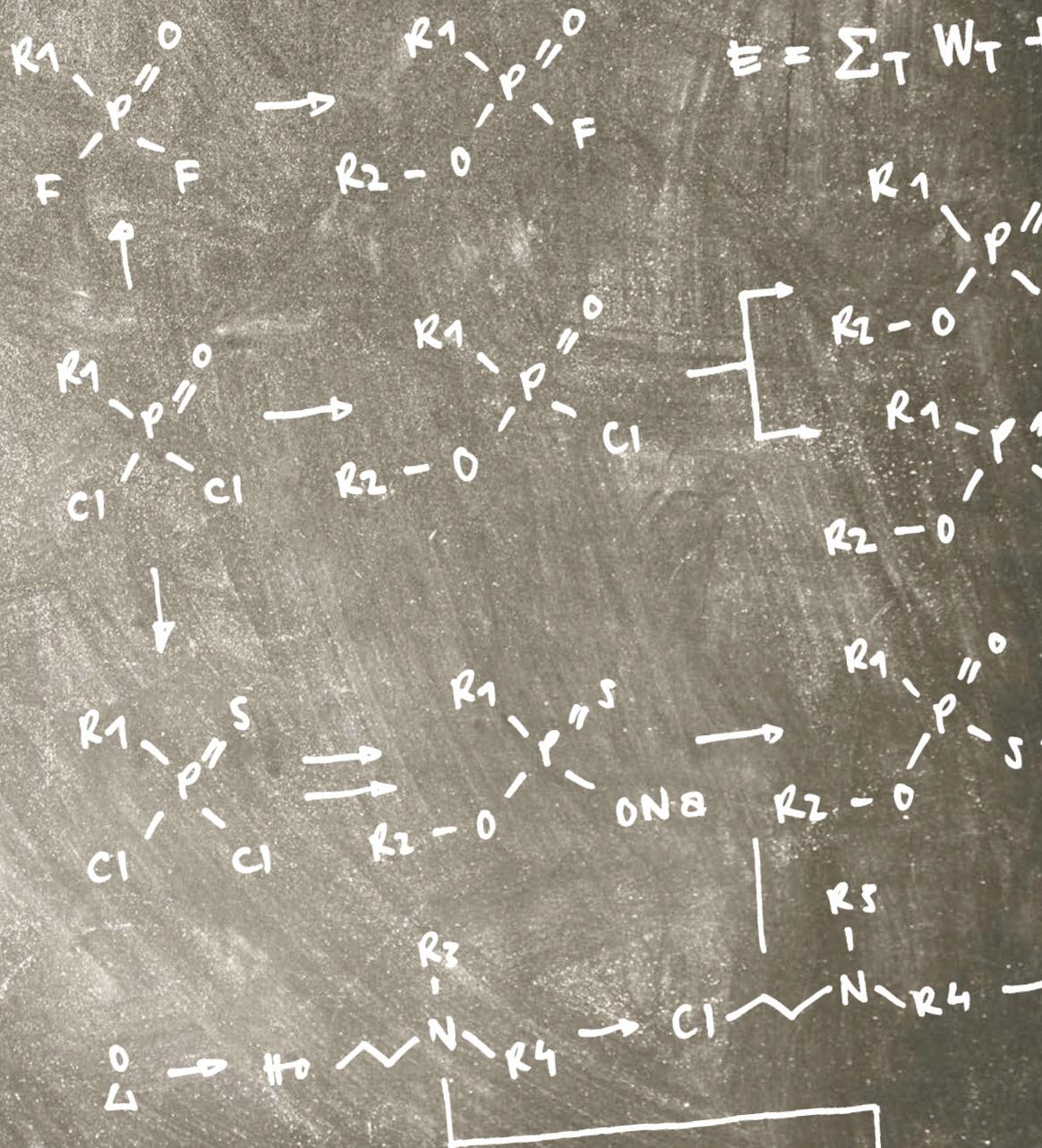




Jahresbericht 2017

LABOR SPIEZ



Produktion

Dr. Andreas B. Bucher

Layout

Logistikbasis der Armee LBA, Zentrum elektronische Medien ZEM

Herausgabe

Eidgenössisches Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport VBS

Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS

LABOR SPIEZ, Information

CH-3700 Spiez

Tel. +41 58 468 14 00

Fax +41 58 468 14 02

laborspiez@babs.admin.ch

www.labor-spiez.ch

Bildnachweis

Labor Spiez (3, 8, 11, 12, 23, 31–33, 35, 46, 52–55, 56–59, 61)

United Nations (41)

OPCW (49, 50)

CTBTO (17,18)

Keystone (2, 3, 16, 20, 45)

Fotolia (38)

4DNews (5, 7, 27, 29, 30)

Der vorliegende Jahresbericht ist auch in englischer Sprache erhältlich.

© Labor Spiez, Mai 2018

2 Editorial



- 4** Stilllegung kerntechnischer Anlagen: Messmethoden für die Rückbauanalytik
8 Das Labor Spiez ist Collaborating Centre der IAEA
11 Untersuchungen zur Migration von Abgereichertem Uran im Boden
16 Nordkoreas Kernwaffentests – Warum wissen wir, was wir wissen?
20 Dekontamination in städtischer Umgebung
23 Bleianalytik in der nuklearen Forensik



- 27** Entwicklung antiviraler Therapien gegen hochpathogene Viren
31 Internationale Messübung mit Ricin
35 Genetische Plastizität als Grundlage für die hohe Anpassungsfähigkeit von neuauftretenden Viren
38 Designierte Bio-Laboratorien für die UNO – drittes Arbeitstreffen in Spiez



- 41** Einsätze von Chemiewaffen in Syrien –
Der gemeinsame Untersuchungsmechanismus von OPCW und UNO
45 Décontamination des agents de guerre chimique
49 20 Jahre OPCW



- 52** Kollektivschutz in Hochbauten



- 56** Werkstoffprüfungen für ABC-Schutzanzüge



- 59** Fachveranstaltung EEVBS



- 60** Nouvelle application pour l'évaluation d'équipements de protection individuelle

64 Anhang

- 64** Mitarbeitende
65 Organigramm
66 Akkreditierte Bereiche
67 Referate
68 Publikationen 2017



Bewohner von Aleppo tragen Schutzmasken bei der Suche nach Angehörigen

Liebe Leserin, lieber Leser,

im Frühling 2017 verurteilte die Schweiz den Einsatz von Chemiewaffen in Syrien in deutlichen Worten und hielt fest, dieser Tatbestand stelle ein Kriegsverbrechen dar. Ein paar Wochen später beriefen die Vereinten Nationen Stefan Mogl, Chef unseres Fachbereichs Chemie, in das Leitungsgremium des Untersuchungsausschusses zur Identifizierung der für die Chemiewaffeneinsätze in Syrien verantwortlichen Akteure. Nach einem halben Jahr intensiver Abklärungen veröffentlichte der Ausschuss einen Bericht, in dem unter anderem der Angriff mit dem Nervenkampfstoff Sarin in Khan Shaykhun der syrischen Armee zugeschrieben wurde. Leider scheiterte ein Antrag auf Verlängerung des Mandates am Veto Russlands im UNO-Sicherheitsrat. Es gibt also bis auf Weiteres keinen Mechanismus mehr, um die für Chemiewaffeneinsätze Verantwortlichen zu eruiieren bzw. um die bereits identifizierten Parteien zur Verantwortung zu ziehen (S. 41).

Es bleibt zu hoffen, dass sich die politischen Blockaden bald auflösen, denn der Einsatz und die Weiterverbreitung von Massenvernichtungswaffen und ihrer Trägermittel gefährdet

weiterhin die Sicherheit in zahlreichen Regionen der Welt:

In Syrien sind auch nach den Untersuchungen der UNO weiterhin chemische Waffen eingesetzt worden. Dieser Umstand beeinflusst die Risikobeurteilung für die Schweiz: Terroristische Gruppierungen zeigen gemäss Lagebericht des Nachrichtendienstes des Bundes Interesse an Knowhow für Massenvernichtungswaffen; die Verfügbarkeit von chemischen Waffen und toxischen Chemikalien ist trotz internationaler Abrüstungsbemühungen weiterhin gegeben. Das erforderliche Wissen für die Produktion der entsprechenden Substanzen blieb auch 2017 verfügbar und damit ebenso die Fähigkeit, diese Substanzen bei Terroranschlägen auch in Europa einzusetzen.

In Nordkorea hat das Regime seine Massenvernichtungswaffenprogramme fortgeführt und Kernsprengsätze erfolgreich getestet, was durch das globale, hochempfindliche Messsystem der internationalen Organisation zur Überwachung des Kernwaffenteststopp-Abkommens (CTBTO) zweifelsfrei belegt werden konnte. Das Labor Spiez engagiert sich seit Jahren in den technischen Arbeitsgruppen die-



Dr. Marc Cadisch
Leiter LABOR SPIEZ

ser Organisation. Das Überprüfungssystem der CTBTO lässt sich zudem für wichtige, nicht-militärische Zwecke einsetzen, zum Beispiel als Warnsystem für Tsunamis (S. 16)

Wir haben unsere nuklearforensischen Kapazitäten weiterentwickelt, um die Ermittlungsbehörden bei der Bekämpfung des Nuklearterrorismus zu unterstützen. Die Nuklearforensik kann helfen, die Herkunft, die Herstellungsweise oder die Verwendungsart einer radioaktiven Quelle zu ermitteln. Zur Abschirmung von radioaktiven Quellen wird häufig Blei verwendet: Die Analyse der Verunreinigungen des Bleis sowie der Isotopenverhältnisse unterstützt dabei die nukleare Forensik. Und da die Analysetechniken die gleichen sind wie für herkömmliche Bleimunition, könnten mit diesen Methoden auch klassische kriminaltechnische Untersuchungen im Zusammenhang mit Schusswaffen unterstützt werden (S. 23).

Mit einer Reihe von Arbeitstreffen in Spiez engagieren wir uns weiterhin für ein funktionsfähiges, internationales Netzwerk von biologischen Laboratorien (S. 38), analog zum bewährten System der Organisation für das Verbot chemischer Waffen (OPCW), die 2017 ihr 20-jähriges Bestehen feiern konnte (S. 49).

Unser Fachbereich Biologie entwickelt neue Strategien zur Entwicklung antiviraler Therapien gegen hochpathogene Viren, denn mit unserem biologischen Sicherheitslabor verfügen wir als einziges Forschungsinstitut in der Schweiz über die erforderliche Infrastruktur, um Subs-

tanzen gegen die Krankheitserreger der höchsten Risikogruppen zu evaluieren (S. 27).

Unser Fachbereich ABC-Schutz entwickelt und testet Konzepte, wie ein wirksamer und kosteneffektiver CBRE-Schutz auch in oberirdischen Gebäuden realisiert werden kann (S. 52). Wir prüfen die Leistungsfähigkeit modernster Materialien für Schutzanzüge (S. 56), und wir betreiben Dekontaminationsstudien im chemischen und radiologischen Bereich – dies mit zum Teil erstaunlichen Ergebnissen: So konnten unsere Versuche aufzeigen, dass Wasser für die Dekontamination radiologisch belasteter Gebäude in der Regel den kommerziellen Mitteln ebenbürtig oder gar überlegen ist. Es ist daher unnötig, teure Dekontaminationsprodukte zu kaufen, zu lagern und nach Ablauf des Verfalldatums neu zu beschaffen (S. 20).

Die Aufgaben des Labor Spiez sind unbestritten, sowohl im präventiven Bereich des ABC-Schutzes wie auch bei der Bewältigung möglicher Ereignisse: Die Politik und die öffentliche Meinung der Schweiz stehen hinter uns und unserer Arbeit, das können wir deutlich spüren. Wir setzen alles daran, damit wir dieses Vertrauen auch weiterhin verdienen.



Der offene Reaktor des KKW Mühleberg während einer Inspektion



Stilllegung kerntechnischer Anlagen: Messmethoden für die Rückbauanalytik

Dr. José Corcho

2019 tritt das Kernkraftwerk Mühleberg mit der Stilllegung in die letzte Phase seines Lebenszyklus. Dies ist ein rund 15 Jahre lang dauernder Prozess, der komplexe Massnahmen wie die Dekontamination, den Rückbau von Anlagen sowie die Entsorgung der daraus entstehenden Abfälle umfasst. Zentrale Arbeiten während der Stilllegungsphase sind radiologische Messungen, um die Unbedenklichkeit für Mensch und Umwelt zu gewährleisten. Das Labor Spiez verfügt für den Rückbau von kerntechnischen Anlagen über umfassende Messmethoden zur Bestimmung einer grossen Anzahl von Radionukliden. Mit einem Forschungsprogramm werden nun die letzten Lücken in der Messmethodik geschlossen.

Während der gesamten Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg gelten dieselben gesetzlichen Anforderungen wie während des Leistungsbetriebs, so dass der Schutz von Mensch und Umwelt zu jeder Zeit sichergestellt ist. Ziel der Stilllegung ist die uneingeschränkte Freigabe des Geländes.

Zentrale Arbeiten in der Stilllegungsphase sind radiologische Messungen der Materialien und Gebäudestrukturen zur Überprüfung und Beweissicherung ihrer radiologischen Unbedenklichkeit für Mensch und Umwelt sowie die Entsorgung radioaktiver und konventioneller Abfälle (ENSI, 2017). Der Rückbau erfordert umfangreiche Analysen- und Messmethoden zur Bestimmung einer Vielzahl von Radionukliden in verschiedenen Komponenten.

Neue Entwicklungen erforderlich

Das Labor Spiez (LS) verfügt über umfassende technische Messmethoden zur Bestimmung

einer grossen Anzahl von relevanten Radionukliden (Tabelle 1). Für eine komplette Überwachung des Rückbaus von Kernkraftwerken (KKW), sind jedoch einige zusätzliche Methoden erforderlich. Derzeit fehlen im LS für einige Radionuklide die akkreditierten Messmethoden. Zudem erfordert die komplexe chemische Zusammensetzung der Ausgangsmaterialien in einem KKW (z. B. Beton, Stahl, Aluminium, Graphit) anspruchsvolle radioanalytische Separationstechniken.

Ergänzungen der Messmethodik

Um diese Lücken zu schliessen, hat der Fachbereich Physik des LS ein Forschungsprogramm zur Entwicklung und Verbesserung radioanalytischer Methoden für Stilllegungsaktivitäten eingerichtet. Im Rahmen dieses Programms wurden verschiedene radiochemische Methoden entwickelt, so zum Beispiel die Entwicklung einer radiochemischen Methode zur sequentiellen Bestimmung mehrerer Radionuklide im gleichen Probenaliquot (Sahli et al., 2017). Diese Methode ermöglicht eine gleichzeitige Bestimmung mehrerer wichtiger Radionuklide in derselben Probe, was für die Schätzung des Gesamtinventars von Radioaktivität bei Stilllegungsaktivitäten erforderlich ist. Ein weiteres Beispiel ist die Methode zur schnellen Bestimmung von Strontium-Radioisotopen in Umweltproben (Corcho, 2015), die in Zusammenarbeit mit den ALMERA Network Laboratories der Internationalen Atomenergiebehörde (IAEA) entwickelt wurde. Diese neue Methode erlaubt erhebliche Zeitgewinne sowie Kostenreduktionen. Zudem wurden radiochemische Methoden weiter verbessert, etwa die Methode zur Bestimmung von ^{99}Tc in Umweltproben (Sahli et al., 2017) sowie die Bestimmung von Tritium- und Gesamt-Alpha-/Betastrahlern in Wasserproben verbessert (Corcho, 2015).

Relevante Radionuklide

Das Gefährdungspotential eines Kernkraftwerks ist zu Beginn der Stilllegungsphase überwiegend durch das Aktivitätsinventar der noch vorhandenen Brennelemente geprägt (mehr als 99% des Gesamtaktivitätsinventars; ENSI, 2017). Radioaktive Bestandteile und Materialien, wie z. B. Brennelemente, werden zuerst entfernt (Abb. 1 und 2). Das restliche Aktivitätsinventar (ohne Brennelemente) beträgt ca. 10^{15} Bq und ist wie folgt verteilt:

- i) ca. 99% ist als Aktivierung in Materialien der Kerneinbauten, des Reaktordruckbehälters und des biologischen Schildds fest eingebunden und somit nicht direkt freisetzbar
- ii) ca. 1% liegt als Kontamination vor und befindet sich überwiegend auf den inneren Oberflächen von Systemen und ist somit nicht unmittelbar freisetzbar (ENSI, 2017).

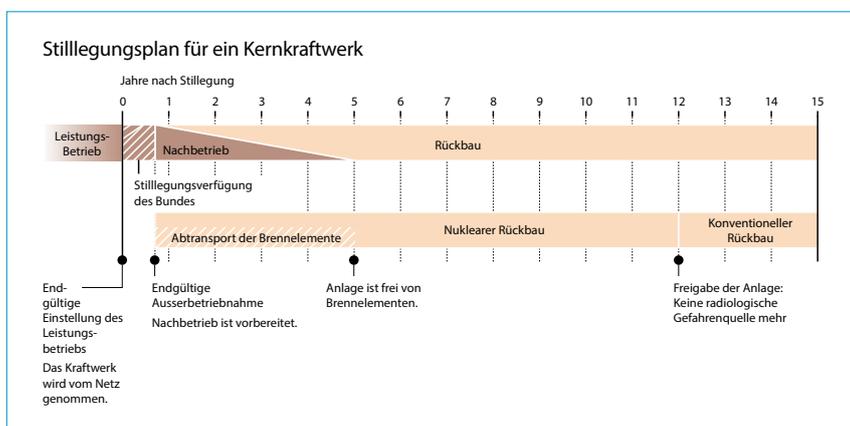


Abbildung 1: Gewählte Rückbauvarianten für das Kernkraftwerk Mühleberg: Direkter Rückbau (BKW, 2015).

Zerfall	Radionuklid	Akkreditierte Messmethode im LS	Methode im LS
Gamma-Strahler	^{22}Na , ^{54}Mn , ^{65}Zn , ^{58}Co , ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{94}Nb , ^{106}Ru , $^{108\text{m}}\text{Ag}$, $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{125}Sb , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{144}Ce , ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{155}Eu , ^{241}Am	Ja	Keine chemische Trennung Gammaskpektrometrie
Alpha-Strahler	^{234}U , ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am , ^{237}Np	Ja	Chemische Trennung notwendig Alphaspektrometrie Massenspektrometrie Flüssigszintillationszähler-LSC
	^{243}Cm , ^{244}Cm	Nein	
Beta-Strahler	^3H , ^{90}Sr , ^{99}Tc , ^{241}Pu	Ja	Chemische Trennung notwendig Massenspektrometrie Flüssigszintillationszähler Gas-Proportionalzähler
	^{14}C , ^{36}Cl , ^{41}Ca , ^{55}Fe , ^{63}Ni , ^{59}Ni , ^{93}Zr , ^{93}Mo , ^{129}I , ^{135}Cs , $^{166\text{m}}\text{Ho}$	Nein	

Tabelle 1: Typische Messmethoden (Corcho, 2016)

Bei der Freigabemessung werden nur die dosisrelevanten Radionuklide berücksichtigt. Dazu müssen vorher Nuklidvektoren (Nuklidinventar) mittels vollständiger radiochemischer Analysen ermittelt werden (Eikenberg et al., 2008). Die radiologische Anlagencharakterisierung beinhaltet die Messung von Spezialnukliden wie Alpha-Strahlern, Tritium, ^{90}Sr , ^{63}Ni , ^{55}Fe , etc. entsprechend ihrer Relevanz (Tabelle 2).

Anwendung von Analysemethoden

Analysemethoden, die sich für die Analytik in der Umweltüberwachung bewährt haben, lassen sich auch auf die Analytik von Proben im Rahmen der Freigabe anwenden. Eine Vielzahl der dosisrelevanten Radionuklide können mit relativ geringem Aufwand über Direktmessungen mit Hilfe der hochauflösenden Gammaskpektrometrie (im Labor oder *In Situ*) nachgewiesen werden (Eikenberg et al., 2008; Corcho, 2016). Bei einigen Radionukliden kann die Bestimmung der Aktivität erst nach einem radiochemischen Abtrennverfahren (zerstörende Analytik) erfolgen (Corcho, 2016). Die Gammaskpektrometrie und die LSC-Methoden können auf über 75% der beim Rückbau von kerntechnischen Anlagen

Radionuklid	HWZ (Jahren)	Typ Strahler	Herkunft
³ H	12.3	β ⁻	Aktivierung
¹⁴ C	5730	β ⁻	Aktivierung
²² Na	2.6	B ⁺ , γ	Aktivierung
³⁶ Cl	302 000	β ⁻	Aktivierung
⁴¹ Ca	100 200	EC	Aktivierung
⁵⁵ Fe	2.7	ε	Aktivierung
⁵⁹ Ni	76 000	ε	Aktivierung
⁶⁰ Co	5.3	β ⁻ , γ	Aktivierung
⁶³ Ni	98.7	β ⁻	Aktivierung
⁹⁰ Sr	28.8	β ⁻	Kernspaltung
⁹³ Zr	1.6 10 ⁶	β ⁻	Aktivierung
⁹³ Mo	4.0 10 ³	EC, X	Aktivierung
⁹⁴ Nb	2.0 10 ⁴	β ⁻ , γ	Kernspaltung
⁹⁹ Tc	2.1 10 ⁵	β ⁻	Kernspaltung
¹⁰⁶ Ru	1.0	β ⁻ , γ	Kernspaltung
^{108m} Ag	438	EC, γ	Aktivierung
¹²⁵ Sb	2.8	β ⁻ , γ	Kernspaltung
¹²⁹ I	1.6 10 ⁷	β ⁻ , γ	Kernspaltung
¹³³ Ba	10.5	ε, γ	Aktivierung
¹³⁴ Cs	2.1	β ⁻ , γ	Aktivierung
¹³⁵ Cs	2.3 10 ⁶	β ⁻	Kernspaltung
¹³⁷ Cs	30.1	β ⁻ , γ	Kernspaltung
¹⁵² Eu	13.5	ε, β ⁻ , γ	Aktivierung
¹⁵⁴ Eu	8.6	β ⁻ , γ	Aktivierung
¹⁵⁵ Eu	4.8	β ⁻ , γ	Aktivierung
^{166m} Ho	1200	β ⁻	Aktivierung
²³⁴ U	2.5 10 ⁵	α, γ	Rohstoff
²³⁵ U	7 10 ⁸	α, γ	Rohstoff
²³⁶ U	2.3 10 ⁷	α	Aktivierung
²³⁷ Np	2.1 10 ⁶	α	Zerfall
²³⁸ U	4.5 10 ⁹	α	Rohstoff
²³⁸ Pu	88	α	Aktivierung
²³⁹ Pu	2.4 10 ⁴	α	Aktivierung
²⁴⁰ Pu	6.6 10 ³	α	Aktivierung
²⁴¹ Pu	14.3	β ⁻	Aktivierung
²⁴¹ Am	432.6	α, γ	Aktivierung
²⁴³ Cm	28.9	α,	Aktivierung
²⁴⁴ Cm	18	α	Aktivierung

Tabelle 2: Relevante Radionuklide (Halbwertszeit – HWZ > 1 Jahr) für den Rückbau von Kernanlagen (Siedewasserreaktor) (IAEA, 1998; Eikenberg et al., 2008).

vorkommenden Radionuklide angewendet werden (Eikenberg et al., 2008). Nimmt man die Alphaspektrometrie- und Gas-Proportionalzähler-Methoden dazu, so machen Kernstrahlungsmessmethoden über 99% aus. Die Massenspektrometrie wird im Rückbau sehr selten angewandt und hat einen Anteil von weniger als 1% (Eikenberg et al., 2008).

Forschungsprogramm unterstützt Stilllegungsaktivitäten

In Zukunft wird sich die Forschung des Labor Spiez auf die Entwicklung radiochemischer Methoden zur Bestimmung schwer messbarer Betastrahler konzentrieren, wie ⁵⁵Fe, ⁶³Ni und ⁶⁹Ni (Flüssigszintillationszählung) und ¹³⁵Cs (Massenspektrometrie). Dazu ist eine weitere Zusammenarbeit mit den IAEA ALMERA Laboratories geplant. In der letzten Phase des Forschungsprogramms werden sich die Arbeiten auf die Isotope ¹⁴C, ³⁶Cl und ¹²⁹I konzentrieren.

Mit diesem Programm wird das LS seine analytischen Fähigkeiten deutlich erweitern und kann damit eine wesentliche Rolle bei der Überprüfung/Kontrolle radiologischer Charakterisierungsaktivitäten im Zusammenhang mit der bevorstehenden Stilllegung des KKW Mühleberg übernehmen.

Referenzen

- [1] BKW (2015) *Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg. Teilbericht 2: Umweltverträglichkeitsbericht*; B + S Ingenieure und Planer.
- [2] Corcho J. (2015) *Schnelle Bestimmung des Sr-89 und des Sr-90 in Milchproben mittels Flüssigszintillationszähler (LSC)*; Labornotiz LN-2015-01-CORJ, LABOR SPIEZ
- [3] Corcho J. (2015) *Bestimmung von Tritium und der Gesamt-Alpha und -Beta Aktivitätskonzentration in Wasserproben mittels Flüssigszintillationszähler (LSC)*; Labornotiz LN-2015-4-CORJ, LABOR SPIEZ
- [4] Corcho J. (2016) *Stilllegung kerntechnischer Anlagen: Rückbauanalytik*; Labornotiz LN-2016-03-CORJ, LABOR SPIEZ.
- [5] Eikenberg, J., A. Fuchs, A. Hefner, W. Kukla and C. Wilhelm (2008) FS-78-15-AKU: *Loseblattsammlung 3.4.2. Methodenübersicht zur Radionuklidanalytik beim Anlagenrückbau in Empfehlungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität*; D.-S.F.f.S. e.V., Editor, p. 13.
- [6] ENSI 71/39 (2017) *Gutachten zum Stilllegungsprojekt des Kernkraftwerks Mühleberg*; <https://www.ensi.ch/de/dokumente/gutachten-zum-stilllegungsprojekt-des-kernkraftwerks-muehleberg/>
- [7] IAEA (1998) Technical Report Series No. 389: *Radiological Characterization of Shut Down Nuclear Reactors for Decommissioning Purposes*; IAEA, Vienna, Austria. 184.
- [8] Sahli H., S. Röllin, V. Putyrskaya, E. Klemm, B. Balsiger, M. Burger, J.A. Corcho Alvarado (2017) *A procedure for the sequential determination of radionuclides in soil and sediment samples*; J Radioanal Nucl Chem 314: 2209–2218.
- [9] Sahli H., S. Röllin, J. Corcho (2017) *Determination of ⁹⁹Tc in environmental samples and depleted uranium penetrators using ICP-MS*; J Radioanal Nucl Chem 311: 1633–1642.

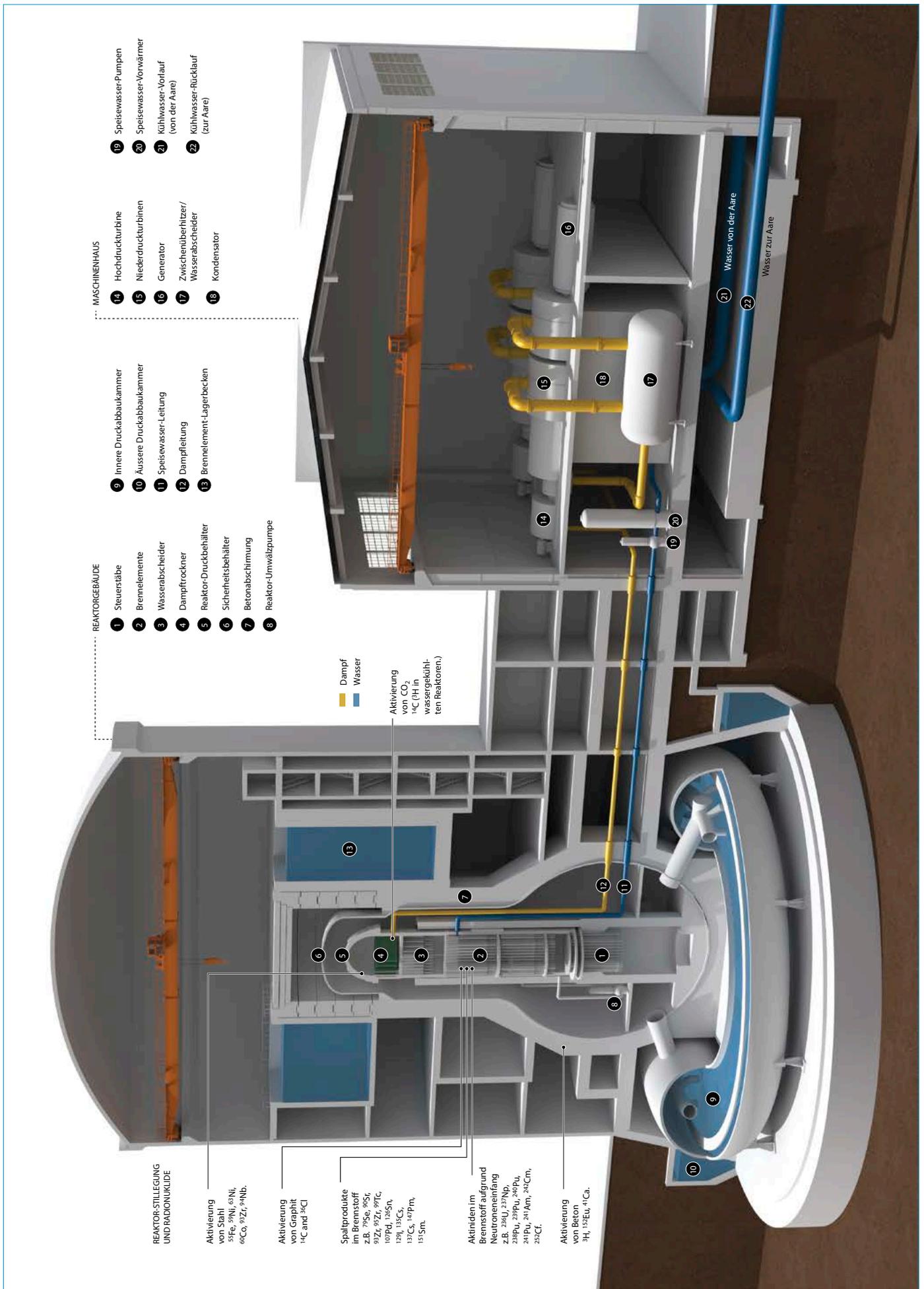
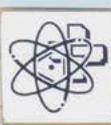


Abbildung 2: Querschnitt Reaktor Mühleberg



Am 19. Juni 2017 übergab David Osborn, IAEA-Direktor für Umweltlaboratorien (4vI) die Anerkennungsurkunde an das LS



Das Labor Spiez ist Collaborating Centre der IAEA

Dr. Mario Burger

Das Labor Spiez hat 2017 die Designierung als Collaborating Centre der Internationalen Atomenergiebehörde IAEA erhalten. Collaborating Centres sind wissenschaftliche Institutionen, die mit IAEA-Divisionen zusammenarbeiten, etwa in den Bereichen Umweltschutz, Nahrungsmittelsicherheit, Ressourcenmanagement, Gesundheitswesen, Qualitätssicherung und Ausbildung. Derzeit unterhält die IAEA Kooperationsverträge mit rund 20 Institutionen weltweit. Die Zusammenarbeit mit Spiez konzentriert sich darauf, die Angebotspalette und das Qualitätsniveau des Labornetzwerks der IAEA zu steigern.

