desorption, sowie für eine einfache und sichere Handhabung geeignet sein. Die Firma ExploTech unterstützte hier mit der Bereitstellung von Material, Laborfläche und Laborausstattung.

Ziele und Arbeitsinhalte:

Entwicklung eines effizienten für die gleichzeitige Nutzung durch Spürhunde und Detektionssystem geeigneten Filtersystems.

Ergebnisse:

Es wurden eine Reihe Materialien und Filtertypen ausgewählt und auf ihre Eignung hin überprüft. Entscheidungsgrundlagen hierfür waren:

- Temperaturbeständigkeit
- Sorptions- und Desorptionseigenschaften
- Durchfluss
- Wirtschaftlichkeit
- Thermische Masse
- Eignung für Spürhunde
- Eignung für Desorptionseinheit
- pH-Neutralität

- Neigung zur Aufnahme von Feuchte aus der Luft

Die ausgewählten Filtervarianten wurden mit dem in AP 4 entwickelten und an ein IMS gekoppelten Thermodesorber getestet und auch der Firma WISAG Militärische Einrichtungen GmbH übergeben.

Es wurde ein geeignetes Filtersystem hergestellt und zur Patentierung angemeldet.

Arbeitspaket 4

Entwicklung, Test und Optimierung eines Probeneinlasssystems für Sprengstoffdetektor (Labormuster)

Arbeitspaket 4.1

Konstruktion Desorptionseinheit

Arbeitspaket 4.2

Test und Optimierung der Desorptionseinheit

Beschreibung des Arbeitspaketes:

Basierend auf dem in AP 3 entwickelte Filtersystem wurde ein Probeneinlasssystem für den Itemiser DX konstruiert und getestet. Die Tests wurden mit leeren und benutzten Filtern durchgeführt, welche im Labor, an der Teststrecke (AP 1) und den Modellszenarien (AP 2) mit Explosivstoffen und potentiellen Störsubstanzen beladen wurden. Ziel ist die Entwicklung einer schnellen und effizienten Desorptionseinheit. Bei der Desorption ist zu berücksichtigen, dass Explosivstoffe bei höheren Temperaturen zur Zersetzung neigen. Die Konstruktion und Anpassung des Desorbers erfolgt durch die Firma ELP GmbH. Die Tests werden durch das IDT durchgeführt.

Ziele und Arbeitsinhalte:

Fertigstellung eines funktionsfähigen Thermodesorbers für die im Vorhaben entwickelten Filter

Ergebnisse:

Ein funktionsfähiger Thermodesorber inklusive Softwaresteuerung wurde seitens der Firma ELP entwickelt und bereitgestellt. Das System wurde durch das IDT mit den in AP 3 entwickelten Filtern getestet und die anpassbaren Desorptionsparameter (Temperatur, Desorptionsdauer, Zeitraum zwischen Beginn der Desorption und Beginn der aktiven Messung der Emissionen durch das IMS) optimiert. Die Filter

wurden sowohl bespiked, als auch mit der im Rahmen von AP 1 aufgebauten Emissionsapparatur mit gasförmigen TNT und Nitroglycerin beaufschlagt.

Arbeitspaket 5

Aufbau einer Teststrecke für Sprengstoffspürhunde

Beschreibung des Arbeitspaketes:

Für die Bewertung der Filter durch Hunde muss eine geeignete, transportable Teststrecke aufgebaut und betrieben werden. Die Teststrecke muss sowohl kynologischen Anforderungen (z. B. gute Zugänglichkeit für die Hunde, Vermeidung jedweder Verletzungsgefahr) als auch den Anforderungen eines wissenschaftlichen Versuchsaufbaus (Reproduzierbarkeit, Kontaminationsvermeidung und -beseitigung) genügen. Insbesondere bei der WISAG, aber auch bei der BPol und dem IDT bestehen hier bereits einige Erfahrungen. Die TU München bringt in dieses Arbeitspaket verhaltensbiologisches Fachwissen und Erfahrungen aus eigenen Versuchen mit Säugetieren ein. Der Versuchsaufbau wird von der WISAG aufgebaut und der BPol für die Durchführung von Versuchen mit eigenen Hunden zur Verfügung gestellt. Der Versuchsaufbau wird durch ein Hundeteam der WISAG und voraussichtlich auch der BPol getestet.

Ziele und Arbeitsinhalte:

Fertigstellung einer mobilen Teststrecke für die Bewertung der im Vorhaben entwickelten Filter durch Spürhunde

Ergebnisse:

Es wurde seitens der WISAG in Abstimmung mit dem IDT und den assoziierten Partner eine mobile Teststrecke in einem Fahrzeuganhänger realisiert. Der Fahrzeuganhänger wurde für Versuche mit Filterproben mit Hunden der WISAG genutzt.

Arbeitspaket 6

Entwicklung einer Prozessbeschreibung für Probenahme, Umgang und Bewertung der PrObEx-Filter

Arbeitspaket 6.1

Erstellung einer vorläufigen Prozessbeschreibung**Arbeitspaket 6.2****Erstellung einer an die Erfahrungen aus AP 7 angepassten Prozessbeschreibung****Beschreibung des Arbeitspaketes:**

Wie im Stand der Technik beschrieben, sind Ausstattung und Vorgehen bei der Probenahme, Aufbewahrung, Überbringung und Handhabung der Filter, Training der Detektoren (SSH) und die Absicherung des Prozesses durch Maßnahmen der Qualitätssicherung entscheidend für den Erfolg des Konzeptes. Nach Abschluss von AP 5 wird basierend auf dem dann vorliegenden Kenntnisstand eine vorläufige Prozessbeschreibung entworfen. Die Versuche in AP 7 werden basierend auf diesem Entwurf durchgeführt und abhängig der in AP 7 gemachten Erfahrungen modifiziert. Die Erstellung und Modifikation der Prozessbeschreibung erfolgt nach ausgiebiger Beratung (insbesondere bezüglich der Einbindung von Hunden) mit den assoziierten Partnern.

Ziele und Arbeitsinhalte:

- 1) *Fertigstellung einer vorläufigen Prozessbeschreibung*
- 2) *Fertigstellung einer optimierten Prozessbeschreibung*

Ergebnisse:

Es wurde eine vorläufige Prozessbeschreibung erstellt, jedoch konnte diese im Rahmen des Projektes nur im eingeschränkten Umfang getestet werden. Erfahrungen aus anderen Projekten zeigten weitere Herausforderungen auf. Zu nennen sind hier:

- Transport von Sprengstoffspuren über den Nasenspiegel von Spürhunden, welches zu Querkontaminationen im Versuchsaufbau führen kann. Insgesamt ist ein erheblicher Aufwand für die Vermeidung von Kontamination nötig
- Schwierigkeiten beim Training der Hunde mit kleinen Sprengstoffspuren, da Umgebungsgerüche (z.B. Eigengeruch des Aufbewahrungsortes der Trainingsmittel oder der handhabenden Personen) an den Trainingsmitteln zu Fehlconditionierungen führen können, da diese Gerüche u. U. besser für den Hund wahrnehmbar sind als der eigentliche Zielgeruch.

Arbeitspaket 7

Bewertung der PrObEx-Filter mit Spürhunden und Sprengstoffspurendetektor und Beschreibung eines Funktionsmodells

Arbeitspaket 7.1

Recherche zu potentiellen Leistungsgrenzen und Fehlerquellen REST-basierter Verfahren

Arbeitspaket 7.2

Bewertung des PrObEx-Konzeptes im Sinne einer Machbarkeitsstudie

Arbeitspaket 7.3

Erstellen eines Funktionsmodells REST-basierter Verfahren

Beschreibung des Arbeitspaketes:

PrObEx-Filter – hergestellt mit Hilfe der Aufbauten aus AP 1 und 2, sowie einzelnen durch dritte nachgestellten Szenarien - werden durch SSH, Itemiser DX und weitere instrumentell analytische Verfahren untersucht. In diesem Arbeitspaket sollen exemplarisch (1-2 Explosivstoffe, wenige Hunde) Detektionswahrscheinlichkeiten und Fehlalarmraten bestimmt werden. Bezüglich der Hunde soll der Frage nachgegangen werden, ob ein mit herkömmlichen Explosivstoff ausgebildeter Hund in der Lage ist, sprengstoffbelastete Filterproben zu identifizieren oder die vermuteten Abweichungen zwischen den Emissionen eines Explosivstoffs und denen einer Filterprobe zu Schwierigkeiten führen. Gegebenenfalls ist im Rahmen des Arbeitspaketes zu prüfen, ob eine Nachkonditionierung der SSH auf Filterproben eine Verbesserung der Detektionsleistung bewirkt. Bezüglich des Itemisers soll festgestellt werden, ob dieser den Anforderungen in Hinblick auf Sensitivität und Selektivität gewachsen ist und welche Leistungsanforderungen an alternative Detektoren gestellt werden.

Basierend auf den Ergebnissen, insbesondere aus den APs 2 und 7, wird ein Funktionsmodell als theoretisch/konzeptuelle Basis zum Verständnis REST-basierter Verfahren beschrieben. In diesem werden die relevanten Teilprozesse, Fehlerquellen und potentielle Verfahrensgrenzen des Gesamtverfahrens dargestellt und soweit möglich mit Daten aus der Literatur und Versuchen belegt. Die Erstellung des Funktionsmodells wird durch fachliche Beiträge der Partner unterstützt.

Ziele und Arbeitsinhalte:

Abschlussbericht zum PrObEx-Vorhaben mit Machbarkeitsbewertung und Funktionsmodell

Ergebnisse:

Spürhunde wurden ausgewählt und mit durch die BPol bereitgestellte Explosivstoffe und von der Firma ExploTech hergestellte geruchlichen Trainingshilfsmitteln konditioniert. Die so erzeugten Proben wurden mittels instrumentell analytischer Verfahren und mit der in AP 4 entwickelten und optimierten, an einen Itemiser DX gekoppelten thermischen Desorber analysiert.

Versuche mit Hunden wurden – aufgrund mangelnder Verfügbarkeit – nur sehr eingeschränkt durchgeführt.

Dabei zeigte sich, dass die Detektion selbst einfach verpackter Explosivstoffe in Frachtobjekten mittels großvolumiger Luftproben sowohl für technisch-analytische Detektionsverfahren als auch für Spürhunde eine große Herausforderung darstellt.

Im Projekt wurden unter anderem TNT und Nitroglycerin als Zielstoffe genutzt, welche im Vergleich zu anderen Explosivstoffen vergleichsweise flüchtig sind. Dennoch reichte die Sensitivität des eingesetzten Verfahrens, welche auf der Analyse von Extrakten mittels LC-MS² beruhte, selbst bei mäßig verpackten Explosivstoffen und einer Wartezeit von bis zu 48 h häufig nicht aus, um diese Stoffe nachzuweisen. Es wird davon ausgegangen, dass hierfür Detektionssysteme für den Ultraspurenbereich benötigt würden. Sehr leichtflüchtige Stoffe aus einer starken und langanhaltenden Emissionsquelle konnten hingegen innerhalb weniger Stunden außerhalb der Verpackung nachgewiesen werden

Eine Detektion ist – selbst bei gegebenem leistungsfähigen Detektor - abhängig von Verpackung, Umweltbedingungen, Einwirkzeit, Probenahmeverfahren und der Beiladung. Eine hohe Rate falsch negativer Anzeigen erscheint daher wahrscheinlich, zumal z.B. in Publikation islamisch-terroristischer Organisationen Maßnahmen zur Vermeidung von Kontaminationen und der Detektion durch technische Detektionsverfahren und Spürhunde beschrieben werden. Die Nachweisgrenze des Spürhundes wird im Allgemeinen im mittleren bis oberen ppt-Bereich gesehen [17]. Hinweise aus Versuchen außerhalb des Projektes lassen vermuten, dass die Leistungsfähigkeit der Spürhunde für das REST-Verfahren unzureichend ist. Obwohl eine Opti-

mierung für bestimmte Zielanalyten möglich ist, kann jedoch der Einfluss des geruchlichen und chemischen Hintergrundes nicht kontrolliert werden, was sowohl für Hund auch für technische Systeme zu Fehlalarmen führen kann. TD-IMS

Eine abschließende Machbarkeitsbewertung konnte jedoch aufgrund der geringen Untersuchungstiefe nicht durchgeführt werden.

Ein Funktionsmodell wurde erstellt.

II.2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Planungen der Ausgaben zu den Positionen 0812 Beschäftigte E12 - E15, 0817 Beschäftigte E1 - E11, 0822 Beschäftigungsentgelte, 0843 Verbrauchsmaterial, 0846 Dienstreisen, 0850 Investitionen wurden in der Gesamtsumme nicht überschritten.

Versuche mit dem Frachtmodell stellten sich als aufwendiger als erwartet dar und wurden über einem längeren Zeitraum betrieben. Dies führte zu einer deutlichen Überschreitung des Teilbudgets für Verbrauchsmittel. Durch Einsparungen in anderen Teilkostenbereichen konnten diese Mehrausgaben allerdings überkompensiert werden.

II.3 Verwertung

Die starke Einbindung der für die Luftsicherheit zuständigen Behörden hat deren Vorstellungen zur Einsatzfähigkeit REST-basierter Verfahren und zur Durchführung von Zulassungsverfahren beeinflusst.

Die gewonnene Expertise konnte durch das IDT bereits genutzt werden, um Logistikunternehmen und Sicherheitsdienstleister bei Planung zum Aufbau eigener REST-basierter Detektionskonzepte zu unterstützen.

Der im Projekt entwickelte Filter wurde zur Patentierung angemeldet.

Durch das Projekt konnte die Expertise des IDT in den Bereichen

- Einsatz von Detektionstechnologien für die Luftsicherheit
- Zertifizierung von Spürhunden
- Anreicherung großvolumiger Luftproben auf Filtersystemen zur chemischen Detektion von Explosivstoffen und anderen Zielstoffen
- Thermodesorption und Koppelung von Filtersystemen mit Detektionssystemen

deutlich gesteigert werden. Detailliertere Informationen über die Verwendbarkeit und

die Ergebnisse finden sich im Anhang. Aufbauend an den gesammelten Erfahrungen hat das IDT sich für mögliche Folgeprojekte beworben und wird dies auch zukünftig weiter tun. Somit ergeben sich für die Hochschule große Potentiale für eine wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit und Weiterentwicklung.

II.4 Notwendigkeit der Förderung

Das Institut für Detektionstechnologien der Hochschule Bonn-Rhein-Sieg stellt die Ergebnisse seiner wissenschaftlichen Projektarbeiten – soweit diese keiner Geheimhaltung unterliegen oder in sich wiederum eine eventuelle Gefährdung der öffentlichen Sicherheit darstellen würden – in Form von Maßnahmen, Empfehlungen, Richtlinien und Ähnlichem zur Verfügung, um das Sicherheitsniveau im öffentlichen Raum verbessern zu können. Hierbei ist es als nicht-wirtschaftliches, hochschulgetragenes Forschungsinstitut auf öffentliche Zuwendungen zur Erbringung seiner Forschungsleistungen angewiesen.

Das Projekts PrObEx trägt zur Bekämpfung von terroristischen und kriminellen Aktivitäten im Kontext der Luftsicherheit zum Wohle der Allgemeinheit bei.

Da es sich um reine Forschungsaktivitäten handelt, kann die Hochschule diese Arbeiten nicht aus ihrem eigenen Budget finanzieren.

II.5 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

REST-basierte Verfahren werden weiterhin vielfach kritisch gesehen. Neuentwicklungen wurden nicht beobachtet. Beim Holländischen Zoll wird an REST-basierten Spürhunden zur Detektion von Tabak und Tabakprodukten, sowie Drogen in Seefracht gearbeitet. Einzelheiten sind hierzu nicht bekannt bzw. veröffentlicht.