Ein Collaborating Centre (CC) unterstützt die IAEA bei der Umsetzung ausgewählter Aufgaben innerhalb der Mehrjahresplanung und den Programmen in den Divisionen der Organisation. Selektionskriterien für die Anerkennung als Collaborating Centre sind u. a. die wissenschaftlich-technische Reputation des Instituts, die Anzahl Veröffentlichungen im zu bearbeitenden Gebiet, der Vernetzungsgrad im nuklearwissenschaftlichen Umfeld sowie die Stabilität des betreffenden Mitgliedstaats in Bezug auf Personal, wissenschaftliche Aktivitäten und Finanzierungsmöglichkeiten.

Die Zusammenarbeit des Labor Spiez mit der IAEA betrifft einerseits das ALMERA Netzwerk.¹ Dies ist ein Verbund aus rund 100 nationalen Laboratorien mit unterschiedlicher Spezialisierung, die bei einer Freisetzung von Radioaktivität Umweltproben analysieren können. Auf der anderen Seite konzentriert

¹ ALMERA = Analytical Laboratories for the Measurement of Environmental Radioactivity

sich die Zusammenarbeit auf radioanalytische Prüfverfahren auf höchstem Standard.

ALMERA

Als Collaborating Centre nimmt das Labor Spiez innerhalb von ALMERA heute eine aktivere Rolle ein als dies bis 2016 der Fall gewesen ist. Hauptaufgabe ist die Erhöhung der Qualität der Messresultate im Netzwerk. Spiez arbeitet dazu mit den IAEA-Laboratorien Monaco und Seibersdorf zusammen sowie mit dem CC Ungarn (Referenzmaterialien) und dem CC Südkorea (Methodenentwicklungen). Dabei wird die Entwicklung robuster Analyseverfahren für Umweltproben vorangetrieben, es werden neue Messtechniken im Feld eingeführt und die Qualitätsgedanken im Netzwerk soll generell erhöht werden.

Das CC Spiez ist auch an Ringversuchen beteiligt. Jedes Jahr werden drei bis fünf analytisch anspruchsvolle Materialien den teilnehmenden ALMERA Laboratorien für den Test zugestellt. Die Laboratorien sind angehalten, ein erstes Analyse-Reporting innerhalb 48 Stunden sowie einen Bericht innerhalb von 3 Monaten abzuliefern. Das Labor Spiez hat bis dato sämtliche dieser Proficiency-Tests mit Bestnoten bestanden.

Die Messtechniken im Feld umfassen unterschiedliche Messmethoden, hauptsächlich jedoch die in-situ-Gammaspektrometrie, die in ALMERA eingeführt werden soll. Da diese Technik in Spiez gut etabliert ist, wurde bereits im 2015 ein Grundkurs organisiert. 2017 war Spiez wesentlich beteiligt an einem Workshop in Ungarn, und 2018 findet ein Kurs in Kasachstan statt. Die in-situ-Gammaspektrometrie findet zudem Anwendung im IAEA RANET Netzwerk², in welches das Labor Spiez ebenfalls integriert ist.

IAEA-Fellowships

Aufgrund seiner aktiven Rolle in den Netzwerken der IAEA sowie dank weiteren Projekten aus dem Bereich der Nuclear Security, gekoppelt mit der Designierung als Collaborating Centre, hat das Labor Spiez die Möglichkeit, wissenschaftliche Praktika (Fellowships) der IAEA in spezifischen Projekten zu integrieren. 2017 wurden zwei Fellowships realisiert:

Fellowship 1

- Literaturrecherche zu Gamma-Object-Measurement (GOM)
Anwendung von ISOCS/LABSOCS und Simulation von radioaktivem Material.

- Anwendung von Feldmessgeräten zur Identifikation von radioaktivem Material aus dem natürlichen, medizinischen, industriellen und technischen Umfeld.
- Entwickeln von Anweisungen und Strategien für die Messung von radioaktivem Material im Feldeinsatz, speziell bei herrenlosem radioaktiven Material (in Containern, Lastwagen etc.) für die Anwendung mit der Einsatz-equipe VBS (A-EEVBS).

Fellowship 2

- Weiterentwicklung der radiochemischen Methoden zur Bestimmung von Radium Isotopen (228-Ra, 226-Ra, 224-Ra und 223-Ra) in Wasser.
- Literaturrecherche und Studium der international eingeführten Methoden. Methodenentwicklung unter Einhaltung höchster Qualitätsstandards nach ISO/EN 17025.
- Vergleich der Methoden mit Bestimmungsgrenzen, Zeitaufwand etc. Erstellen einer umfassenden Labornotiz und Vorbereitung einer Publikation für ALMERA

Technische Kooperationsprojekte

Seit Jahren unterstützt das Labor Spiez technische Kooperationsprojekte der IAEA, insbesondere Capacity Buildings zu Messtechnik, Probenahme, Auswertung und Qualitätssicherung. Im Berichtsjahr wurden mit LS-Experten die folgenden Missionen unterstützt:

1. 08.02.–10.02.2017: IAEA data evaluation workshop on determination of low activity radio-caesium in freshwater held in Vienna (Austria) (IAEA, 2016a).
2. 26.06.–30.06.2017: IAEA regional workshop on sampling procedures for water and sediment sample held in Kozloduy (Bulgaria) (IAEA, 2016a).
3. 27.11.–01.12.2017: National training course in basic aspects of radiation protection and environmental radioactivity, held in Majuro (RMI) (IAEA, 2016b).
4. 04.12.–08.12.2017: Training on sampling and pre-treatment techniques and to collect samples as part of a baseline study, held in Majuro (RMI) (IAEA, 2016b).
5. 16.12.–23.12.2017: Training on analysis of noble gases and tritium, and support the groundwater sampling campaign, held in Thailand (IAEA TC Project THA7005).
6. Mission Marshall Islands (vgl. Kasten, Seite 10)

Daneben hat das Labor Spiez diverse IAEA Programme zur Bestimmung von Radioisotopen in anspruchsvoller Matrix unterstützt, etwa die Bestimmung von Plutonium in

IAEA-Mission Marshall Inseln

Die Republik der Marshall Inseln (RMI) liegt zwischen Hawaii und Australien und erstreckt sich über 29 Koralleninseln. In den 1940er und 1950er Jahren unternahm die USA 66 Atomwaffentests in den Bikini- und Enewetak-Atollen der RMI, weil diese weitab von allen regulären Schifffahrts- und Flugverkehrsrouten lagen. Die Versuche führten zu einer schweren radioaktiven Kontamination zahlreicher Inseln. Aufgrund der grossen Besorgnis der lokalen Bevölkerung lancierte die Regierung der Marshall Inseln mit Unterstützung der IAEA ein Projekt zur Überwachung der Radioaktivität auf den Atollen.

Im Dezember 2017 trainierte ein Experte des Labor Spiez als Vertreter der IAEA im Rahmen dieses Projekts Wissenschaftler der lokalen Umweltschutzbehörde und der Behörde für Marine Ressourcen. Der zweiwöchige Trainingskurs konzentrierte sich auf grundlegende Aspekte des Strahlenschutzes und der Umweltradioaktivität (z. B. Expositionspfade, kritische Radionuklide) sowie auf Probenahme und Vorbehandlungstechniken für die Radioaktivitätsanalyse.

Anhand von Fallstudien konnten die Kursteilnehmer Erfahrungen sammeln, wie sie ein Programm für die Überwachung von Umwelt, Nahrungsmitteln und Trinkwasser etablieren und managen können. Die Expertenmission vermittelte die theoretischen Grundlagen der Umweltprobenahme und demonstrierte die erforderlichen praktischen Schritte, um repräsentative Proben sicherzustellen und diese für eine Radioaktivitätsanalyse aufzubereiten. Um die erlernten Fähigkeiten zu üben, wurde im Majuro Atoll eine kleine Stichprobe genommen. Zur weiteren Ausbildung der lokalen Wissenschaftler, sind zusätzliche Missionen geplant. Die Umweltproben werden in mehreren Labors weltweit analysiert, darunter auch in Spiez. Ebenfalls ist beabsichtigt, ausgewählte Wissenschaftler der Marshall Inseln in Spiez auszubilden.



Eingefärbtes Bild des Baker-Tests von 1946 auf den Marshall-Inseln. Hauptziel des Nukleartests war die Erforschung der Wirkung von Atombomben auf Kriegsschiffe. Die von der Druckwelle verursachte Kondensationswolke hat sich aufgelöst und gibt den Blick frei auf die Wassersäule, den Explosionsspilz sowie die Flotte von Zielschiffen. Die Stämme der Palmen am Strand wurden markiert, um die Höhe der Flutwelle messen zu können. (Bild: National Nuclear Security Administration/Nevada Field Office)

Sedimenten aus Meeren, Lagunen etc. und Korallen. Der Einfluss veränderter Meeresspiegel oder Säuregehalte auf sensitive Natursysteme kann mit Messungen, wie sie in Spiez eingeführt sind, besser verstanden werden. (Carnero-Bravo et al., 2016; Carnero-Bravo et al., 2018) Das Labor Spiez ist auch in thematischen Arbeitsgruppen der IAEA involviert. Beispiele sind Reviews zu Tschernobyl und Fukushima, Fragestellungen zur Dekontamination nach radiologischen Grossereignissen sowie Expertengruppen zu Post-Conflict Fragestellungen (z. B. im Irak) – oft in Zusammenhang mit Umweltassessments des Umweltprogrammes der UNO (UNEP).

Unterstützung der Schweizerischen Aussen- und Sicherheitspolitik

Das Engagement der Schweiz in der IAEA muss sich auf ein solides technisches Know-How abstützen, um sich auch in Zukunft als relevanter Akteur in die Themen der internationalen Nuklearenergiepolitik sowie der nuklearen Sicherung und Sicherheit einbringen zu können. Das Labor Spiez als Fachinstitut des VBS leistet neben den Aktivitäten des BFE, des EDA, den Aufsichtsbehörden BAG, suva und ENSI einen erheblichen Beitrag dazu. Die Einbindung des LS als eines der massgeblichen Bundeslabore im radiologischen Umfeld unterstreicht die aussen- und sicherheitspolitischen Zielsetzungen der Schweiz im Bereich der Nuklearwaffen, der friedlichen Nutzung von Kernenergie sowie der stetigen Verbesserung der globalen nuklearen Sicherheit.

Referenzen

- [1] IAEA (2016a): *Technical cooperation project RER7008: Strengthening Capabilities for Radionuclide Measurement in the Environment and Enhancing QA/QC System for Environmental Monitoring (2016–2020)*; Vienna, Austria.
- [2] IAEA (2016b): *Technical cooperation project MHL7001: Developing a National Radioactivity Monitoring Capacity in the Republic of the Marshall Islands (2016–2020)*; Vienna, Austria.
- [3] IAEA (2014a): *Technical cooperation project RLA7019: Developing indicators to determine the effect of pesticides, heavy metals and emerging contaminants on continental aquatic ecosystems important to agriculture and agroindustry (2014–2018)*; Vienna, Austria.
- [4] IAEA (2014b): *Technical cooperation project RLA7020: Establishing the Caribbean observing network for ocean acidification and its impact on harmful algal blooms, using nuclear and isotopic techniques (2014 – 2018)*; Vienna, Austria.
- [5] Carnero-Bravo V., Sanchez-Cabeza J.A., Ruiz-Fernández A., Merino-Ibarra M., Hillaire-Marcel C., Corcho Alvarado J.A., Röllin S., Diaz Asencio M., Cardoso-Mohedano J., Zavala-Hidalgo J. (2016): *Sedimentary records of recent sea level rise and acceleration in the Yucatan Peninsula*; Science of the Total Environment 573: 1063–1069.
- [6] Carnero-Bravo V., J.A. Sanchez-Cabeza, A.C. Ruiz-Fernández, M. Merino-Ibarra, J.A. Corcho-Alvarado, H. Sahli, J.F. Hélie, M. Preda, J. Zavala-Hidalgo, M. Diaz-Asencio, C. Hillaire-Marcel (2018): *Sea level rise sedimentary record and organic carbon fluxes in a low-lying tropical coastal ecosystem*; CATENA 162, 421–430.



Gefahrenherde werden mit Strahlungsmessgeräten lokalisiert

Untersuchungen zur Migration von Abgereichertem Uran



Dr. José Corcho

Das Labor Spiez erhält von der UNO vermehrt Aufträge für Studien zur Auswirkung von Abgereichertem Uran (Depleted Uranium; DU) auf Boden und Grundwasser. Material wird häufig als panzerbrechende Munition eingesetzt. Für diese Aufträge wurden in Spiez neue Nachweisverfahren entwickelt. Die bisherigen Untersuchungsergebnisse zeigen, dass nur in unmittelbarer Nähe zum Auftreffpunkt der Munition erhöhte Ortsdosisleistungen und Urankonzentrationen gemessen werden. Eine längerfristige Überwachung von kontaminierten Gebieten empfiehlt sich daher lediglich für Wasserquellen.

Uran (U) ist ein natürliches Element mit der Ordnungszahl 92. Natururan besteht aus drei verschiedenen Isotopen, zu 99,2745 % aus ^{238}U , zu 0,7200 % aus ^{235}U und zu 0,0055 % aus ^{234}U (Tabelle 1). Für die meisten Anwendungen in der Nukleartechnik reicht der vergleichsweise geringe Anteil an dem spaltbaren ^{235}U (0,7200 %) im Natururan nicht aus, er muss in einem Anreicherungsprozess erhöht werden. Der bei diesem Isotopen-Trennungsprozess übrigbleibende Anteil wird Abgereichertes Uran (Depleted Uranium: DU) genannt. Die spezifische Aktivität von DU, und damit auch die Radiotoxizität, sind für DU um rund 40 % geringer als die von Natururan.

Militärische Anwendung

Im militärischen Bereich wird DU aufgrund seiner hohen Dichte vor allem in Panzerungen und als panzerbrechende Munition eingesetzt. Die Verwendung von DU löst Bedenken über die allfällige Gesundheit- und Umweltrisiken dieses Materials aus (SCHER, 2010). Für die Bewertung eines möglichen Gesundheits- und Umweltrisikos durch den Einsatz von DU-



Abbildung 1: Korrodierte DU-Penetratoren

Isotop	Halbwertszeit (Jahre)	DU Massen Anteil (%)	Natururan Massen Anteil (%)	LEU Massen Anteil (%)	Weapon Grade Massen Anteil (%)
^{234}U	$2,455 \cdot 10^5$	0,00066	0,0055	0,0478	0,934
^{235}U	$7,037 \cdot 10^8$	0,199	0,7200	5,0	93
^{238}U	$4,468 \cdot 10^9$	99,8	99,2745	94,9518	6,07

Tabelle 1: Typische Werte für die Konzentration der Uran Isotope je nach Anreicherungs- respektive Abreicherungsgrad des Materials.

Munition muss dessen Zusammensetzung möglichst genau bekannt sein. Daher hat das Labor Spiez verschiedene Verfahren für den Nachweis und die Charakterisierung von DU-Materialien (insbes. DU-Penetratoren) entwickelt und validiert. Diese Arbeiten umfassen zum einen radiometrische Messungen, zum anderen Spurenanalysen mittels massenspektrometrischer Verfahren.

In DU Munition aus dem Balkankrieg hat das Labor Spiez die Urankonzentrationen sowie die Isotopenzusammensetzung des Urans bestimmt. Tatsächlich konnten Spuren von Plutonium, Neptunium und Technetium im untersuchten DU-Material nachgewiesen werden (Sahli et al., 2017). Das Labor Spiez hat festgestellt, dass das Plutonium in der DU-Munition keine zusätzliche gesundheitliche Gefährdung darstellt. Die Isotopenzusammensetzung stimmt mit der von waffenfähigem Plutonium gut überein. Der Beitrag dieser Kontaminationen zur gesamten Strahlendosis ist jedoch vernachlässigbar.

Verwitterung von Uranmunition

Seit Jahren stellt sich die Frage, wie sich die Munition aus DU bzw. ihrer Überreste in der

Umwelt, speziell im Boden, längerfristig verhält. Im Boden befindliche Uranmunition unterliegt der Verwitterung und Korrosion (Abb. 2), über deren Ausmass und Geschwindigkeit bislang keine ausreichenden Kenntnisse vorliegen. Diese sind für die Beurteilung von Langzeitrisiken jedoch unumgänglich.

Die Migration von Uran im Boden wird neuerdings mehr und mehr auch im Umfeld von Uranminen thematisiert; der Bevölkerungsschutz in Siedlungsgebieten rund um die Abbaugelände von Uran wird langsam ernst genommen. Das Labor Spiez und andere internationale Fachinstitute erhielten in den letzten Jahren vermehrt Anfragen der UNO für Untersuchungen zu diesem Thema (UNEP 2001, 2002, 2003; LS, 2010).

Die Migration von Uran in die Oberflächen- und Grundwässer ist heute auch in Europa und in der Schweiz besonders aktuell, da das Material in bestimmten landwirtschaftlichen Düngern vorkommt.

Internationale Zusammenarbeit

Zur Bearbeitung dieser Fragestellungen hat das Labor Spiez zusätzliche Institute einbe-

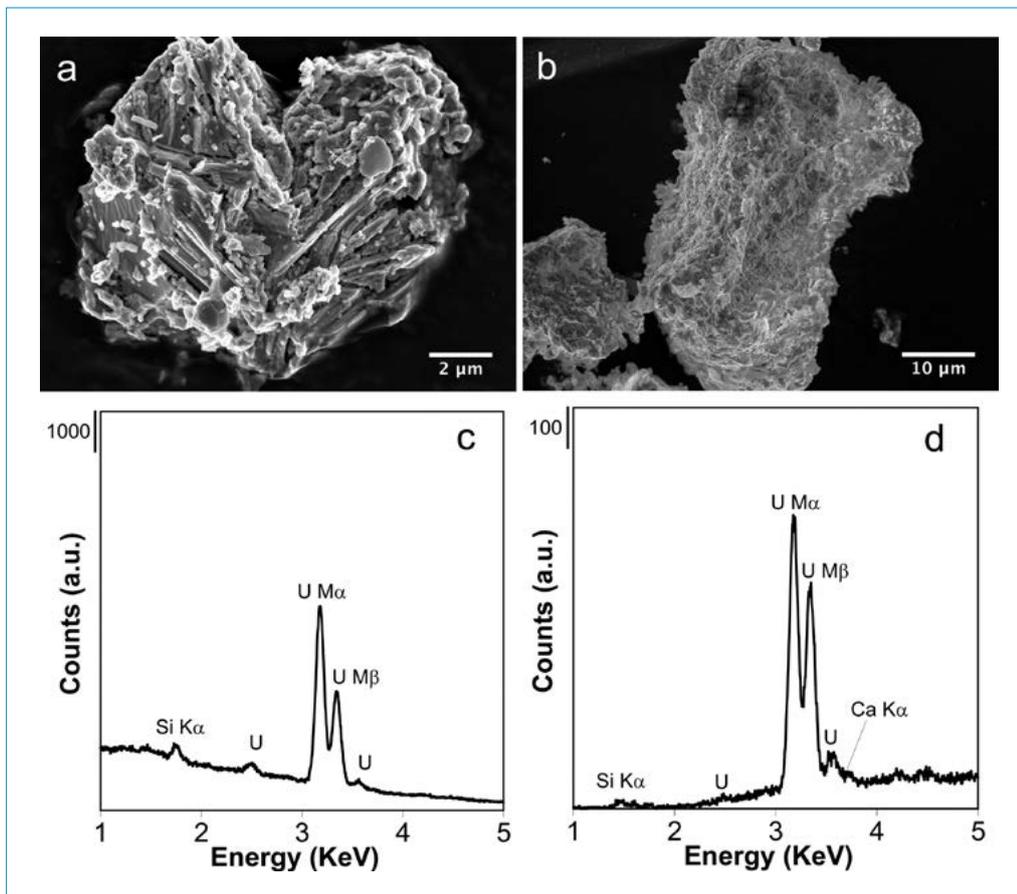


Abbildung 2: Elektronenmikroskopie-Beobachtungsdaten zu Uran-tragenden Partikeln im DU-Korrosionsprodukt eines Penetrators (Wang et al., 2016).

zogen. Studien wurden in Zusammenarbeit mit dem Environmental Microbiology Laboratory, der École polytechnique fédérale de Lausanne – EPFL (Prof. Dr. Rizlan Bernier-Latmani) sowie dem Department of Environmental Geosciences der Universität Wien (Prof. Dr. Stephan Krämer) durchgeführt. Im Rahmen dieser Zusammenarbeit wurden die Korrosionsprodukte intakter DU-Penetratoren beschrieben (von Gunten, 2014; Wang et al., 2016). Untersucht wurden im Rahmen dieses Vorhabens zwei DU-Penetratoren, die dem Labor Spiez zur Verfügung gestellt wurden. Die beiden stark korrodierten Penetratoren lagen in Bosnien und Herzegowina während mehr als 7 Jahren im Boden (Abb. 1).

Es wurde eine Kombination von Röntgenbeugung (XRD) und Elektronenmikroskopie (SEM) an der EPFL (Abb. 2) sowie Röntgenabsorptionsspektroskopie (XAS) vom britischen Synchrotron Diamond Light Source (Abb. 3) verwendet. Die Analyse des Korrosionsproduktes ergab einen Urangehalt von 77%. Die Ergebnisse der Mineralogie zeigten, dass Metaschoepite ein Hauptbestandteil der beiden DU-Korrosionsprodukte war (Abb. 4 und 5; Wang et al., 2016). Darüber hinaus wurden auch

Studtite und Becquerelite in den Korrosionsprodukten identifiziert (Wang et al., 2016). Ihre Entstehung durch Umwandlung von Metaschoepite war das Ergebnis der geochemischen Bedingungen, unter denen die DU-Penetratoren korrodierten. Die Umwandlung von Metaschoepite in Becquerelite oder Studtite in den DU-Korrosionsprodukten scheint die potenzielle Mobilisierung von Uran aus korrodierten DU-Penetratoren, die ähnlichen Umgebungen in Post-Konfliktgebieten ausgesetzt sind, zu verringern (Wang et al., 2016). Die Entdeckung von Studtite im Korrosionsprodukt war eine Überraschung, da es zuvor noch nie in korrodierten DU-Penetratoren berichtet wurde (von Gunten, 2014).

Zur Untersuchung des Verhaltens von Geschossmaterialien in der Umwelt und im Boden wurden Korrosions-Produkte des DU-Penetrators in Säulenversuchen in unterschiedliche Böden eingebracht und das Auslaugverhalten untersucht. Die Säulen wurden mit typischen Böden gefüllt, in einem klimatisierten Labor aufgestellt und wöchentlich beregnet. Vor und nach dem Einbau der DU-Munition wurde die Konzentration der Uran-Isotope in den Säuleneluatn verfolgt. Die Experimente simu-

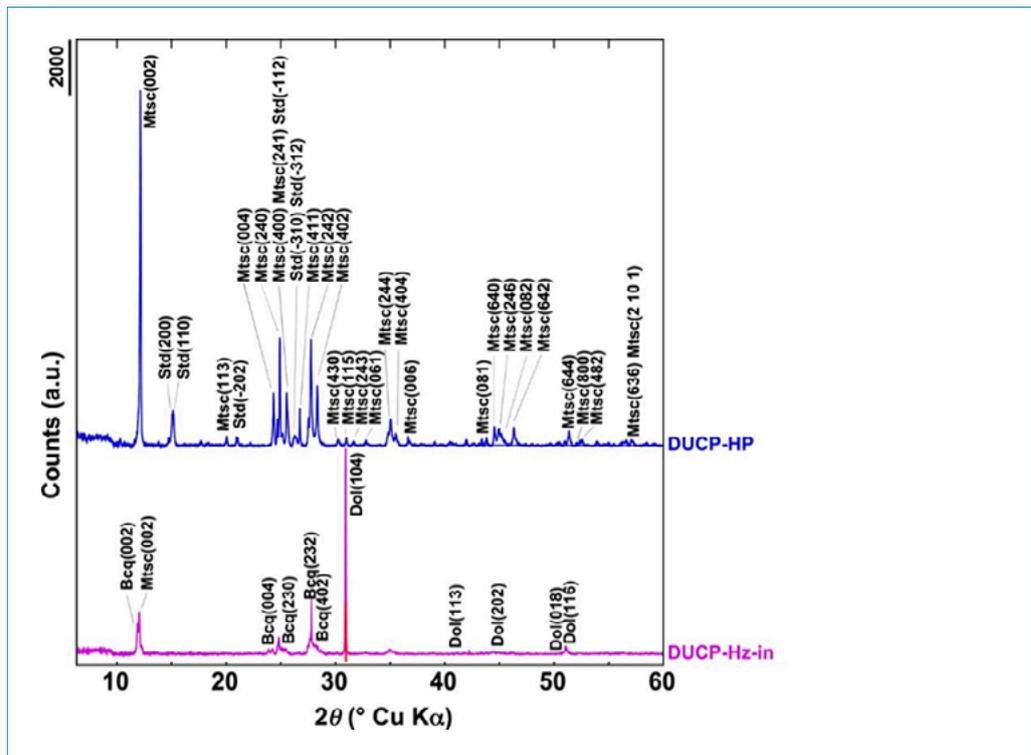


Abbildung 3: XRD-Muster des DU-Korrosionsproduktes (DUCP-HP) und einer Bodenprobe (DUCP-Hz-In). Mtsc = Metaschoepite, Std = Studtite, Bcq = Becquerelite, Dol = Dolomite (Wang et al., 2016).

lierten die Freisetzung von Uran aus den Korrosionsprodukten in den Boden, in Abhängigkeit der biogeochemischen Bedingungen des Bodens. In den Säulen-Versuchen folgendes festgestellt:

1. die Regenmenge, die geochemischen Parameter des Bodens (wie Kalzium, Eisen, der gesamte organische Kohlenstoff und anorganische Kohlenstoffgehalt, pH) und die Mengen an Sand, Schlamm und Ton beeinflussen die Uranmobilität in den Böden;
2. sandige Parabraunerde (Luvisol), die häufig in der Landwirtschaft vorkommt, weist eine hohe Uranmobilität auf;
3. eine gute Retention des Urans zeigt sich in organisch-reichen Histosolen (sauer und neutral) sowie in Karbonat-reichen Böden (Rendzina, Fluvisol).

Für jeden Boden Aliquoten wurden nach mehrmonatiger Exposition mit DU-Korrosionsprodukten gesammelt. Mikro-Röntgenabsorptionsspektroskopie (μ -XAS), Mikro-Röntgenfluoreszenz (μ -XRF), Mikro-Röntgendiffraktometrie (μ -XRD) und Mikro-Röntgenabsorption Near-Edge-Spektroskopie (μ -XANES) an Bodenproben wurden an der microXAS Beamline an der Swiss Light Source (Paul Scherrer Institut) durchgeführt. XANES-Daten zeigten, dass ein signifikanter Anteil des in den Böden immobilisierten Urans in sechswertiger Form vorliegt (Abb. 4a; von Gunten, 2014). μ -XRF, μ -XRD

und μ -XANES zeigten, dass Uran-Hotspots in Bodenproben hauptsächlich in Form von Uranyl- und/oder nicht-kristallinem U(IV) vorliegen (Abb. 4b), insbesondere dort, wo organisches Material (Pflanzenmaterial) verfügbar war (von Gunten, 2014).

Gesundheitliches Risiko vernachlässigbar

Die Untersuchungen von Wasser- und Bodenproben haben gezeigt, dass es selbst an Orten mit nachweisbarem DU Beschuss nicht zu einer grossflächigen Kontamination mit DU kommt (UNEP 2001, 2002, 2003). Erhöhte Werte für die Ortsdosisleistung sowie für die Urankonzentration im Boden beschränken sich auf sehr geringe Distanzen zum Auftreffpunkt der DU-Munition. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass ein gesundheitliches Risiko vernachlässigbar gering ist. Im Wesentlichen kommt nur dem Ingestionspfad für ein mögliches Inkorporationsrisiko eine gewisse Bedeutung zu. Der Inhalationspfad spielt nur eine untergeordnete Rolle. Wenn überhaupt, so ist eine längerfristige Überwachung in kontaminierten Gebieten lediglich für Wasserquellen sinnvoll.