II.6 Veröffentlichungen im Rahmen des Projektes

Titel		Art	Jahr
Trainingshilfsmittel für Sprengstoffspürhunde	2. Symposium für Odorologie im Dienst-hundewesen	Vortrag	2015
Detektion von Explosivstoffen	Helmholtz Research Scholl on Security technologies 2015	Vortrag	2015

Probennahmeverfahren zur Kontrolle von Objekten auf Explosivstoffe mittels Spürhund	2. Symposium für Odorologie	Poster	2015
Trainingshilfsmittel für Sprengstoffspürhunde	Polizeihochschule Sachsen	Vortrag	2016
Probennahmeverfahren zur Kontrolle von Objekten auf Explosivstoffe mittels Spürhund	BMBF Innovationsforum	Poster	2016
Der Spürhund am abgesetzten Ort: Große Chance – Große Herausforderung	3. Symposium für Odorologie	Vortrag/Ta-gungsband	2016
Detektion von Explosivstoffen	2. Fachkonferenz Flughafen-sicherheit	Vortrag	2016
Training aids for Remote Explosive Scent Tracing (REST) – Requirements and first tests results	International Working Dog Conference, Canada	Poster	2017
Filtervorrichtung zur Anreicherung gasförmiger und/oder partikelgebundener Stoffe; Aktenzeichen 10 2017 117 450.8	Deutsches Patent und Markenamt	Patentanmeldung	2017

II.7 Literatur

- [1] T. Blecker; „Illusion einer sicheren Kette“; LOG.Kompass; Vol.: 6, S. 6-9; **2012**
- [2] N. Lorenzo et al.; „Laboratory and field experiments used to identify canis lupus var. familiaris active odor signature chemicals from drugs, explosives, and humans“; Anal Bioana Chem; Vol.: 376, S. 1212-1224; **2003**
- [3] K. Furton et al.; “The scientific foundation and efficacy of the use of canines as chemical detectors for explosives“; Talanta; Vol.: 54, s. 487-500; **2001**
- [4] G. Holl, “Characterization of chemical sensors for the detection of explosives – development of standards“; in: “Nato Science Series: Detection of Explosives and Landmines“; Kluwer Academic Publishers; S. 133-136; 2002
- [5] A. Polling et al.; “Remote Explosive Scent Tracing - REST“; November 2011; GICHD/CIDHG Online-Veröffentlichung, heruntergeladen von www.gichd.org am 03.06.2012
- [6] WhitePaperRASCargO™: Remote Air Sampling for Canine Detection“; www.diag-nose.com; aufgerufen am 03.06.2012
- [7] <https://www.gov.uk/government/publications/approved-remote-explosive->

- scent-tracing; aufgerufen am 11.11.2013
- [8] B. Halkett; "Freight Screening – Trace Detection"; In: "Nato Science Series: Vapour and Trace Detection of Explosives for Anti-Terrorism Purposes", Kluwer Academic Publishers; S. 143-152; **2004**
- [9] M. Jezierska et al.; "Detection of explosives in various sizes of cargo containers and trucks" EUCDE, Rom, **2013**
- [10] S. Dixon et al.; "Analysis of Explosive Vapour Emissions to Guide the development of Vapour Detektors"; In: "Nato Science Series: Vapour and Trace Detection of Explosives for Anti-Terrorism Purposes", Kluwer Academic Publishers; S. 31-42; **2004**
- [11] T. F. Jenkins et al.; "Chemical signatures of TNT-filled land mines"; Talanta, Vol. 54, S. 501-513; **2001**
- [12] G. F. de la Mora; "A new theory on vapour detection"; 2nd EUCDE, Rom; **2013**
- [13] R. G. Ewing et al.; "The vapour pressures of explosives"; Trends in Analytical chemistry; Vol.: 42, S. 35-48; **2013**
- [14] W. S. Helton; "Canine Ergonomics; The Science of working Dogs"; ISBN: 13:978-1-4200-7991-3; CRC-Press, Boca Raton, USA; **2009**
- [15] „Instrumentelle Analytische Chemie“ , Cammann, Karl (Hrsg.) - Heidelberg : Spektrum, Akademischer Verlag, 2010. - 1. Auflage, Nachdruck : S. 3.10-3.19; 5.51-5.81. - ISBN 978-3-8274-2739-7



Anhang

Technische und wissenschaftliche Ergebnisse

zum FHProfUnt-Projekt

PrObEx

**Probenahmeverfahren zur Kontrolle von Objekten
auf Explosivstoffe mittels Spürhund**

Förderkennzeichen 03FH004PX4

Zeitraum: September 2014- August 2017

Ansprechpartner
Prof. Dr. Gerhard Holl, Christopher Becher
Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
Institut für Detektionstechnologien
Von-Liebig-Str. 20
53359 Rheinbach
Tel: +49 2241 865-586
E-Mail: gerhard.holl@h-brs.de

Inhaltsverzeichnis

I.	Abbildungsverzeichnis	3
II.	Tabellenverzeichnis	5
III.	Abkürzungsverzeichnis	6
1	Einleitung	7
2	Im Projekt verwendete Geräte und Untersuchungsmethoden	8
2.1	LC/MS ² -Verfahren	8
2.1.1	LC/MS ² Analyse von Lösungsmittel-extrakten auf TNT, 2,4-DNT, 2,6-DNT, 1,3-DNB	8
2.1.2	LC/MS ² Analyse von Lösungsmittel-extrakten auf Ngl	9
2.2	GC-TDU-MS-Verfahren	10
2.3	Itemiser DX (Sprengstoffspurendetektor)	12
3	Entwicklung eines Verfahrens zur Probenahme und Bewertung von luftgetragenen Explosivstoffen auf Filtermedien für biologische und elektronische Detektoren	14
3.1	Anforderungen	14
3.2	Bewertung von Filtermaterialien	15
3.2.1	Emissionsapparatur für TNT und NGL	16
3.2.2	Ergebnisse der Untersuchung zur Sammeleffizienz von Filtermaterialien mittels Emissionsapparatur	18
3.2.3	Verwendete Filter für Probenahme und Detektion mittels modifiziertem Itemiser DX	20
3.3	Itemiser DX und Thermodesorptionseinheit	22
3.3.1	Ergebnisse der Untersuchungen mit dem modifizierten Itemiser DX	26
3.4	Sprengstoffspürhunde	28
4	Untersuchungen zur Ausbreitung von Sprengstoffspuren in Fracht	31
5	Funktionsmodell und Prozessbeschreibung	37
5.1	Funktionsmodell	37
5.2	Prozessbeschreibung	38
6	Bewertung	43

I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Sprengstoff- und Drogenspuredetektor Itemiser DX.....	13
Abbildung 2: Oberes Bild: Zusammengebauter Probennahmekopf, unteres Bild: Zerlegter Probennahmekopf bestehend aus Ansaugbecher, Filterhülse zur Aufnahme des zu testenden Filtermaterials und eines Schlauchansaugstückes (Herstellung ExploTech GmbH).....	16
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Emissionsapparatur zur Beaufschlagung von Filtermaterialien mit TNT und NGL Dämpfen. In der Abbildung ist am NGL-Zweig der Probennahmekopf angebracht. Wird keine Probe genommen werden die Emissionen über Aktivkohle zurückgehalten.....	17
Abbildung 4: Wiederfindungsraten für TNT gemessen mit Probenahmekopf bezogen auf Reverenzmessung mit Tenax TA ® verschiedener Filtermaterialien. „Drahtnetz“ entspricht einem ungefüllten Probennahmekopf.....	19
Abbildung 5: Wiederfindungsraten für NGL gemessen mit Probenahmekopf bezogen auf Reverenzmessung mit Tenax TA ® verschiedener Filtermaterialien. „Drahtnetz“ entspricht einem ungefüllten Probennahmekopf.....	20
Abbildung 6: Stahlsinterfilter	21
Abbildung 7: Schematische Darstellung der befüllten Drahtnetzrülsen links: große Hülse mit leerer kleiner Hülse im Zentrum, Füllhöhe: circa 2,5 cm; rechts: kleine Hülse, Füllhöhe circa 1,6 cm. Das Füllmaterial wurde mit einem Drahtnetz auf der Einfüllseite gesichert.	22
Abbildung 8: Itemiser® DX mit neuer Desorptionseinheit und Regelungssystem (rechts vom Gerät) 1. Itemiser® DX; 2. neue Thermodesorber ; 3. Trockenkammern; 4. Pumpe; 5. Touch-Panel Thermodesorber; 6. Touch-Panel Itemiser®; 7. Dotiermittelkammer	23
Abbildung 9: Frontansicht der entwickelten Thermodesorptionseinheit.....	25
Abbildung 10: Querschnitt des Thermodesorbers mit Adapter für Filter mit 1 cm Durchmesser	25
Abbildung 11: Luftflussschema Itemiser® und Thermodesorber	26
Abbildung 12: Differenzierungstrecke für Spürhunde. In links und rechts angebrachten Edelstahlpanelen befinden sich jeweils 4 Aussparungen für Geruchsdosen aus Metall zur Aufnahme der Filterproben.	29
Abbildung 13: Mit Aluminiumfolie ausgekleidete, geöffnete Testkiste. Das rote Dreieck markiert die Stelle an die verpackten Emissionsquellen eingebracht wurden. An Boden, Seitenwand und Deckel sind insgesamt 15 Papierfilter als Passivsammler in definierten Abständen um die Emissionsquellen fixiert.	32
Abbildung 14: Mit Aluminiumfolie ausgekleidete, geöffnete Testkiste nach Ablauf der Versuchsdauer von 44 Tagen (Szenario 4). Auf dem Boden sind die Passivsammler (Papierfilter) zu erkennen. Bei dem silbernen Päckchen zwischen den Kartons handelt es sich um einen zum Schutz vor Kontaminationen verpackten Temperaturlogger.....	33

Abbildung 15: Mittlere Analytmengen auf Tenax TA Sorptionsröhrchen in Abhängigkeit des Zeitpunktes der Luftprobennahme.(Szenario 1, Mittelwert aus 3 Versuchen). Es konnten nur für Cyclohexanon (nicht dargestellt in Graph), 2-4-DNT, NGL und 4-NT Substanzmengen oberhalb der Nachweisgrenze festgestellt werden.	34
Abbildung 16: Mittlere Analytmengen auf Tenax TA Sorptionsröhrchen in Abhängigkeit des Zeitpunktes der Luftprobennahme.(Szenario 3, Daten akkumuliert aus 3 Versuchen). Es konnten nur für Cyclohexanon und 4-NT Substanzmengen oberhalb der Nachweisgrenze festgestellt werden. Vereinzelt konnten nach längerer Verweilzeit 2,4-DNT und NGL nachgewiesen werden.....	35
Abbildung 17: Zeitlicher Verlauf der Substanzmengen von auf analytischen Tenax TA® angereicherten Cyclohexanon in Abhängigkeit der betrachteten Versuchsszenarien.....	36
Abbildung 18: Prozessbeschreibung des Frachtkontrollkonzeptes in PrObEx. Rote Symbole: Ereignis; grüne Symbole: Aktion; violette Symbole: Prozess; graue Symbole: Dokumente	40

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Werkseinstellungen des Itemiser® DX	23
Tabelle 2: Testsubstanzen für die Untersuchung der Ausbreitung von Sprengstoffspuren in Fracht mit Gleichgewichtskonzentrationen und Nachweisgrenzen in Stoffmenge/Filter für die im Projekt verwendeten Analysemethoden.....	31
Tabelle 3: Mittlere Substanzmenge auf Filterpapierproben (Passivsammler) nach der Entnahme (Szenario 1; 50 h)	34
Tabelle 4: Mittlere Substanzmenge auf Filterpapierproben (Passivsammler) nach der Entnahme (Szenario 3; 50 h)	35

III. Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
1,3-DNB	1,3-Dinitrobenzol
2,4-DNT	2,4-Dinitrotoluen
2,6-DNT	2,6-Dinitrotoluen
BPol	Bundespolizei
DMDNB	2,3-Dimethyldinitrobutan
GC	Gaschromatographie
GC-MS	Gaschromatographie-Massenspektrometrie
H-BRS	Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
IDT	Institut für Detektionstechnologien
IMS	Ionen-Mobilitäts-Spektrometer
ITMS	Ion - Trap - ion - Mobility Spectrometer
LC-MS	Flüssigchromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung
MS	Massenspektrometrie
Ngl	Nitroglycerin
4-NT	4-Nitrotoluen
PID	Photoionisationsdetektor
PS	Polystyrol (expandiert)
RASCargO	Remote Air Sampling for Canine Olfaction
RASCO	Remote Air Sampling for Canine Olfaction
REST	Remote Explosive Scent Tracing
RDX	Hexogen
TNT	Trinitrotoluen

1 Einleitung

Der Anhang „Technische und wissenschaftliche Ergebnisse“ aus dem Projekt PrObEx enthält eine detaillierte Beschreibung aus den im Abschlussbericht genannten kurzgefassten Arbeitsergebnissen. Dabei folgt der Anhang aufgrund der besseren Lesbarkeit nicht den einzelnen Arbeitspaketen, sondern orientiert sich in seiner Struktur den im Nachfolgenden aufgeführten Projektzielen.

Ziel des Projektes ist die Entwicklung und Bewertung eines abstandsfähigen Detektionsverfahrens (Labormuster) zur Bestimmung luftgetragener Explosivstoffe (Gase und Partikel) auf Filtermedien mit Hilfe olfaktometrischer und technischer Detektoren.

Das Gesamtziel gliedert sich in nachfolgende Teilziele:

- a. Entwicklung eines Verfahrens zur Probenahme und Bewertung von luftgetragenen Explosivstoffen auf Filtermedien für biologische und elektronische Detektoren
- b. Untersuchung der Ausbreitung von Zielanalyten in Fracht
- c. Beschreibung eines Funktionsmodells und Bewertung des Gesamtkonzeptes

2 Im Projekt verwendete Geräte und Untersuchungsmethoden

Die nachfolgenden Kapitel enthalten eine Übersicht über die verwendeten Methoden und Geräte, die im Projekt verwendet wurden. Dies beinhaltet analytische Begleitmessungen und die Detektionssysteme, die evaluiert wurden.

2.1 LC/MS²-Verfahren

Das LC-MS²-Verfahren wurde als Referenzanalytik zur quantitativen Bestimmung von Explosivstoffen verwendet. Die nachfolgende Auflistung zeigt die wichtigsten Parameter der verwendeten Methode.

2.1.1 LC/MS² Analyse von Lösungsmittelextrakten auf TNT, 2,4-DNT, 2,6-DNT, 1,3-DNB

Geräte:

LC: Agilent 1200 System mit:

MS: AB Sciex QTrap 5500 Triple Quadrupole-System

Methode LC

Säule: Phenomenex Luna 3 µm C18(2), 150 x 2 mm

Laufmittel: 200 µL/min 60 % Acetonitril mit 10 mMol Ammoniumacetat und 40 % Wasser mit 10 mMol Ammoniumacetat

Laufzeit: isokratisch 13,5 min

Temperatur: 25 °C

Injektion: 20 µL

Methode MS

Acquisition Information:

Acquisition Method: 2014-10-17 Sprengoele 110C.dam

Period 1:

Scan Type: MRM

Polarity: Negative

Ion Source: Turbo Spray (ESI)

Resolution Q1: Unit

Resolution Q3: Unit

Parameter Table:

DP:	-45
EP:	-8
CUR:	20.00
CAD:	Medium
TEM:	450.00
GS1:	60.00
GS2:	60.00
IS:	-4500.00

2.1.2 LC/MS² Analyse von Lösungsmittel-extrakten auf Ngl**Geräte:**

LC:	Agilent 1200 System mit:
MS:	AB Sciex QTrap 5500 Triple Quadrupole-System

Methode LC

Säule:	Phenomenex Luna 3 µm C18(2), 150 x 2 mm
Laufmittel:	200 µL/min 60 % Acetonitril mit 10 mMol Ammoniumacetat und 40 % Wasser mit 10 mMol Ammoniumacetat
Laufzeit:	isokratisch 10,85 min
Temperatur:	20 °C
Injektion:	20 µL

Methode MS

Acquisition Information:

Acquisition Method: 2012-05-14 Explosivstoffe-13-5min-20ul.dam

Period 1:

Scan Type: MRM

Polarity: Negative

Ion Source: Turbo Spray (ESI)

Resolution Q1: Unit

Resolution Q3: Unit

Parameter Table:

CUR:	20.00
CAD:	Medium

IS: -4500.00
TEM: 110.00
GS1: 60.00
GS2: 60.00
EP -10.00
CXP -21.00

2.2 GC-TDU-MS-Verfahren

Das GC-TDU-MS-Verfahren wurde zur Beaufschlagung von Filtermaterialien mit Analyten und zur nachfolgenden vergleichenden Bestimmung des Anreicherungs Erfolges unterschiedlicher Adsorbentien genutzt. Die nachfolgende Auflistung zeigt die wichtigsten Parameter der verwendeten Methode.