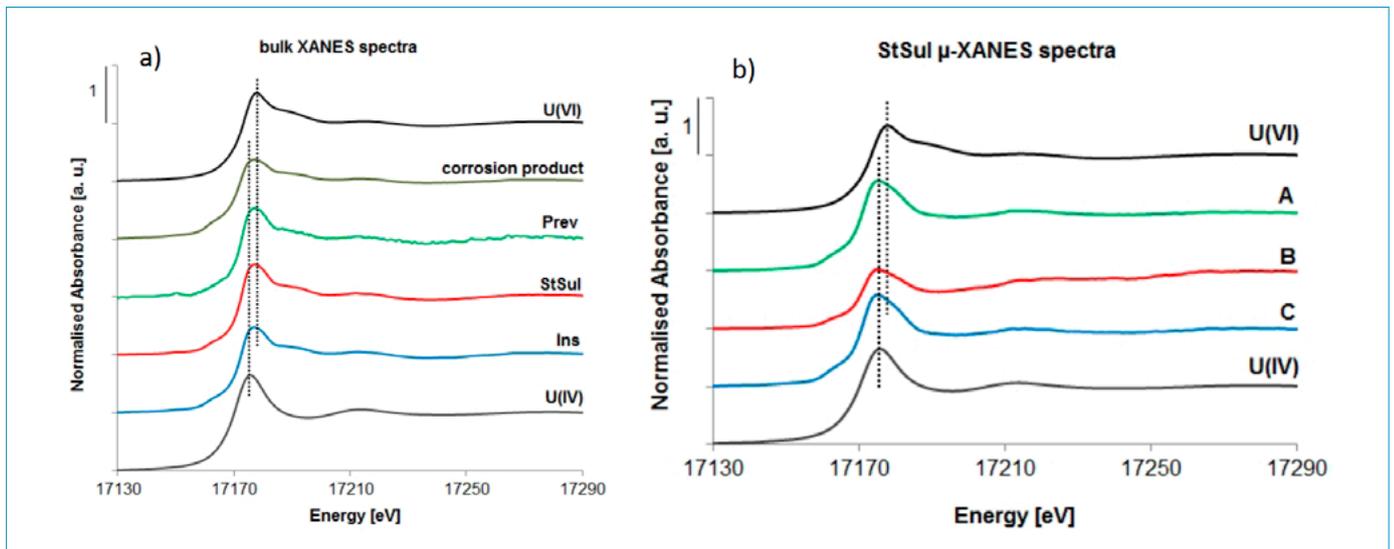


Abbildung 4:

- a): Normalisierte U LIII-Edge XANES-Daten für das DU-Korrosionsprodukt und für einige Bodenproben (Prev, StSul, Ins).
 b): μ -XANES Spektren eines Uran-Hotspots in einer Bodenprobe. Als Standards wurden das U(VI)-Spektrum aus dem Korrosionsprodukt und das U(IV)-Spektrum aus einer nichtkristallinen Probe verwendet.

Referenzen

- [1] Krämer S.M., Schenkeveld W.D.C., Ottman M., Pontz S., Chardi K. (2018): *Migration von Uran in Böden und Grundwasser. Final Report, Collaboration agreement*, Universität Wien.
- [2] LS (2010) Labor Spiez: *Geschäftsbericht 2009*; Spiez, Switzerland
- [3] Sahlí, H., S. Rölin and J.A. Corcho Alvarado (2017): *Determination of ^{99}Tc in environmental samples and depleted uranium penetrators using ICP-MS*; J Radioanal Nucl Chem 311 (3): 1633–1642
- [4] SCHER (2010) *Scientific Committee on Health and Environmental Risks: Opinion on the environmental and health risks posed by depleted uranium*.
- [5] UNEP (2001) *Depleted Uranium in Kosovo. Post-conflict environmental assessment. United Nations Environmental Program*; Geneva, Switzerland.
- [6] UNEP (2002) *Depleted uranium in Serbia and Montenegro: post-conflict assessment in the Federal Republic of Yugoslavia*; United Nations Environmental Program, Geneva, Switzerland.
- [7] UNEP (2003) *Depleted uranium in Bosnia and Herzegovina: Post-conflict Environmental Assessment. United Nations Environment Programme*; Geneva, Switzerland.
- [8] von Gunten K. (2014) *Mobility of depleted uranium in soils*; Master thesis, EPFL, Lausanne, Switzerland
- [9] Wang Y., K.v. Gunten, B. Bartova, N. Meisser, M. Astner, M. Burger, R. Bernier-Latmani (2016) *Products of in Situ Corrosion of Depleted Uranium Ammunition in Bosnia and Herzegovina Soils*; Env Sci Techn 50 (22), 12266–12274



Kim Jong Un im September 2017 während einer Feier für Wissenschaftler, die zu einem Wasserstoffbombentest beigetragen haben



Nordkoreas Kernwaffentests – Warum wissen wir, was wir wissen?

Dr. Christoph Wirz

Das weltweit verteilte Netz an Messstationen der Organisation des Vertrags über das umfassende Verbot von Nuklearversuchen (engl. CTBTO) kann den Ursprungsort von unterirdischen Explosionen punktgenau bestimmen. Die nordkoreanischen Kernwaffentests von Ende 2017 konnten deutlich aufzeigen, dass dieses Mess-System in der Praxis hervorragend funktioniert. Die Schweiz beteiligt sich aktiv an den Arbeiten der CTBTO und leistet einen Beitrag zum Budget der Organisation. Darüber hinaus unterhält die Schweiz in Davos eine seismische Messstation als Teil des Überwachungsnetzes.

In der «Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty» (CTBT) verpflichten sich die Parteien, auf Nuklearexplosionen zu verzichten, diese in ihrem Einflussgebiet zu verhindern, sich weder an einer Nuklearexplosion zu beteiligen, noch andere Parteien zu unterstützen.¹ Die Einhaltung eines Vertrages muss auch kontrolliert werden können. Die Preparatory Commission der CTBTO mit Sitz in Wien arbeitet heute an einem globalen Überprüfungssystem (Bild 1), das eine Nuklearexplosion in der Atmosphäre, unterirdisch oder unter Wasser an jedem Ort der Erde, zu jeder Zeit zuverlässig nachweisen und lokalisieren kann. Das Überprüfungssystem wird nach seiner Fertigstellung folgendes beinhalten:

¹ 183 Staaten haben unterschrieben, 166 haben ratifiziert (Stand April 2018). Der Vertrag tritt erst in Kraft, wenn er von 44 so genannten Annex 2 Staaten ratifiziert ist. Es fehlen Ägypten, China, Iran, Israel und die USA, die den Vertrag nicht ratifiziert haben, sowie Indien, Nordkorea und Pakistan, die nicht unterschrieben haben. Die Schweiz hat den Vertrag 1999 ratifiziert.



Bild 1: globales Überprüfungssystem der CTBTO

- 170 seismologische Messstationen
- 11 Stationen zur Hydroakustiküberwachung (Abhören der Ozeane nach Schallwellen)
- 60 Infraschall-Stationen zur Messung kleinster Luftdruckschwankungen
- 80 Stationen mit Radionuklid-Detektoren zur Erfassung spezieller radioaktiver Partikel, bzw. zur Messung der Konzentration radioaktiver Edelgase, dazu 16 Radionuklid-Laboratorien.
- Ein Datacenter in Wien, wo alle Daten zusammenlaufen und ausgewertet werden.

Aktuell (April 2018) sind von diesen 337 Messstationen 294 installiert und zertifiziert. Das Datacenter in Wien ist operationell und verbessert laufend die Software und Methoden zur Auswertung dieser Daten. Sowohl die Daten, als auch die Auswertungen werden den Mitgliedsländern zur Verfügung gestellt. Es sind die Mitgliedsländer, die mit den Daten der CTBTO die Einhaltung des Vertrages überprüfen und bei einem Verdacht auf einen unterirdischen Kernwaffentest eine Inspektion vor Ort fordern können.

Die nordkoreanischen Kernwaffentests

Das nordkoreanische Staatsfernsehen hat Anfang September 2017 berichtet, der Test einer Wasserstoffbombe vom 3. September 2017 habe eine *«beispiellose Kraft»* entfaltet und sei ein *«absoluter Erfolg»* gewesen. Damit könne Nordkorea auch eine Langstreckenrakete be-

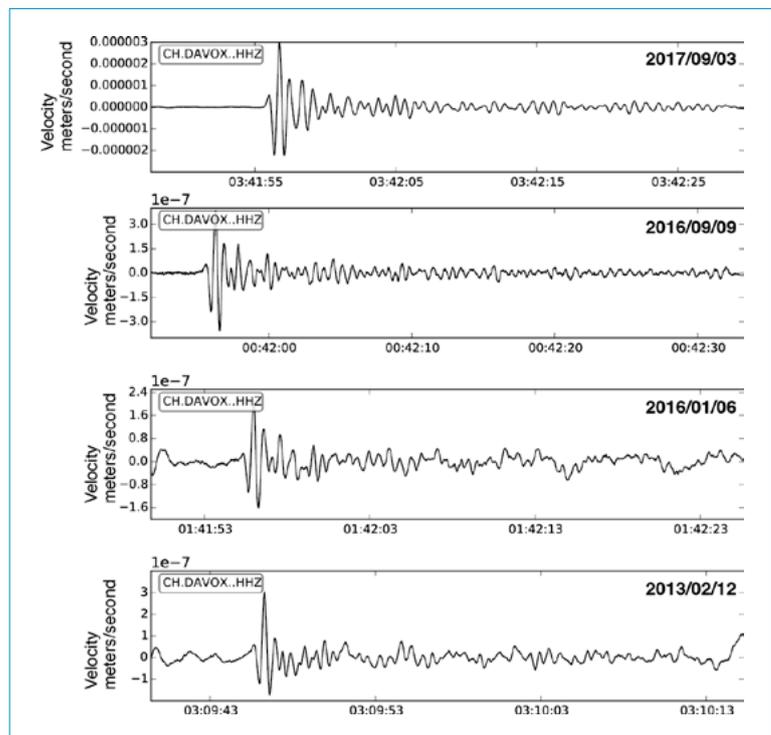


Bild 2: Seismik-Signal, aufgezeichnet von der CTBTO Station in Davos. <http://www.seismo.ethz.ch/de/home/>

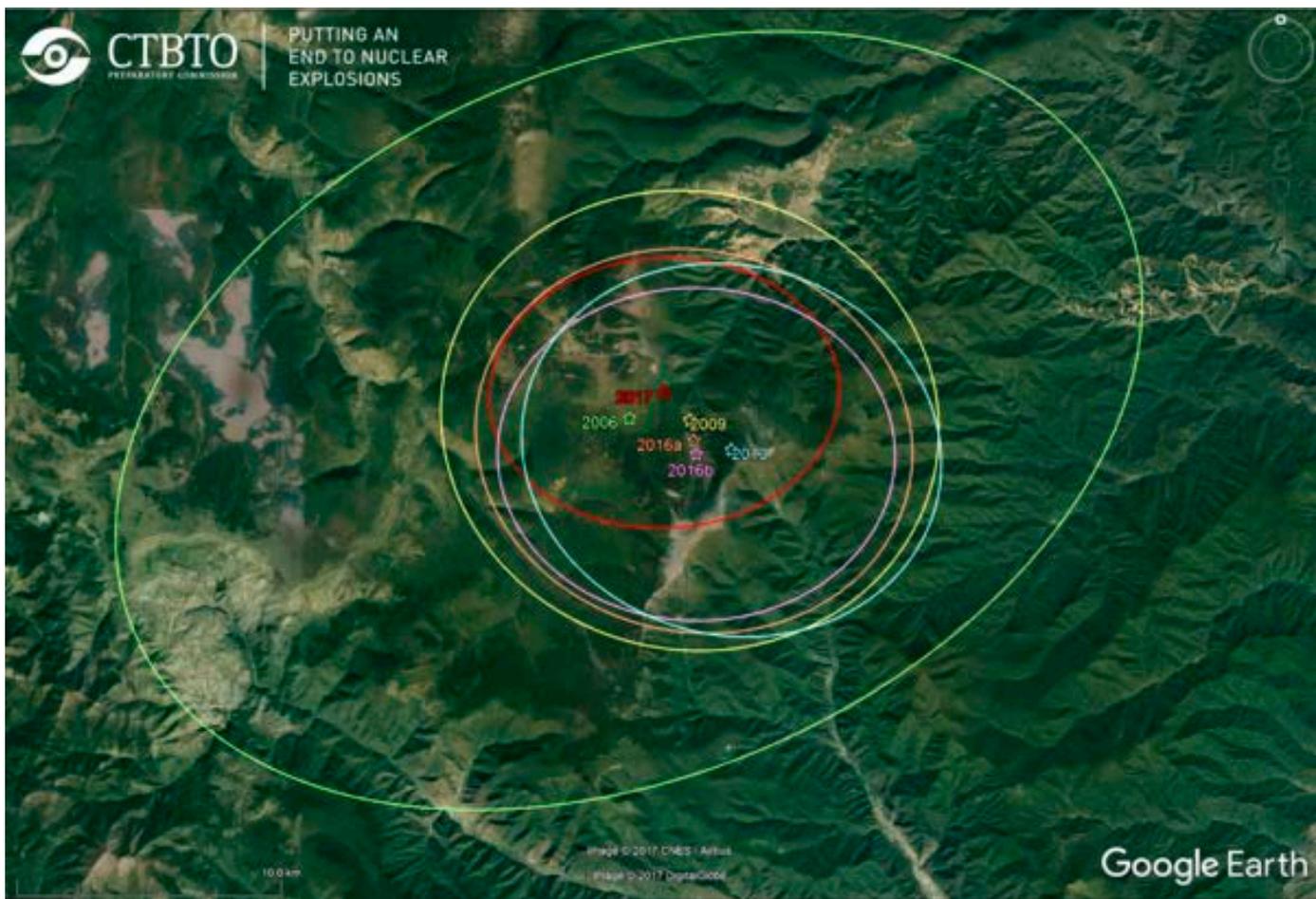


Bild 3: Berechnete Positionen der Nordkoreanischen Tests mit Fehlerellipsen. Die Position des Tests von 2017 ist am genauesten, weil zu diesem Zeitpunkt der Aufbau des International Monitoring System IMS am weitesten fortgeschritten war.
<http://pws.ctbto.org/the-treaty/developments-after-1996/2017-sept-dprk/technical-findings/>

stücken. Die erfolgreiche Zündung sei ein «sehr bedeutsamer Schritt», um «die staatliche Nuklearmacht zu vervollständigen», sagte die Sprecherin des Staatsfernsehens weiter.

Die Signale der Explosion wurden von den Seismik-Stationen der CTBTO, unter anderem auch von der Schweizer Station DAVOX (Bild 2), aufgezeichnet. Mit den Analyseprogrammen der CTBTO liess sich anhand der Form der Seismik-Signale feststellen, dass es sich bei den Erschütterungen um eine Explosion und nicht um ein Erdbeben handelte.

Die CTBTO konnte aufgrund der Messungen von mehr als 130 Stationen die Position und die Magnitude der Explosion berechnen. Auch Infraschall und Hydroakustik wurden mitberücksichtigt (Bild 3).

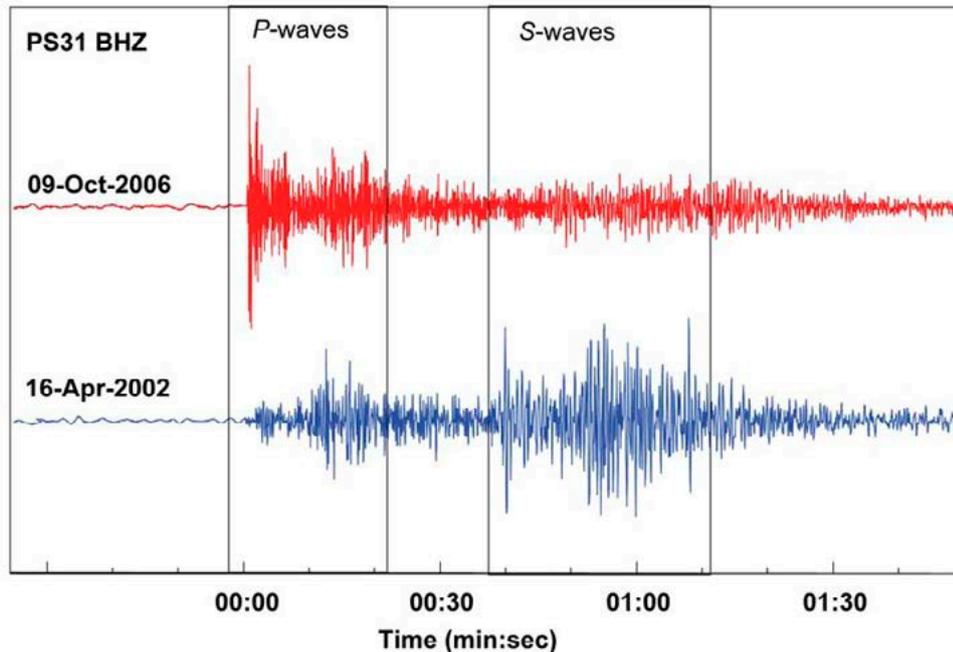
Nordkorea hat offenbar diesen sechsten Kernwaffentest, wie auch die fünf vorherigen, auf dem Testgelände Punggye-ri, im Nordosten des Landes, durchgeführt. Es war die mit Ab-

stand stärkste Testexplosion, welche eine Energie von etwa einer viertel Megatonne freisetzte. Das entspricht einem Sprengäquivalent von 250 000 000 kg des konventionellen Sprengstoffs TNT (Tabelle 1).

Der Vergleich der Seismik-Signale der sechs Explosionen liefert zudem die relativen Positionen der Tests zueinander – dies auf wenige 100 Meter genau. Die Kombination dieser Informationen mit Satellitenbildern zeigt zudem, dass der jüngste Test ebenfalls unter dem 2205 m hohen Mt. Mantap stattgefunden hat. Ob es, wie von den Nordkoreanern behauptet, eine Wasserstoffbombe war, lässt sich nicht abschliessend beurteilen. Solche Kaliber sind zwar typisch für zweistufige Kernwaffen (Fission und Fusion), was die nordkoreanische Behauptung stützt, eine Wasserstoffbombe gezündet zu haben. Ein Beweis ist dies aber nicht, gab es doch in den 50er Jahren Kernwaffentests (damals noch in der Atmosphäre) mit noch stärkeren, reinen Spaltwaffen.

Beben oder Explosion?

Ein Seismogramm enthält Informationen über das Ereignis und über die Wege der verschiedenen Wellen vom Ort des Bebens oder der Explosion bis zur Messstation. Bei einem Erdbeben (blau) zeigt das Seismogramm anfangs kleinere P-Wellen (primary) und dann grössere S-Wellen (secondary). Bei einer Explosion (rot) hingegen reagieren die Messgeräte am Anfang stark, wenn sie von der Druckwelle erreicht werden. P- und S-Wellen nehmen ihren Weg durch die Erdkugel. Sie unterscheiden sich in ihren Schwingungsrichtungen (longitudinal vs. transversal). Sowohl P- als auch S-Wellen gehen den Oberflächenwellen voraus (hier nicht gezeigt). Oberflächenwellen sind langsamer und energiereicher und verursachen entsprechend grössere Schäden. <http://pws.ctbto.org/verification-regime/the-international-data-centre/waveform-data-processing-and-analysis/>



Aus den Isotopenverhältnissen von radioaktiven Stoffen, die aus dem Untergrund entweichen, lassen sich Rückschlüsse auf die Art der Kernexplosion ziehen. Insbesondere das Edelgas Xenon wäre ein guter Indikator. Xenon gehört zu jenen Stoffen, die bei einer Freisetzung besonders schnell entweichen – zum Beispiel aus Kernkraftwerken oder aus Isotopenproduktionsanlagen für medizinische Anwendungen. Xenon wird aus der Atmosphäre nicht durch Regen ausgewaschen und kann daher leicht über grössere Entfernungen transportiert werden. Allerdings fand der nordkoreanische Test sehr tief im Untergrund statt. Deshalb waren die Versuche, in der Atmosphäre Spuren radioaktiver Spaltprodukte nachzuweisen, nicht erfolgreich und daher sind keine genaueren Aussagen über die Art der Explosion möglich.

Das Überprüfungssystem der CTBTO wurde zwar zur Detektion von Kernwaffentests entwickelt, doch sind seine zivilen Anwendungen

Zeitpunkt des Kernwaffentests	Body Wave Magnitude mb nach CTBTO	Kaliber [kt]
Oktober 2006	4.08	0.5
Mai 2009	4.51	1–3
Februar 2013	4.92	10
Januar 2016	4.82	5
September 2016	5.09	10–15
September 2017	6.07	200–300

Tabelle 1: Body Wave Magnituden mb der Nordkoreanischen Tests nach CTBTO und daraus abgeschätzte Kaliber.

unterdessen ebenso wichtig. Dazu gehören das Tsunami Warnsystem, Klimastudien, die Beobachtung des Pfades von Eisbergen, die Lokalisierung von Meteoriteneinschlägen, oder im Falle einer Freisetzung von radioaktivem Material, die Ermittlung des Freisetzungsortes sowie die Abschätzung der in die Atmosphäre abgegebenen Menge an Radioaktivität.



Dekontamination des Gebäudes der Gemeindeverwaltung in der japanischen Stadt Okuma im Dezember 2011



Dekontamination in städtischer Umgebung

*Dr. Emmanuel Egger,
Jasmin Ossola,
Cédric von Gunten,
Marc Stauffer,
Labor Spiez*

Tom Hofmann, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW

Ein Anschlag mit einer radiologischen Bombe in einer Grossstadt hätte schwerwiegende Konsequenzen für die Wirtschaft, falls ganze Quartiere gesperrt und die Bewohner evakuiert werden müssten. Aus diesem Grund ist es nützlich zu wissen, wie sich ein städtisches Gebiet effizient dekontaminieren lässt. Untersuchungen zeigen, dass radioaktives Material nur langsam in die Baumaterialien eindringt. Zudem wäre es überflüssig, kostspielige Dekontaminationsmittel einzusetzen. Mit Wasser erreicht man dieselben Ergebnisse.

Nach den Katastrophen von Tschernobyl und Fukushima wurde zwar die Dekontamination von Baustoffen untersucht, jedoch kann aus der vorhandenen Literatur nicht auf die Situation in urbanen Gebieten der Schweiz gefolgert werden, da in der Schweiz teilweise andere Materialien – etwa Sandstein – verwendet werden. Aus diesem Grund hat das Labor Spiez zusammen mit dem Institut für Facility Management der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften ZHAW ein Forschungsprojekt zur wirksamen Dekontamination in städtischer Umgebung realisiert.

Für dieses Projekt wurden Baumaterialien, wie sie in den historischen Zentren von Schweizer Städten verwendet wurden, mit Cäsium kontaminiert, im Klimaraum des Labor Spiez künstlich gealtert und der Witterung ausgesetzt. Zu verschiedenen Zeitpunkten wurde überprüft, wie sich das Cäsium im Material ausbreitet und durch Witterungseffekte ausgewaschen wird. Gleichzeitig wurden die Materialproben dekontaminiert mit reinem Wasser, mit zwei unterschiedlichen Latexmembranen sowie mit diver-

sen Dekontaminationsschäumen, wie sie auch die Schweizer Armee benutzt.

Für die Versuche wurden Baumaterialien wie Beton und Sandstein sowie unglasierte Dachziegel verwendet. Die Proben bestanden einerseits aus Materialplatten für Beton und Sandstein sowie aus ganzen Ziegeln. Zusätzlich wurden aus diesen Materialien Würfel mit einer Diamantsäge ausgeschnitten. Generell zeigt sich bei allen Materialien ein ähnliches Verhalten: Die Kontamination dringt in der Regel nur bis in das obere Drittel der untersuchten Schichtdicke ein (1cm). Im untersten Drittel kann, mit Ausnahmen, jeweils nur noch wenig Cäsiumchlorid nachgewiesen werden (ca. 10% der Oberflächenkonzentration). Beregnung verstärkt die Migration (des Cäsiums) und führt z.B. bei Beton zu einem etwa dreimal höheren Endwert im untersten Segment. Auch in unglasierten Ziegeln kann in der Tiefe mehr Cäsium nachgewiesen werden.

Kontamination der Materialproben

Ein Teil der Materialproben wurde durch Explosion einer Bombe (2kg Plastit) mit 200g beigemischem Cäsiumchlorid (CsCl) im Sprengbunker der armasuisse in Thun kontaminiert, was eine möglichst realitätsnahe Nachbildung der Wirkung einer radiologischen Bombe erlaubte. Wie erwartet wurden die Materialien unregelmässig kontaminiert.

Der Rest der Materialien wurde im Labor kontaminiert. Dazu benutzte man eine Lösung aus einem Liter Wasser mit 13g CsCl. Mit einer Eppendorf-Pipette wurde aus dieser Lösung 10 Mikroliter Flüssigkeit auf jede Materialprobe deponiert. Die Würfel wurden jeweils mit einem Tropfen kontaminiert, die grossen Proben mit jeweils einem Tropfen alle 3cm.

Alterung der Proben im Klimaraum

Da nicht davon auszugehen ist, dass bei einem Ereignis mit radiologischer Kontamination grössere Flächen rasch dekontaminiert werden können, wurden alle Materialproben im Klimaraum künstlich gealtert. Alle Proben wurden – ausser zur Extraktion – bei 25°C und 85% relativer Luftfeuchtigkeit gelagert. Ein Teil der Proben wurde einmal pro Tag mit Trinkwasser 3mm/m² beregnet. Hierzu wurden die gemäss ihrer Kontaminationsausrichtung (horizontal/vertikal) auf SBB Paletten/Schaltafeln gelagerten Prüfkörper über eine Beregnungsapparatur mit automatischer Dosierung beregnet. Das Klima wurde überwacht und dokumentiert. Proben wurden 1, 2, 7, 14, 28, 35 und 140 Tage nach der Kontamination untersucht

Probenaufbereitung und Analytik

Die zu analysierenden Proben wurden je nach Serie aufgearbeitet: Massive Platten wurden direkt mit dem Diamantbohrer trocken ohne Wasserkühlung angebohrt. Die mit Pipette kontaminierten Platten wurden zentrisch über der Kontaminationsstelle angebohrt. Die durch die Explosion kontaminierten Platten wurden zufällig verteilt über die Probenfläche angebohrt. Die vorgeschrittenen Kuben wurden als Ganzes bearbeitet.

Um die Migration in das Material zu bestimmen, wurden Bohrkern und Kuben mittels einer feinen Diamantscheibe in drei Segmente von 3mm Dicke zerteilt, bei zu schwachem Material wie z. T. Sandstein lediglich Oberseite und Rückseite.

Anschliessend wurden alle Proben im Brecher zu feinem Pulver gebrochen und in Polypropylen Vials abgefüllt. Nach jeder Probe wurde der Brecher mit Seesand gereinigt, um eine Kontaminationsverschleppung zu verhindern.

Das Team der Umwelt-Analytik des Labor Spiez bestimmte anschliessend die Proben nach der EPA-Methode 3015A: Die gemahlene Baustoffproben wurden homogenisiert. Das in rund 500mg der gemahlene Probe enthaltene Cäsium wurde mittels einer mikrowellen-unterstützten Methode bei 175°C während knapp 5 Minuten mit konzentrierter Salpetersäure extrahiert. Die so erhaltene Lösung wurde abfiltriert und nach Verdünnung mittels ICP-Massenspektrometrie analysiert.

Ergebnisse

Zuerst wurde die Migration des Cäsiums in das Material untersucht: Die Ergebnisse zeigen, dass Witterungseffekte erst nach 140 Tagen signifikant zur Reduktion der Kontamination beitragen. Bis zu einem Monat nach der Kontamination ist gegenüber dem ursprünglichen Wert kaum eine Abnahme festzustellen.

Parallel zur Untersuchung der Cäsium Migration wurden die Baumaterialien mit verschiedenen Dekontaminationsmitteln behandelt: Zwei Latexmaterialien (Belfor und Latex), drei Dekontaminationsschäume der Schweizer Armee (BX24, SX34 und BX40) sowie Leitungswasser. Die beiden Latexprodukte wurden mit einem Spachtel auf die Materialprobe aufgetragen und einen Tag lang getrocknet. Anschliessend wurden die Latex-Schichten abgezogen. Die Dekontaminationsschäume der Schweizer

Armee wurden gemäss Gebrauchsanleitung aufgebracht. Das Leitungswasser wurde auf die Materialprobe gespritzt. Nach der Dekontamination wurden die Proben auf die Restmenge Cäsium untersucht.

Aus den Ergebnissen der Dekontamination nach 28 Tagen¹ geht eindeutig hervor, dass die beiden Latexprodukte wenig geeignet sind für eine Dekontamination auf Sandstein.² Latexmischungen könnten allenfalls verwendet werden, um die Kontamination zu binden.

Ebenso eindeutig ist, dass die kommerziellen Dekontaminationsschäume nicht besser wirken als Leitungswasser. Für die Einsatzfähigkeit bedeutet dies eine Entlastung: Wasser ist auch im Krisenfall reichlich verfügbar.

Noch eindeutiger fallen die Ergebnisse bei der Dekontamination von Beton aus. Beim Beton ist das Ergebnis mit Latex etwa gleich gut wie mit den Dekontaminationsschäumen BX24 und SX34. Zu diesem Zeitpunkt konnte leider kein BX40 mehr getestet werden, da die Lager aufgebraucht waren. Trotzdem fällt die Dekontamination mit Wasser fast um den Faktor 2 besser aus.

Schlussfolgerungen

- Durch Dekontamination lässt sich die Cäsiumbelastung eindeutig reduzieren. Der erzielte Effekt beträgt je nach Zeitpunkt der Dekontamination und Baumaterial zwischen 50 und 95%.
- In keinem Fall kann eine vollständige Dekontamination erreicht werden. Reines Wasser ist in der Regel den kommerziellen Mitteln ebenbürtig oder gar überlegen. Es ist daher unnötig, Dekontaminationsprodukte zu kaufen, zu lagern und nach Ablauf des Verfalldatums neu zu beschaffen.

¹ Die Dekontamination muss nicht zwingend unmittelbar nach dem Ereignis stattfinden. Die Experimente zeigen keine Nachteile bei einer verzögerten Dekontamination, im Gegenteil: Langfristig tragen die Witterungseffekte dazu bei, dass ein Teil der Kontamination ausgewaschen wird. Allerdings geschieht dies unkontrolliert und die Kontamination wird in der Regel via Abwasser in andere Gebiete transportiert. Dies wiederum spricht dafür, die Dekontamination so rasch wie möglich anzugehen.

² Auch wenn die beiden Latexprodukte nicht für eine Dekontamination geeignet sind, könnten sie nützlich sein: Das Auftragen einer Latexschicht kann eine Verschleppung der Kontamination verhindern, was sich als sinnvoll erweisen könnte.



Bleibehälter zur Abschirmung von radioaktivem Material

Bleianalytik in der nuklearen Forensik



Die nukleare Forensik liefert den Ermittlungsbehörden in der Bekämpfung des Nuklearterrorismus wichtige Indizien zur Nachverfolgung radioaktiver Quellen. Die Schweiz unterstützt damit als Partnerland die *Global Initiative to Combat Nuclear Terrorism*. Zur Abschirmung von radioaktiven Quellen wird häufig Blei verwendet. Die Analyse der Verunreinigungen des Bleis sowie der Isotopenverhältnisse unterstützt dabei die nukleare Forensik. Da die Analysetechniken für das Abschirmmaterial Blei die gleichen sind wie für herkömmliche Bleikern-Geschosse, könnten damit auch klassische kriminaltechnische Untersuchungen im Zusammenhang mit Schusswaffen unterstützt werden.

In der nuklearen Forensik werden Proben analytisch untersucht, um Informationen über deren chemische Zusammensetzung und die Isotopenverhältnisse zu gewinnen. Aus diesen Parametern lässt sich auf den Anreicherungsgrad, den chemischen Aufbau, die Verunreinigungen sowie die Nebenprodukte schließen. Diese Daten können helfen, die Herkunft, die Herstellungsweise oder die Verwendungsart einer radioaktiven Quelle oder eines Nuklearmaterials zu ermitteln, und sie können den Behörden wie Nachrichtendienst, fedpol oder Bundesanwaltschaft Indizien zur Nachverfolgung einer radioaktiven Quelle liefern. Diese Bestrebungen unternimmt die Schweiz auch im Rahmen der *Global Initiative to Combat Nuclear Terrorism* (vgl. Kasten).

Marc Stauffer,
Cédric von Gunten

Analyse der radioaktiven Quelle

Typisches Untersuchungsobjekt ist die radioaktive Quelle selber: Welche Radionuklide liegen vor? In welchen Isotopenverhältnissen zueinander liegen diese vor? Wurde das Objekt einem Neutronenfluss in einem Reaktor ausgesetzt? Befinden sich die Zerfallsprodukte im



Abbildung 1: Zerspanung der Bleiprobe



Abbildung 2: Zugabe der hochreinen Salpetersäure zu den Bleiprobe in Quarzgefäßen

Die Global Initiative to Combat Nuclear Terrorism (GICNT) ist eine freiwillige Partnerschaft von 88 Nationen und fünf internationalen Organisationen, die sich für eine Stärkung der globalen Kapazitäten zur Verhinderung oder Bewältigung von Nuklearterrorismus einsetzen.

Die Partnerländer, darunter auch die Schweiz, haben sich freiwillig zur Umsetzung der GICNT-Grundsätze verpflichtet – einer Reihe von umfassenden Sicherheitszielen, die verschiedene Abschreckungs-, Präventions-, Erkennungs- und Reaktionsziele umfassen. Diese Grundsätze zielen darauf ab, die Fähigkeit zur partnerschaftlichen Zusammenarbeit bei der Bekämpfung des Nuklearterrorismus zu entwickeln, im Einklang mit den nationalen Behörden sowie internationalen Abkommen zur Bekämpfung nuklearer Terrorakte, dem Übereinkommen über den physischen Schutz von Kernmaterial sowie den Resolutionen 1373 und 1540 des Sicherheitsrates der Vereinten Nationen. Die USA und Russland fungieren als Ko-Vorsitzende des GICNT, während Finnland die Implementation and Assessment Group (IAG) unter leitet. Das GICNT ist offen für alle Nationen, die sich aktiv für die entschlossene und systematische Bekämpfung des Nuklearterrorismus einsetzen.

radiologischen Gleichgewicht? Lässt sich daraus ein Herstellungsdatum der Quelle ermitteln?

Blei als Abschirmmaterial

Weitere Informationen können die Abschirmung oder das Behältnis der Quelle liefern. Die Abschirmungen bestehen häufig aus Blei, da dieses Metall wegen seiner hohen Dichte und Atommasse Gamma- und Röntgenstrahlung gut absorbieren kann.

Zur forensischen Untersuchung kann Blei analytisch aufgrund folgender Parameter charakterisiert werden:

- Legierungsbestandteile (z.B. Härtung des Bleis durch Zugabe von Antimon)
- Verunreinigungen durch vergesellschaftete Elemente (z.B. Arsen, Bismut, Kupfer, Indium, Zinn, Tellur, Thallium)
- Isotopenverhältnisse zwischen ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb und ^{208}Pb

Aufgrund der Verunreinigungen sowie der Isotopenverhältnisse lässt sich die Lagerstätte des Bleis ermitteln oder ausschliessen, falls die entsprechenden Datenbanken vorhanden sind. Alternativ lassen sich Bleiprobe mit be-

Abbildung 3: Blei-Isotopenverhältnisse mit ICP-Quadrupol-MS

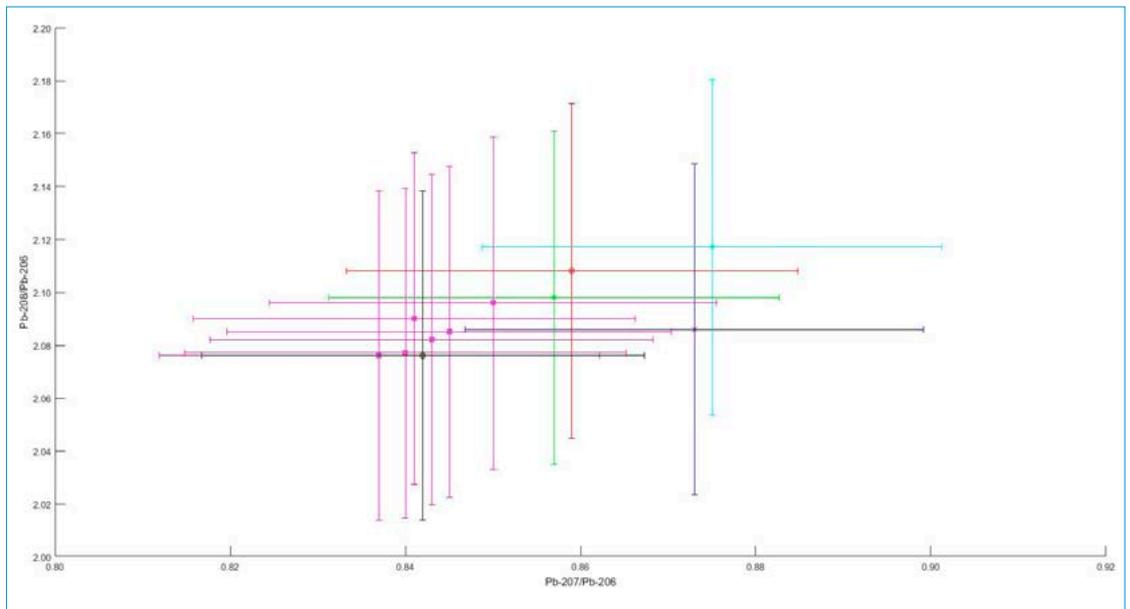
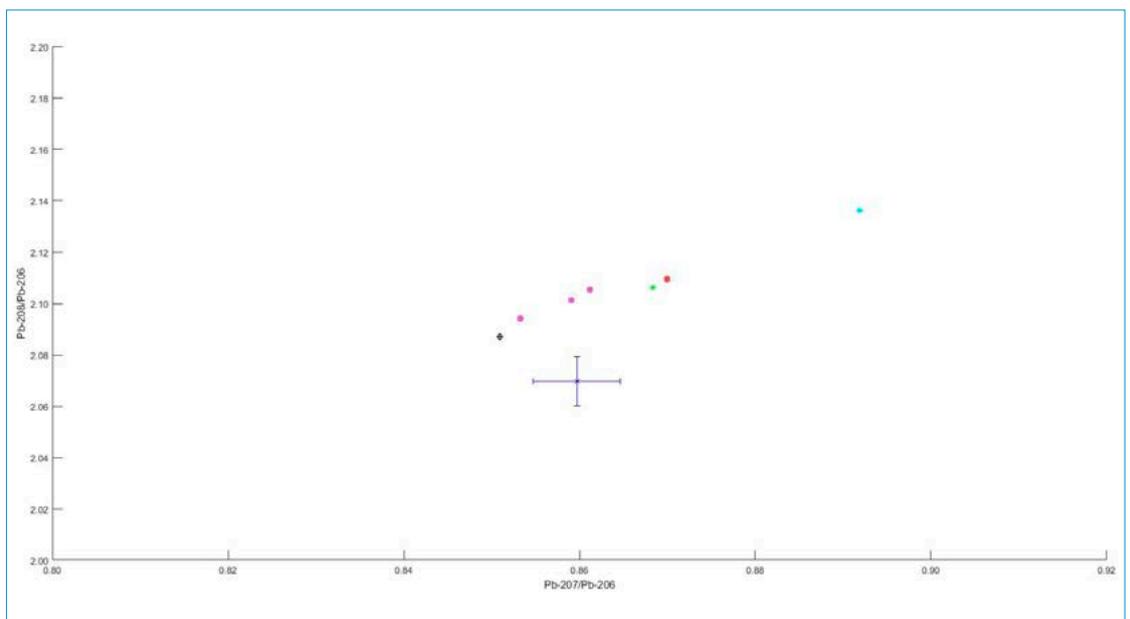


Abbildung 4: Blei-Isotopenverhältnisse mit ICP-Multikollektor-MS



kannten Proben vergleichen. So können zum Beispiel unbekannte Bleiprobe mit bekannten Produktionslosen oder im Idealfall mit sichergestellten Proben aus dem Umfeld eines Verdächtigen verglichen werden.

Analytische Schritte

Das analytische Vorgehen läuft gemäss folgendem Schema ab:

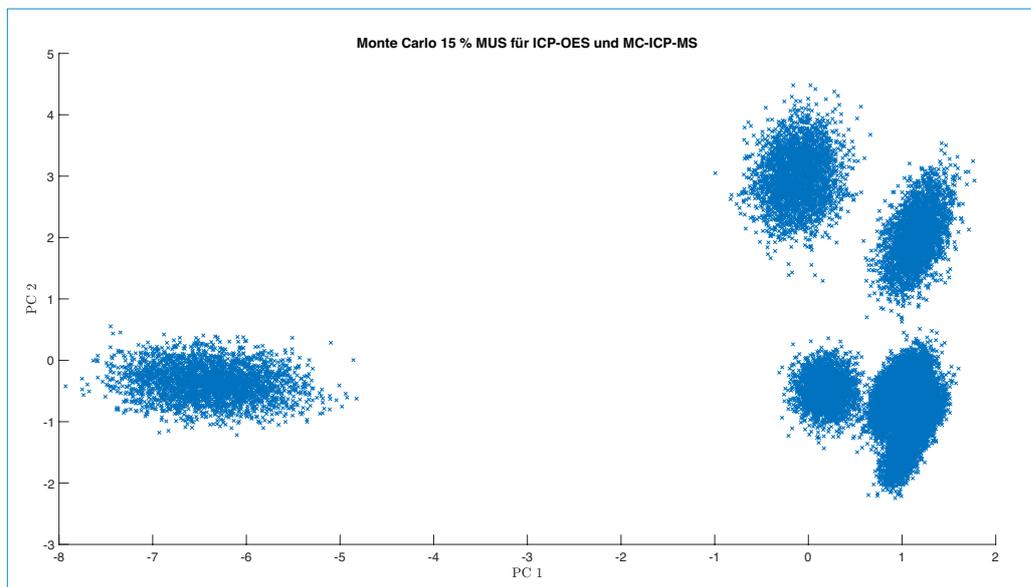
- Probenaufarbeitung (Zerspanen und Zerkleinerung)
- Aufschluss (Auflösen in Salpetersäure und Komplexbildung mit Zitronensäure)
- Induktiv gekoppeltes Plasma – Optische Emissionsspektrometrie (ICP-OES)
- Induktiv gekoppeltes Plasma – Multikollektor Massenspektrometrie (ICP-MC-MS)

Bei der Probenaufarbeitung durch Zerspanen (vgl. Abbildung 1) wurde auf eine reproduzierbare, mehrfache Beprobung der Bleiprobe

geachtet. Zudem muss die Elementzusammensetzung des Bohrers aufgrund der Beeinflussung der nachweisstarken folgenden Analyse berücksichtigt werden.

Die zerkleinerten Bleispäne werden eingewogen und durch Zugabe von Salpetersäure und Zitronensäure in einem offenen Aufschluss in Lösung gebracht (Abbildung 2). Die Salpetersäure löst sowohl die Matrix (das Blei) wie auch die meisten Verunreinigungen auf. Gewisse Elemente wie Antimon werden durch die Salpetersäure wohl gelöst, das resultierende Antimonat würde jedoch als unlöslicher Niederschlag nicht erfasst und wäre für die nachfolgende Analytik nicht zugänglich. Die Zugabe von Zitronensäure verhindert das Ausfallen von Antimon und anderen Metallen in der Aufschlusslösung. Es ist wichtig, den Aufschluss für die Vergleichbarkeit der Resultate über viele Versuche standardisiert zu betreiben.

Abbildung 5: PCA-Analyse nach Monte Carlo-Simulation inklusive einer erweiterten Messunsicherheit von 15%



Zur nachfolgenden Quantifizierung der Verunreinigungen mit der Optischen Emissions-Spektrometrie (ICP-OES) werden die Aufschlüsse quantitativ auf ein analytisches Volumen aufgefüllt, filtriert und verdünnt. Für die Bestimmung der Isotopenverhältnisse müssen die Aufschlüsse nur ungefähr auf 50–100 µg/L Blei verdünnt werden, da sich sämtliche analytischen Schritte wie Auffüllen und Verdünnen nicht mehr auf ein equilibriertes Isotopenverhältnis auswirken.

Bei der Analyse mittels ICP-OES wurde gegen eine externe Multi-Element-Kalibration gemessen. Die Analyse wurde anhand von Aufstockungs- und Verdünnungsversuchen sowie durch das Mitanalysieren von zertifiziertem Referenz-Blei überprüft. Die ICP-OES eignet sich wegen der höheren Matrix-Toleranz besser für die Analyse von Verunreinigungen in aufgelösten Metallproben als die ICP-Quadrupol-Massenspektrometrie (ICP-Q-MS). Da die ICP-OES emittiertes Licht analysiert und damit keinen echten Stofftransport durch ein Konensystem und eine Ionenoptik benötigt, ergibt sich dieser Vorteil der ICP-OES gegenüber der ICP-Q-MS.

Für die Analyse der Isotopenverhältnisse ist die Massenspektrometrie jedoch unumgänglich. Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die Blei-Isotopenverhältnis-Analysen mittels Quadrupol- und Multikollektor-MS-Instrumenten. Abbildung 3 zeigt auf, dass die Präzision der Isotopenverhältnisse im Quadrupolgerät nicht ausreicht, um die forensische Fragestellung statistisch gesichert zu beantworten. Im Gegensatz dazu sind die Fehlerbalken der Multikollektor-MS-Messung in Abbildung 4 kaum zu erkennen. Die ICP-Multikollektor-Massenspektrometrie ist für die Analytik von Isotopenverhältnissen aufgrund ihrer Messsimultaneität bestens geeignet.

Die erhaltenen Daten, bestehend aus Massenanteilen von Verunreinigungen des Bleis sowie aus Isotopenverhältnissen von Blei-Nukliden, ergeben nun ein mehrdimensionales Bild. Eine mögliche Darstellungsweise zur Veranschaulichung der Übereinstimmung einer gemessenen Probe mit Vergleichsproben ist die Hauptkomponentenanalyse (PCA, Principle Component Analysis). Die PCA ist ein Verfahren der multivariaten Statistik und ermöglicht eine Veranschaulichung mehrdimensionaler Datensätze in den uns geläufigen, zwei oder drei Dimensionen.

Abbildung 5 zeigt eine PCA-Analyse von fünf verschiedenen Bleiprobe, die nach Analyse der Verunreinigungen und Isotopenverhältnisse auch mit einer konservativen, erweiterten Messunsicherheit von 15% zumindest optisch klar unterscheidbar sind.

Würde eine unbekannte Bleiprobe aufgegriffen, liesse Sie sich den angegebenen fünf Gruppen indikativ zuweisen oder ausschliessen.

Die beschriebene Methodik liefert neben der eigentlichen nuklearen Forensik weitere Informationen aus der inaktiven, anorganischen Analytik. Diese können komplementär verwendet werden, um die Ermittlungsbehörden zu unterstützen. Es ist denkbar, dieselbe Analytik nach weiterführenden, vertieften statistischen Analysen auch im Umfeld der klassischen forensischen Dienste für die Untersuchung von Bleigeschossen anzuwenden.



BSL 2

- 1 Entwicklung zellbasierter Testsysteme
- 2 Screening von chemischen Bibliotheken und Identifikation von Kandidaten-Molekülen
- 3 Test der Kandidaten auf Zelltoxizität



BSL 3

- 4 Entwicklung von in vitro Testsystemen mit infektiösen Wildtyp Hantaviren
- 5 Validierung der Kandidatenmoleküle mit infektiösen Wildtyp Hantaviren
- 6 Untersuchung der Wirkmechanismen ausgewählter Moleküle

Strategien zur Entwicklung antiviraler Medikamente

Entwicklung antiviraler Therapien gegen hochpathogene Viren



Die Ausbreitung hochpathogener Viren signalisiert eine reale Gefährdung, da es derzeit gegen die wenigsten dieser Krankheitserreger eine Impfung oder wirksame Therapien gibt. Die Forschung mit hochpathogenen Viren kann jedoch nur unter hohen Sicherheitsvorkehrungen betrieben werden. Mit seinem biologischen Sicherheitslabor verfügt das Labor Spiez als einziges Forschungsinstitut in der Schweiz über die technischen Voraussetzungen, antivirale Substanzen gegen die besonders gefährlichen humanpathogenen Viren der höchsten Risikogruppen zu evaluieren und Gegenmassnahmen zu erarbeiten.

Die Ausbrüche von SARS, MERS, West-Nil-Virus, Influenza und Ebola in den letzten 15 Jahren haben gezeigt, dass die Ausbreitung hochpathogener Viren eine reale Bedrohungssituation darstellen. Aufgrund der grossen Reisetätigkeit werden zudem regelmässig exotische Krankheiten durch Reiserückkehrer in die Schweiz eingeführt und verursachen mitunter schwere Krankheitsformen, die kaum ursächlich behandelt werden können. Gegen die allermeisten hochpathogenen Viren gibt es weder eine schützende Impfung noch wirksame Therapien. Dank intensiver Forschung konnten in den letzten Jahren gegen eine wachsende Anzahl Viruserkrankungen wie z. B. HIV/AIDS und Hepatitis C effiziente therapeutische Strategien etabliert werden. Die Entwicklung von Therapieansätzen gegen hochpathogene Viren hingegen steckt mehrheitlich noch in den Anfängen. Mit ein Grund dafür ist, dass Forschung mit hochpathogenen Viren nur unter hohen Sicherheitsvorkehrungen betrie-

*Dr. Olivier Engler
Dr. Sylvia Rothenberger,
Dr. Stefan Kunz (CHUV)*

ben werden kann und nur wenige Institute über die entsprechenden Infrastrukturen verfügen. Zudem ist die Entwicklung antiviraler Substanzen mit viel Aufwand verbunden. Die Herstellung von Medikamenten gegen Infektionen, welche im Alltag vergleichsweise selten vorkommen, ist für die Pharmaindustrie nicht lohnenswert. Deshalb werden alternative Strategien und ein Engagement öffentlicher Institutionen benötigt.

Das Labor Spiez verfügt mit dem biologischen Sicherheitslabor wie kein anderes Labor in der Schweiz über die Voraussetzungen, antivirale Substanzen gegen die für den Menschen besonders gefährlichen Viren der höchsten Risikogruppen zu evaluieren. Im Rahmen des Leistungsauftrags des Bundes, Massnahmen gegen hochpathogene Viren zu erarbeiten, untersucht das Labor Spiez ein breites Spektrum von antiviral wirkenden Substanzen, mit folgenden Schwerpunkten:

- Validierung von chemischen Substanzen und Dekontaminationsprozessen, welche zur Inaktivierung von Viren in der Umwelt oder im Laborumfeld verwendet werden.
- Beurteilung der virus-neutralisierenden Eigenschaften von Impfsenen, z.B. in Form von internationalen Impfstudien gegen Ebola
- Entwicklung antiviraler Strategien.

Diese Forschungsaktivitäten erfolgen in enger Kollaboration mit universitären Partnern oder Firmen, welche ein spezifisches Interesse an Therapien von Infektionen mit hochpathogenen Viren haben. In den letzten Jahren wurden im Rahmen dieser Forschungsaktivitäten Substanzen und Strategien gegen hochpathogene Coronaviren (MERS), Influenza- (H5N1), EBOLA und Hantaviren evaluiert.

Um antivirale Substanzen im Sicherheitslabor untersuchen zu können, wurden am Labor Spiez neben der Infrastruktur die entsprechenden Methoden bereitgestellt. Für eine Vielzahl hochpathogener Viren stehen Zellkultursysteme zu Verfügung, in denen sich die Viren effizient vermehren lassen. Für die Untersuchung des Verhaltens von Viren in den Zellen ist es von zentraler Bedeutung, die relevanten Zellkultursysteme zur Verfügung zu haben. Neben Zelllinien, welche für primäre Analysen eingesetzt werden, werden auch sogenannte organotypische Kulturen für weiterführende Untersuchungen eingesetzt. Diese Kulturen bestehen aus den verschiedenen Zelltypen, wie sie auch in den entsprechenden Organen vorkommen, und reproduzieren morphologisch und funktionell diese Gewebetypen. Dadurch lassen sich Substanzen an den relevanten Geweben nachempfundenen organotypischen Zellsystemen evaluieren. Der Einfluss von Wirksubstanzen auf die Multiplikation von Viren wird

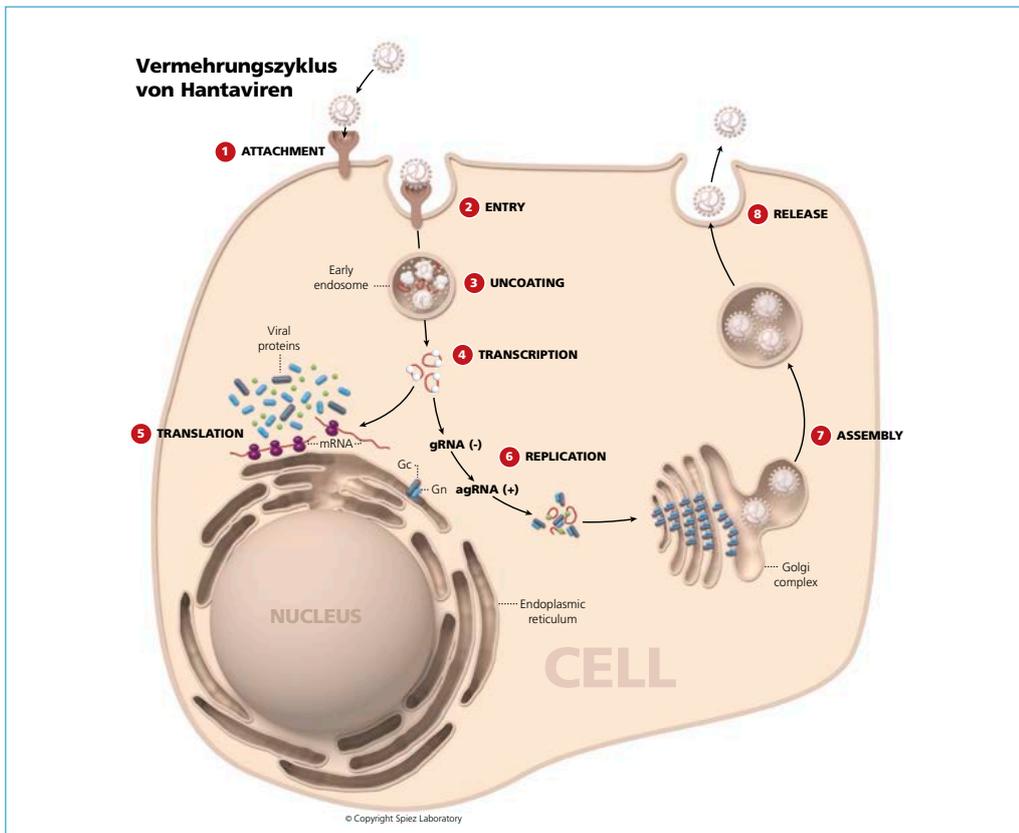
in einem ersten Ansatz molekularbiologisch durch Quantifizierung der replizierten Virusgenome beurteilt und in einem zweiten Schritt durch serielle Verdünnungsreihen die Anzahl infektiöser Partikel bestimmt. Immunologische Färbungen erlauben es zudem, das Viruswachstum innerhalb der Zelle darzustellen und zu beurteilen.

Um toxische Einflüsse von Testsubstanzen auf die Zellen und damit verbundene Sekundäreffekte auf die Virusreplikation zu erfassen, wird der physiologische Zustand der Zellen über die Dauer des Experimentes mitbeurteilt. Dies erfolgt über die Messung sogenannter physiologischen Biomarkern, Moleküle, welche als Referenzwert für den Zustand der Zelle herangezogen werden können. Potentielle Resistenzentwicklungen aufgrund von Veränderungen in der Virus-Genomsequenz können mithilfe moderner Next-Generation-Sequenzierungs-Technologie zeitnah abgeklärt werden. Vertiefte Untersuchungen zum Wirkmechanismus werden im Rahmen der Grundlagenforschung in enger Kollaboration mit universitären Partnern durchgeführt. Für diese Abklärungen zu Interaktionen zwischen viralen Proteinen und Molekülen der Zelle können inaktivierte Zell-Extrakte aus dem Sicherheitslabor ausgeschleust und in Partnerlabors weiteruntersucht werden.

Bei Neuentwicklungen von antiviraler Substanzen liegt eine primäre Herausforderung darin, einen geeigneten Ansatzpunkt für die Intervention zu finden. Viren verfügen im Gegensatz zu Bakterien nicht über einen eigenen Stoffwechsel, sondern vermehren sich ausschliesslich innerhalb der Zellen und nutzen dabei den Biosyntheseapparat der Zellen. Durch die Beteiligung zellulärer Proteine am Vermehrungsprozess der Viren weisen Substanzen, welche die Vermehrung von Viren unterdrücken, häufig auch eine Wirkung auf die Zellfunktion auf, was sich als Nebenwirkung manifestiert. Erschwerend kommt hinzu, dass viele Viren eine enorme Variabilität aufweisen und sich dadurch die Zielstrukturen immerzu ändern.

Die Identifikation geeigneter Zielstrukturen setzt fundierte Kenntnisse über die Replikationsmechanismen der Viren voraus. Diese werden in minutiöser Detailarbeit im Rahmen der Grundlagenforschung erarbeitet. Basierend auf diesen Kenntnissen können geeignete Zielstrukturen identifiziert und Strategien zur Intervention entwickelt werden.

Die Grundlage eines vielversprechenden, modernen antiviralen Wirkstoffdesigns besteht darin, virale Proteine und deren zelluläre Bindungspartner zu identifizieren und diese Wechselwirkung gezielt zu hemmen.



Ein früher Ansatzpunkt im Vermehrungszyklus der Viren stellt die Infiltration der Zelle dar. Um in die Zelle zu gelangen, muss das Virus eine Reihe von (virustypischen) Prozesse durchlaufen. Das Andocken (1. Attachment) der Viren an die Wirtszelle erfolgt nach einem Schlüssel-Schloss Prinzip an zelluläre Rezeptoren und kann durch geeignete Moleküle blockiert werden. Inhibitoren des Zelleintritts z. B. auf der Basis blockierender Antikörper wurden bereits gegen mehrere Viren entwickelt, kürzlich auch gegen das Ebola Virus. Das weitere Eindringen (2. Entry) der Viren in die Zelle und das Ablegen der Virushülle (3. Uncoating) sind aktive Prozesse, die als Ansatzpunkte für Interventionen genutzt werden können. So hemmen beispielsweise die antiviralen Substanzen Amantadin und Rimantadin bei Influenza Viren die Freisetzung des Virusgenoms in die Zelle und reduzieren dadurch das Ausmass einer Infektion signifikant. Innerhalb der Zelle sind vor allem virale Proteine (Polymerasen) an der Synthese viraler Nucleinsäuren (4. Transcription) und Proteine (5. Translation) sowie der Vermehrung (6. Replication) des viralen Genoms beteiligt. Seit den 1980er Jahren wurde eine wachsende Anzahl von Molekülen, vor allem Nucleotid- und Nucleosidanaloga entwickelt, welche analog zu den Bausteinen der RNA oder DNA aufgebaut sind, aber aufgrund chemischer Modifikationen die virale Polymerase blockieren und zum Abbruch der viralen RNA oder DNA Synthese führen. Auf diesem Prinzip beruht das Aciclovir, eine der ersten Substanzen, die gegen Herpesviren entwickelt wurde und Ribavirin, welche beispielsweise gegen Hepatitis C, Arenaviren und Adenoviren eingesetzt wird. Weitere Strategien zielen auf spätere Schritte der Virenvermehrung ab, wie das Zusammensetzen der Viren (7. Assembly) und das Freisetzen (8. Release) fertiger Viren aus der Zelle. Zum Beispiel blockieren die Anti-Grippe Medikamente, Zanamivir (Relenza) und Oseltamivir (Tamiflu), das virale Protein Neuraminidase, welches auf der Hülle von Grippeviren für die Freisetzung von Viruspartikeln sorgt.