INSTRUMENT CONTROL PARAMETERS: GC-MSD

Geräte:

GC: Agilent 7890A GC mit
MS: Agilent 5975C inert MSD
Säule: max. 450 °C: 30 m x 250 µm x 0.25 µm DB-5ms

GC

(Initial)	50 °C
Hold Time	1 min
#1 Rate	10 °C/min
#1 Value	130 °C für 2 min
#2 Rate	5 °C/min
#2 Value	160 °C für 0 min
#3 Rate	40 °C/min
#3 Value	190 °C für 0 min
#4 Rate	40 °C/min
#4 Value	280 °C für 3 min

Front PTV Inlet He

Mode	Solvent Vent
Heater	On 250 °C
Total Flow	On 34,2 mL/min

Septum Purge Flow	On 3 mL/min
Purge Flow to Split Vent	30 mL/min at 2 min
Vent Flow	30 mL/min per min
Vent Pressure	0 psi Until 0,1 min

Thermal Aux 2 (MSD Transfer Line)

Temperature

Setpoint	On
(Initial)	280 °C

GERSTEL CIS

CIS : used

CRYO COOLING

Cryo Cooling : used

Initial Temperature : -60 'C

Equilibration Time : 1.00 min

Initial Time : 0.10 min

Ramp 1

Rate : 12.00 'C/s

End Temp : 300 'C

Hold Time : 0.50 min

GERSTEL TDU

Initial Temperature : 50 'C

Delay Time : 1.00 min

Initial Time : 1.00 min

Ramp 1

Rate 1 : 60.0 'C/min

End Temp 1 : 300 'C

Hold Time 1 : 1.00 min

Ramp 2

Rate 2 : 60.0 'C/min

End Temp 2 : 300 'C

Hold Time 2 : 0.00 min

TDU SETTINGS

Transfer Temp Mode : Ramped

Desorption Mode : Splitless
Sample Mode : Remove Tube - Standby Cooling
Standby Temp : 50 'C

GERSTEL DHS

Incubation Temperature : 40 'C
Incubation Time : 10.00 min

TRANSFER HEATER SETTINGS

TEMP : 60

TRAPPING PHASE SETTINGS

Volume : 500.0 mL
Flow : 25.0 mL/min
Trap Temperature : 40 'C
Incubation Temperature : 40 'C

MSZones

MS Source : 200 C maximum 250 C
MS Quad : 150 C maximum 200 C

2.3 Itemiser DX (Sprengstoffspurendetektor)

Hersteller: Morpho Detection, Vertrieb durch ELP GmbH, Deutschland

Das Gerät dient der Detektion von Sprengstoff- und Drogenspuren durch Wischprobenahme, gefolgt von einer Thermodesorption des Wischers im Thermodesorber des Gerätes und der Analyse der abgedampften Bestandteile im „ion-trap-ion-mobility spectrometer“ (ITMS, siehe Abbildung 1).



Abbildung 1: Sprengstoff- und Drogenspuredetektor Itemiser DX

Ionisierte Analyten werden anhand ihrer Driftzeit unterschieden und identifiziert. Das Gerät verfügt über zwei Kanäle und detektiert sowohl positive als auch negative Ionen. Für das Gerät existieren verschiedene Betriebsmodi: „explosives“ (nur Explosivstoffe), „drugs“ (nur Drogenstoffe), „dual“ (Explosivstoffe und Drogen). Diese haben Auswirkungen auf die Temperatur der Desorption und der Driftröhre und somit auch auf die Driftzeiten der Ionen. Das Gerät wurde in einem von der ECAC zugelassenem Explosivstoffmodus genutzt.

3 Entwicklung eines Verfahrens zur Probenahme und Bewertung von luftgetragenen Explosivstoffen auf Filtermedien für biologische und elektronische Detektoren

3.1 Anforderungen

Das Verfahren muss in der Lage sein luftgetragene (Partikel oder Dämpfe) Substanzen im Spurenbereich innerhalb kurzer Zeit anzureichern. Das zur Anreicherung benutzte Anreicherungssystem (Filter) muss gleichermaßen für eine Bewertung durch ein technisches Detektionsverfahren (im Projekt: Thermodesorptionsgekoppeltes ITMS) als auch für eine Prüfung durch Spürhunde geeignet sein. Die Bewertungsmethoden (technischer Detektor, Teststrecke Spürhund) müssen für den Filter optimiert werden. Die Anwendung des Verfahrens erfolgt im Bereich in der Luftfrachtlogistik. Zeitbedarf und Kosten sind hier von großer Bedeutung.

Für den Filter ergeben sich hieraus folgende Anforderungen:

- Temperaturbeständig > 230 °C (Thermodesorption); eventuell auch > 400 °C zur Vernichtung organischer, flüchtiger Anhaftungen
- Materialverträglichkeit des Filters gegenüber den Zielanalyten
- Gute Rückhaltefähigkeit von Partikeln und Gasen bei hohem Luftdurchsatz zur Minimierung der Probennahmezeiten
- Muss Analyten bei Raumtemperatur emittieren (für Spürhund; keine zugute Absorption)
- Geometrie geeignet für Desorption
- Geeignet für Hunde
- Günstig
- Möglichst keine Anreicherung von Wasserdampf
- Frei von Organik
- Wiederverwendbarkeit
- Gute Wärmeleitfähigkeit

Grundsätzlich geeignet sind:

- Metalle
- Keramiken
- Glasfaser und Mineralgewebe
- Zeolithe
- Graphitprodukte
- Einige temperaturbeständige Kunststoffe z.B. Teflon und Kevlar

Insgesamt wurden zunächst 30 unterschiedliche Materialien ausgewählt, welche teilweise durch den assoziierten Partner ExploTech GmbH zur Verfügung gestellt wurden.

3.2 Bewertung von Filtermaterialien

Die Materialien wurden in Hinblick auf

- Temperaturbeständigkeit
- Feuchteaufnahme
- pH-Eigenschaften
- Eignung für Spürhunde
- Luftdurchsatz
- Fähigkeit zur Rückhaltung von Partikeln

bewertet. Temperaturbeständige fasernde Materialien wie z.B. Glasfasern wurden als gesundheitlich bedenklich für Mensch und Tier angesehen. Abweichungen von der pH-Neutralität wässriger Suspensionen führten zu einem Ausschluss des Materials, da hier eine Reaktion mit den Zielanalyten (z.B. Nitrateestern) denkbar ist. Hohe Feuchteaufnahmen zuvor ausgeheizter Materialien in Luft mit relativer Feuchtigkeit < 90 % wurden als ungünstig angesehen, da Wasserdampf Einfluss auf die Detektionsleistung herkömmlicher Ionenmobilitätsspektrometer nehmen kann. Die Materialien wurden zudem in Hinblick auf Luftdurchsatz und Partikelrückhaltefähigkeit untersucht, da das Ziel sein muss innerhalb einer kurzen Zeit (bedingt durch die Anforderungen der logistischen Kette) Analyten effizient aus einem großem Gasvolumen anzureichern. Untersuchungen zur Temperaturbeständigkeit und Feuchteaufnahme wurden durch die Firma ExploTech GmbH (assoziierter Partner) durchgeführt.

In einem weiteren Schritt wurden ausgewählte Materialien in Hinblick auf ihre Anreicherungs-effizienz bezüglich einiger ausgewählter Analyten getestet. Die Tests erfolgten mittels einer Emissionsapparatur (

Abbildung 3) mit bekannter Emission von TNT und NGL. Die Filtermaterialien wurden in definierter Schichtdicke in einen Probennahmekopf (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) gefüllt und die Emissionen aus der Apparatur mittels einer Probennahmepumpe zusammen mit einem Überschuss Umgebungsluft hindurchgesaugt. Der Probennahmekopf besteht aus Edelstahl und wurde zwischen den einzelnen Versuchen ausgeheizt. Der Ansaugbecher wurde über den Ausgang der Emissionsapparatur gestülpt und dient der Minimierung möglicher Störungen durch äußere Konvektion. Das zu untersuchende Filtermaterial wurde im Inneren der Filterhülse (Innendurchmesser 10 mm) mittels zweier Drahtgewebescheiben fixiert. Die Füllhöhe im Inneren der Hülse betrug 2 cm. Die Probennahme erfolgte mit 5 L/min. Nach Beendigung der Probenahme wurde Filter und Filterhülse mit Acetonitril extra-



hiert und das Extrakt mittels LC-MS analysiert.

Abbildung 2: Oberes Bild: Zusammengebauter Probennahmekopf, unteres Bild: Zerlegter Probennahmekopf bestehend aus Ansaugbecher, Filterhülse zur Aufnahme des zu testenden Filtermaterials und eines Schlauchansaugstückes (Herstellung ExploTech GmbH).

3.2.1 Emissionsapparatur für TNT und NGL

Um eine definierte Quelle für die Explosivstoffe TNT und NGL zu erhalten, wurde zunächst ein Reservoir an Gas mit Sättigungskonzentration an Explosivstoff erzeugt, durch das ein Gasstrom durchgeleitet werden kann. Dazu wurde Explosivstoff in eine

Waschflasche gegeben, der zu erwartende Sättigungsdampfdruck bei 1013 hPa und Temperaturen zwischen 19°C und 25 °C nach Arrhenius und der Dampfdruckgleichung nach Ewing et al. [1] berechnet.

Bei geringen Flussraten durch die Apparatur und großer emittierender Oberfläche kann davon ausgegangen werden, dass sich der Sättigungsdampfdruck im Reservoir hinreichend schnell nachbilden kann, auch wenn kontinuierlich 10-20% des Gasvolumens pro Minute durch ungesättigte Luft ersetzt werden.

Die Apparatur wurde aus Glas aufgebaut, dessen Oberfläche sich mit Explosivstoff belegen und absättigen kann, so dass kaum Verlust an Explosivstoff aus der Gasphase auf dem Weg zum Filter zu erwarten ist und für das keine, die Analytik störende, Eigenemission an flüchtigen Stoffen bekannt ist.

In die Waschflasche wurde ein Temperatursfühler eingebaut, der die Temperatur während der Messung aufzeichnet, so dass die erwartete Quellstärke später temperaturkorrigiert aus den gemessenen Flüssen berechnet werden kann.

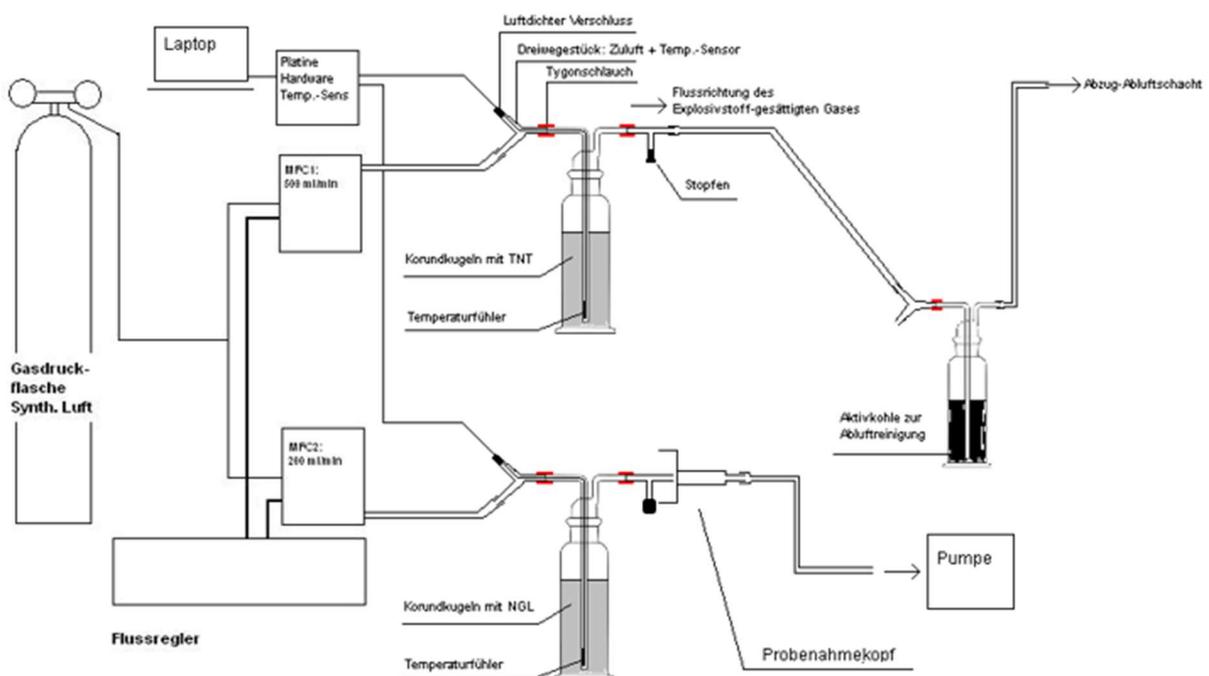


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Emissionsapparatur zur Beaufschlagung von Filtermaterialien mit TNT und NGL Dämpfen. In der Abbildung ist am NGL-Zweig der Probenahmekopf angebracht. Wird keine Probe genommen werden die Emissionen über Aktivkohle zurückgehalten

Zur Erzeugung der definierten Explosivstoffquellen wurden 400 mg TNT bzw. 2 g in 200 ml EtOH gelöstes NGL auf Korundkugeln aufgetragen. Dazu wurden 400 g Korundkugeln (Durchmesser: 0,5 -1,5 mm) mit 400 mg TNT gemeinsam im Überkopfschüttler 2 h geschüttelt, bzw. 400 g Korund in 200 ml ethanolischer NGL-Lösung

stehen gelassen bis das EtOH soweit abgedampft war. Da EtOH einen geringeren Dampfdruck als NGL besitzt, wurde angenommen, dass sich EtOH hinreichend verflüchtigt und NGL auf den Korundkugeln verbleibt.

Die präparierten Korundkugeln wurden in die Waschflaschen der zuvor aufgebauten Apparatur (siehe

Abbildung 3) abgefüllt. Die Flüsse durch die Apparatur wurden am Flussregler über die Massflowcontroller (MFC) eingestellt und ein kontinuierlicher Fluss einige Tage konstant durch die Apparatur geleitet, um sowohl eine Entfernung von Lösemittelresten als auch eine Belegung aller inneren Glasflächen mit TNT und somit später eine konstante Abgabe von Explosivstoffgesättigtem Gas aus der Apparatur zu gewährleisten.

Zur Qualifizierung der Apparatur wurden mit Tenax TA® gefüllte Gerstel-Röhrchen, die über ein Tygon/PDMS-Schlauchstück mit dem T-Stück der Apparatur verbunden. Diese Schlauchstücke werden ebenfalls zur Equilibrierung zwischen den Messungen auf der Apparatur belassen, damit sie sich mit TNT, bzw. NGL belegen können und nicht Explosivstoffmengen während der Messung aus dem Gasstrom absorbieren. Die Emissionsstärke wurde regelmäßig mittels Anreicherung auf Tenax TA® gefüllte Sorptionsröhrchen, welche anschließend eluiert und mittels LC-MS untersucht wurden, überprüft.

Die Flussrate betrug 50 mL für TNT und 20 mL für NGL. Die Probenahmezeiten 30 M für TNT und 4 min für NGL (emittierte Massenstrom NGL 71 ng/min \pm 5 ng). Die mittleren Massenströme an Analyt aus der Emissionsapparatur betragen für TNT: 4,8 ng/min \pm 0,3 ng (N = 6) und für NGL 71 ng/min \pm 5 ng (N = 6).

Der Probenahmekopf wird in geringem Abstand vor den Ausgang der Apparatur gehalten und nimmt den austretenden Gasstrom und Umgebungsluft auf.

3.2.2 Ergebnisse der Untersuchung zur Sammeleffizienz von Filtermaterialien mittels Emissionsapparatur

In den nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 4, Abbildung 5) sind die Wiederfindungsraten ausgesuchter Materialien für TNT und NGL bezogen auf Referenzmessungen mit Tenax TA® dargestellt. Mit „Drahtnetz“ wird ein leerer Probenahmekopf bezeichnet welche nur die zur Fixierung der Adsorbentien benötigten Drahtgewebescheiben enthält. Überraschend hohe Wiederfindungsraten wurden für Seramis® Planzgranulat gefunden, einem Blähton der gemäß eigener 1-Punkt BET-Messungen

eine spezifische Oberfläche von 9 m²/g aufwies.