Entwicklung antiviraler Substanzen gegen Hantavirus-Infektionen; Eine erfolgsversprechende Kollaboration mit dem Mikrobiologischen Institut des CHUV

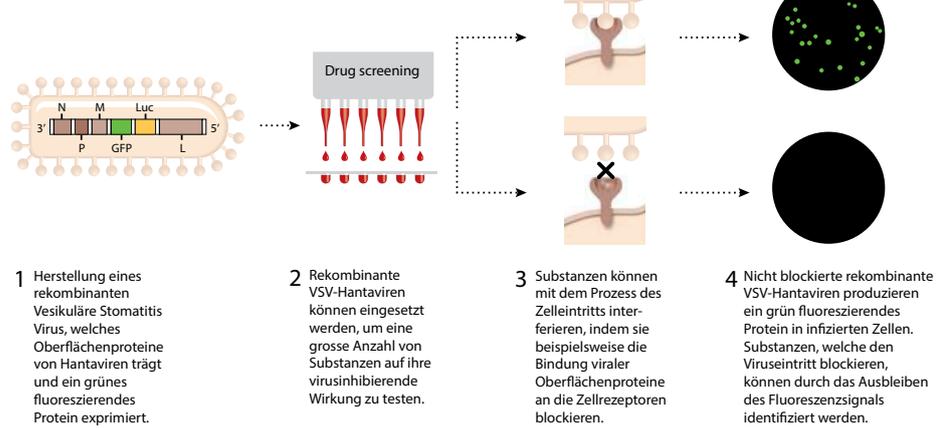
In einer engen Forschungskollaboration mit dem Mikrobiologischen Institut des Universitätsspitals Lausanne CHUV verfolgt das Labor Spiez das Ziel, antivirale Strategien gegen Hantavirus-Infektionen zu entwickeln. Hantaviren sind in Europa, Asien und Amerika weit verbreitet. Die hochpathogenen Hantaviren verursachen schwere Krankheiten, und bis anhin sind keine Prophylaxen oder Therapien verfügbar. Die Zusammenarbeit mit der Gruppe um Prof. Kunz und Dr. Rothenberger ermöglicht es, von einem fundierten Grundlagenwissen zur Virusreplikation und der molekularen Virologie zu profitieren. Dadurch lassen sich Untersuchungen zur Interaktion viraler Proteine mit zellulären Strukturen beim Viruseintritt in

die Zelle und der Vermehrung innerhalb der Zelle anstellen. Dies schafft die Grundlagen, um Infektions- und Replikationsmodelle für Hantaviren zu etablieren, die es erlauben, grosse Substanzbibliotheken auf wirksame Kandidaten zu screenen oder auch gezielt ausgewählte, bekannte antivirale Substanzen zu evaluieren. In einem zweiten Schritt werden die selektionierten Substanzen im biologischen Sicherheitslabor in Spiez auf ihre Wirksamkeit gegen die infektiösen Hantavirus-Isolate untersucht.

Um den Prozess des Zelleintritts von Hantaviren zu untersuchen, wurden sogenannte Hanta-Pseudoviren generiert. Diese Pseudoviren benutzen rekombinante Partikel des harmlosen vesikulären Stomatitis Virus (VSV) als Träger für die Oberflächenproteine hochpathogener Hantaviren, welche für den Zelleintritt

Wirkstoffsuche (Drug Screening)

Identifikation von antiviralen Substanzen, welche den Eintritt in die Zelle inhibieren



verantwortlich sind. Zusätzlich wurde den Viren die genetische Information für ein fluoreszierendes Protein eingesetzt (eGFP) (PD Dr. Gert Zimmer, IVI), sodass infizierte Zellen anhand der Fluoreszenz sichtbar gemacht und die Virusinfektion quantifiziert werden kann. Das Pseudoviron-System eignet sich daher ausgezeichnet zum raschen Screenen chemischer Substanzen-Bibliotheken auf Suche nach Molekülen, die das Eindringen von Hanta-Viren in die Zellen verhindern.

Mithilfe des rekombinanten VSV-Hantavirus-Pseudotypen-Systems konnten bereits zelluläre Rezeptoren und weitere Proteine identifiziert werden, die von Hantaviren für den Zelleintritt benötigt werden. Die identifizierten zellulären Rezeptoren erkennen einen konservierten Bestandteil der Virushülle und könnten somit für die Aufnahme vieler umhüllter Viren verantwortlich sein. Mithilfe von Studien in denen diese Rezeptoren gezielt mit Antikörpern blockiert wurden oder in erhöhtem Ausmass in Zellen der Lunge exprimiert wurden konnte zum ersten Mal nachgewiesen werden, dass der Eintritt von Hantaviren in menschliche Lungenepithelzellen über diese Rezeptoren erfolgt. Basierend auf diesen Erkenntnissen wurde eine Auswahl von gut charakterisierten Inhibitoren eingesetzt, um zelluläre Faktoren zu identifizieren, die am Viruseintritt beteiligt sind. Mithilfe dieser Tests konnte gezeigt werden, dass verschiedene Arten von Hantaviren einen gemeinsamen Aufnahmemechanismus nutzen: die sogenannte Makropinocytose, welche normalerweise zur Aufnahme von gelösten Stoffen in die Zelle dient. Die für den Eintritt in die Zelle benötigten zellulären Faktoren werden anhand der infektiösen Hantaviren im BSL-3 Labor im Detail bestätigt. Zudem soll, basierend auf dem Hantavirus-Pseudotypen-System, ein Screening einer grossen Substanzbibliothek durchgeführt werden, um inhibierende Substanzen zu identifizieren.

In einer komplementären Strategie wird der Replikationsmechanismus von Hantaviren untersucht, um virale Proteine zu identifizieren, welche sich als Ziele für einen therapeutischen Ansatz eignen. Die viralen Proteine, die für die Transkription und Replikation verantwortlich sind, sind hochkonserviert und stellen aussichtsreichste Ziele für die Entwicklung antiviraler Medikamente dar, insbesondere die virale Polymerase. Studien am Universitätsspital Lausanne und in anderen Laboratorien haben gezeigt, dass die Endo-Nuklease Funktion Polymerase der Hantaviren eine wichtige Rolle beim Prozessieren (zurechtschneiden) der viralen RNA hat, was für die virale Replikation und von zentraler Bedeutung ist. Ihre Hemmung durch niedermolekulare Substanzen ist eine vielversprechende anti-virale Strategie. Es ist uns gelungen, einen robusten Zell-basierten biochemischen Test für die Endo-Nukleasen von Hantaviren zu etablieren, welcher es ermöglicht, Inhibitoren rasch auf eine mögliche Wirkung zu testen. Das Testformat erlaubt rasches Screening umfangreicher «Chemischer Bibliotheken» auf neue Inhibitoren der Hantavirus-Endo-Nuklease. Substanz-Kandidaten werden anschliessend im BSL3/4 Hochsicherheitslabor in Spiez an authentischen Hantaviren weiter evaluiert.



Der Wunderbaum (*Ricinus communis*) aus der Familie der Wolfsmilchgewächse.

Internationale Messübung mit Ricin



Marc Avondet

Das Gift der Pflanze *Ricinus communis* ist eines von zwei natürlichen Giften, die von der Organisation für das Verbot chemischer Waffen (OPCW) auf der Chemikalienliste des Chemiewaffenübereinkommens (CWÜ) aufgeführt sind. Zwanzig Jahre nach Inkrafttreten des CWÜ hat die OPCW die erste internationale Messübung mit dem Toxin Ricin organisiert. Die Gruppe Toxinologie des Labor Spiez hat sich – mit Unterstützung der Gruppe Organische Analytik – erfolgreich daran beteiligt. Der internationale Charakter dieser Messübungen unterstützt die Spiezer Toxinologen bei der Pflege eines europäischen Netzwerkes, um die beschränkten eigenen personellen Kapazitäten so weit wie möglich ausgleichen zu können.

Toxine sind giftige Stoffe natürlichen Ursprungs, die von Tieren, Pflanzen oder Mikroorganismen produziert werden: Ricin ist ein Glycoprotein, das in den Samen der Pflanze *Ricinus communis* als natürlicher Frassschutz vorhanden ist [1,2]. Ricin als hochmolekulares Glycoprotein ist aufgrund der weltweiten Produktion von Rizinusöl (ca. 1,5 Mio. Tonnen jährlich) vor allem in China, Brasilien und Indien relativ einfach im Pressrückstand der Samen verfügbar. Bei uns findet man *Ricinus communis* als Zierpflanze in Gärten.

Ricin gehört zu den sogenannten Typ-2 Ribosomen inaktivierenden Proteinen. Die Ribosomen-Inaktivierung führt zu einer irreversiblen Hemmung der Eiweiss-Synthese in den Körperzellen. Dies wiederum führt zum Absterben der Zellen. Beim Menschen wirkt weniger als 1mg Ricin tödlich, wenn das Gift eingeatmet wird. In etwa die gleiche Dosis ist auch bei intravenöser oder intramuskulärer Verabreichung tödlich. Wird das Gift oral aufgenommen, wirken einige Hundert Milligramm Ricin tödlich.



Bild 1: Die sechs Proben des ersten Ricin Exercise der OPCW

Sample Code	Chem ID	Chemical Name	Conc. (µg/ml)	Schedule Number
A171/xx	A	Ricin	10	A.A.08
A172/xx	B	Ricinus communis agglutinin (RCA120)	100	N.S.
A173/xx	A & B	Ricin & Ricinus communis agglutinin (RCA120)	100	1.A.08
S174/xx	C	Crude ricin	100	1.A.08
S175/xx	D	Castor bean extract	–	1.A.08
S176/xx	E	Deactivated crude ricin	100	N.S.

Tabelle 2: Liste der Proben und deren Zusammensetzung (A171/A172/A173 = wässrige Lösungen, S174/S175/S176 = feuchter Laborsand)

SUMMARY: REPORTED CHEMICALS

Original Sample Code*	Chemical ID assigned by the Laboratory**	Chemical name
A173/13	C-1	Ricin Estimated concentration = $85 \pm 4.8 \mu\text{g}/\text{mL}$
S174/13	D-1	Ricin Estimated concentration = $120 \pm 2.3 \mu\text{g}/\text{g}$
S175/13	E-1	Ricin Estimated concentration = $6.2 \pm 0.18 \mu\text{g}/\text{g}$

Tabelle 3: Zusammenfassung der LS Messdaten (angegeben wurden die Ricin positiven Proben mit > 1µg Ricin pro Gramm/Milliliter Probe)

Das Labor Spiez konzentriert sich seit einigen Jahren auf die Etablierung von Nachweismethoden für vier Toxine – neben Ricin auch Botulinumtoxine, Staphylokokken Enterotoxin B sowie Saxitoxin.

Beim Ricin war der Start der Analytik im Labor Spiez recht kompliziert, denn anfänglich war kein Referenzmaterial verfügbar und die Art der einzusetzenden Methoden war noch unklar. Als erforderliche Messmethoden beschrieb die Literatur Gelelektrophorese und immunologische Methoden, aber dafür fehlten die geeigneten Antikörper. Dank der Kooperation mit Prof. Uwe Pfüller vom Institut für Phytochemie der Universität Witten-Herdecke in Deutschland konnte das Labor Spiez im Jahr 2003 500mg Ricin (Reinheit > 95%) beschaffen, ebenso mehrere Hybridomazelllinien für die Herstellung von monoklonalen anti-

Ricin Antikörpern. Die Messdaten von im Herbst 2017 durchgeführten Vergleichsmessungen haben gezeigt, dass das Ricin Referenzmaterial auch 14 Jahre nach der Herstellung immer noch von guter Qualität ist. 2009 organisierte die Gruppe ZBS3 vom Robert Koch-Institut Berlin einen ersten Ricin Ringversuch [4].

OPCW Biotoxin Exercise Ricin 2017

Erhebliche Fortschritte bei der Entwicklung von leistungsfähigen analytischen Nachweissystemen sowie eine intensive Methodenentwicklung erlauben mittlerweile eine Integration von Ricin in die Verifikationsaktivitäten der OPCW. Die OPCW lancierte dazu im Jahr 2017 ein entsprechendes Ricin Exercise. Vor der Durchführung von Proficiency Tests mit neuen Aufgabestellungen (z. B. Untersuchung von klinischen Proben oder Biotoxinen)



Bild 4: Die beteiligten Mitarbeiter der Gruppen Organische Analytik (OA) und Toxinologie am Auswertemee-ting bei der OPCW in Den Haag. (vlnr: Christian Müller, Dr. Peter Siegenthaler (OA), Dr. Martin Schär (OA), Marc Avondet)

ist es üblich, dass sogenannte Exercises durchgeführt werden. Dabei können designierte Laboratorien oder solche, die es werden wollen, die notwendigen Techniken einüben und etablieren. Gleichzeitig können Kriterien für die Identifikation erarbeitet werden.

Die Gruppe Organische Analytik (OA) des LS beweist sich seit vielen Jahren regelmässig als sehr erfolgreiches designiertes Labor für die klassische C-Kampfstoffanalytik in Umweltproben. Anfang 2017 hat die Gruppe Toxinologie nun mit Unterstützung der OA an diesem ersten Biotoxin Exercise der OPCW teilgenommen. Dabei ging es darum, die in Spiez etablierte Ricin-Analytik zu testen und die OPCW bei der Bestandaufnahme zur Methodik zu unterstützen.

Am 16. Januar 2017 trafen 6 Proben – drei Flüssigkeiten und drei feuchte Sandproben – in Spiez ein (siehe Bild 1). Ergänzt wurde das Probenet mit den 3 Referenzmaterialien Ricin, Ricin-Agglutinin und einem Ricin-Peptid.

Gemäss Analysenauftrag für die Teilnehmerlabors wurde primär eine qualitative Zuordnung (Identifikation von Ricin) zu den Proben erwartet und, wenn durchführbar, auch eine Quantifizierung. Nach geeigneter Probenaufarbeitung wurde mit dem empfindlichen Ricin-

ELISA ein Screening durchgeführt, welches bereits recht konkrete Hinweise zur Frage «Ricin ja oder nein» sowie zur ungefähren Konzentration vermitteln konnte. Durch eine geschickte Kombination verschiedener Analysemethoden konnte die Identifikation von Ricin gesichert und eine eindeutige Identifikation erreicht werden.

Gemäss Informationen der OPCW betrug der minimale Spiking-Level von Ricin in positiven Proben 10 µg/g. Zudem wurde den Teilnehmern mindestens eine Probe ohne Ricin in Aussicht gestellt (Blank). Im Verlauf der Analytik konnte jedoch in allen Proben Ricin nachgewiesen werden, wobei die abgeschätzten Ricin-Konzentrationen in den drei Proben A171/A172/S176 deutlich unter dem deklarierten minimalen Spiking-Level waren und folglich im Bericht nicht angegeben wurden (Vgl. Tabellen 2 und 3).

Die zweite Hälfte der zur Verfügung stehenden Zeit wurde für die Dokumentation der umfangreichen Resultate in einem Analysen-Bericht verwendet, was angesichts der hohen Anforderungen der OPCW mit viel Arbeit verbunden war. Kurz vor Ablauf der Frist konnte der 113-seitige Bericht [4] nach vier arbeitsintensiven Wochen an die OPCW übermittelt werden.

Mitte April versendete die OPCW einen *Preliminary Evaluation Report* [5]. Am 24. Mai 2017 schliesslich fand am Hauptsitz der OPCW in Den Haag ein Treffen zur Besprechung der Ergebnisse mit Vertreter von 26 Labors statt. Im Verlauf des Treffens wurde auch über Identifikationskriterien und Möglichkeiten zur Dokumentation der Analysenresultate sowie über das weitere Vorgehen diskutiert. Für die Toxinologen war es eine spannende Erfahrung, den OPCW-Hauptsitz zu besuchen und mit den Mitarbeitern der Gruppe Organische Analytik am Treffen teilzunehmen (Bild 4). Bei dieser ersten, fachbereichsübergreifenden Bearbeitung von Ricin-Proben durch die Gruppen Organische Analytik und Toxinologie

konnten beide Seiten wertvolle Erfahrungen sammeln und es konnte weiteres Optimierungspotential in der Ricin-Analytik identifiziert werden.

Referenzen

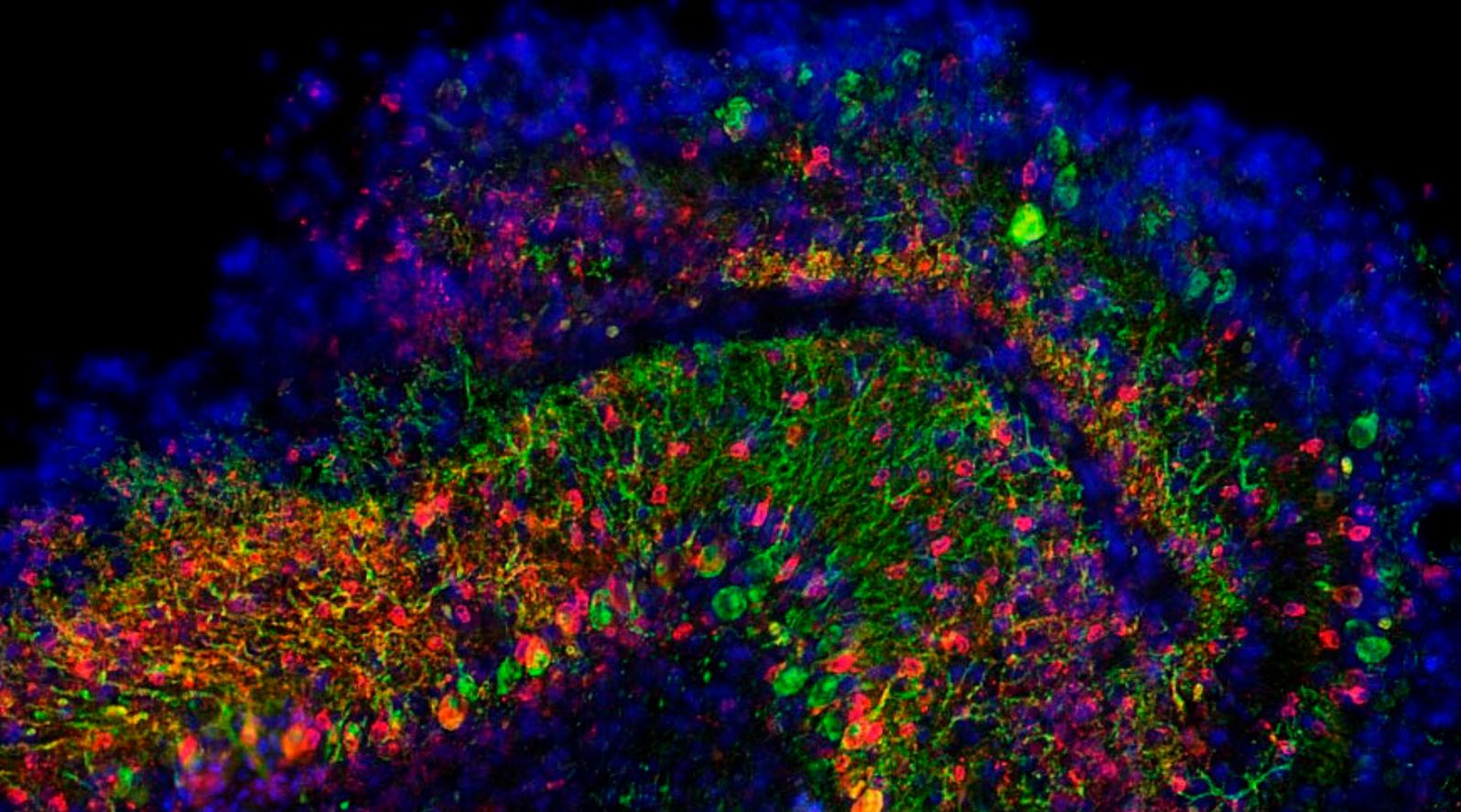
- [1] Fact-Sheet Ricin https://www.labor-spiez.ch/pdf/de/dok/fas/fact_sheet_ricin_2010_d.pdf
- [2] Military potential of biological toxins; X. Zhang *Journal of applied Biomedicine* 12 (2014) 63–77
- [3] LS Bericht 2010–03 1st International Proficiency Test on the Quantitation of Ricin in Aqueous Solution 2009 (SCM/AV)
- [4] Report of the First Biotoxin Sample Analysis Exercise 2017 (Laboratory Code 13)
- [5] Report of the First Official OPCW Biotoxin Analysis Exercise; Volume III: Preliminary Evaluation Report
- [6] <http://eurobiotox.eu>

Internationales Netzwerk für die Toxinanalytik

Mitte 2017 begann das fünf Jahre dauernde und mit 8 Mio. Euro dotierte EU-Forschungsprojekt EuroBioTox [6], bei welchem das Labor Spiez als Konsortiumspartner beteiligt ist. Ein willkommener Effekt solcher Forschungsprojekte ist der weitere Ausbau und die Pflege eines umfangreichen Europäischen Netzwerkes im Bereich der Toxine. Diese internationale Kooperation erlaubt der Gruppe Toxinologie des Labor Spiez, die beschränkten eigenen personellen Kapazitäten zu kompensieren. Für die Entwicklung zertifizierter Referenzmaterialien, die Bereitstellung von Reagenzien, standardisierten Analysemethoden und Realproben sowie für die Organisation von Ringversuchen sind fast 60% des EuroBioTox-Budgets vorgesehen. Ein weiteres Ziel des Konsortiums ist unter anderem, dass im Rahmen verschiedener Repositories (Verwahrungsorte), die Referenzmaterialien für eine leistungsfähige europaweite Toxinanalytik zur Verfügung stehen. Diese Repositories werden ergänzt durch Trainingskurse zur Schulung der Toxin-Nachweismethoden. Das LS wird künftig die Repository-Funktion für das zertifizierte Referenzmaterial Ricin übernehmen.



Bild 5: EuroBioTox und die beteiligten Konsortiumspartner.



Immunfluoreszenzfärbung von mit FSME-Virus infizierten organotypischen Cerebellum-Kulturen. Blau = Zellkerne; grün = Purkinje-Zellen, wichtige Zielzellen von FSME-Viren; rot = FSME-Virus

Genetische Plastizität als Grundlage für die hohe Anpassungsfähigkeit von neuauftretenden Viren



Die meisten neu auftretenden Infektionskrankheiten werden von Tieren auf Menschen übertragen (Zoonosen) und durch RNA Viren verursacht. Dank ihrer hohen Mutationsrate können sich diese Viren rasch an wechselnde Umgebungen anpassen. Dazu gehört auch das durch Zecken übertragene Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME)-Virus. Es kann Erkrankungen des zentralen Nervensystems verursachen. Für ein besseres Verständnis der Anpassungsfähigkeit (Plastizität) von RNA Viren werden im Labor Spiez im Rahmen eines Projekts des Schweizerischen Nationalfonds FSME-Viren an verschiedene Umgebungen adaptiert und mittels molekularbiologischer und klassischer virologischer Methoden charakterisiert.¹

Die Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) ist die wichtigste durch Zecken übertragene virale Erkrankung des zentralen Nervensystems in Europa. In der Schweiz dient die Zeckenart *Ixodes ricinus* als Vektor (Überträger) des Erregers dieser Krankheit, dem FSME-Virus. Eine Infektion beim Menschen verläuft in etwa 70% der Fälle ohne Krankheitszeichen und bleibt darum unbemerkt. Bei etwa 30% entwickeln sich 1–2 Wochen nach dem Zeckenstich grippeähnliche Symptome; diese Phase dauert etwa 1–8 Tage und endet in den meisten Fällen mit einer spontanen Heilung. Bei etwa einem Drittel der symptomatischen Fälle kommt es nicht zur Heilung, sondern es entwickelt sich eine zweite Krankheitsphase mit Befall des zentralen Nervensystems. Die Symp-

*Dr. Rahel Ackermann,
Dr. Nicole Lenz*

¹ Diese Arbeiten erfolgen im Rahmen eines Sinergia-Projekts des Schweizerischen Nationalfonds mit dem Titel «Viral Plasticity Underlying Tropism and Pathogenesis/Innate Immune Evasion of Emerging Viruses», zusammen mit dem Institut für Virologie und Immunologie, dem Institut für Infektionskrankheiten der Universität Bern sowie dem Institut für Mikrobiologie der Universität Lausanne.

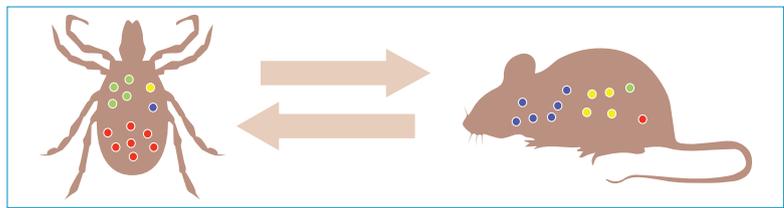


Abbildung 1

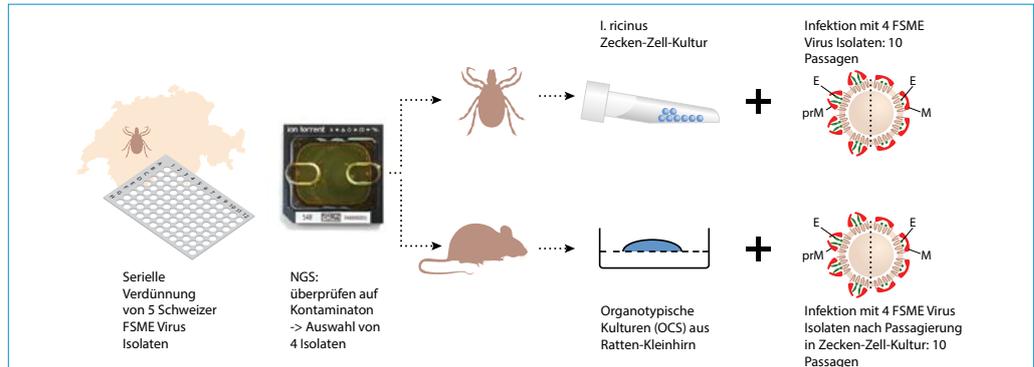


Abbildung 2

tome dieser Hirnhaut- oder Hirnentzündung sind Fieber, Kopf-, Rücken- und Nackenschmerzen, Bewusstseinsstörung und Lähmungen. 3–11% der Patienten leiden nach durchgemachter Krankheit an Folgeerscheinungen; etwa 1% der Infektionen verläuft tödlich. In der Schweiz werden jährlich zwischen 100 und 250 Krankheitsfälle gemeldet. [1, 2, 3].

FSME-Viren gehören zu den RNA Viren; diese Gruppe von Viren verwendet RNA (Ribonukleinsäure) für die Speicherung ihrer Erbinformation. Im Gegensatz zur DNA (Desoxyribonukleinsäure), die z. B. zur Speicherung der Erbinformation von Pflanzen und Tieren verwendet wird, ist der Replikationsmechanismus der RNA anfällig für Mutationen (Veränderungen der Erbsequenz). Aufgrund der hohen Mutationsrate entsteht bei der Replikation der Viren eine grosse genetische Diversität; man bezeichnet diesen Schwarm von genetischen Varianten als Quasispezies-Population. Durch die hohe Mutationsrate verändert sich die Zusammensetzung der Quasispezies-Population laufend und ermöglicht dem Virus, sich schnell an wechselnde Bedingungen anzupassen, wie zum Beispiel bei einer Übertragung vom Vektor (*Ixodes ricinus*) auf den Wirt (Mensch, Nagetier). Aus der Quasispezies-Population wird die passendste Variante ausgewählt und vermehrt repliziert, während die weniger gut geeigneten Varianten nur zu geringen Mengen produziert werden (Abbildung 1) [4].

Im Rahmen eines dreijährigen Forschungsprojekts in Zusammenarbeit mit den Universitäten Bern und Lausanne wird die genetische Anpassungsfähigkeit von FSME-Viren als Reaktion auf verschiedene Wirtszellen und unter Einfluss von Mediatoren des Immunsystems mittels neuester molekularbiologischer und klas-

sischer virologischer Methoden charakterisiert. Ein verbessertes Verständnis der Plastizität von RNA Viren soll dazu beitragen, Risiken der Übertragung auf den Menschen abzuschätzen.

Methoden

Seit 2009 hat das Labor Spiez fünf gross angelegte Zeckensammlungen organisiert und jeweils mittels Echtzeit-Polymerase-Ketten-Reaktions-Assays (real-time [RT]-PCR) auf das Vorhandensein verschiedener Erreger, unter anderem FSME-Viren, untersucht. Aus den positiven Proben konnten Erreger kultiviert werden, darunter 65 FSME-Virus Isolate [5, 6]. Fünf dieser Isolate wurden für das aktuelle Projekt ausgewählt. Bei der Untersuchung von viralen Quasispezies-Populationen muss eine klar definierte, einheitliche Viruspopulation als Ausgangsmaterial verwendet werden; nur so können Mutationen identifiziert werden, die im Lauf der Experimente entstanden sind. Die fünf FSME-Virus-Isolate wurden deshalb zu Beginn der Experimente seriell ausverdünt, um eine Ausgangskultur zu erhalten, die idealerweise von einem einzigen Virus abstammt. Da aus Zecken stammende Virusisolate mit anderen Erregern kontaminiert sein können, wurden diese Ausgangskulturen mittels eines am Labor Spiez entwickelten Next Generation Sequencing (NGS) Protokolls analysiert. In der Sequenzanalyse zeigte sich, dass eines der Isolate mit anderen Erregern kontaminiert war. Dieses wurde nicht für weitere Experimente verwendet. Die restlichen vier Isolate wurden durch zehnfaches, serielles Passagieren auf embryonalen Zeckenzellen der Gattung *Ixodes ricinus* [7] an Bedingungen angepasst, wie sie die Viren in ihrem Vektor (*Ixodes ricinus*) vorfinden. Anschliessend wurden die Viruskulturen auf 400 µm dicken Gewebekulturen von Ratten-Kleinhirnen, sog. organotypischen Cerebellum-Kulturen, transferiert und erneut zehnfach seriell passagiert. Durch dieses zwei-

te serielle Passagieren wurden die Viren an Bedingungen, wie sie sie im menschlichen Wirt antreffen, angepasst; die Rattenhirn-Gewebschnitte, die alle Zelltypen in ihrer originären Verteilung und Mikro-Architektur enthalten, wurden dabei stellvertretend für menschliches Kleinhirn-Gewebe eingesetzt – die Hirnregion, welche am stärksten von der Krankheit befallen wird. Um den Effekt des angeborenen Immunsystems und die entsprechenden Ausweichmechanismen der FSME-Viren zu untersuchen, wurden die seriellen Passagen in den organotypischen Hirnschnitten parallel mit Interferon- behandelt. Dieses Zytokin (regulatorisches Protein) gilt als wesentlicher Vermittler der angeborenen Immunantwort gegen Viren. Die Quasispezies-Populationen der FSME-Viren aus Passage null, fünf und zehn der Vektor- und Wirtszellen werden mittels NGS, Plaque Test und Immunfluoreszenz Färbungen genau charakterisiert (Abbildung 2).

Resultate

Die zehn seriellen Passagen der vier FSME-Virus Isolate in den Zeckenzellen wurden erfolgreich beendet. Da sich FSME-Viren nach längerer Inkubationszeit in den Zeckenzellen anhäufen und vor allem defekte Viruspartikel aus den Zellen in das Kulturmedium abgegeben werden, die Auswirkung dieses Effektes auf die jeweilige Quasispezies-Population jedoch unklar ist, wurden die Passagen in zwei Varianten durchgeführt, nämlich a) FSME-Viren aus Homogenat (eine Mischung aus Zellkulturüberstand und Zeckenzellen) und b) nur Zellkulturüberstand. Bei allen Passagen wurden die Virustiter in Plaque Forming Units (PFU) pro Milliliter gemessen – 1 PFU entspricht ungefähr einem Virus (vgl. Abbildung 3). Von den Passagen null, fünf und zehn wurden zudem Immunfluoreszenz Färbungen erstellt und die entsprechenden Proben für NGS Analysen aufbereitet. Obwohl für jede Passage 10^5 PFU an FSME-Viren für die Infektion verwendet wurde, fluktuieren die viralen Titer zwischen 10^4 und $2 \cdot 10^7$ PFU/ml. Die Immunfluoreszenz-Färbungen ergaben, dass sich das FSME-Virus in spezifischen Regionen der Zelle um den Zellkern herum anhäuft. Dies blieb über die zehn Passagen konstant.

Die zeckenadaptierte zehnte Passage wird nun verwendet, um das serielle Passagieren der FSME-Viren in den organotypischen Schnitten aus Ratten Cerebellum fortzusetzen. Bis im November 2017 wurden 5 Passagen durchgeführt (Abbildung 4).

Schlussfolgerungen

In dieser Studie wurden bisher vier FSME-Virus Isolate durch serielle Passagieren erfolgreich an Vektorzellen adaptiert. Anhand ähnlicher Studien sind die Fluktuationen in den

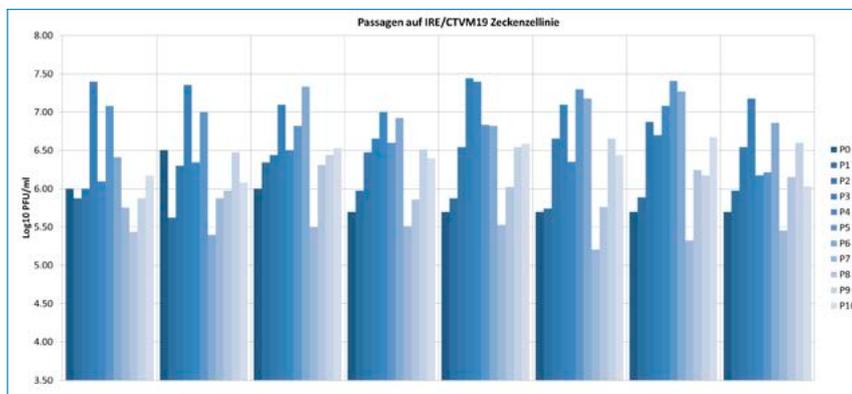


Abbildung 3

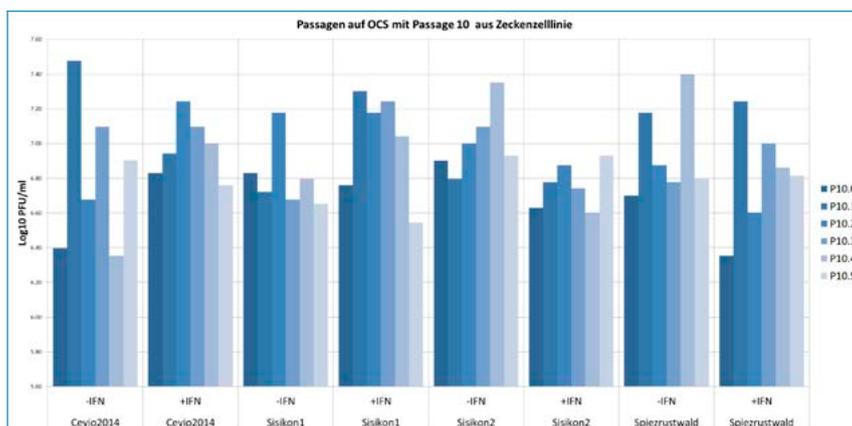


Abbildung 4

Virustitern ein typisches Verhalten von viralen Quasispezies-Populationen und ein Zeichen deren Plastizität [8]. Die Vektor-adaptierten Virus-Isolate werden nun zehn Mal auf organotypischen Ratten Cerebellum Schnitten passagiert und damit auf Wirtszellen adaptiert. Die Analyse der Sequenzen der Quasispezies Populationen mittels NGS führt zur Identifikation von Mutationen, welche für die Vektor-zu-Wirt-Übertragung von hochpathogenen RNA Viren benötigt werden.

Referenzen

- [1] Bundesamt für Gesundheit BAG: *obligatorisches Meldesystem für Infektionskrankheiten*; www.bag.admin.ch
- [2] Suss J: *Tick-borne encephalitis 2010: epidemiology, risk areas, and virus strains in Europe and Asia – an overview*; Ticks Tick Borne Dis 2011, 2(1):2–15
- [3] Nationales Referenzzentrum für durch Zecken übertragene Krankheiten NRZK: *Informationsflyer zu Zecken und durch Zecken übertragene Krankheiten*; www.labor-spiez.ch
- [4] Laurin SA, Andino R: *Quasispecies Theory and the Behavior of RNA Viruses*; PLoS Pathog 2010 6:e1001005
- [5] Gäumann R, Mühlemann K, Strasser M: *High-Throughput for Tick Surveys and Tick-Borne Encephalitis Virus and Its Application in a National Surveillance Study in Switzerland*; Appl. Environ. Microbiol. 2010 vol. 76 no 13 4241–4249
- [6] Beuretcm et.al: *Screening of ticks from the Canton of Ticino, Switzerland, for the presence of pathogens*; Unpublished data.
- [7] Bell-Sakyi L, Zwegarth E, Blouin EF: *Tick cell lines: tools for tick and tick-borne disease research*; Trends Parasitol. 2007 Sep; 23(9):450–7
- [8] Moreno E, Gallego I, Gregori J: *Internal Disequilibrium and Phenotypic Diversification during Replication of Hepatitis C Virus in a Noncoevolving Cellular Environment*; J Virol 2017 91:e02505-16



Die Liste der UNSGM Designierten Laboratorien sollte Generalisten- und Spezialisten-Laboratorien umfassen, um über einen reichhaltigen Mix an Laborfähigkeiten zu verfügen.



Designierte Bio-Laboratorien für die UNO – drittes Arbeitstreffen

*Dr. Cédric Invernizzi,
Dr. Nadia Schürch,
Dr. Beat Schmidt*

Der Mechanismus des Generalsekretärs der Vereinten Nationen (UNSGM)¹ ist ein wichtiges Instrument der internationalen Gemeinschaft zur Untersuchung von mutmasslichen Einsätzen von chemischen, biologischen oder Toxin-Waffen. Die Schweiz startete 2015 eine Initiative zur Etablierung von designierten Laboratorien im biologischen Bereich zur Stärkung des UNSGM.² Eine Reihe von Arbeitstreffen in Spiez soll praktische Schritte auf dem Weg zu einem funktionsfähigen Netzwerk vertrauenswürdiger designierter Laboratorien entwickeln.

Das dritte Arbeitstreffen zur UNSGM-Initiative der Schweiz fand vom 20. bis 22. Juni 2017 in Spiez statt. Aufbauend auf den Ergebnissen der vorangegangenen Treffen diskutierten die Teilnehmenden den Stellenwert eines Punktesystems für Labormethoden und tauschten sich über *best practice*-Ansätze im Format einer *Table-Top*-Übung aus. Drei Expertengruppen aus den klassischen Fachgebieten der Virologie, Bakteriologie und Toxinologie haben begonnen, ein gemeinsames Verständnis für adäquate Analyse- und Qualitätssicherungskriterien zu entwickeln und praxisnah einen sinnvollen Umsetzungsplan zu definieren.

Für jede UNSGM-Untersuchung, die eine Analyse von Proben durch designierte Laboratorien umfasst, ist das Endziel die Etablierung einer klaren Herkunft der Proben, einer voll-

¹ United Nations Secretary-General's Mechanism UNSGM

² Labor Spiez mit Unterstützung der Abteilung Sicherheitspolitik des Eidgenössischen Departements für auswärtige Angelegenheiten (EDA) und Internationale Beziehungen Verteidigung des Eidgenössischen Departements für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (VBS)

Designierte Laboratorien für chemische Analysen

Im Gegensatz zum Biowaffenübereinkommen verfügt das Chemiewaffenübereinkommen über wirksame Kontrollinstrumente, denn mit der Organisation für das Verbot chemischer Waffen (OPCW) existiert eine unabhängige Organisation, die das Übereinkommen überprüft. Die Analysen der designierten Laboratorien der OPCW, darunter auch das Labor Spiez, trugen dazu bei, dass die Untersuchungskommission der Uno 2013 wissenschaftlich unwiderlegbare Beweise für den Einsatz von Chemiewaffen im Syrischen Bürgerkrieg vorlegen konnte. Das Labor Spiez analysierte damals Boden-, Textil-, Gummi- und Haarproben sowie Extrakte von Wischproben und Geschoss-Fragmenten, die von den Uno-Inspektoren in Syrien erhoben wurden. Ein Grossteil der Proben enthielt Sarin und/oder Sarin-verwandte Verbindungen.

ständig eingehaltenen Beweiskette³ sowie einer nachweislich technischen Kompetenz der Laboratorien für die analytischen Aufgaben. Damit wird sichergestellt, dass der Spielraum für politische Anfechtbarkeit verringert oder ganz beseitigt wird. Dies ist insbesondere im Zusammenhang mit Untersuchungen mutmasslicher Einsätze biologischer Waffen von Bedeutung, da es keine zweckgebundene und mit entsprechenden Ressourcen ausgestattete internationale Organisation für Untersuchungen mutmasslicher Einsätze biologischer Waffen gibt – in Analogie zur Organisation für das Verbot chemischer Waffen (OPCW). Ein Kooperationsnetzwerk, welches Vertrauen in die wissenschaftliche Kompetenz und analytischen Fähigkeiten der designierten Laboratorien sowie in die angewandten Qualitätssicherungssysteme schafft, ist daher von grösster Bedeutung.

Bei der Untersuchung eines mutmasslichen Einsatzes biologischer Waffen ist eine Isolierung und Kultivierung des Erregers nicht immer möglich. Um ein vertretbares Mass an Vertrauen in die Laborergebnisse zu erreichen, könnte sich die Analyse daher auf die Anwendung verschiedener, sich ergänzender Komplementärmethoden abstützen, was aber eine Bewertung erforderlich macht. Obwohl ein solches Punktesystem allein kaum als unabhängiger Beweis für den Einsatz biologischer Waffen geeignet wäre, könnte es bei flexibler Anwendung dennoch als Orientierungshilfe für die eindeutige Identifizierung und tiefere Charakterisierung eines Erregers dienen. Letztendlich tragen solch gewichtete Ergebnisse zur Indiziensammlung bei, die eine UNSGM-Mission insgesamt zur Verfügung hätte, um zu beurteilen, ob ein Vorfall auf einen vorsätzlichen Einsatz von biologischen Substanzen oder auf ein Naturereignis zurückzuführen ist.

Um ein funktionsfähiges Netzwerk von vertrauenswürdigen UNSGM Designierten Laboratorien aufzubauen, sind praktische Schritte erforderlich, die in den *UNSGM Guidelines and Procedures* festgelegt sind und sowohl den Nachweis der Laborkompetenz wie auch Vergleichsmessungen zwischen den Laboratorien vorsehen. Die drei Expertengruppen des Spiezer Arbeitstreffens identifizierten mehrere Schlüsselfaktoren für die Akzeptanz von Laborergebnissen, insbesondere im politischen Kontext einer UNSGM-Untersuchung. Hohe Standards in der Qualitätssicherung sind von zentraler Bedeutung und sollten Akkreditierungen, die Verwendung von qualitätsgesicherten Referenzstandards und Datenbanken sowie angemessene Kontrollen umfassen. Die Teilnehmenden erkannten, dass eine eindeutige Identifizierung eines Erregers im Rahmen einer UNSGM-Mission sowohl vom Kontext als auch vom Mandat abhängen wird. Je nach Szenario wäre es dienlich, dass ein UNSGM Designiertes Laboratorium als Drehscheibe agiert und sich damit dem Feld-Team eine Rückgriffmöglichkeit eröffnet, besonders bei inhärent komplexen technischen Fragen im Zusammenhang mit der Probenahme, den Laboranalysen und den dazwischenliegenden Prozessen. Um einige dieser Aspekte umzusetzen, ist praktische Arbeit erforderlich, wie beispielsweise vertrauensbildende Übungen, die sich – wenn möglich – auf bestehende Systeme externer Qualitätssicherungsübungen abstützen sollten. Dieses Vorgehen würde die Entwicklung geeigneter Standards für die Berichterstattung fördern, wobei eine flexible Anpassung an den jeweiligen Kontext sowie an das Mandat gewährleistet bleiben müssen. Mehrere zu berücksichtigende Faktoren haben die Arbeitsgruppen in Spiez hervorgehoben, um erfolgreich ein vertrauenswürdiges Netzwerk von UNSGM Designierten Laboratori-

³ Engl.: *chain of custody*. Beschreibt die lückenlos rückverfolgbare Dokumentation sämtlicher Stationen einer Probe von der Entnahmestelle bis zum Analyseresultat.

en aufbauen zu können. Ein ganzheitlicher Einbezug, sowohl hinsichtlich des wissenschaftlichen Umfangs als auch der geografischen Repräsentation, wurde als wichtig erachtet. Die Liste der UNSGM Designierten Laboratorien sollte Generalisten- und Spezialisten-Laboratorien umfassen, um über einen reichhaltigen Mix an Laborfähigkeiten zu verfügen. Obwohl eine UNSGM-Untersuchung bei einem Krankheitsausbruch signifikant von einer Gesundheits- oder veterinärmedizinischen Untersuchung unterscheidet, wäre zusätzlich eine enge Zusammenarbeit mit anderen Labornetzwerken von Vorteil. Ein solches Labornetzwerk würde nicht nur als Plattform für den Austausch bewährter Praxis dienen, sondern auch als Kurator allgemein anerkannter Leistungskriterien, die auf validierten und gegenseitig akzeptierten Analysemethoden, Referenzmaterialien und -datenbanken basieren. Aufgrund ungenügender personeller und finanzieller Mittel im ordentlichen Haushalt des Büros der Vereinten Nationen für Abrüstungsfragen (UNODA), müssen die Laboratorien die Federführung zur Umsetzung dieser technischen Aspekte selbst übernehmen.

Die Teilnehmenden des Arbeitstreffens identifizierten eine Reihe erster praktischer Schritte des noch nicht vollständig ausgearbeiteten Fahrplans. Dieser umfasst die Erstellung einer Checkliste mit den Mindestanforderungen an die Laboratorien, die Fortsetzung der Diskussion über den Stellenwert eines Punktesystems für Labormethoden und die Stärkung des Vertrauens durch externe Qualitätssicherungsübungen. Noch ausstehend sind die Entwicklung von Leitlinien bezüglich Probenmanagement, die Erarbeitung eines Rückgriffkonzeptes unter Einbezug eines UNSGM Designierten Laboratoriums als Drehscheibe, weitere Diskussionen über die Kuratierung von Referenzdatenbanken und -materialien, die Entwicklung von Trainingsmodulen sowie die Beurteilung des Nominierungsstatus zur UNSGM-Laborliste. Schliesslich könnte durch verstärkte Bemühungen der OPCW mehr Unterstützung für den UNSGM erreicht werden.

Eine Reihe von Treffen auf Arbeitsebene wurden als Folgeschritte angekündigt. Im Oktober 2017 organisierte Deutschland ein Treffen in Berlin, um die Diskussion über den Stellenwert eines Punktesystems für Labormethoden voranzubringen und die Opportunität von Mindestanforderungen für designierte Laboratorien abzuklären. Im Anschluss daran folgte im November 2017 eine erste vertrauensbildende Übung mit klinischen und Umwelt-Proben, die inaktivierte Bakterien enthalten konnten. Im Jahr 2018 soll eine weitere vertrauensbildende Übung stattfinden, in welcher natürliche und

künstliche Sequenzierungsdaten von Erregern analysiert werden sollen. Im Bereich der Toxine wird die Erstellung eines Übersichtsdocuments über prioritäre Toxine erwartet, welches auch als Grundlage zur Ermutigung und Ermächtigung der OPCW dienen könnte, andere relevante Toxine in künftige Übungen miteinzubeziehen. Schliesslich wurde eine webbasierte Lösung für den elektronischen Austausch von Dokumenten zwischen den Teilnehmenden und als Wissensspeicher eingerichtet.

Die Schweiz organisiert ein viertes Arbeitstreffen in der zweiten Septemberwoche 2018, in welchem Bilanz über die erzielten Fortschritte gezogen werden soll. Das Treffen wird die nächsten Schritte auf dem Weg zu einem robusten Qualitätssicherungssystem für die UNSGM Designierten Laboratorien erörtern, um sie zu einem globalen vertrauenswürdigen Netzwerk weiterzuentwickeln.

Dieser Text ist eine Adaptation der Zusammenfassung des Berichts zum dritten Arbeitstreffen zu UNSGM Designierten Laboratorien, übersetzt aus dem Englischen. Der ganze Bericht ist abrufbar unter <https://www.labor-spiez.ch/de/rue/uno/index.htm>



Edmond Mulet (3.v.l.), Leiter des Führungsgremiums des JIM, präsentiert die Resultate der Untersuchungen dem UNO-Sicherheitsrat am 7. November 2017. Stefan Mogl (2.v.l.), Chef Fachbereich Chemie des Labor Spiez, war Mitglied des dreiköpfigen Führungsgremiums.

Einsätze von Chemiewaffen in Syrien – Der gemeinsame Untersuchungsmechanismus von OPCW und UNO



Am 16. November 2017 lief das Mandat des Untersuchungsgremiums aus, welches für den UNO-Sicherheitsrat den Einsatz von Chemiewaffen in Syrien und die verantwortlichen Täter identifizieren sollte. In zwei Fällen war die Beweislage ausreichend und man konnte die Täterschaft zuordnen. Sowohl das Syrische Regime wie auch der Islamische Staat konnten für einzelne Chemiewaffeneinsätze verantwortlich gemacht werden. Mit seinem Veto im UNO-Sicherheitsrat hat Russland Ende 2017 jedoch eine einjährige Verlängerung des Mandats für das Untersuchungsteam blockiert. Damit besteht vorderhand kein Mechanismus mehr, um die Verantwortlichen zu eruieren.

Der Sicherheitsrat kreierte mit Resolution 2235 das Untersuchungsgremium mit dem Namen *OPCW-UN Joint Investigative Mechanism*, Englisch abgekürzt JIM und gab diesem den Auftrag, innerhalb eines Jahres Fakten und Beweise für die durch die OPCW bestätigten Einsätze von Chemiewaffen zu sammeln. Ein aus drei Personen bestehendes Führungsgremium des JIM sollte basierend auf der Sichtung dieser Beweise, Verantwortliche für die Chemiewaffeneinsätze bzw. daran beteiligte Parteien benennen, soweit dies die gesammelten Beweise erlauben würden.

Stefan Mogl

Der JIM war die Antwort des Sicherheitsrates auf die Berichte der OPCW, die ab 2014 den Einsatz von Chemiewaffen im syrischen Konflikt bestätigten. Diese Entwicklung war höchst beunruhigend. Schliesslich hatte die internationale Gemeinschaft auf die Chemiewaffen-

attacke vom 21. August 2013 in Ghouta und die Schreckensbilder von mit Sarin vergifteten Menschen reagiert: Syrien war im Oktober des gleichen Jahres dem Chemiewaffenübereinkommen beigetreten und hatte sein Chemiewaffenprogramm der Kontrolle der OPCW unterstellt. In einer gross angelegten internationalen Aktion wurde das syrische Chemiewaffenarsenal abgebaut, die wichtigsten Chemikalien wurden ausser Landes gebracht und die Produktions- und Lagerstätten des syrischen Regimes wurden zerstört. Die Gefahr, dass Chemiewaffen nach 2013 weiterhin zum Einsatz kommen würden, schien damit vorerst gebannt. Diese Hoffnung entpuppte sich jedoch bald als falsch, und Meldungen zu Angriffen mit Chlorgas – unter anderem mit Fassbomben aus der Luft – häuften sich, was den Sicherheitsrat mit Resolution 2235 zum Handeln bewegte.

JIM 2015–16

Im ersten Bericht an den Sicherheitsrat¹ (Feb. 2016) bestätigte die Leiterin des JIM, Virginia Gamba (Argentinien), dass der JIM seit November 2015 operativ sei. Die OPCW hatte von 116 Meldungen zu möglichen Chemiewaffeneinsätzen bis anfangs 2016 deren 29 untersucht und für 23 davon den Einsatz von chemischen Waffen bestätigt. Der JIM konnte in der ihm zur Verfügung stehenden Zeit aber nicht alle Ereignisse untersuchen und traf unter den vielen Fällen eine Auswahl. In seinem dritten² und vierten³ Bericht beschreibt der JIM neun durch ihn untersuchte und von der OPCW bestätigte Chemiewaffeneinsätze. Für vier davon war die Beweislage ausreichend und das JIM Leitungsgremium benannte die Verantwortlichen: für drei Einsätze von Chlorgas war das die Syrische Luftwaffe und für einen Einsatz von Senfgas der sogenannte Islamische Staat.

Der Sicherheitsrat konnte sich bei Ablauf des JIM Mandats im Herbst 2016 zuerst nicht auf eine Verlängerung einigen. Deshalb wurden die JIM Büros bei der OPCW in Den Haag

geräumt und die Anstellungsverträge liefen aus.

Während die *OPCW Fact Finding Mission* (FFM) den Einsatz von chemischen Waffen in Syrien weiterhin untersuchte und bestätigte, hatte der Sicherheitsrat nun keinen Mechanismus mehr, um nach den dafür Verantwortlichen zu suchen. Diese Situation war für viele Staaten unannehmbar. Hinter den Kulissen wurde darum um eine neue Resolution gerungen und am 17. November 2016 erneuerte der Sicherheitsrat mit der Resolution 2319 das Mandat für den JIM für ein weiteres Jahr. Das *UN Office for Disarmament Affairs* (UNODA) und Virginia Gamba bemühten sich umgehend um den Wiederaufbau des JIM. Im Dezember 2016 kontaktierte UNODA die Schweiz und lud Stefan Mogl aus dem Labor Spiez ein, im dreiköpfigen Leadership Panel den Bereich Investigation zu übernehmen. Die Neurekrutierung von Mitarbeitern und der Aufbau der neuen JIM Organisation nahm dann mehrere Monate in Anspruch. Erst am 1. Mai konnte der JIM seine Arbeit wieder voll aufnehmen, zeitgleich mit einem Führungswechsel. Edmond Mulet aus Guatemala wurde neuer Leiter des JIM in New York und Stefan Mogl übernahm die Leitung der Untersuchungsabteilung des JIM in Den Haag. Judy Cheng Hopkins (Malaysia) komplettierte wenige Wochen später das dreiköpfige Leitungsgremium.

In der Zwischenzeit war es am 4. April 2017 zu einer Chemiewaffen-Attacke mit Sarin in der Stadt Khan Shaykhun nördlich von Homs mit vielen Opfern gekommen. Das Ereignis erhielt grosse mediale Aufmerksamkeit und die USA machten die syrische Regierung für den Chemiewaffeneinsatz verantwortlich. Sie bombardierten am 7. April die Luftwaffenbasis Al Shayrat südöstlich von Homs mit 59 Cruise-Missiles, weil von dort – gemäss den USA – die Sarin-Attacke ausgegangen sein soll. Das Ausmass des Chemiewaffenereignisses von Khan Shaykhun und die militärische Reaktion der USA erhöhten die politischen Spannungen im Sicherheitsrat sowie in der OPCW und

1 UN S/2016/142, 12 February 2016

2 UN S/2016/738, 24 August 2016

3 UN S/2016/888, 21 October 2016

fürten zu einer schwierigen politischen Ausgangslage für die Arbeit des JIM.

Arbeitsmethodik JIM 2017

Voraussetzung dafür, dass der JIM eine Untersuchung beginnen durfte, war gemäss Mandat eine Bestätigung der OPCW FFM, dass ein Chemiewaffeneinsatz stattgefunden hat. Der JIM erstellte basierend auf dem Bericht der OPCW eine spezifische Planung zur Steuerung der Untersuchungsaktivitäten. Um die Suche nach den Verantwortlichen von Beginn weg offen und unabhängig zu gestalten, wurden Szenarien erarbeitet, die den Verlauf der Ereignisse erklären konnten. Dabei wurden auch alle von den Konfliktparteien kommunizierten Szenarien über den angeblichen Verlauf der Ereignisse miteinbezogen. Die Abteilung zur Informationsbeschaffung erhielt dann den Auftrag, nach Fakten zu den verschiedenen Szenarien zu suchen.

Der JIM arbeitete von zwei Standorten aus. In New York arbeiteten die politische und die Rechtsabteilung, Finanzen, Administration und Logistik. In den Haag war eine Abteilung für Informationsbeschaffung, eine für Analyse und Informationsüberprüfung, ein Übersetzungsdienst sowie ein Beweis- und Daten-Archiv angesiedelt.

Für die Informationsbeschaffung nutzte der JIM alle ihm zugänglichen Quellen. Er war dabei auf Unterstützung angewiesen und kontaktierte über 30 UN-Mitgliedsstaaten mit konkreten Fragestellungen. Der JIM arbeitete auch mit Nicht-Regierungsorganisationen zusammen, befragte eine Vielzahl von Zeugen und engagierte Forensische Institute, Fachexperten und das OPCW designierte Labornetzwerk. Das Ziel der Untersuchung war Fakten zu sammeln, die durch die Analyseabteilung des JIM überprüft und bestätigt werden konnten. Der JIM suchte nach Beweisen für: Datum und Uhrzeit des Chemiewaffeneinsatzes, den Ort der Freisetzung des chemischen Kampfstoffes, den Munitionstyp und die chemische Zusammensetzung des Kampf-

stoffes, die Methode der Ausbringung sowie die medizinischen Auswirkungen auf exponierte Personen und allfällige Bewältigungsmassnahmen durch lokale Einsatzkräfte.

JIM Untersuchungen 2017

Im September 2016 kam es nordöstlich von Aleppo, in einem von Rebellen kontrollierten Gebiet, im Ort Umm Hawsh zu einem Zwischenfall mit Senfgas – das erste Ereignis, für das der JIM 2017 eine Untersuchung initiierte. Das Haus einer Frau war von einer Mörsergranate getroffen worden. Die Granate liess eine ölig braune Flüssigkeit zurück. Die Hausbewohnerin rief eine Nachbarin zur Hilfe, um die Flüssigkeit abzuwaschen. Beide Frauen erlitten dabei eine schwere Senfgasvergiftung und begaben sich in medizinische Behandlung. Im November erreichte eine ABC-Spezialeinheit der russischen Armee den Ort. Die Einheit stellte am Strassenrand eine mit Senfgas gefüllte Mörsergranate sicher. Im Dezember und Januar besuchte die OPCW FFM Syrien und erhielt dabei von der russischen Spezialeinheit genommene Proben, untersuchte die Mörsergranate und nahm Blutproben von den beiden Senfgasopfern. Der JIM untersuchte das Ereignis ausgehend vom Bericht der OPCW FFM⁴ und konnte in seinem siebten Bericht⁵ aufzeigen, dass der sogenannte Islamische Staat für den Senfgasangriff auf Umm Hawsh verantwortlich war.

Der zweite vom JIM untersuchte Chemiewaffeneinsatz war das bereits erwähnte Ereignis in Khan Shaykhun vom 4. April 2017. Aufgrund der Freisetzung von Sarin zwischen halbsechs und 7 Uhr morgens starben dadurch gemäss der OPCW FFM ca. 100 Personen und 200 wurden verletzt. Die offizielle JIM Untersuchung begann unmittelbar nach Erscheinen des OPCW FFM Berichtes zu Khan Shaykhun⁶ Ende Juni.

Bereits kurz nach dem Ereignis zirkulierten in den Medien unterschiedliche Erklärungen zu dessen Hergang. Die syrische Regierung sowie die Rebellen wurden für den Sarineinsatz ver-

4 OPCW S/1491/2017

5 UN S/2017/904

6 OPCW S/1510/2017

antwortlich gemacht. Die Arbeit der OPCW FFM und des JIM wurde in den Medien intensiv politisch kommentiert. Anlässlich der Veröffentlichung und Diskussion des sechsten JIM Berichtes⁷ am 7. Juli im UN-Sicherheitsrat bat der Leiter des JIM darum in seiner Pressekonferenz die JIM Untersuchungen nicht unnötig zu politisieren.

Im Rahmen seiner Untersuchungsaktivitäten zu Khan Shaykhun die von Ende Juni bis Oktober 2017 dauerten konnte der JIM folgendes feststellen:

- Am 4. April 2017 warfen Flugzeuge über Khan Shaykhun zwischen 0630 und 0700 Munition ab und ein syrisches Flugzeug befand sich zu dieser Zeit in der Nähe des Luftraums über Khan Shaykhun;
- Der Krater, von dem aus sich das Sarin im Ort ausbreitete wurde am Morgen des 4. April durch eine Bombe verursacht, die mit hoher Geschwindigkeit auftraf;
- Eine grössere Anzahl von Menschen wurde zwischen 0630 und 0700 Sarin ausgesetzt;
- Diese grosse Zahl an Opfern und der Nachweis von intaktem Sarin in Proben die angeblich erst zehn Tage nach dem Ereignis vom Krater entnommen wurden, weist darauf hin, dass wahrscheinlich eine grosse Menge Sarin freigesetzt wurde. Das stimmt mit der Ausbringung von Sarin mittels einer Chemiewaffen Bombe überein;
- Die Symptome der Opfer, deren medizinische Betreuung sowie der allgemein beobachtete Umfang des Ereignisses entspricht dem, was bei einer Massenvergiftung erwartet würde;
- Das Sarin in den Proben von Khan Shaykhun wurde mit grosser Wahrscheinlichkeit mit einer Vorläufersubstanz aus ehemaligen syrischen Chemiewaffen Lagerbeständen hergestellt;
- Gewisse durch den JIM beobachteten und im Annex des siebten Berichtes beschriebene Unstimmigkeiten entkräften gemäss JIM die hier aufgelisteten Feststellungen nicht.