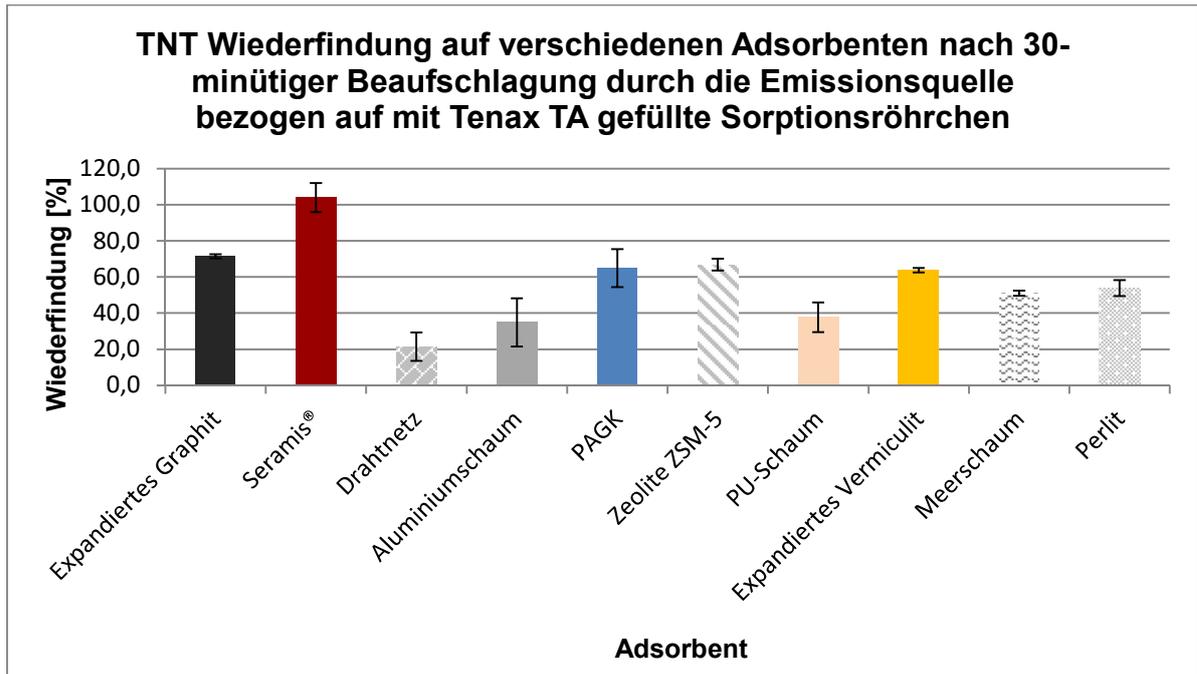


Abbildung 4: Wiederfindungsraten für TNT gemessen mit Probenahmekopf bezogen auf Reverenzmessung mit Tenax TA® verschiedener Filtermaterialien. „Drahtnetz“ entspricht einem ungefüllten Probenahmekopf.

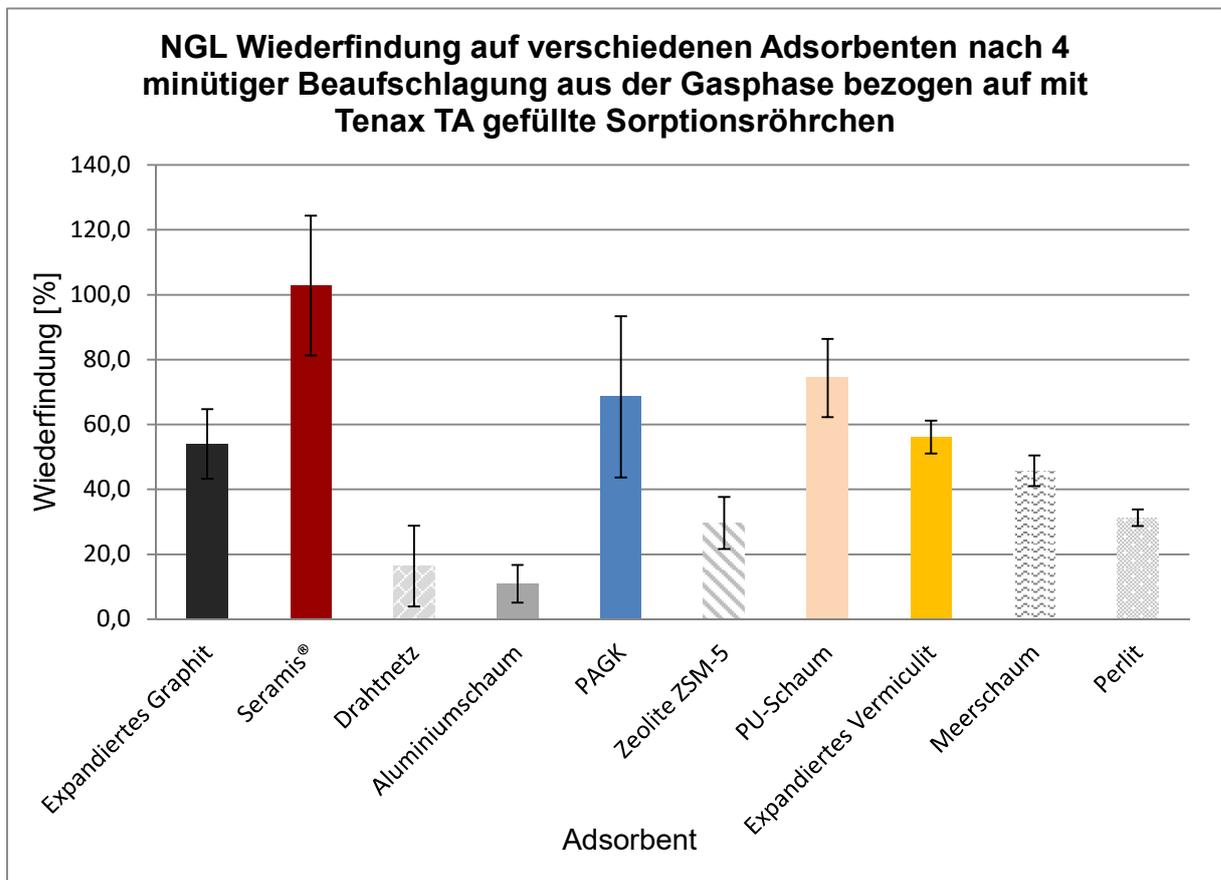


Abbildung 5: Wiederfindungsraten für NGL gemessen mit Probenahmekopf bezogen auf Reverenzmessung mit Tenax TA ® verschiedener Filtermaterialien. „Drahtnetz“ entspricht einem ungefüllten Probenahmekopf.

Extraktionsversuche deuten darauf hin, dass die teilweise schlechten Wiederfindungsraten bei Zeolit ZSM-5, PU-Schaum vermutlich auf eine schlechte Extraktionseffizienz bei der Eluation der Proben beruhen. Unter Berücksichtigung weitere Faktoren (z.B. mechanische Stabilität, Desorbierbarkeit, Temperaturbeständigkeit, Durchflusswiderstand) wurden Seramis®-Granulat, ZSM5 Zeolith Granulat, sowie als zusätzliches Material poröser Edstahlsinter (Porengröße 50 µm) Aluminiumsintermaterial ausgewählt. Der Edstahlsinter ist Bestandteil der im Projekt verwendeten geruchlichen Trainingsmittel für Spürhunde und wurde daher mit aufgenommen.

3.2.3 Verwendete Filter für Probennahme und Detektion mittels modifiziertem Itemiser DX

Die Stahlsinterkörper werden von der Firma GKN-Sintermetalle hergestellt und vertrieben und wurden von dem assoziierten Partner ExploTech zur Verfügung gestellt. Sie bestehen aus 1.4404 Edstahl mit einer Porengröße 50 µm, besitzen eine Länge von 2 cm und haben einen Durchmesser von 1 cm (siehe Abbildung 6). In der Mitte des Körpers befindet sich eine Vertiefung mit einer Länge von 1,25 cm und einem Durchmesser von 4 mm.

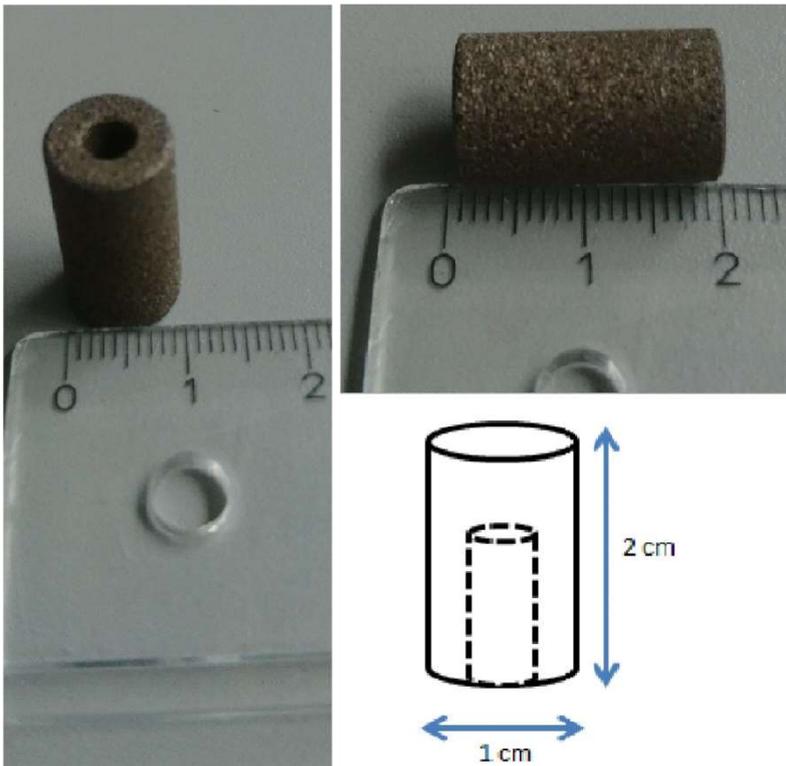


Abbildung 6: Stahlsinterfilter

Die Drahtnetz­hülsen werden von Dorstener Drahtwerke hergestellt. Sie bestehen aus 1.4404 Edelstahl und besitzen eine Maschenweite von 0,077 mm bei einer Dicke von 0,05 mm. Für die weitere Untersuchung der losen Adsorbentien wurden Drahtnetz­hülsen aus 1.4404 Edelstahl (Drahtgewebe: Maschenweite von 0,077 mm, Drahtdicke 0,05 mm) in zwei Größen hergestellt: Die großen Hülsen besitzen eine Länge von 4 cm und einen Außendurchmesser von 2 cm die kleinen Hülsen besitzen eine Länge von 2 cm und einem Außendurchmesser von 1 cm (siehe Abbildung 7). Sie wurden vor ihrer Verwendung mit dem ausgewählten Filtermaterial (Seramis®, Zeolit ZSM 5) befüllt. Die Abbildung 7 zeigt den schematischen Aufbau der befüllten Hülsen (große (links) und eine kleine Hülse (rechts)).

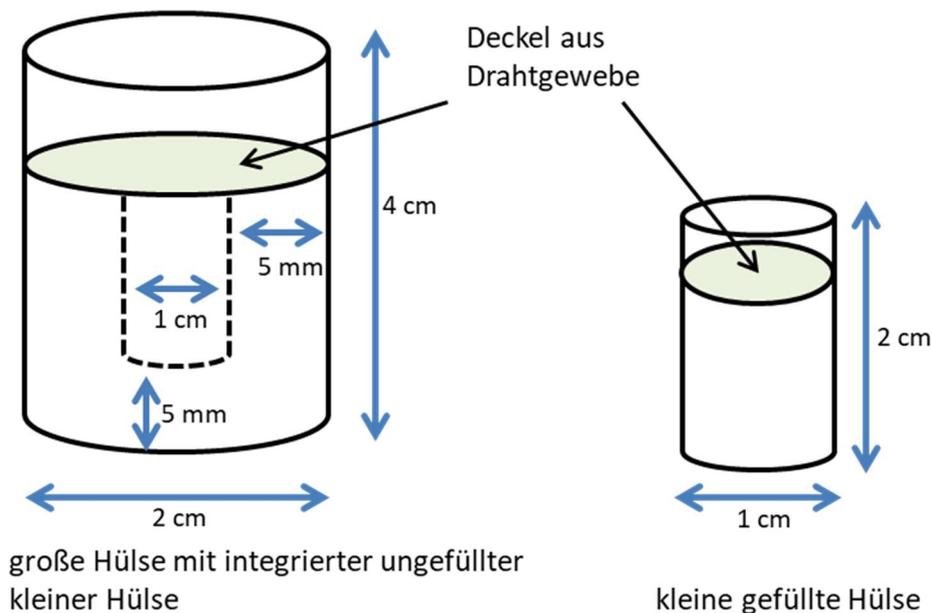


Abbildung 7: Schematische Darstellung der befüllten Drahtnetzrülsen links: große Hülse mit leerer kleiner Hülse im Zentrum, Füllhöhe: circa 2,5 cm; rechts: kleine Hülse, Füllhöhe circa 1,6 cm. Das Füllmaterial wurde mit einem Drahtnetz auf der Einfüllseite gesichert.

3.3 Itemiser DX und Thermodesorptionseinheit

Der Itemiser® DX der Firma Morpho Detection ist ein Ionenmobilitätsspektrometer, gekoppelt mit einem Thermodesorber.

Der ursprüngliche Thermodesorber wurde für Probennehmerstreifen aus TEFLON bzw. Kevlargewebe konzipiert (ELP GmbH European Logistic Partners 2017). Durch den assoziierten Partner ELP wurde im Rahmen des Projektes ein neuer Thermodesorber für die in Abbildung 7 dargestellten zylindrischen Filter konstruiert und dem IDT übergeben.

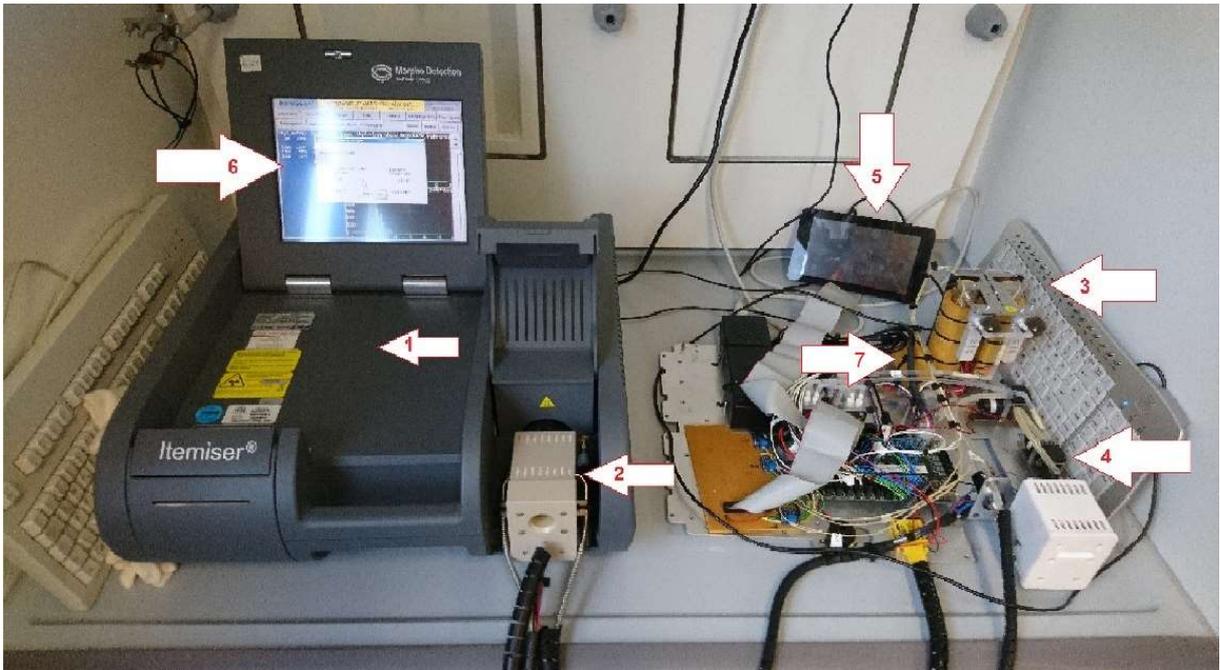


Abbildung 8: Itemiser® DX mit neuer Desorptionseinheit und Regelungssystem (rechts vom Gerät) 1. Itemiser® DX; 2. neue Thermodesorber ; 3. Trockenkammern; 4. Pumpe; 5. Touch-Panel Thermodesorber; 6. Touch-Panel Itemiser®; 7. Dotiermittelkammer

Das modifizierte IMS mit Thermodesorber, dem dazugehörigen Kontrollpanel und Elektronik ist in Abbildung 8 dargestellt. Die Temperatur des Desorbers sowie die Verzögerung der Messung durch das Auslösen einer Lichtschranke und ein Luftvorhang werden durch die rechts zu sehende Elektronik gesteuert und kontrolliert. Während der Verzögerung heizt sich der Probenahme-Körper auf und die Analyten werden thermodesorbiert. Die Detektortemperatur, der Fluss in und aus dem Detektor, die Zeit, wie lange eine Probe analysiert wird, sowie bei wieviel Prozent vom Schwellwert ein Explosivstoffalarm ausgelöst werden soll (Schwellwert nicht bekannt), werden über die Software des Itemiser geregelt.