Das Leitungsgremium des JIM machte basierend auf diesen Erkenntnissen die syrische Regierung für die Freisetzung von Sarin in

Khan Shaykhun am 4. April verantwortlich und präsentierte die Resultate in seinem siebten Bericht am 7. November dem UN-Sicherheitsrat. Der JIM Bericht wurde ausser von Bolivien und Russland von allen Sicherheitsrat Mitgliedern unterstützt. Ein Antrag auf Verlängerung des Mandates des JIM über den 16. November 2017 hinaus scheiterte trotz verschiedener Versuche mit abgeänderten Resolutionsentwürfen am Veto Russlands im Sicherheitsrat.

Nachtrag

Ende Januar 2018 brachte Russland einen Resolutionsentwurf in den Sicherheitsrat ein, der auf die Schaffung eines neuen Untersuchungsmechanismus mit reduzierten Kompetenzen abzielte. Dieser neue Mechanismus sollte unter der Bezeichnung United Nations Independent Mechanism of Investigation (UNIMI) geschaffen werden. Die USA antworteten auf den russischen Text mit einem Gegenvorschlag. Im Januar und Februar 2018 häuften sich wieder Medienmeldungen zu Chemiewaffeneinsätzen in Syrien und die OPCW FFM führte die Untersuchungen zur Bestätigung bzw. Entkräftung solcher Anschuldigungen im Rahmen der Möglichkeiten der Organisation weiter. Bis auf Weiteres besteht aber kein Mechanismus, um die für Chemiewaffeneinsätze Verantwortlichen zu eruieren bzw. um die bereits identifizierten Parteien zur Verantwortung zu ziehen.

⁷ UN S/2017/552



Exercice de décontamination de l'armée américaine en Corée du Sud

Décontamination des agents de guerre chimique



Les événements militaires observés récemment, et plus particulièrement l'usage d'armes chimiques en Syrie, ont montré qu'il est important de procéder rapidement à une décontamination minutieuse des substances hautement toxiques afin de réduire autant que possible les dommages aux personnes et à l'environnement. Ce risque concerne également les organisations d'intervention civiles, qui peuvent se trouver en contact avec des produits chimiques toxiques. Le Laboratoire Spiez a mis au point une méthode permettant d'évaluer à petite échelle l'efficacité de ces moyens de décontamination en présence d'agents de guerre chimique.

La décontamination est l'opération consistant à éliminer ou détruire des substances chimiques toxiques présentes : sur des personnes, des matériaux ou dans l'environnement. On distingue deux types de procédés pour la réaliser, l'un physique et l'autre chimique. Le premier englobe toutes les méthodes d'élimination n'entraînant pas de réaction chimique. Elles visent à éliminer la contamination des surfaces. Ces méthodes s'appuient sur des modes d'action mécaniques comme l'absorption ou le rinçage, mais ne détruisent pas et ne dégradent pas les substances. Par décontamination chimique, on entend les méthodes qui dégradent une substance au moyen d'une réaction chimique. Il peut s'agir de réactions d'hydrolyse, d'élimination, d'oxydation ou même de réactions enzymatiques.

La décontamination idéale serait une méthode combinant des procédés physiques et chimiques, et donc un nettoyage efficace et universel des surfaces allié à une dégradation rapide de tous les types de substances contaminantes, sans effets délétères pour

*Dr. Anna Gerber,
Fausto Guidetti,
Michael Arnold,
Dr. Christophe Curty*



Illustration 1: Exemples de décontaminants testés au Laboratoire Spiez

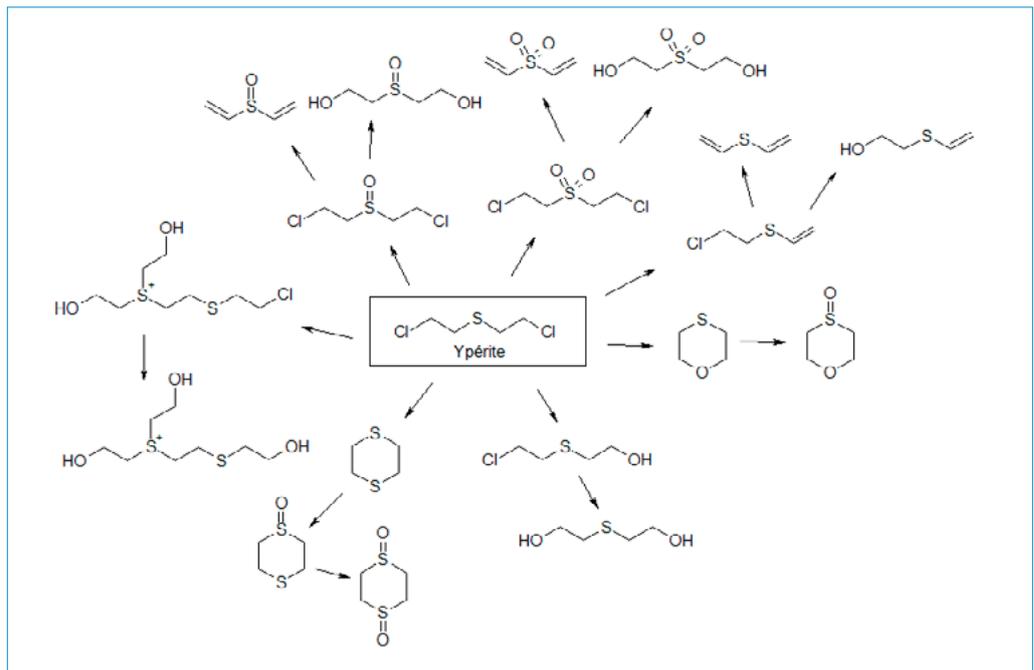


Illustration 2: Exemples de produits de dégradation pouvant résulter d'une décontamination de l'ypérite

l'homme ou l'environnement. Une telle méthode reste encore du domaine de l'utopie. Certains produits disponibles sur le marché sont certes considérés comme efficaces et dégradent en peu de temps les substances, mais ils endommagent les matériaux et – en cas de protection insuffisante – sont également nocifs pour l'homme. D'autres moyens sont certes inoffensifs pour les individus et l'environnement, mais ils réagissent en revanche moins rapidement ou uniquement avec certaines substances. De nouvelles technologies très prometteuses comme les nanoparticules, les applications photochimiques ou catalytiques ou les composés organométalliques, pourraient permettre à l'avenir d'atteindre l'objectif visé. Une autre tendance s'oriente vers le développement d'un moyen de décontamination universel pouvant être appliqué à tout type de danger chimique et biologique, sans

incidence pour la santé et l'environnement. Il s'agit là d'une partie des travaux de recherche menés actuellement; certains produits de ce type apparaissent peu à peu sur le marché, leur applicabilité sur le terrain doit toutefois encore être vérifiée.

Au Laboratoire Spiez, nous testons les produits disponibles sur le marché afin de vérifier leur efficacité en matière de dégradation d'agents de guerre chimique (Illustration 1). Les décontaminants se présentent sous diverses formes, mais il s'agit la plupart du temps de produits de type poudre, liquide ou mousse.

Des poudres décontaminantes sont utilisées pour décontaminer de petites surfaces. Elles éliminent les produits chimiques au moyen de procédés physiques et/ou chimiques. Les mousses ou solutions de dé-

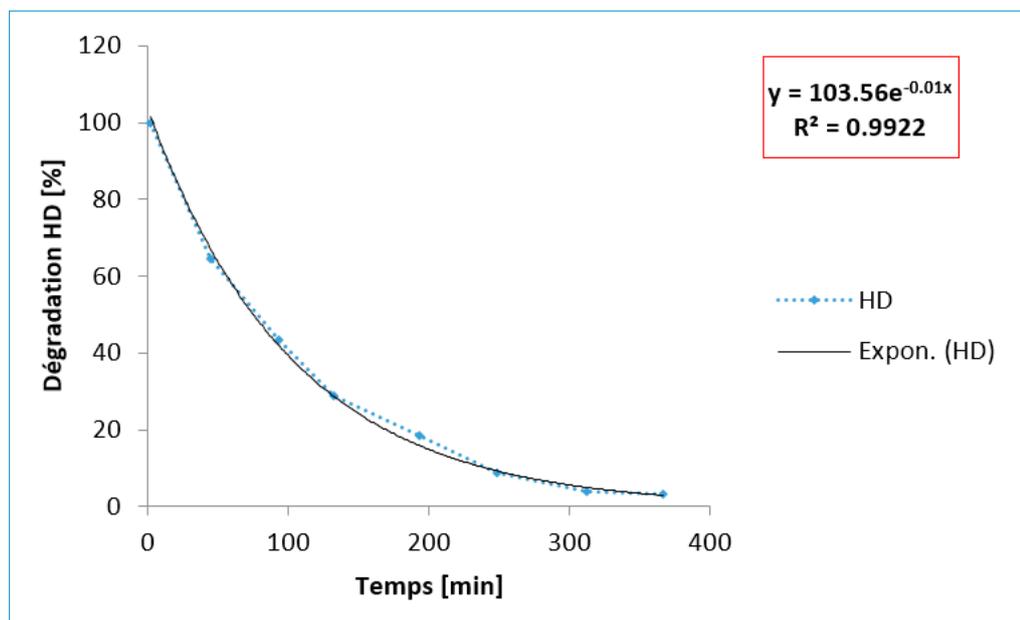


Illustration 3: Dégradation de l'ypérite en présence d'un décontaminant

contamination servent à la décontamination de grandes surfaces comme les façades de bâtiments ou les véhicules.

Les produits décontaminants se distinguent non seulement par leur consistance mais également par leur composition chimique. En fonction des principes actifs de chaque décontaminant, on obtient des produits de dégradation différents, ce qui complique encore la procédure de décontamination. Une amélioration des connaissances des réactions de décontamination et la caractérisation d'éventuels produits de dégradation toxiques restent un vrai défi. L'illustration 2 représente des produits de dégradation pouvant résulter de la décontamination de l'ypérite.

Au sein du Groupe Chimie organique, détection-décontamination, nous avons mis au point une méthode permettant de tester à petite échelle en laboratoire l'efficacité des produits de décontamination d'agents de guerre chimique. L'accent est mis sur la rapidité de la dégradation du toxique de guerre, les produits de dégradation sont analysés dans une deuxième étape.

Lors des tests, l'agent chimique est mélangé au décontaminant. Des échantillons sont ensuite prélevés à des intervalles donnés puis analysés par spectroscopie de résonance magnétique nucléaire (RMN) ou chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG-SM). Ces données permettent de

déterminer la cinétique de dégradation (Illustration 3).

À l'aide de ces paramètres, l'efficacité des décontaminants par rapport à une substance donnée peut être comparée et, ainsi, un décontaminant adéquat peut être spécifiquement retenu pour telle substance ou tel scénario.

Dans le cas où des toxiques de guerre sont utilisés dans une zone habitée, d'autres questions se posent: tous les murs, façades et sols doivent-ils être décontaminés, ou suffit-il d'aérer les locaux? Combien de temps faut-il attendre après la contamination (et décontamination éventuelle) avant de pouvoir réoccuper les locaux? Afin d'apporter des réponses précises sur ces points, nous étudions depuis 2011, en collaboration avec le Military Research Institute (MRI) basé à Brno (CZE), les interactions entre les agents de guerre chimique à l'état gazeux et divers matériaux de construction et de protection. Concrètement, des expériences sont menées afin d'observer quelle proportion de la substance contaminante pénètre dans le matériau et en ressort, et si les matériaux eux-mêmes ont une action décontaminante. Grâce à ces tests, nous parvenons à mieux évaluer les situations et à fournir des informations de manière plus précise et rapide.

Les matériaux testés ont été choisis en fonction de la fréquence de leur utilisation dans les bâtiments suisses (grès, béton, bois, etc.), les matériaux de protection sont ceux qui sont

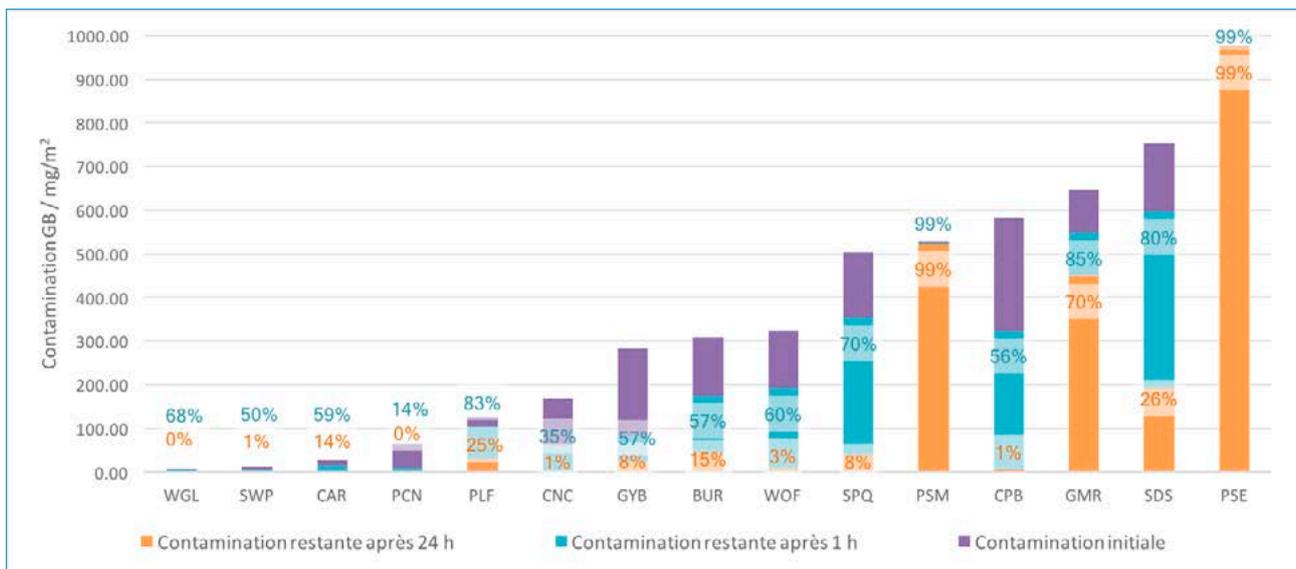


Illustration 4: Matériaux contaminés par du sarin à l'état gazeux. WGL: verre à vitres, SWP: dalles en pierre, CAR: peinture résistant aux agents chimiques, PCN: béton peint, PLF: revêtement de sol en plastique, CNC: béton brut, GYB: plâtre, BUR: caoutchouc butyle, WOF: bois laqué, SPQ: parquet vitrifié, PSM: tenue de protection militaire, CPB: moquette, GMR: caoutchouc de masque de protection, SDS: grès, PSE: tenue de protection C-EEVBS

utilisés par l'armée suisse et au Laboratoire Spiez. La substance contaminante étudiée est le sarin, un neurotoxique à la fois hautement toxique et volatile. Des tests portant sur d'autres toxiques de guerre sont en cours.

L'illustration 4 montre les quantités de sarin qui sont absorbées par les matériaux (violet), les concentrations encore présentes dans les matériaux après une heure (bleu) et après 24 heures (orange). Il apparaît clairement que plus le matériau est poreux, plus il absorbe de sarin. Les deux tenues de protection (PSM et PSE) absorbent une grande quantité de substance, mais celle-ci est retenue grâce au charbon actif du tissu.

Nous pouvons utiliser les informations acquises dans le cadre de nos projets de décontamination, d'une part, à l'interne par exemple pour équiper le laboratoire de sécurité chimique ou l'équipe C-EEVBS¹ avec de nouveaux moyens de décontamination et, d'autre part, pour apporter notre aide à des institutions comme l'armée suisse. Nous conseillons actuellement armasuisse dans le cadre de l'acquisition et de l'application d'un nouveau décontaminant destiné à l'armée suisse.

1 C-EEVBS: équipe de spécialistes en chimie du groupe d'intervention du DDPS



Hauptsitz der OPCW in den Haag

20 Jahre OPCW



Dr. Beat Schmidt

Die Organisation für das Verbot chemischer Waffen (OPCW) feierte am 29. April 2017 das Inkrafttreten des Chemiewaffenübereinkommens und damit ihr 20-jähriges Bestehen. Das CWÜ gilt als der bisher effektivste Abrüstungsvertrag weltweit. 192 Staaten, das entspricht 98 Prozent der Weltbevölkerung, haben den Vertrag ratifiziert. Er verbietet die Entwicklung, Herstellung, Lagerung und den Einsatz chemischer Waffen. Dank dieses Regelwerks konnte in den letzten 20 Jahren unter Aufsicht der OPCW eine ganze Kategorie von Massenvernichtungswaffen beinahe vollständig vernichtet werden. Dafür erhielt die OPCW 2013 den Friedensnobelpreis.

Das Chemiewaffenübereinkommen (CWÜ) wurde ab dem 13. Januar 1993 zur Unterzeichnung in Paris aufgelegt. Die Schweiz hatte es bereits am folgenden Tag unterzeichnet und gut ein Jahr später die Ratifikationsurkunde hinterlegt. Die OPCW ist mit der Aufgabe betraut, die Umsetzung der CWÜ durchzusetzen, auch mittels Inspektionen vor Ort, um sicherzustellen, dass nicht im Verborgenen chemische Stoffe für die Entwicklung oder die Produktion von chemischen Kampfstoffen abgezweigt werden.

Bis heute haben Spezialisten der OPCW die Vernichtung von knapp 70 000 Tonnen der von den Besitzerstaaten Russland, USA, Albanien, Südkorea, Indien, Irak, Libyen und Syrien gemeldeten chemischen Kampfstoffen überprüft. Somit haben bis April 2017, 20 Jahre nach Gründung der OPCW, alle Besitzerstaaten ihre Bestände vernichtet – bis auf Russland und die USA: Russland zerstörte im September 2017 seine Restbestände, und für USA gilt der Termin 2023. Neben diesen Überprüfungen übten die Inspektoren gelegentlich auch die besonderen, aber in den 20 Jahren nie durchgeführten Inspektio-



Inspektoren der OPCW in Libyen

nen, bei denen ein Mitgliedstaat des Chemiewaffen-Gebrauchs beschuldigt (*Challenge Inspection*) oder des Einsatzes verdächtigt würde (*Investigation of Alleged Use*). All diese OPCW Prüftätigkeiten dienen nicht nur der Umsetzung des CWÜs und der Vertrauensbildung, sondern schrecken vor allem Staaten ab, neue Chemiewaffen-Programme anzustreben.

Ein wichtiger Anreiz für die Entwicklungs- und Schwellenländer, dem CWÜ beizutreten, war die Aussicht, in der zivilen Nutzung von Chemie profitieren zu können. Ein Beispiel ist das *Associate Programme*, das bislang mehr als 400 jungen Wissenschaftlern aus 118 Ländern eine dreimonatige Ausbildung in einem modernen chemischen Betrieb ermöglichte, unter anderem auch in der Schweiz.

Syrien und die OPCW

Die schwierigste Periode für die OPCW waren die wiederholten, teilweise massiven Einsätze von Chemiewaffen im syrischen Bürgerkrieg. Im August 2013 forderte eine Attacke in einem Aussenbezirk von Damaskus 1400 Menschenleben. Die von der UNO-Erkundungsmission gesammelten, zum Teil im Labor Spiez analysierten Proben bestätigten den Einsatz des Nervenkampfstoffs Sarin. Daraufhin musste Syrien unter dem Druck der USA und der Vermittlung von Russland dem CWÜ beitreten. In der Folge führte dies bis Januar 2016 zu einer beispiellosen Abrüstung, bei der mit internationaler Hilfe unter Aufsicht der OPCW 1300 Tonnen Kampfstoffe und Vorläuferchemikalien des syrischen Regimes ausserhalb von Syrien vernichtet wurden. Gleichzeitig überwachte die OPCW unter schwierigsten Sicherheitsbedingungen die Zerstörung von 25 der 27 syrischen Produktionsstätten. Da die syrische Deklaration etliche Ungereimtheiten, Widersprü-

che und Lücken aufwies und also die vollständige Abrüstung nicht belegen konnte, unternahm die OPCW grosse Anstrengungen, Syriens Deklarationen zu verifizieren. Obwohl die Inspektoren manch heftiger Beschuldigung ausgesetzt waren, hielten sie die Diskrepanzen in ihren Berichten fest. Mit gleichem Engagement sammelte die OPCW Fakten zu den allen Chemiewaffen-Einsätzen in Syrien (und Irak) und orientierte objektiv über ihre Befunde. Dass dies keine einfache Aufgabe ist, hat der massive Angriff in Khan Shaykhun am 4. April 2017 mit fast 100 Toten gezeigt. Die OPCW-Inspektoren konzentrierten sich auf die Frage, welche Chemiewaffen eingesetzt worden waren, und nicht wer sie eingesetzt hatte. Deshalb sammelte und analysierte die OPCW Informationen von allen verfügbaren Quellen. Diese unparteiische und professionelle Haltung wird von allen Seiten geschätzt (vgl. S. 41f.).

Die Schweiz und die OPCW

Die Schweiz geniesst bei der OPCW einen hervorragenden Ruf, da sie diese Organisation in vielen Bereichen massgeblich unterstützt hat. Besonders setzt sich die Schweiz für ein starkes Verifikationsregime ein, damit eine Verletzung der Konvention (Artikel 1 der CWÜ) eindeutig nachgewiesen werden kann. In dieser Hinsicht hat das Labor Spiez (LS) mehrere Tausend Referenzdaten von Kampfstoffen und relevanten Verbindungen dem OPCW kostenlos zur Verfügung gestellt und Referenzchemikalien geliefert. Als Vertrauenslabor der OPCW hat das LS mehrere internationale Missionen, insbesondere in Syrien entscheidend unterstützt. Angehende OPCW-Inspektoren konnten im LS mittels Mock-Inspektionen in der Liste 1 Anlage ihre Inspektionsfähigkeit praktisch üben. Jedes Jahr eine Wissenschaftlerin oder einen Wissenschaftler

aus einem Entwicklungsland zu einem mehrmonatigen Internship nach Spiez eingeladen. Ferner bietet die Schweiz internationale OPCW-Kurse an; die hier ausgebildeten Chemiker können das erworbene Know-how zum Schutz gegen Chemiewaffen in ihrem Heimatland weitervermitteln. Die Schweiz pocht darauf, dass neueste Entwicklungen in Wissenschaft und Technologie laufend überprüft werden, damit deren potenzielle Auswirkungen auf die Abrüstungsverträge rechtzeitig erkannt werden. Diesbezüglich ist es der Schweiz immer wieder gelungen, ihre Experten in den Berater-Gremien der OPCW zu platzieren, wie z. B. Dr. Christophe Curty oder Stefan Mogl vom LS im 25-köpfigen wissenschaftlichen Beirat¹ der OPCW.

Die Schweiz und das Chemiewaffen-übereinkommen

Von Beginn an hat die Schweiz das Chemiewaffenübereinkommen (CWÜ) voll umgesetzt und die gesetzlichen Grundlagen laufend angepasst, wie z. B. die Chemikalienkontrollverordnung² im Oktober 2013. Als hoch industrial-

isiertes Land mit einem wichtigen Chemiesektor deklariert die Schweiz 44 Unternehmen an die OPCW, wovon 38 Werke und Betriebe inspektionspflichtig sind (Stand Aug. 17). Folglich fanden bislang 94 OPCW Inspektionen (also etwa fünf pro Jahr) in der Schweiz statt. Das CWÜ verpflichtet jeden Vertragsstaat, eine Nationale Behörde für die Umsetzung des CWÜ zu schaffen. In der Schweiz hat die Abteilung Sicherheitspolitik (ASP) des Eidgenössischen Departements für auswärtige Angelegenheiten (EDA) den Vorsitz dieses Gremiums inne. In dieser Behörde befinden sich zusätzlich das Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO), die Internationalen Beziehungen Verteidigung (IB V) sowie das Labor Spiez. Die Nationale Behörde unterhält eine Web-Seite³ mit Informationen für Industrie und Handel. In den internationalen Verhandlungen setzt sich die Schweiz vor allem für eine starke Verifikation und für eine vollständige Umsetzung des CWÜ in den Vertragsstaaten ein.

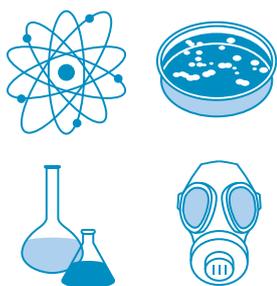
Geschichte der Chemiewaffen – wichtige Meilensteine

1675	Strassburger Übereinkunft	Das erste internationale Abkommen zur Beschränkung des Einsatzes chemischer Waffen, in diesem Fall vergiftete Munition
1874	Abkommen betreffend die Gesetze und Gebräuche des Landkriegs	Verbot des Einsatzes von Gift oder vergifteten Waffen sowie die Verwendung von Waffen/Projektile, die unnötiges Leid verursachen
1899/ 1907	Haager Landkriegs-Ordnung	Verbot des Gebrauchs von erstickenden oder giftigen Gasen
1915– 1918	1. Weltkrieg	90 000 Todesopfer durch chemische Waffen
1925	Genfer Protokoll	Verbot des Einsatzes von Chemiewaffen im Krieg, aber kein Entwicklungsverbot
1930er Jahre	China und Abessinien	Einsatz von Chemiewaffen in China und Abessinien.
1972	Biowaffenübereinkommen	Umfassendes Verbot, aber kein Verifikationsmechanismus; Verpflichtung zu Verhandlungen über Chemiewaffen
1980er Jahre	Iran-Irak Krieg	Der Irak setzt Chemiewaffen ein gegen den Iran sowie gegen die eigene Zivilbevölkerung.
1993	Chemiewaffenübereinkommen	Unterzeichnung in Paris am 13. Januar.
1997	Gründung der OPCW	29. April 1997. Das Chemiewaffenübereinkommen tritt in Kraft und die OPCW nimmt ihre Arbeit auf.
2007	10. Jahrestag des Chemiewaffenübereinkommens	182 Mitgliedstaaten, 25 000 Tonnen chemische Waffen zerstört
2013–	Syrischer Bürgerkrieg	Einsatz von Chemiewaffen durch Kriegsparteien, z. T. gegen die Zivilbevölkerung
2013	Friedensnobelpreis für OPCW	Die OPCW erhält den Friedensnobelpreis für ihre Bemühungen, Chemiewaffen weltweit zu eliminieren.

1 The Scientific Advisory Board (SAB) of the OPCW

2 SR 946.202.21

3 <http://www.labor-spiez.ch/de/the/cw/index.htm>



André Zahnd (Labor Spiez),
Daniel Schuler
(BBS Ingenieure AG)

Kollektivschutz in Hochbauten

Der CBRE-Kollektivschutz in Hochbauten dient dem den Schutz von Personen in oberirdischen Gebäuden gegen die Wirkungen chemischer, biologischer, radiologischer und explosiver Stoffe (CBRE). Das Labor Spiez hat konzeptionelle Grundlagen zur Auswahl und Bewertung von konkreten Schutzmassnahmen erarbeitet. Diese Grundlagen wurden in der Praxis überprüft, und für vier zivile Bauten hat das Labor Spiez Gefährdungs- und Risikoanalysen erstellt. Die Auswahl- und Bewertungsmethoden lassen sich erfolgreich anwenden und ermöglichen praktikable Empfehlungen für kosteneffektive Schutzmassnahmen.

Unterirdische Schutzbauten bieten einen guten Schutz gegen die Wirkungen von Waffen. Sie werden bei Bedarf vorsorglich bezogen. Störfälle sowie Angriffe von Terroristen oder Extremisten ereignen sich jedoch meistens unvermittelt oder nach einer kurzen Vorwarnzeit. Das Aufsuchen von Schutzräumen bei solchen Ereignissen ist kaum möglich. Ergänzend zur klassischen Schutzbautechnik besteht deshalb ein Bedürfnis nach angemessenen und praktikablen Konzepten für den Kollektivschutz von Personen in Hochbauten.

Mit der nationalen Gefährdungsanalyse des Bundesamts für Bevölkerungsschutz werden die Gefährdungen und Risiken durch ABC- und Naturereignisse auf nationaler Ebene abgedeckt. Beim CBRE-Kollektivschutz in Hochbauten liegt der Fokus auf der spezifischen Analyse und der Evaluation von Schutzmassnahmen für ein Gebäude (Bild 1).

Gefährdungs- und Risikoanalyse

Für die Gefährdungs- und Risikoanalyse werden Referenzszenarien verwendet, welche die möglichen CBRE-Gefährdungen von Personen in Hochbauten beschreiben. Diese Szenarien

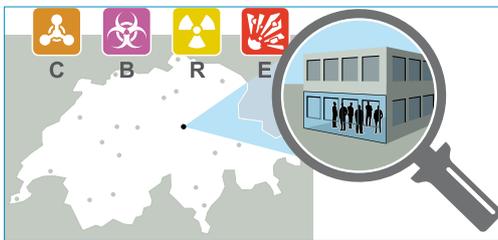


Bild 1: Der Fokus des CBRE-Kollektivschutzes in Hochbauten liegt auf der individuellen Beurteilung von Gebäuden

rien basieren auf dem vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz erstellten *Katalog möglicher Gefährdungen* sowie den *Referenzszenarien ABCN*.

Die Gefährdungen und Risiken für Personen in einem Hochbau werden ausgehend von den Referenzszenarien ermittelt. Das Vorgehen für die Erarbeitung solcher objektspezifischen und situativen Gefährdungs- und Risikoanalysen ist im Bild 2 dargestellt:

Mit der objektspezifischen *Gefährdungsanalyse* wird die Relevanz der Referenzszenarien beurteilt. Für nicht relevante Szenarien ist keine weitere Analyse erforderlich. Relevante Referenzszenarien können bezüglich den CBRE-Stoffen und deren Mengen angepasst werden. Mit der objektspezifischen *Risikoanalyse* werden Plausibilität und Ausmass der Referenzszenarien beurteilt. Nicht plausible Szenarien können ausgeschieden werden. Die Risiken der möglichen Ereignisse werden aufgrund baulicher Charakteristiken, der Nutzung und dem Betrieb sowie dem effektiv vorhandenen Schadenpotenzial situativ angepasst.