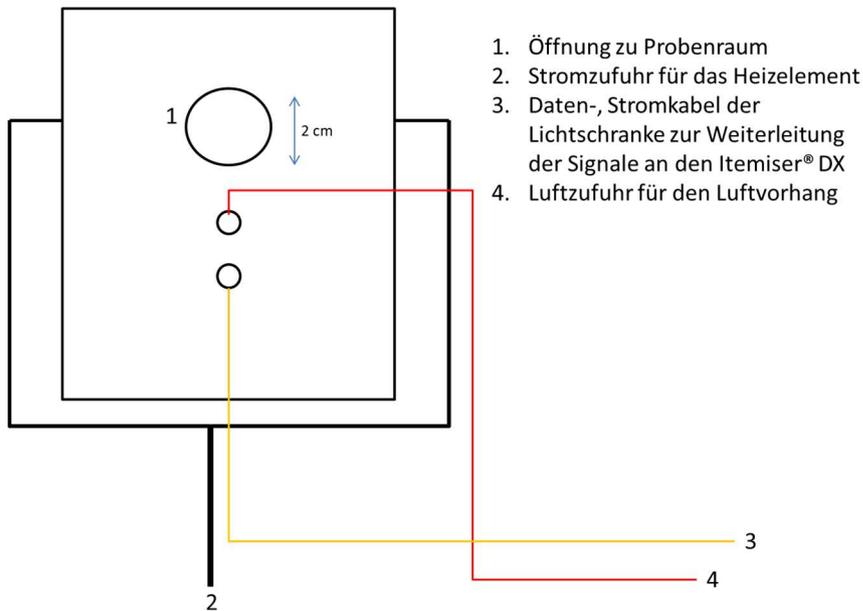
Die voreingestellten Parameter für den vom Werk gelieferten Itemiser DX mit Thermodesorber für Wischproben und Detektor sind in

Tabelle 1 zu sehen.

Tabelle 1: Werkseinstellungen des Itemiser® DX

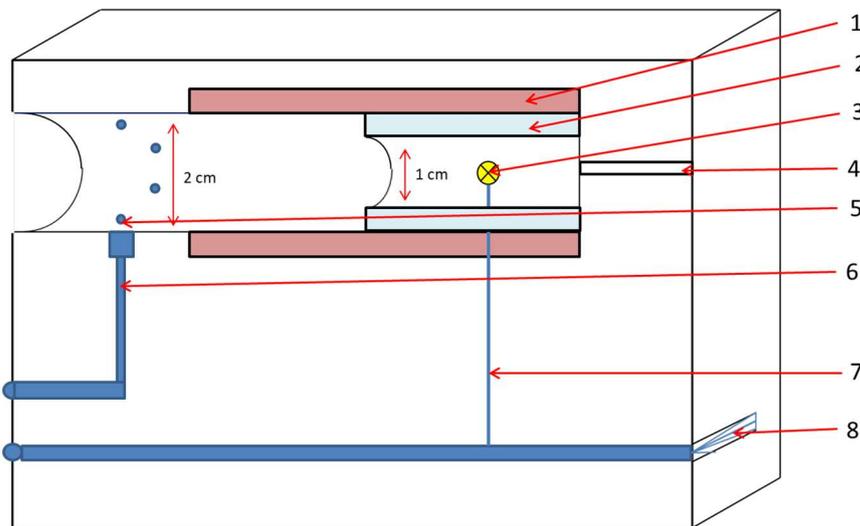
Verzögerung bis zur Probennahme	1 s
Zeit der Probennahme	8 s
Desorber Temperatur	238 °C
Detektor Temperatur	162 °C
Spülfluss	100 ml/min
Probennahmefluss	100 ml/min
Explosivstoff Schwellwert	100%

Der neue Thermodesorber hat eine rund geformte Öffnung zum Probenschacht mit einem Durchmesser von 2 cm. Unterhalb ist der Eingang für die Luftzufuhr des Luftvorhangs sowie der Eingang zur Datenübertragung zum Itemiser und der Lichtschranke zu sehen. Seitlich des Thermodesorbers ist die Energieversorgung der Heizelemente angebracht, welche durch mehrere Thermosensoren von der Hauptplatine für den Desorber gesteuert werden (siehe Abbildung 9). In Abbildung 10 ist ein Querschnitt des Thermodesorbers mit einem Adapter für die kleineren Filter mit einem Durchmesser von 1 cm zu sehen, welcher bei Bedarf entnommen werden kann. Im vorderen Bereich sind Bohrungen für den Luftauslass des Luftvorhangs zu erkennen. Um einen möglichst geschlossenen Desorptionsraum zu schaffen, wurde der Vorhang konzipiert, sodass nach Einführen des zu beprobenden Körpers keine Fremdstoffe mehr von außen eindringen können. Der Luftvorhang wird mit einer Flussrate von 70 ml/min versorgt. Die Raumluft wird vorher durch eine beheizte Trockenkammer und eine Dotiermittelkammer geleitet werden (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Position 2). Dies ist erforderlich, damit die Luft für den Detektor mit Dotiermittel angereichert ist und um die Feuchtigkeit für das System konstant zu halten. Der Desorber wird kontinuierlich mit einer zuvor festgelegten Temperatur gehalten, welche in der Steuereinheit für den Thermodesorber eingestellt wird. Durch das Einführen eines zu beprobenden Filters wird eine Lichtschranke ausgelöst (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Position 3.). Nach Ablauf der zuvor am Touch-Panel für den Thermodesorber eingestellten Verzögerung wird ein Signal zum Itemiser gesendet, woraufhin die Probe mit einer Flussrate von 100 ml/min für 8 Sekunden genommen wird. Dabei wird das vorliegende Stoffgemisch mit den Analyten zum Detektor geleitet.



1. Öffnung zu Probenraum
2. Stromzufuhr für das Heizelement
3. Daten-, Stromkabel der Lichtschranke zur Weiterleitung der Signale an den Itemiser® DX
4. Luftzufuhr für den Luftvorhang

Abbildung 9: Frontansicht der entwickelten Thermodesorptionseinheit



1. Heizelement; 2. Adapter für Filter mit 1 cm Durchmesser; 3. Lichtschranke; 4. Probengang zum Itemiser; 5. Lochbohrung vom Luftvorhang; 6. Luftzufuhr für den Luftvorhang; 7. Signal/Stromleitung der Lichtschranke; 8. Datenausgabe zum Itemiser

Abbildung 10: Querschnitt des Thermodesorbers mit Adapter für Filter mit 1 cm Durchmesser

Der Detektor und Driftraum wird, solange eine Messung läuft, mit einem Luftstrom 100ml/min kontinuierlich gespült und über den Desorber abgeleitet. Die Raumluft wird ebenfalls, wie die des Vorhangs, zuvor durch eine Trockenkammer und eine Dotiermittelkammer geleitet. Sie wird allerdings im Anschluss nicht sofort zum Desorber, sondern erst im Gegenstrom als Driftgas durch den Driftraum geleitet (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

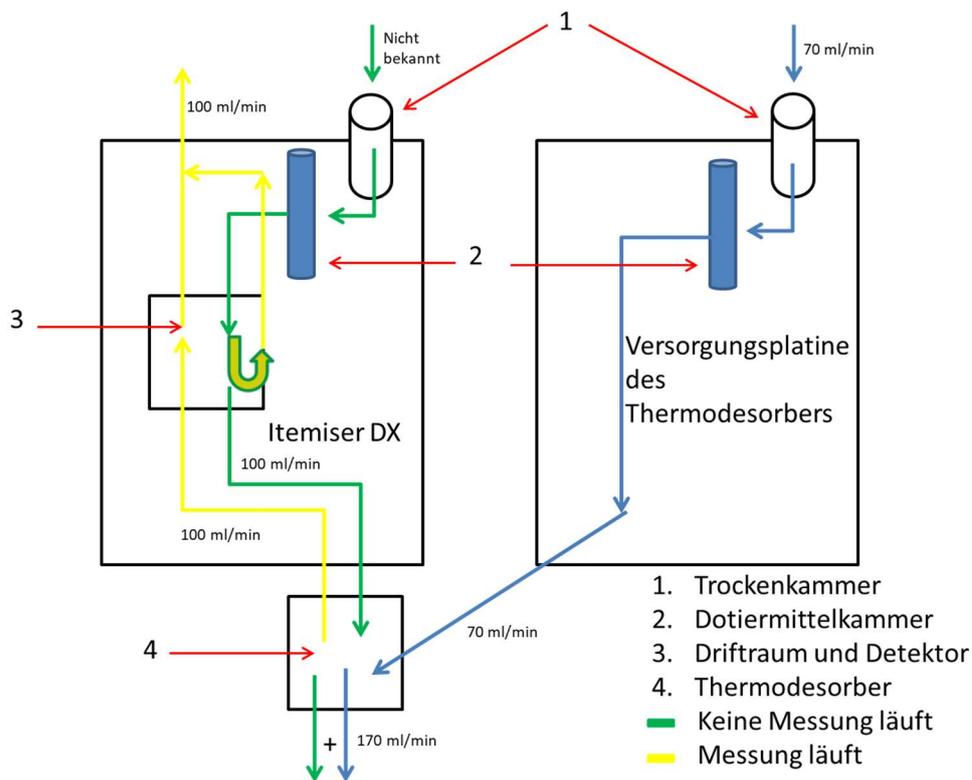


Abbildung 11: Luftflussschema Itemiser® und Thermodesorber

Die einstellbaren Parameter des Thermodesorbers (Temperatur Desorber, Probenahmezeit, Verzögerungszeit) wurden mit Hilfe von Stahlsinterfiltern, welche zuvor mit in Methanol gelösten definierten Analytmengen kontaminiert wurden, optimiert und die Leistungsfähigkeit überprüft. Auf Basis der optimierten Parametern des Thermodesorbers wurden nachfolgend die ausgewählten Filtersysteme (Stahlsinter (kleine Bauart), Drahtnetzgewebezylinder mit Seramisfüllung (kleine und große Bauart), Drahtnetzgewebezylinder mit Zeolit ZSM5 (kleine und große Bauart)) verglichen. Bei den Zeolit gefüllten Filtern zeigte sich aber in Vorversuchen, dass deren vergleichsweise große thermische Masse bei mäßiger Wärmeleitfähigkeit nur zu einer deutlich verlangsamten Aufheizung führten. Auf weitere Versuche mit dem Material wurde daher frühzeitig verzichtet.

3.3.1 Ergebnisse der Untersuchungen mit dem modifizierten Itemiser DX

Optimierung der Thermodesorber Temperatur:

Durch die vergrößerte thermische Masse Durchmesser und die im Verhältnis verringerte Kontaktfläche zum Heizkörper des Thermodesorbers im Vergleich zu den Wischern, benötigen die Filter mehr Zeit um die Temperatur des Desorbers anzunehmen weswegen die Maximaltemperatur von 245 °C als Desorbtemperatur gewählt wurde.

Insgesamt konnten aber im Bereich zwischen 220 – 245 °C kein signifikanter Einfluss auf die Detektionswahrscheinlichkeit festgestellt werden. Verschlechterungen wurden aber bei einer Temperatur von 210 °C und weniger beobachtet.

Optimierung der Probennahmezeit:

In einem Bereich zwischen 8 – 12 Sekunden konnten kein Einfluss der Probennahmezeit auf das Detektionsergebnis festgestellt werden. Jedoch brach die Detektionsleistung bei einer Probennahmezeit von 6 Sekunden und kürzer ein.

Optimierung der Verzögerungszeit:

Die Verzögerungszeit wurde in einem Bereich von 0 – 15 Sekunden untersucht. Sehr kurze und sehr lange Verzögerungszeiten erweisen sich dabei als ungünstig. Die besten Ergebnisse wurden in einem Bereich zwischen 5-10 Sekunden erzielt.

Nachweisgrenze für bespikte Filter:

Für TNT wurden in Abhängigkeit von dem verwendeten Filtermaterial nachfolgende Nachweisgrenzen im modifizierten Itemiser DX festgestellt:

Stahlsinter (kleiner Zylinder): 10 ng

Seramis (kleiner Zylinder): 1 ng

Seramis (großer Zylinder): 10 ng

Für NGL wurden im allgemeinen schlechtere Nachweisgrenzen festgestellt:

Stahlsinter (kleiner Zylinder): 50 ng

Seramis (kleiner Zylinder): 50 ng

Seramis (großer Zylinder): 100 ng

Wurden die Filter nicht bespiked, sondern mittels der in 3.2.1 beschriebenen Apparatur mit TNT beaufschlagt, so verschlechterte sich die Nachweisgrenze für Stahlsinterfilter deutlich von 10 ng/Filter auf 30 ng/Filter.

Zusammenfassend zeigte es sich, dass Filter mit Blähton-Granulat (Seramis®) zufriedenstellende Eigenschaften bezüglich Anreicherung und Desorbierbarkeit im modifizierten IMS aufwiesen. Das Material ist außerordentlich günstig, sehr temperaturbeständig und gesundheitlich unbedenklich. Eine etwas bessere mechanische Stabilität wäre aber wünschenswert. Mit dem im Projekt konstruierte Thermodesorber und Filtersystem konnten die für herkömmlichen Wischproben erzielten Nachweisgrenzen (Auftreten eines vom Rauschen deutlich zu unterscheidenden Signals) nicht erreicht

werden.

Eine andere Art des Einschlusses für den Filter, sowie der Luftführung würde zu einer erheblichen Verbesserung führen. Wünschenswert wäre z. B. zunächst ein luftdichter Einschluss des Filters, bis dieser vollständig aufgeheizt und die angereicherten Analyten verdampft sind gefolgt von der Überführung der Dämpfe in den Detektor. Bei dem bestehenden Gerät ist der Filter zwar hinter einem Luftvorhang geschützt aber nicht eingeschlossen und wird zudem – auch während der Aufheizphase/Wartezeit mit Luft gespült.

Entsprechende Anpassungen konnten jedoch im Rahmen des Projektes nicht umgesetzt werden, da hierzu Änderungen an dem Detektor durchgeführt werden müssten. Dieses ist aber nur der Herstellerfirma MorphoDetektion USA möglich. Die im Gerät verbaute radioaktive Quelle erschwert zudem aus rechtlichen Gründen die notwendigen Umbauten.

3.4 Sprengstoffspürhunde

Seitens des assoziierten Partners WISAG Militärische Einrichtungen GmbH wurden zwei geeignete Spürhunde ausgewählt und erfolgreich mit den Sprengstoffen TNT, NSP 711 sowie Eurodyn 2000 ausgebildet. Die Explosivstoffe wurden zuvor nach Rücksprache mit der BPol (assoziiierter Partner) ausgewählt und von der BPol zur bereitgestellt. Die Substanzen wurden durch die Firma ExploTech in EMPK® (geruchliche Trainingshilfsmittel) verarbeitet und die EMPK der WISAG übergeben. Diese Trainingshilfsmittel enthalten eine kleine Menge eines Explosivstoffes auf einer geruchneutralen Matrix und sind kein Gefahrgut der Klasse 1. Die Nutzung der Trainingsmittel ist ohne Befähigungsschein oder Erlaubnis nach dem Sprengstoffgesetz möglich. Das Training der Spürhunde erfolgte mit diesen EMPK und der Erfolg der Ausbildung wurde mit unverarbeiteten Stoff verifiziert.

Teil des Trainings war das Spüren an einer Differenzierungstrecke, welche später für die Bewertung von Filterproben genutzt wurde. Seitens der WISAG wurde nach Rücksprache mit dem IDT eine mobile Differenzierungstrecke in einem Anhänger (siehe Abbildung 12) aufgebaut.



Abbildung 12: Differenzierungstrecke für Spürhunde. In links und rechts angebrachten Edelstahlpanelen befinden sich jeweils 4 Aussparungen für Geruchsdosen aus Metall zur Aufnahme der Filterproben.

Der Aufbau wurde zur weiteren Ausbildung der Spürhunde mit Explosivstoff-Geruchsquellen und zur Bewertung von Luftprobenfiltern genutzt.

Unverpackter Explosivstoff (circa 200 g TNT) wurden in eine Kiste gelegt. Nach circa 30 Minuten wurde für 10 Minuten bei circa 20 L/min Luft aus dem Inneren der Kiste auf einen Filter angereichert und dieser Filter zusammen mit beaufschlagten Filtern und Verleitung in der Differenzierungstrecke den Hunden zur Bewertung präsentiert. Entsprechende hergestellte Filter wurden durch die Hunde sicher angezeigt. Wurde der Explosivstoff jedoch zuvor in einer herkömmlichen Plastiktüte verpackt erwies sich die Detektion der Luftprobe aus der Kiste mit dem verpackten Explosivstoff für die Hunde als große Herausforderung. Eine Erhöhung der Verweilzeit des Explosivstoffes in der

Kiste sowie einer Verlängerung der Probennahmedauer führte zu keiner deutlichen Verbesserung der im Anzeigeverhalten der Hunde.

Aufgrund eines längerfristigen Ausfalls des leitenden Hundeführers der WISAG, sowie eines zunehmenden Bedarfs an Spürhunden im Bereich der Luftsicherheit konnten die Versuche mit den Spürhunden nicht weiter fortgeführt werden. Die Ergebnisse sind daher im wissenschaftlichen Sinne nicht aussagekräftig.

Es wurden zusätzlich über 2 Tage Versuche mit 4 privat und dienstlich geführten geruchsdifferenzierenden Spürhunden durchgeführt. Geruchsdifferenzierende Hunde werden – abweichend von Sprengstoffspürhunden - nicht auf bestimmte Zielgerüche trainiert, sondern erhalten kurz vor der Suche einen Geruchsartikel (z.B. ein von einem Täter berührter Gegenstand, oder ein Wattebausch mit circa 200 ng eines Chemikaliengemisches) um direkt im Anschluss nach diesem Geruch zu suchen. Die Hunde waren überwiegend darauf trainiert menschliche Geruchsanhaftungen wiederzufinden, waren aber auch wiederholt in der Lage künstlich hergestellte chemische Stoffgemische aufzunehmen und diese in einer komplexeren Geruchsquelle natürlichen Ursprungs wiederzufinden. Ziel der Versuche war es festzustellen, ob oberhalb des Gasraumes eines Explosivstoffes entnommene und auf Filter angereicherte Luftproben für geruchsdifferenzierende Hunde hinreichend ähnlich zum Geruch des eigentlichen Explosivstoffs sind, um zu einer Anzeige zu führen. Die Geruchseingabe erfolgte für TNT, Eurodyn 2000 und NSP 71 (jeweils über EMPK). In keinem der Fälle war es den Spürhunden möglich einen weiteren mit sprengstoffgefüllten EMPK aus derselben Herstellungsladung oder auf Filter angereicherte Luftproben aus dem Gasraum oberhalb des Explosivstoffes anzuzeigen. Für wissenschaftlich fundierte Aussagen ist auch hier die Datenlage nicht ausreichend, zumal die Umgebungsbedingungen (z.B. Temperaturen im Bereich 0- 5°C) zum Zeitpunkt der Versuche ungünstig waren.

4 Untersuchungen zur Ausbreitung von Sprengstoffspuren in Fracht

In Rücksprache mit der BPol wurden als Testobjekt eine Holzkiste mit circa 1,3 m³ Innenvolumen als Frachtobjekt ausgewählt (siehe Abbildung 13). Im Inneren der Kiste wurden Explosivstoffe und explosivstoffrelevante Verbindungen (Auflistung: siehe Tabelle 2) in unterschiedlichen Verpackungen gemeinsam eingebracht und die Ausbreitung der Substanzen untersucht.

Tabelle 2: Testsubstanzen für die Untersuchung der Ausbreitung von Sprengstoffspuren in Fracht mit Gleichgewichtskonzentrationen und Nachweisgrenzen in Stoffmenge/Filter für die im Projekt verwendeten Analysemethoden.

Substanz	Gleichgewichtskonzentration bei 25 °C in ppm	Nachweisgrenze Analytik
Cyclohexanon	10.000	0, 5 µg
4-Nitrotoluol (4-NT)	1	0,5 µg
2,3-Dimethyldinitrobutan (DMDNB)	65	12,5 µg
1,3-Dinitrobenzol (1,3-DNB)	0,9	37,5 µg
2,6-Dinitrotoluol (2,6-DNT)	0,9	5 ng
Nitroglycerin (NGL)	0,6	10 ng
2,4-Dinitrotoluol (2,4-DNT)	0,4	5 ng
2,4,6-Trinitrotoluol (TNT)	0,01	3 ng

Die Stoffe wurden aus Gründen der Sicherheit auf einem inertem Trägermaterial aufgebracht, so dass von den Stoffen keine Explosionsgefahr mehr ausging. Die Emissionsobjekte wiesen eine definierte Oberfläche auf. Messungen mittels Thermogravimetrie ergaben, dass im Falle von TNT die eingebrachten Quellen im unverpackten Zustand in etwa eine vergleichbare Emissionsstärke wie ein 150 g Würfel unverpackten TNTs aufwiesen. Das Verpacken und Einbringen der Stoffe in das Testobjekt erfolgte unter sauberen Bedingungen, mit dem Ziel nennenswerte äußere Kontamination auf der Außenhülle des verpackten Explosivstoffes und in der Testkiste zu vermeiden. Die Kiste wurde im Inneren vor jedem Versuch frisch mit Aluminiumfolie ausgekleidet. Die Stoßkanten der Folien wurden mit Aluminiumklebeband überklebt. In definierten Positionen um die Emissionsquellen in der Mitte des Bodens wurden 15 Papierfilter (Durchmesser 90 mm) fixiert, die nach Beendigung des Versuches mit Acetonitril extrahiert und anschließend mittels LC-MS² und GC-MS untersucht wurden. Während der Versuchsdauer wurden Luftproben mit Tenax TA® gefüllten Gerstel-Sorptionsröhrchen und teilweise auch mit dem im Projekt entwickelten Luftfiltern entnommenen,

welche nachfolgend weiter analysiert wurden.

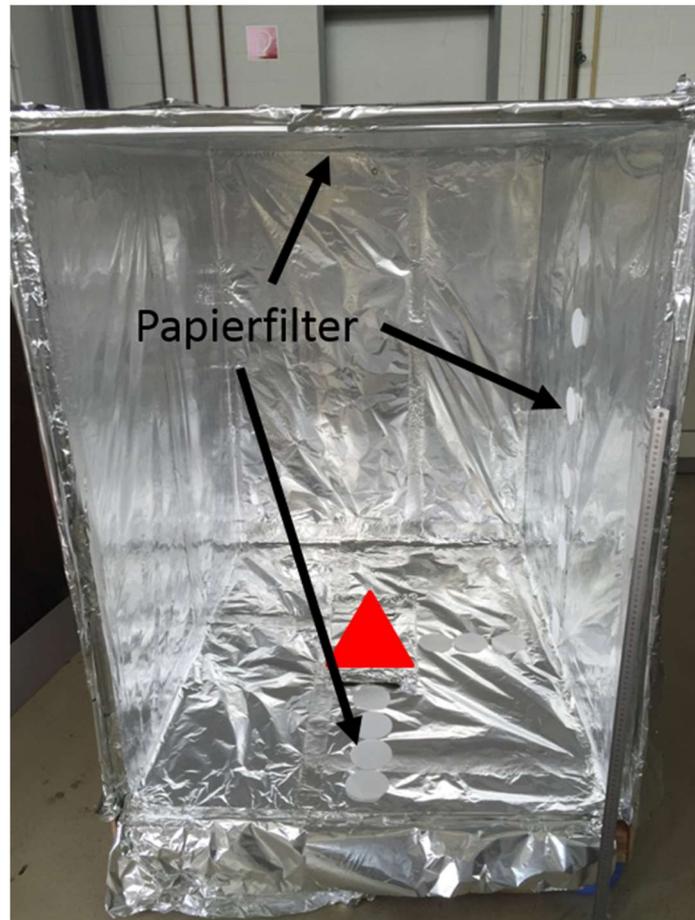


Abbildung 13: Mit Aluminiumfolie ausgekleidete, geöffnete Testkiste. Das rote Dreieck markiert die Stelle an die verpackten Emissionsquellen eingebracht wurden. An Boden, Seitenwand und Deckel sind insgesamt 15 Papierfilter als Passivsammler in definierten Abständen um die Emissionsquellen fixiert.

Die untersuchten Testszenarien sind nachfolgend aufgelistet:

- **Szenario 1:** Emissionsquellen sind einzeln in zugeknöteten LD-PE Gemüsebeutel eingepackt. Die Gemüsebeutel sind herstellerseitig perforiert. Versuchsdauer: circa 50 h.
- **Szenario 2:** Emissionsquellen sind einzeln in Zipp-Gefrierbeutel (verschlossen) verpackt. Versuchsdauer: circa 50 h.
- **Szenario 3:** Emissionsquellen sind einzeln in zugeknöteten LD-PE Gemüsebeutel eingepackt. Die verpackten Emissionsquellen befinden sich ihrerseits in einem kleinen zugeklebten Karton und sind im Inneren des Kartons ringsherum von einer Schicht (3-5 cm) PS-Flocken umgeben. Versuchsdauer: circa 50 h.
- **Szenario 4:** Wie Szenario 3 aber ohne PS-Flocken. Zusätzlich werden rings um die Emissionsquelle 49 leere Kartons locker aufgestapelt (siehe Abbildung 14). Dabei wird darauf geachtet, dass die Passivsammler nicht von den Kartons berührt werden. Versuchsdauer: je einmal 44 Tage und 88 Tage

- **Szenario 5:** Wie Szenario 3, jedoch wird die Testkiste in längeren Anständen (insgesamt 9 * 10 Minuten) auf einem Rüttler gerüttelt.



Abbildung 14: Mit Aluminiumfolie ausgekleidete, geöffnete Testkiste nach Ablauf der Versuchsdauer von 44 Tagen (Szenario 4). Auf dem Boden sind die Passivsammler (Papierfilter) zu erkennen. Bei dem silbernen Päckchen zwischen den Kartons handelt es sich um einen zum Schutz vor Kontaminationen verpackten Temperaturlogger.

Die Versuche wurden in einem Temperaturbereich von $20\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ durchgeführt

Ein Überblick der Ergebnisse zu den Versuchen mit dem Szenario 1 wird in Abbildung 15 und Tabelle 3) gegeben. Bei den Passivsammlern wurde keine Positionsabhängigkeit der Passivsammler festgestellt. Die Analyten scheinen sich in diesem Szenario gleichmäßig im Inneren des Kartons verteilen zu können. Auf den Passivsammlern konnten auch deutliche Mengen TNT gefunden werden.

Erfolgte die Luftprobennahme mit den im Projekt entwickelten Seramis® gefüllten Luftfiltern anstelle der Gerstel Sorptionsröhrchen, konnten über die Gasphase zusätzlich DMDNB und 1.3-DNB nachgewiesen werden. Andere Stoffe wurden in größeren Mengen (Faktor 4- 10) nachgewiesen. Ursache hierfür ist das um den Faktor 100 größere Luftprobenvolumen der Probennahme mit den PrObEx-Luftfiltern im Vergleich zu den analytischen Gerstel-Röhrchen.

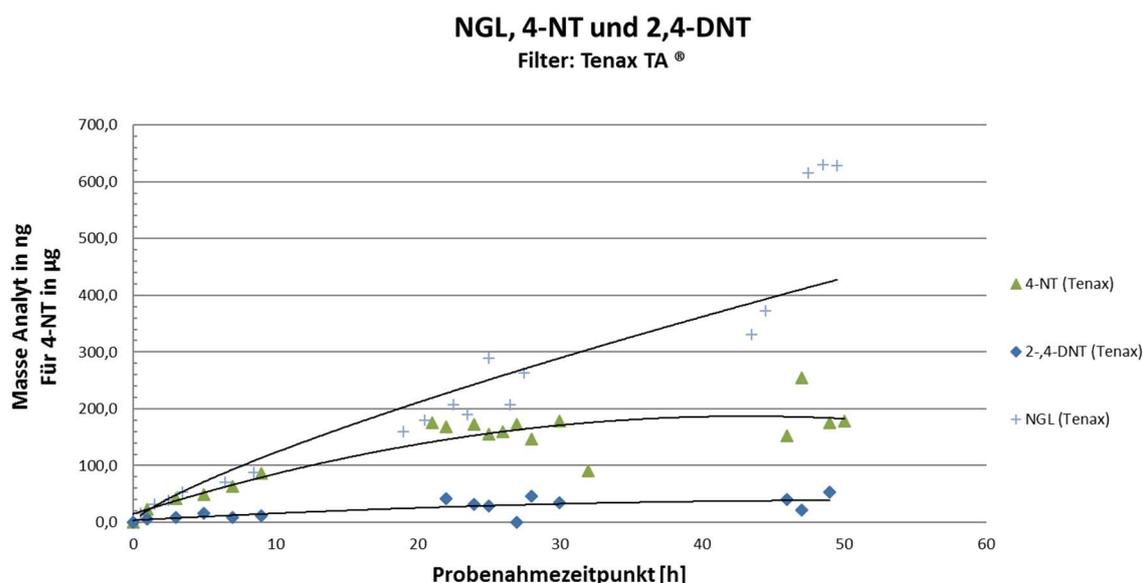


Abbildung 15: Mittlere Analytmengen auf Tenax TA Sorptionsröhrchen in Abhängigkeit des Zeitpunktes der Luftprobennahme. (Szenario 1, Mittelwert aus 3 Versuchen). Es konnten nur für Cyclohexanon (nicht dargestellt in Graph), 2-4-DNT, NGL und 4-NT Substanzmengen oberhalb der Nachweisgrenze festgestellt werden.

Tabelle 3: Mittlere Substanzmenge auf Filterpapierproben (Passivsammler) nach der Entnahme (Szenario 1; 50 h)

Versuch	Cyclohexanon [µg]	4-NT [µg]	1-,3-DNB [µg]	TNT [ng]	2-,6-DNT [ng]	2-,4-DNT [ng]	NGL [ng]
Szenar 1	254,5	252,8	16,8	70,8	46,4	3987,6	1655,1
StabWn[%] <20%	9,4	35,1	14,8	59,0	18,3	17,1	4,2

Nach 48 h genommene Luftproben mit den im Projekt entwickelten Luftfiltern (Seramis in Drahtgewebefilter, kleine Bauform) lösten einen Alarm für NGL am modifizierten Itemiser DX aus.

Die Ergebnisse aus Szenario 2 sind in weiten Teilen denen aus dem Szenario 1 ähnlich, wobei allgemein im Szenario 2 tendenziell etwas niedrigere Substanzmengen in den Luftprobenfiltern und Passivsammlern gemessen wurden.

Bei Szenario 3 wurden mit hingegen deutlich geringere Mengen an Analyt in der Gasphase mittels Anreicherung auf analytischen Tenax TA[®] Röhrchen (siehe Abbildung 16) und auf den Passivsammlern (siehe Tabelle 4) gefunden. 1,3-DNB, TNT, 2,6-DNT und NGL konnten im Rahmen der Nachweisgrenze nicht mehr bzw. nicht reproduzierbar (2,4-DNT, NGL) nachgewiesen werden. Anreicherung auf den im Projekt entwickelten mit Seramis gefüllten Filtern und bei einem um den Faktor 100 erhöhten Probennahmenvolumen im Vergleich zu den analytischen Sorptionsröhrchen konnte zusätzlich noch NGL, DMDNB und 2,4-DNT nachgewiesen werden.

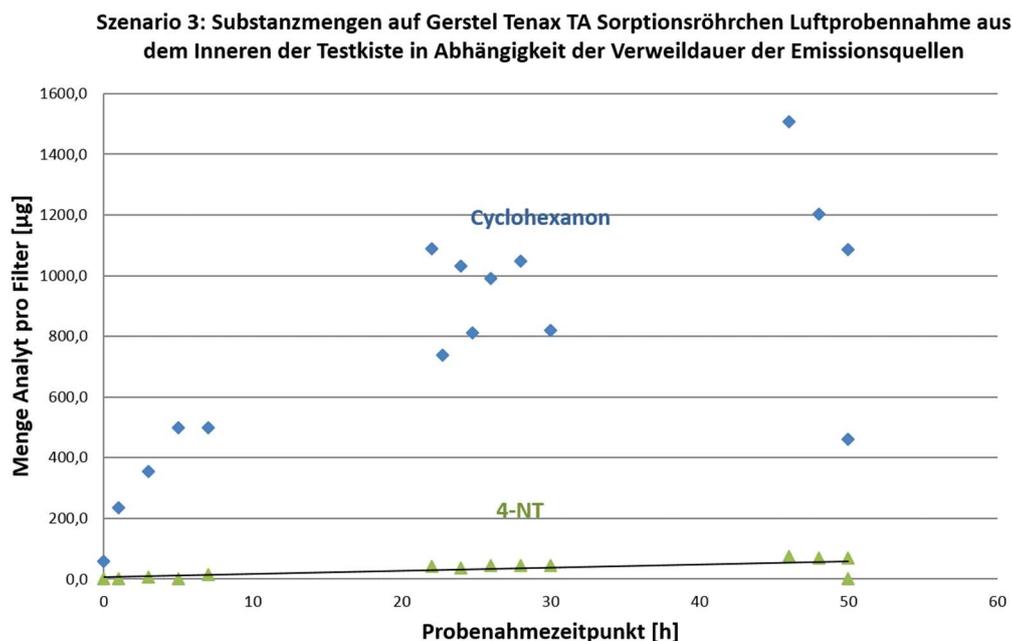


Abbildung 16: Mittlere Analytmengen auf Tenax TA Sorptionsröhrchen in Abhängigkeit des Zeitpunktes der Luftprobennahme. (Szenario 3, Daten akkumuliert aus 3 Versuchen). Es konnten nur für Cyclohexanon und 4-NT Substanzmengen oberhalb der Nachweisgrenze festgestellt werden. Vereinzelt konnten nach längerer Verweildauer 2,4-DNT und NGL nachgewiesen werden.

Tabelle 4: Mittlere Substanzmenge auf Filterpapierproben (Passivsammler) nach der Entnahme (Szenario 3; 50 h)

Versuch	Cyclohexanon [µg]	DMDNB [µg]	4-NT [µg]	1,3-DNB [µg]	TNT [ng]	2,6-DNT [ng]	2,4-DNT [ng]	NGL [ng]
Szenario 3 (Mittelwert aus 3 Versuchen)	393,0	<NG	49,6	<NG	<NG	<NG	31,4	<NG
StabWn[%]	27,2		41,7				0,0	

Die Auswertung des Szenario 4 deutet darauf hin, dass die in der Gasphase verfügbare Analytkonzentration im Allgemeinen deutlich reduziert sind. Dies ist wahrscheinlich auf eine Sorption der Analyten durch die Beiladung zurückzuführen. Die Konzentrationen der Analyten auf den Passivsammlern sind ortsabhängig und in der Nähe der Emissionsquelle höher. Es ist zu vermuten, dass die Beiladung die freie Konvektion einschränkt, bzw. verdampfte Analyten frühzeitig von der Oberfläche der Beiladungsobjekte sorbiert wird, was auch die räumliche Ausbreitung innerhalb des Frachtmodells behindern kann.

Szenario 5 entspricht dem Szenario 3, jedoch wurde die gesamte Kiste zusätzlich Erschütterungen und Vibrationen ausgesetzt. Das Rütteln scheint zunächst einige leichter flüchtige Substanzen, insbesondere das Cyclohexanon vermehrt zu mobilisieren (siehe Abbildung 17). mit der Zeit jedoch auch eine Konzentrationsabnahme zu beschleunigen. Als Ursache für die Abnahme wird das Entweichen von Analyten aus der Testkiste vermutet, da – im Gegensatz zu den anderen Versuchen – außerhalb der

Kiste ein deutlicher Lösungsmittelgeruch wahrnehmbar war. Auf andere, z.T. schwerflüchtige Substanzen wie TNT, aber auch auf 2-,4-DNT, 2-,6-DNT, NGL und 4-NT scheint das Rütteln keinen Einfluss zu nehmen.

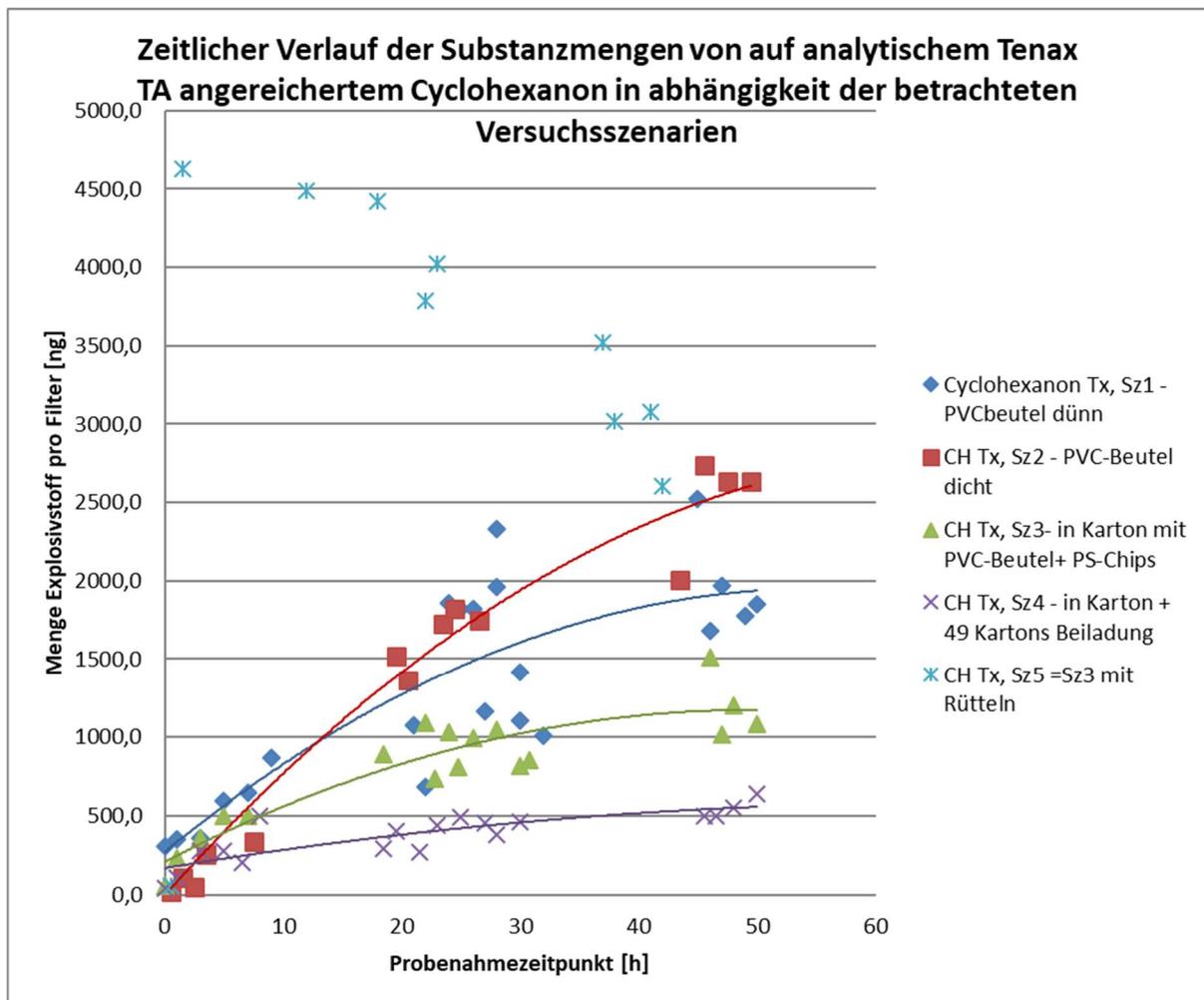


Abbildung 17: Zeitlicher Verlauf der Substanzmengen von auf analytischen Tenax TA® (Tx) angereichertem Cyclohexanon in Abhängigkeit der betrachteten Versuchsszenarien (Sz)

Nach circa 48 h Verweilzeit der Emissionsquellen in der Versuchskiste genommene Luftproben bei den Szenarien 3, 4 und 5 mit den im Projekt entwickelten Luftfiltern lösten am modifizierten Itemiser DX weder Sprengstoffalarm aus, noch wurden Substanzpeaks unterhalb der Alarmschwelle des Gerätes beobachtet.

5 Funktionsmodell und Prozessbeschreibung

Im Funktionsmodell werden die Einflussfaktoren auf die Detektion von Sprengstoffspürhunden bei einem REST-basierten Verfahren aufgeführt. In der Prozessbeschreibung wird das Verfahren von der Auswahl des zu untersuchenden Objektes bis hin zur Detektion mittels Spürhund und technischem Detektionssystem beschrieben.

5.1 Funktionsmodell

REST-basierte Verfahren bieten im Vergleich zum herkömmlichen Absuchen von Objekten durch Spürhunde die Möglichkeit einer erheblichen Erweiterung des Einsatzspektrums. Zu nennen sind hier z.B. die Kontrolle großer Frachtobjekte auf Schmuggelware und USBV, die ökonomische Überprüfung großer Flächen auf Minen und medizinisch-diagnostische Anwendungen. Das Verfahren ist eher ungeeignet zur genauen Lokalisierung von Geruchsquellen. Grundsätzlich bestehen bei REST-basierten Verfahren erhebliche Unsicherheiten und Zweifel zu den Verfahrensgrenzen.

Die Suchleistung (Ausdauer und Trefferwahrscheinlichkeit) des Hundes wird in unterschiedlichem Maße von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst:

Suchteam

- Hundeführer (Fachkunde, körperlich-mentaler Zustand)
- Zustand und Fähigkeiten des Hundes (Alter, Gesundheit, Stresszustand, individuelle und rassetypische Eigenschaften, Arbeitsinteresse/Motivation zum Zeitpunkt der Suche)
- Ausbildungsstand des Hundes (Erfahrung, Konditionierung)
- Einsatztaktik
- Qualität der Zusammenarbeit zwischen Mensch und Tier

Geruchsquelle

- Tatbegehung (z.B. Art der Verpackung (z.B. Dichtigkeit und Barriere-Wirkung, Möglichkeit zum Luftaustausch und Substanzverlust mit der Umwelt), Kontaminationen außerhalb, absichtliche Maskierung))
- (Mikro)-biologische und chemische Wechselwirkungen mit der Geruchsquelle
- Art des Geruchsstoffes z.B. lebender Mensch \leftrightarrow TNT
- Zeit (Alterung der Geruchsquelle, Ausbreitung des Geruchsstoffes/Fahne)

- Umweltbedingungen (z.B. Temperatur, Wind, Niederschlag, Luftfeuchte, Geruchshintergrund)

Probennahme

- Probennahmesystem und -verfahren (z.B. Entnommenes Probennahmeverfahren, verwende Schläuche, Sorgfalt des Operators, Auftreten technischer Probleme)
- Probenahmeeffizienz
- Handhabung des Filtersystems (z.B. Aufbewahrung vor nach der Probenahme, Transport)

Suchstand für die Bewertung der Probennahme

- Räumlicher Aufbau der Bewertungsstrecke
- Umfeld (z.B. ungewohntes Umfeld, Geräusche, Bodenbeschaffenheit)
- Querkontaminationen
- Umweltbedingungen (Temperatur, Konvektion, Luftfeuchte, Geruchshintergrund)

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Leistungsfähigkeit der Hunde sind bislang nur in sehr begrenzten Umfang wissenschaftlich untersucht. Für eine erfolgreiche Detektion über die Gasphase mittels technisch/analytischer Verfahren sind neben dem Detektor selber (Sensitivität, Selektivität, Spezifität, Funktionsfähigkeit) auch die zuvor genannten Punkte „Geruchsquelle“ und „Probenahme“ von erheblicher Bedeutung.

5.2 Prozessbeschreibung

In der Prozessbeschreibung werden die einzelnen Schritte dargestellt, die für eine erfolgreiche Detektion notwendig sind. Die technische Detektion ist Bestandteil des in diesem Projekt vorgeschlagenen Detektionsverfahrens und wird daher in der Prozessbeschreibung mitberücksichtigt. Das technische Detektionsverfahren wird hier als unabhängiges Verifikationsverfahren für die Anzeigen des Spürhundes angesehen.

Auswahl und Beschaffung der Spürhunde, sowie das Vorhandensein von fachkundigen Personal zur Durchführung des Prozesses wurde bei der Erstellung der Prozessbeschreibung vorausgesetzt. Ebenso vorausgesetzt wurde ein Kommunikations-, Dokumentations-, Qualitätssicherungs- und Qualitätsmanagementkonzept.

Abbildung 18, angelehnt an die Darstellungsform der „ereignisgesteuerten - Prozesskette“ soll einen Überblick über den gesamten Prozess geben. Die Bewertung der Filterproben erfolgt primär über zwei unabhängig von einander prüfende Spürhunde. Kommt es hier zu sich widersprechenden Anzeigen, so wird der Filter zusätzlich mit dem technischen Detektor überprüft. Das im Rahmen von PrObEx genutzte Verfahren (thermodesorptionsgekoppeltes IMS) wirkt im Gegensatz zu den Hunden zerstörend auf die Probe. Es kann daher nur nach den Hunden zum Einsatz kommen.

Die Prozesse und Dokumente werden im nachfolgenden erläutert:

Prozess P1: Eignung Frachtobjekt für Bewertungsverfahren

REST-basierte Verfahren werden im Allgemeinen im Bereich der Luftsicherheit nur für definierte Frachtarten zugelassen und genutzt. Typische Voraussetzungen sind Art und Größe des Frachtobjektes, Standzeit des Frachtobjektes, aber auch Umgebungsbedingungen wie Temperatur, welche über die Anwendbarkeit des Verfahrens entscheiden und auch die nachfolgende Probenahme beeinflussen. Grundlage hierfür sind entsprechende dokumentierte Arbeitsanweisungen (D1: Eignung Frachtobjekt).

Prozess P2: Probennahmeverfahren

Die Luftprobennahmeprozess erstreckt sich von der Bereitstellung der Materialien und Geräte, einschließlich der Kontrolle der Funktionsfähigkeit der Ausrüstung bis hin zur eigentlichen Probennahme. In Abhängigkeit von Frachtart und Umgebungsbedingungen können sich unter anderem Probennahmedauer und Anzahl der Proben/Frachtstück verändern. Erfahrungen in PrObEx und Versuchen mit Hunden außerhalb des Projektes zeigen, dass systematische Fehler (z.B. bei der Handhabung der Filter, chargenbedingte geruchliche Veränderungen) zu einer Beeinflussung der Detektionsleistung der Spürhunde führen kann. Besondere Maßnahmen zur Vermeidung von Querkontaminationen z.B. Verwendung von Einwegmaterialien, ausheizen von Arbeitsmaterialien wie Filter und Probennahmelanze sind unbedingt erforderlich

(→ D2: Arbeitsanweisung Funktionsprüfung Probennahmesystem; D3: Arbeitsanweisung Probennahme)

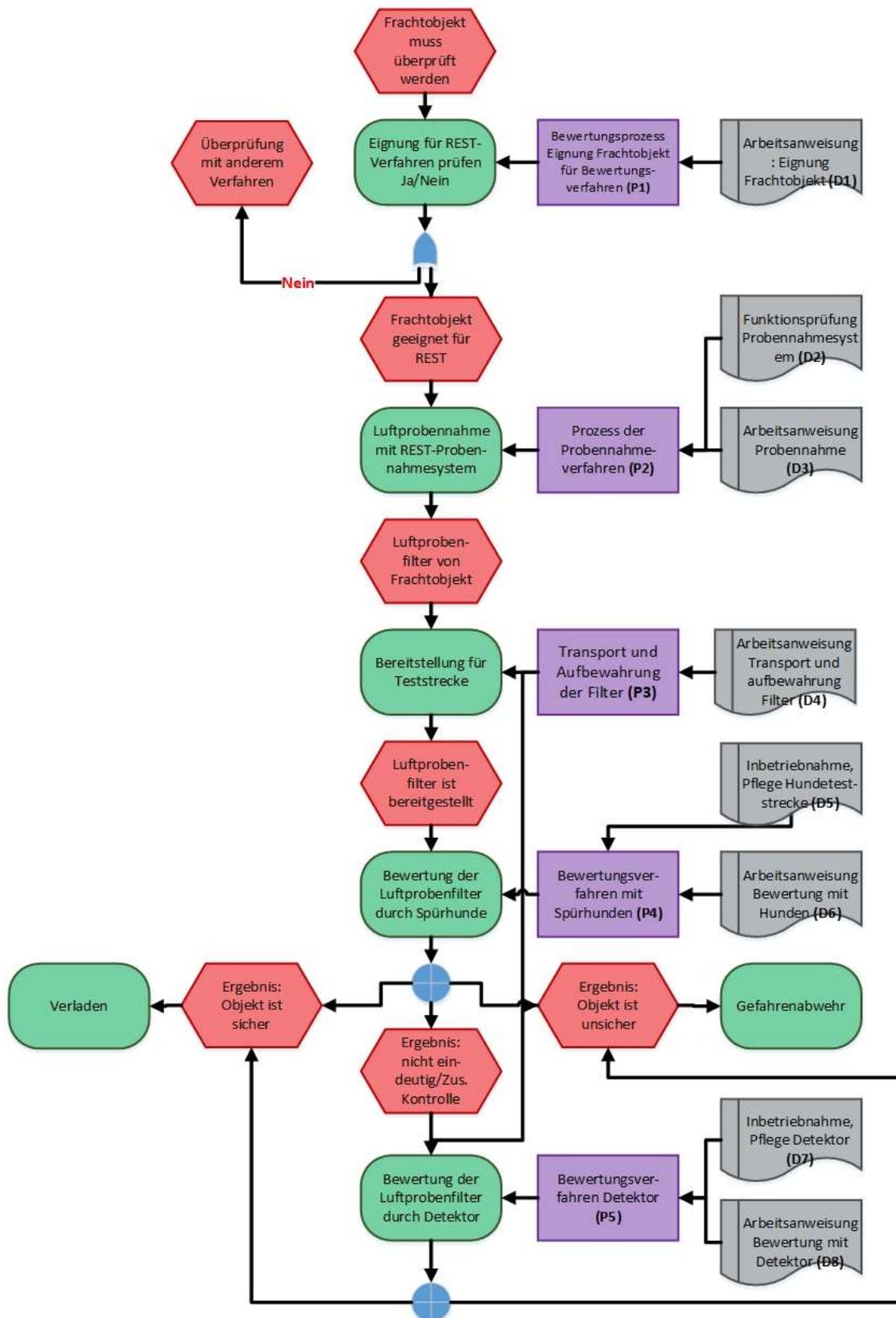


Abbildung 18: Prozessbeschreibung des Frachtkontrollkonzeptes in PrObEx. Rote Symbole: Ereignis; grüne Symbole: Aktion; violette Symbole: Prozess; graue Symbole: Dokumente

Prozess P3: Transport und Aufbewahrung Filter

Die entnommenen Filter müssen transportiert (zum Teststand der Hunde, gegebenenfalls zum Detektor) und zumindest kurzfristig aufbewahrt werden. Beaufschlagte Filter weisen nur eine begrenzte Haltbarkeit auf. Lagerung und Transport können zu Querkontaminationen oder systematischen Fehlern führen. Typische systematische Fehler können z.B. von Transportgefäß der Filter hervorgerufen werden. Wird das Transportgefäß oder auch die handhabende Person nach längerer Anwendung des Verfahrens gewechselt, so kann der plötzlich Wegfall eines zuvor beständig vorhandenen Hintergrundgeruches zu einem Einbruch der Detektionsleistung bei den Spürhunden führen. Dieses kann durch eine sehr sorgfältige Arbeitsweise oder durch die Vermeidung eines kontanten Hintergrundgeruches mittels beständiger Variation vermieden werden. Hundeführer nutzen in der Regel die Variation als Lösungsansatz. (→ D4: Arbeitsanweisung Transport und Aufbewahrung).

Prozess P4: Bewertungsverfahren mit Spürhunden

Die Teststrecke der Hunde muss für eine Nutzung im Bereich der Luftsicherheit Anforderungen genügen welche z.B. in den einschlägigen EU-Verordnungen festgelegt sind. Ein Einfluss des Hundeführers auf die Suche des Hundes ist nach Möglichkeit zu vermeiden. Die Filterproben sind zufallsverteilt in der Teststrecke zu verteilen wobei eine ausreichende Anzahl Verleitungen mit einzubringen sind. Es wird von den EU-Verordnungen gefordert, dass von Zeit zu Zeit beaufschlagte Filter zur Qualitätssicherung eingebracht und von den Hunden überprüft werden müssen. Entscheidend hierbei ist, dass diese Proben über den Sprengstoffgeruch hinaus keine systematischen Unterschiede zu den von regulärer Fracht gezogenen Proben aufweist. Da die Spürhunde im Spurenbereich arbeiten müssen, bedingt das Einbringen positiver Proben eine erhebliche Kontaminationsgefahr. Die Testanlage muss daher spätestens nach jeder positiven Anzeige gereinigt werden. Personal und Hunde, welche regelmäßig mit Sprengstoffen arbeiten z.B. aus Trainingszwecke stellen eine weitere Kontaminationsquelle dar. Wenn zwei Hunde unabhängig voneinander die Proben überprüfen, so ist sicherzustellen, dass z.B. der Hundeführer beim zweiten Durchgang keine Vorkenntnisse über das Ergebnis des ersten Durchgangs hat (→ D5: Arbeitsanweisung Inbetriebnahme und Pflege der Hundeteststrecke; D6: Arbeitsanweisung Bewertung mit Spürhunden).

Prozess P5: Bewertungsverfahren mit Detektor

Bei unklaren Anzeigen von Spürhunden oder aus Gründen der Qualitätssicherung bietet es sich an Filter mittels technischem Detektor zu überprüfen. Voraussetzung hierfür ist aber, dass der Detektor eine zum Hund vergleichbare Detektionsfähigkeit aufweist. Dies war für den im Projekt entwickelten Detektor nicht gegeben. Grundsätzlich müssen die Funktionsfähigkeit des Detektors und ein sachgemäßer Umgang mit dem Gerät sichergestellt sein. (→ D7: Arbeitsanweisung Inbetriebnahme und Pflege des Detektors; D8: Arbeitsanweisung Bewertung mit Detektor).

6 Bewertung

Spürhunde wurden ausgewählt und mit durch die BPol bereitgestellte Explosivstoffe und von der Firma ExploTech hergestellte Trainingshilfsmitteln konditioniert. Die so erzeugten Proben wurden mittels instrumentell analytischer Verfahren und mit dem im Projekt entwickelten und optimierten, an einen Itemiser DX gekoppelten thermischen Desorber analysiert.

Versuche mit Hunden wurden – aufgrund mangelnder Verfügbarkeit – nur sehr eingeschränkt durchgeführt.

Dabei zeigte sich, dass die Detektion selbst einfach verpackter Explosivstoffe in Frachtobjekten mittels großvolumiger Luftproben sowohl für technisch-analytische Detektionsverfahren als auch für Spürhunde eine große Herausforderung darstellt.

Im Projekt wurden unter anderem TNT und Nitroglycerin als Zielstoffe genutzt, welche im Vergleich zu anderen Explosivstoffen vergleichsweise flüchtig sind. Dennoch reichte die Sensitivität des eingesetzten Verfahrens, welche auf der Analyse von Extrakten mittels LC-MS² beruhte, selbst bei mäßig verpackten Explosivstoffen und einer Wartezeit von bis zu 48 h häufig nicht aus, um diese Stoffe nachzuweisen. Es wird davon ausgegangen, dass hierfür Detektionssysteme für den Ultraspurenbereich benötigt würden. Sehr leichtflüchtige Stoffe aus einer starken und langanhaltenden Emissionsquelle konnten hingegen innerhalb weniger Stunden außerhalb der Verpackung nachgewiesen werden.

Eine Detektion ist – selbst bei gegebenem leistungsfähigen Detektor - abhängig von Verpackung, Umweltbedingungen, Einwirkzeit, Probenahmeverfahren und der Beiladung. Eine hohe Rate falsch negativer Anzeigen erscheint daher wahrscheinlich, zumal z.B. in Publikation islamisch-terroristischer Organisationen Maßnahmen zur Vermeidung von Kontaminationen und der Detektion durch technische Detektionsverfahren und Spürhunde beschrieben werden. Die Nachweisgrenze des Spürhundes wird im Allgemeinen im mittleren bis oberen ppt-Bereich gesehen. Hinweise aus Versuchen außerhalb des Projektes lassen vermuten, dass die Leistungsfähigkeit der Spürhunde für das REST-Verfahren gegebenenfalls unzureichend sein könnte. Obwohl eine Optimierung von REST und technischen Detektionsverfahren für bestimmte Zielanalyten denkbar ist, kann jedoch der Einfluss des geruchlichen und chemischen Hintergrundes nicht kontrolliert werden, was sowohl für Hund auch für technische Systeme zu Fehlalarmen führen kann.

Eine abschließende Machbarkeitsbewertung konnte jedoch aufgrund der geringen Untersuchungstiefe nicht durchgeführt werden.

Die Ausbildung der Spürhunde mit beaufschlagten Filtern ist schwierig. Zum einen besteht die Gefahr, dass Hintergrundgerüche für den Spürhund eventuell leichter wahrnehmbar sind als die eigentliche nur im Spurenbereich verfügbare Zielsubstanz. Hierdurch kommt es schnell zu Fehlkonditionierungen, die erst dann festgestellt werden, wenn der Hintergrundgeruch im Rahmen absichtlicher Variationen oder auch nur aus Zufall fehlt.

Zum anderen muss sichergestellt sein, dass die Filter tatsächlich die Zielsubstanz enthalten. Da die Detektion mit Spürhund nicht zerstörend auf den Filter wirkt ist bei Analytbeladungen im mittleren Nanogramm-Bereiche eine Kontrolle der Filter im Sinne der Qualitätssicherung mit Hilfe des im projektentwickelten Detektors möglich. So kann die Funktionsfähigkeit des Probennahmeverfahrens und der Erzeugung von Trainingsproben mit geringem Aufwand unabhängig vom Spürhund überprüft werden.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Probenahmeverfahren zur Kontrolle von Objekten auf Explosivstoffe mittels Spürhund (PrObEx) (Förderkennzeichen 13FH004PX4) Zeitraum: Sep. 2014- Aug. 2017	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Holl, Gerhard Becher, Christopher Stelzig Silvia	5. Abschlussdatum des Vorhabens August 2017
	6. Veröffentlichungsdatum 5. April 2018
	7. Form der Publikation Schlussbericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Hochschule Bonn-Rhein-Sieg Grantham Allee 20 53757 Sankt Augustin Institut für Detektionstechnologien Von-Liebig-Str. 20 53359 Rheinbach	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 13FH004PX4
	11. Seitenzahl 68
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 15
	14. Tabellen 4
	15. Abbildungen 18
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	

Als rohstoffarme und exportorientierte Wirtschaftsnation ist die Bundesrepublik in hohem Maß auf die Sicherung und Sicherheit der Logistikketten im grenzüberschreitenden Verkehr angewiesen. Angesichts der komplexen Transportstrukturen bei grenzüberschreitenden Transporten kommt den eingesetzten Kontroll- und Prüfverfahren besondere Bedeutung zu: Einerseits müssen Kostenbelastungen, Unterbrechungen und Verzögerungen in der Transportkette minimiert, andererseits besonders illegale Einfuhren, Transporte und Substanzen unterbunden werden. Von besonderer Bedeutung für Verdachts- bzw. Stichprobenkontrollen ist der Einsatz speziell trainierter Spürhunde. Als besonders leistungsfähige ‚lebende Sensoren‘ sind sie in der Lage, eine Vielzahl von Stoffen zu detektieren. Der Einsatz von Spürhunden unterliegt allerdings engen Grenzen: Hoher Trainingsaufwand, eng begrenzte Einsatzdauer, begrenzte Verfügbarkeit. Die Entwicklung neuer, optimierter Einsatzverfahren für Spürhunde z. B. mit höheren Durchsatzraten und überprüfbarer Verlässlichkeit durch Einbindung technischer Systeme ist daher ein wichtiger Beitrag für die Sicherung und Sicherheit der Logistikketten.

Ziel des Projektes war die Entwicklung und Bewertung eines abstandsfähigen Detektionsverfahrens (Labormuster) zur Bestimmung luftgetragener Explosivstoffe (Gase und Partikel) auf Filtermedien mit Hilfe olfaktometrischer und technischer Detektoren.

Das Gesamtziel gliederte sich in nachfolgende Teilziele:

- a. Entwicklung eines Verfahrens zur Probenahme und Bewertung von luftgetragenen Explosivstoffen auf Filtermedien für biologische und elektronische Detektoren
- b. Modellierung der chemischen Signatur von Luftproben
- c. Beschreibung eines Funktionsmodells und Demonstration des Gesamtkonzeptes

Das Verfahren besteht aus einem Probennahmesystem, einem Aufbau für die Bewertung der Luftfilter mittels Spürhund, einem thermodesorptionsgekoppelten Detektor, sowie einer Prozessbeschreibung.

Im Rahmen des Projektes wurden Anforderungen definiert, Filtermaterialien untersucht und ein geeigneter Filter entwickelt. Es wurde eine neue Thermodesorptionseinheit - gekoppelt an ein Ionenmobilitätsspektrometer - entwickelt, gebaut und die Thermodesorptionsparameter optimiert. Ein mobiler Teststand für die Bewertung von Luftprobenfiltern wurde aufgebaut und erfolgreich zur Bewertung von mit Explosivstoffemissionen kontaminierten Luftfiltern genutzt. Für das Gesamtverfahren wurde eine Prozessbeschreibung erstellt. Die Ausbreitung von explosivstoffspezifischen Emissionen in Fracht wurde untersucht.

19. Schlagwörter

Luftsicherheit, Spürhunde, REST, Remote Explosive Scent Tracing, IMS, Ionemobilitätsspektrometer, Luftfracht, Kontrolle, Luftfilter

20. Verlag

21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN Planed	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title Probenahmeverfahren zur Kontrolle von Objekten auf Explosivstoffe mittels Spürhund (PrObEx) Sampling procedure for the control of explosives in objects via canine (Förderkennzeichen 13FH004PX4) Zeitraum: Sep. 2014- Aug. 2017	
4. author(s) (family name, first name(s)) Holl, Gerhard Becher, Christopher Stelzig Silvia	5. end of project August 2017 6. publication date 5 th April 5, 2018 7. form of publication Final report
8. performing organization(s) (name, address) Bonn-Rhein-Sieg University of Applied Sciences Grantham Allee 20 53757 Sankt Augustin Institute for Detection Technologies Von-Liebig-Str. 20 53359 Rheinbach	9. originator's report no. 10. reference no. 13N11924 11. no. of pages 68
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 15 14. no. of tables 4 15. no. of figures 18
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	

18. abstract

The federal republic is highly dependent on the safety and security of the logistics chain for cross border traffic due to its status as an export orientated leading economy with few natural resources.

The used control and testing methods gain a particular significant in the face of the complex transport structures for international transports: On one hand, the financial burden, interruptions and delays in the transport chain must be kept minimal while on the other hand, illegal imports, transport and substances in particular must be prevented.

Particularly important for suspicious samples or random inspections is the use of specially trained tracking dogs. As especially efficient 'living sensors' they are capable of detecting a variety of substances.

However, the use of tracking dogs is subjected to strict limits: large training efforts, strictly limited operation time and restricted availability.

The development of a new, optimized application procedure with, for example, a high throughput and verified reliability through the integration of technical systems is therefore an important contribution to the safety and security of the logistics chain.

The aim of the project is the development and evaluation of a detection method (laboratory prototype) for the determination of airborne explosives (gases and particles) on filter media using olfactometric and technical detectors.

The overall objective is structured into the following partial objectives:

- a) Development of a procedure for the sampling and evaluation of airborne explosives on filter media for biological and electronic detectors.
- b) Modelling of the chemical signature of air samples
- c) Description of a functional model and a demonstration of the overall concept.

The process consists of a sampling system, an assembly for the evaluation of air filters using tracking dogs and a linked thermodesorption detector as well as a description of the procedure.

The project defined the requirements, examined filter material and developed a suitable filter. A new thermodesorption unit – linked with an ion mobility spectrometer – was developed, built and the thermodesorption parameters optimised. A mobile test stand for the evaluation of air sample filters was built and successfully used for the assessment of air filters contaminated with emissions of explosives. A description of the procedure for the overall objective was created. The distribution of emissions in freight which are specific for explosives was investigated.

19. keywords

Aviation security, tracking dogs, REST, Remote Explosive Scent Tracing, IMS, Ion mobility spectrometer, air freight, control, air filter

20. publisher

21. price