Risiken der Referenzszenarien

In den konzeptionellen Grundlagen sind die Risiken der Referenzszenarien angegeben. Sie wurden mit der vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz im Rahmen der Nationalen Gefährdungsanalyse entwickelten Methode ermittelt. Da es sich bei diesen CBRE-Risiken um individuelle Risiken für einzelne Gebäude handelt, sind sie für die meisten Szenarien sehr viel kleiner als die Risiken einer gesamtschweizerischen Katastrophe oder Notlage.

Im Gegensatz zu statistisch erfassten Unfälleignissen lassen sich Szenarien mit terroristischem oder extremistischem Hintergrund nur schwer frequentistisch beschreiben. Für solche Szenarien werden darum subjektive Wahrscheinlichkeiten respektive Häufigkeiten abgeschätzt, woraus eine Plausibilität für das Eintreten des Szenarios abgeleitet wird. Für die qualitative Abschätzung der Risiken sind je sechs Plausibilitäts- und Ausmassklassen gemäss Bild 3 definiert:

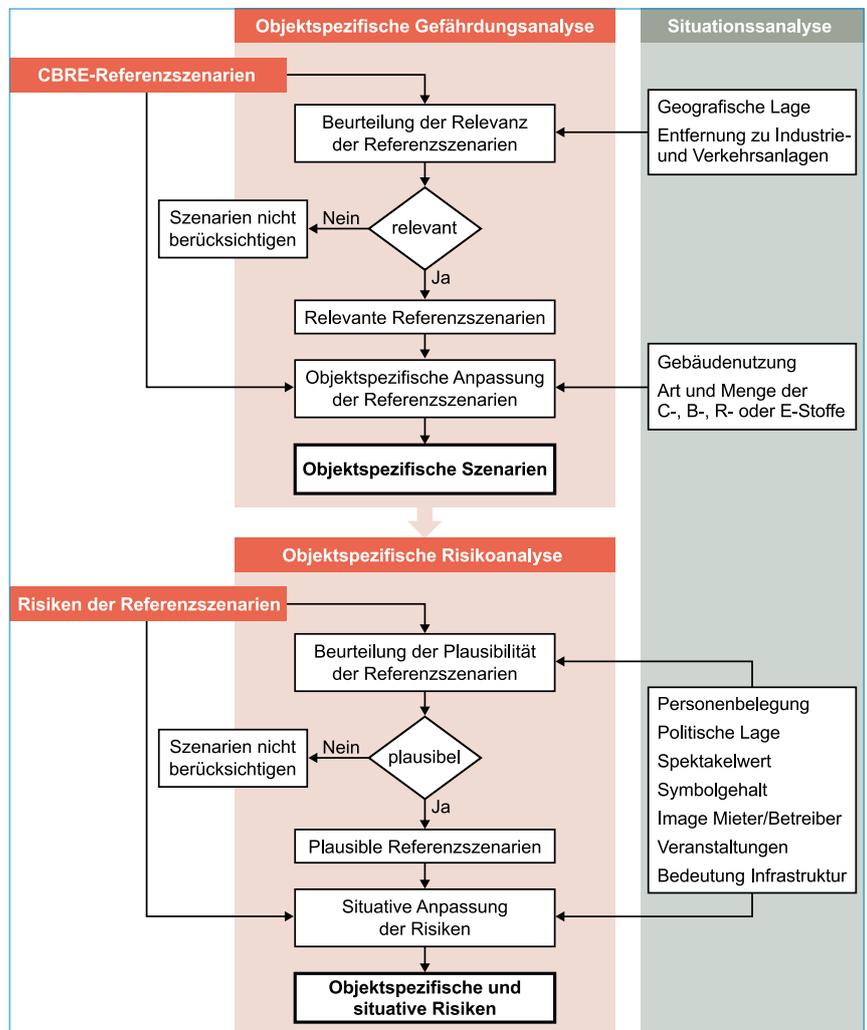


Bild 2: Vorgehen für die objektspezifische Gefährdungs- und Risikoanalyse

Als semi-quantitative Hilfe zur Einschätzung der *Plausibilität* der Szenarien sind die Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten des Szenarios bei einem Gebäude in einem Zeitraum von 20 Jahren respektive die Wiederkehrperiode des Szenarios angegeben. Die Schätzung des *Ausmasses* erfolgt primär aufgrund der zu erwartenden Personenschäden und finanziellen Schäden. Bei der Abschätzung von finanziellen Verlusten werden neben den Sachschäden auch Folge- und Reputationsschäden sowie Verluste infolge von Betriebsausfällen berücksichtigt.

Die Darstellung von Risiken in einer Matrix mit der Plausibilität und dem Ereignisausmass ermöglicht den anschaulichen Vergleich verschiedener Risiken. Das Bild 4 zeigt das Risikodiagramm der CBRE-Referenzszenarien.

Schutzmassnahmen

Das Bild 5 zeigt eine Übersicht der Schutzmassnahmen, die für den CBRE-Kollektivschutz in Hochbauten ergriffen werden können:

Plausibilität		Wahrscheinlichkeit des Szenarios innerhalb von 20 Jahren		Wiederkehrperiode des Szenarios
P5	relativ plausibel	wahrscheinlich	≥ 10%	< 200 Jahre
P4	eher unplausibel	relativ wahrscheinlich	≈ 5%	200 - 1'000 Jahre
P3	unplausibel	wenig wahrscheinlich	≈ 1%	1'000 - 5'000 Jahre
P2	sehr unplausibel	unwahrscheinlich	≈ 0.2%	5'000 - 20'000 Jahre
P1	extrem unplausibel	sehr unwahrscheinlich	≈ 0.05%	20'000 - 100'000 Jahre
P0	kaum vorstellbar	extrem unwahrscheinlich	< 0.01%	> 100'000 Jahre

Ausmass		Personenschäden	Finanzielle Schäden inkl. Folge- und Reputationsschäden
A0	sehr gering	keine Personenschäden	< 100'000 CHF
A1	gering	1 - 20 Verletzte	100'000 - 750'000 CHF
A2	mittel	1 Toter / 10 - 50 Verletzte	750'000 - 5 Mio CHF
A3	hoch	2 - 9 Tote / ≈ 100 Verletzte	5 Mio - 50 Mio CHF
A4	sehr hoch	10 - 50 Tote / ≈ 500 Verletzte	50 Mio - 500 Mio CHF
A5	katastrophal	> 50 Tote / > 500 Verletzte	> 500 Mio CHF

Bild 3: Plausibilität und Ausmass von CBRE-Szenarien

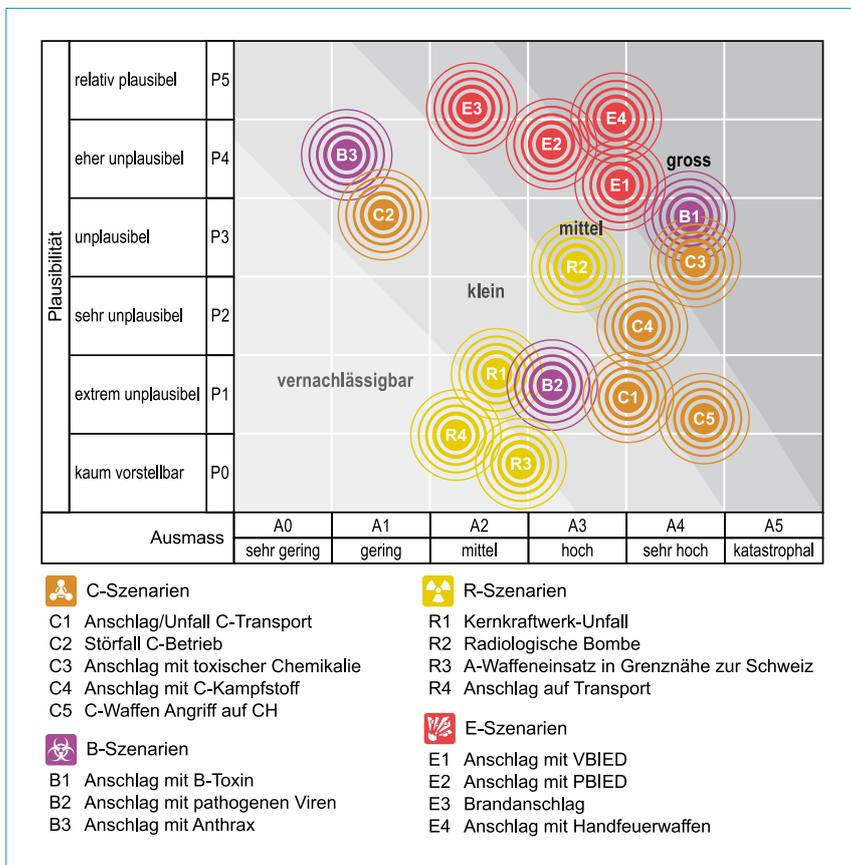


Bild 4: Risiken der CBRE-Referenzszenarien

Die Gestaltung und Anordnung von Hochbauten betrifft die günstige Anordnung sensibler Gebäudeteile wie beispielsweise Lüftungsöffnungen, die Schaffung von Sicherheitsabständen (Stand-off) oder den Bau von Schutzräumen.

Für die Gebäudetechnik sind Gefährdungen durch toxische Gase, Aerosole oder ionisierende Strahlung massgebend. Die Detektion gefährlicher Stoffe, die Verarbeitung der Detektorsignale sowie der Einsatz von Filtersystemen sind dabei wesentlich.

Security-Massnahmen sind technisch/organisatorische Massnahmen wie Kontrolle, Überwachung und Bewachung, die ein Ereignis verhindern können. Safety-Massnahmen sind Massnahmen zur Verminderung der Ereignisauswirkungen. Dazu gehören die Alarmierung und Evakuierung sowie der Brandschutz. Der Bauliche Schutz umfasst unter anderem den Perimeter-Schutz. Durch die Einschränkung des Zugangs zum Gebäude lassen sich Ereignisse verhindern. Bei einem ausreichenden Abstand des Perimeters zum Gebäude werden die Ereignisauswirkungen (z.B. Explosionswirkungen) reduziert. Konstruktive Massnahmen und Härtung, welche die Robustheit von Gebäuden oder Bauteilen verbessern, sind typische bauliche Schutzmassnahmen zur Verminderung der Ereignisauswirkungen.

Kosteneffektive Massnahmenplanung

Die konzeptionellen Grundlagen zum CBRE-Kollektivschutz in Hochbauten beschreiben eine auf dem Grenzkostenansatz basierende, risikoorientierte Bewertung von Schutzmassnahmen. Dabei werden die für Massnahmen erforderlichen Aufwendungen ihrer Wirksamkeit gegenübergestellt. Aufgrund der Relation der Massnahmenkosten und der erzielbaren Risikoreduktion wird die Effizienz quantifiziert. Bei kosteneffektiven Massnahmen sind die Aufwendungen für Schutzmassnahmen kleiner als die Risikokosten.

Schutzmassnahmen reduzieren die Risiken, was mit sinkenden Risikokosten verbunden ist. Ein erhöhter Aufwand für die Massnahmen hat jedoch auch grössere Sicherheitskosten zur Folge. Der optimale Aufwand für Schutzmassnahmen ist erreicht, wenn die aus den Risikokosten und den Sicherheitskosten gebildeten Gesamtkosten minimal sind (Bild 6).

Validierung der konzeptionellen Grundlagen

Die Grundlagen zum CBRE-Kollektivschutz in Hochbauten wurden vom Labor Spiez bezüglich ihrer Anwendbarkeit in der Praxis getestet. Dazu wurden bei vier unterschiedlichen Bauten und Anlagen die objektspezifischen CBRE-Gefährdungen und Risiken analysiert. Bei den untersuchten Bauten handelte es sich hin-



Bild 5: Fachgebiete und Schutzmassnahmen

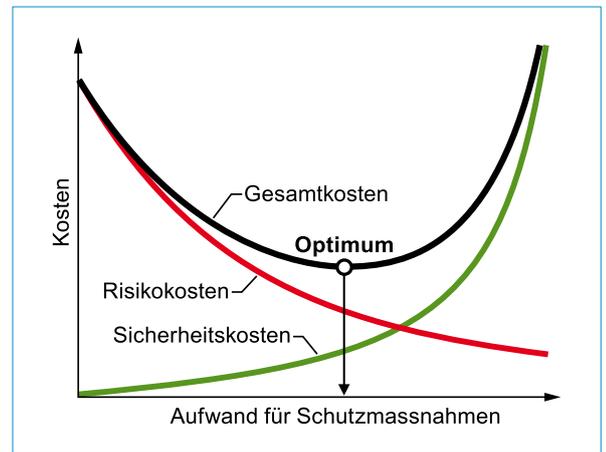


Bild 6: Optimaler Aufwand für Schutzmassnahmen bei minimalen Gesamtkosten (schematische Darstellung)

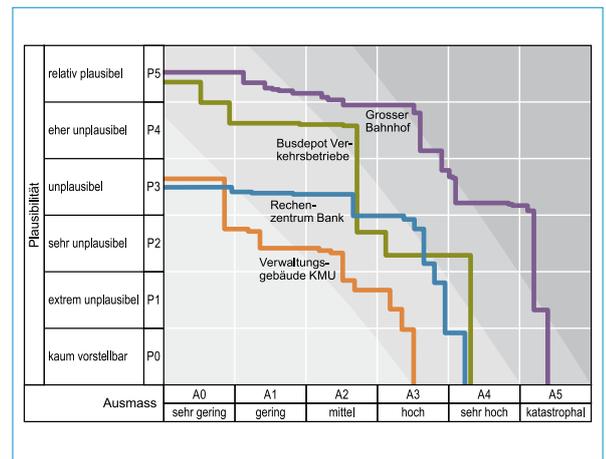


Bild 7: Risikoprofile (Summenkurven) der beim Validierungsprojekt untersuchten Objekte

sichtlich Grösse, geografischer Lage, Nutzung und Personenbelegung um sehr unterschiedliche Objekte. Die Methoden der Gefährdungs- und Risikoanalyse sowie die Evaluation von Schutzmassnahmen wurden für ein Bürogebäude einer KMU, das Busdepot eines städtischen Verkehrsbetriebs, das Rechenzentrum einer Bank sowie für einen grossen Bahnhof angewendet. An der Erarbeitung der Analysen waren Fachleute beteiligt, welche ihre Kompetenzen zu den unterschiedlichen Fragestellungen einbrachten. In den Expertengremien (Delphi-Runden) waren mit dem Gebäude vertraute Nutzer, Sicherheitsbeauftragte und Facility-Manager sowie externe Risikofachleute und Spezialisten für CBRE-Fragen vertreten.

Die Ergebnisse dieser vier Risikoanalysen sind im Bild 7 vergleichend dargestellt. Bei den Risikoprofilen der Bauten handelt es sich – wie in der Sicherheitstechnik üblich – um sogenannte Summenkurven. Der Vergleich der Risiken zeigt, dass beim Bahnhof die grössten und beim Bürogebäude die kleinsten Risiken vorhanden sind. Die vergleichsweise grossen Risiken des Bahnhofs sind auf den grossen Publikumsverkehr sowie auf die mit dem Be-

trieb des Bahnhofs verbundene, generelle Verwundbarkeit zurückzuführen. Bei allen Objekten tragen die E-Szenarien (Anschläge mit Sprengstoffen oder Handfeuerwaffen) den grössten Anteil zum Gesamtrisiko bei, wohingegen der Risikoanteil der C-Szenarien generell klein ist. Die mit einem Anschlag mit einer radiologischen Bombe (*Dirty Bomb*) verbundenen Risiken sind sowohl beim Bahnhof als auch beim Busdepot wesentlich. Die Analyse des Rechenzentrums ergab kleine Risiken, weil bereits Sicherheitsmassnahmen umgesetzt sind und weil die Bank ein redundantes Rechenzentrum betreibt.

Mit der Validierung der konzeptionellen Grundlagen zum CBRE-Kollektivschutz in Hochbauten konnte aufgezeigt werden, dass die Methodik für die Erstellung von Gefährdungs- und Risikoanalysen bei sehr unterschiedlichen Objekten angewendet werden kann und dass damit die Evaluation kosteneffektiver Schutzmassnahmen möglich ist.



Bild 2: Probenmaterial kontaminiert mit 4 × 4 µl Yperit



Werkstoffprüfungen für ABC-Schutzanzüge

Thomas Friedrich

Im Rahmen der Evaluation des individuellen ABC-Schutzanzuges *Neue Generation der Schweizer Armee* hat das Labor Spiez Materialmuster von fünf Anbietern diversen Werkstoffprüfungen unterzogen. Um ein Gesamtbild über die Leistungsfähigkeit der heutigen Materialien für Schutzanzüge zu erhalten, wurden Eigenschaften gemessen wie die Durchbruchzeit von flüssigem C-Kampfstoff, die Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchungen sowie Eigenschaften, die den Tragkomfort beeinflussen. Diese Messungen unterstützen die armasuisse bei der engeren Auswahl aus den angebotenen Produkten.

In Zusammenarbeit mit den Textil-Spezialisten der armasuisse hat das Labor Spiez einen Prüfplan erarbeitet, der die relevanten Werkstoffeigenschaften umfasst. Anschliessend wurden aus den Mustermaterialien der Anbieter die Probekörper ausgestanzt. Bild 1 zeigt, wie die Probekörper entnommen wurden. Dabei mussten sämtliche 1650 Probekörper sowohl in Bahn-Längsrichtung (Kette) als auch quer dazu (Schuss) genau in Richtung des Fadenverlaufes ausgestanzt werden. Dies ist notwendig, weil gewobene Textilien aufgrund unterschiedlicher Fadenstärke/Fadenanzahl in beiden Richtungen unterschiedliche Festigkeitswerte aufweisen.

Eine der wichtigsten Eigenschaften des untersuchten Materials ist die Durchbruchzeit von flüssigen C-Kampfstoffen. Diese Messungen darf in der Schweiz ausschliesslich das Labor Spiez vornehmen. Dazu wurde, wie in Bild 2 gezeigt, 4 × 4 µl reines Yperit (HD) auf die Aussenseite der Mustermaterialien appliziert. Gemessen wurde die Zeit, bis der Kampfstoff

auf der Innenseite der Materialien detektiert werden konnte (Durchbruchzeit).

Die resultierenden Durchbruchzeiten sind in Bild 3 dargestellt (rote Säulen). Die Produkte A bis D bieten einen erheblich längeren Schutz als die Produkte E und F. Bei Betrachtung der gezeigten Standardabweichungen fällt die grosse Streuung beim Produkt A auf, welche als Inhomogenität dieses Materials interpretiert wird, und im Einsatzfall zu Leistungslücken führen kann.

Der Tragkomfort ist ein weiterer Aspekt bei der Auswahl eines ABC-Schutzanzuges. Werkstoffeigenschaften, die den Tragkomfort beeinflussen, sind u.a. das Flächengewicht, die Widerstände gegen Abführung von Körperwärme und Wasserdampf sowie die Luftdurchlässigkeit. Die Körperkerntemperatur darf ein gewisses Mass nicht überschreiten, um die Einsatzleistung hoch zu halten. Bild 4 zeigt die vom Textilprüflabor der armasuisse gemessenen Luftdurchlässigkeiten (normiert). Beim Referenzmaterial und bei den Produkten A bis E handelt es sich um luftdurchlässige Systeme, während das Produkt F luftundurchlässig ist. Die höheren Luftdurchlässigkeiten der Produkte A bis E lassen auf einen höheren Tragkomfort gegenüber dem Referenzmaterial schliessen.

Die Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchungen ist ebenfalls ein wichtiger Faktor. In zerstörenden Werkstoffprüfungen wurden Reissfestigkeit, Reissdehnung, Scheuerfestigkeit, sowie die Weiterreisskraft untersucht (die Weiterreisskraft ist jene Kraft, die notwendig ist, um einen bereits vorhandenen Riss im Gewebe zu vergrössern). Da die Weiterreisskraft gegenüber anderen mechanischen Eigenschaften als wichtiger eingestuft wird, wurde die Altersuntersuchung anhand dieser Eigenschaft vorgenommen. Die Prüfanordnung dazu ist in Bild 5 ersichtlich.

Nach Beschaffung der neuen Anzüge müssen diese auch nach vielen Jahren Lagerung immer noch einsatztauglich sein. Zur Untersuchung des Alterungsverhaltens wurden die Materialien einer beschleunigten Alterung durch Warmluftlagerung bei 80°C unterworfen. Bild 6 zeigt die Anordnung der Probekörper im Wärmeschrank.

Dieses Alterungsverfahren hat zum Ziel, die thermisch induzierte Oxidation der Kunststofffasern und die damit verbundene Abnahme der mechanischen Festigkeiten zu prüfen. Die gegenüber der Realität verschärften Prüfbedingungen geben wertvolle Hinweise zur Langzeitstabilität der Materialien.

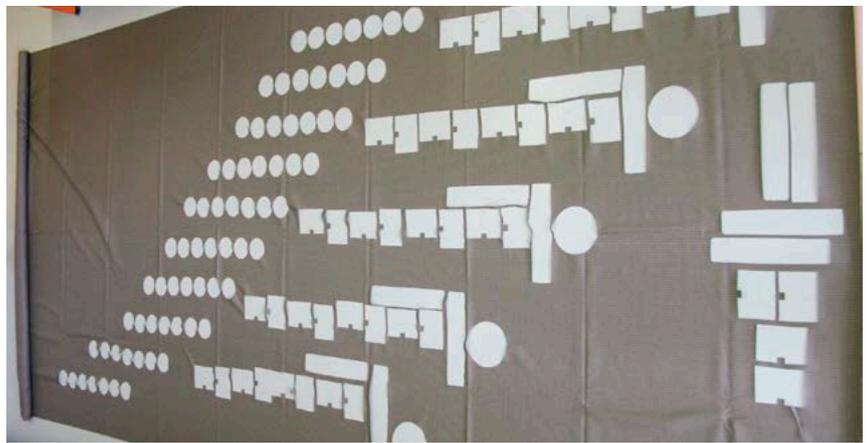


Bild 1: Herausarbeiten Normprobekörper

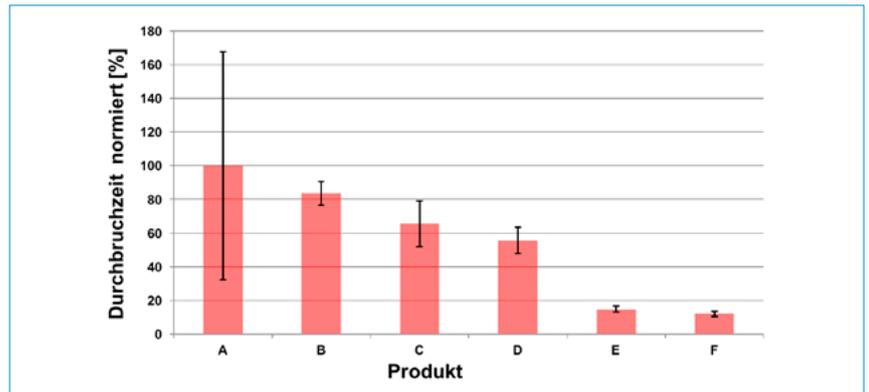


Bild 3: Durchbruchzeiten

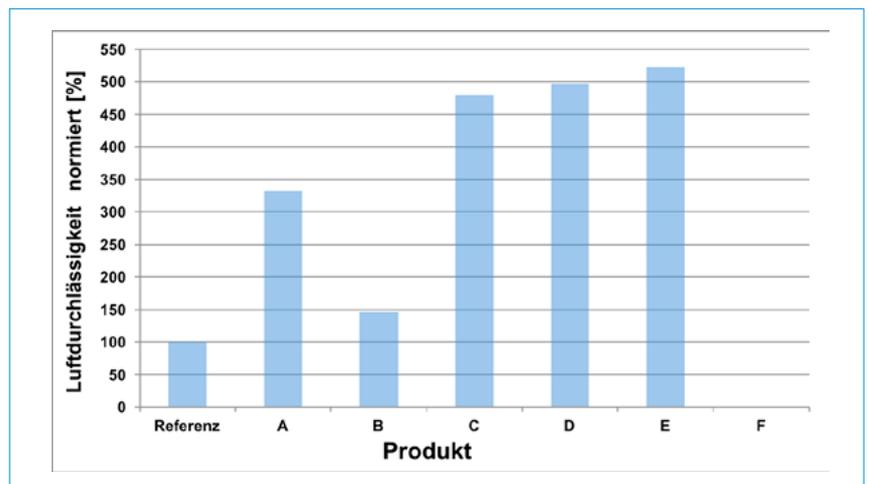


Bild 4: Luftdurchlässigkeiten



Bild 5: Prüfung Weiterreisskraft



Bild 6: Künstlich beschleunigte Alterung

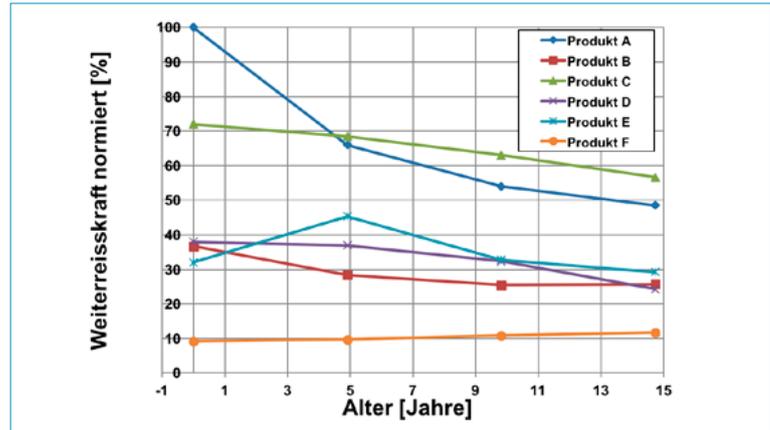


Bild 7: Veränderung Weiterreisskraft durch Alterung

Bild 7 zeigt die Veränderung der Weiterreisskraft der C-Schutzschicht (schwächeren Richtung) in Funktion des simulierten Alters. Produkt A hat im Neuzustand die höchste Weiterreisskraft, sie nimmt jedoch mit dem Alter gegenüber den anderen Produkten am stärksten ab, doch das Niveau ist immer noch höher als bei allen anderen Produkten. Produkt F hat die geringste Weiterreisskraft, sie verändert sich jedoch mit dem Alter relativ wenig.

Fazit

Die Resultate der Werkstoffprüfungen lassen bei Anwendung der zur Auswahl stehenden C-Schutzanzugsmaterialien gegenüber einem Referenzmaterial auf einen höheren Tragkomfort schliessen, weil sie leichter, dünner und luftdurchlässiger sind. Jedoch kann nicht mit einer längeren Schutzzeit bei Kontamination mit flüssigem C-Kampfstoff Yperit (HD) gerechnet werden. Im Anschluss an die Werkstoffprüfungen an den Materialmustern werden ganze Schutzanzüge integral geprüft, d.h. es werden die Schutzleistungen der Gesamtsysteme überprüft.

Die Prüfmöglichkeiten der Gruppe Werkstoffprüfung des Labor Spiez werden auch als Dienstleistung an Firmen der Privatindustrie und an Institute und Organisationen angeboten.

Kontakt:

Thomas Friedrich
 Chef Werkstoffprüfung
 thomas.friedrich@babs.admin.ch
 +41 (0)58 468 18 20





Bei einem Ereignis mit Freisetzung von Radioaktivität will die Bevölkerung wissen, ob sie verstrahlt ist, die A-EEVBS rückt aus.

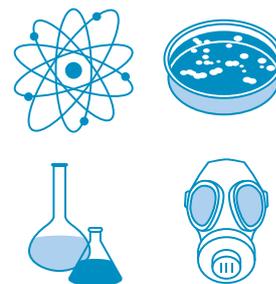
Fachveranstaltung EEVBS

Im Mai 2017 organisierte das Labor Spiez die zweite Fachveranstaltung zur Einsatz-equipe VBS (EEVBS). Der Anlass präsentier-te über 60 Einsatzkräften aus der Schweiz das Leistungsspektrum der Einsatz-equipe und informierte über die Alarmierung, das Aufgebot, die Zusammenarbeit im ABC-Zen-trum in Spiez sowie über die Proben-annahmestelle. Die Fachveranstaltung wurde spezifisch für Einsatzkräfte konzipiert (Feu-erwehren, Feuerwehrenspektoren, Polizei-dienste, grössere Betriebswehren, SBB). Sie stiess auf derart grosses Interesse, dass das Labor Spiez und das Kompetenzzentrum ABC-KAMIR zwei Veranstaltungen organi-sierten.

Die Einsatz-equipe des VBS (EEVBS) setzt sich aus Mitarbeitenden des Labor Spiez und des Kompetenzzentrums ABC-KAMIR der Armee zusammen. Ihre Aufgabe ist die Unter-stützung der zivilen Einsatzkräfte der Kantone und des Fürstentums Liechtenstein bei der Bewältigung von ABC-Ereignissen. Die Spezi-aleinheit mit ihren besonderen Mitteln und spezifischem Fachwissen steht rund um die Uhr zur Verfügung.

Das Labor Spiez und das Kompetenzzentrum ABC-KAMIR der Armee arbeiten eng zusam-men. Sie bieten konzentriertes Fachwissen der EEVBS in den Bereichen Radioaktivität, biolo-gische und chemische Kampfstoffe, ABC-Schutz und ABC-Abwehr. Die Koordination in-nerhalb des Labor Spiez wird vom Fachbe-reich ABC-Schutz wahrgenommen.

Damit das Zusammenspiel zwischen Bund und Kantonen im Einsatzfall auch funktioniert, müssen die Ersteinsatzkräfte Leistungen und Material der EEVBS kennen und darauf zurück-greifen können. Die Rückmeldungen zum An-lass waren sehr positiv, der Kontakt zwischen Bundesstellen und Kantonen wurde intensiviert (sämtliche Kantone waren anwesend).



Daniel Jordi



Figure 1: Gauche: Chambre d'essai MIST avec simulation du vent et mannequin articulé au Laboratoire Spiez, droite: placement de 33 échantillonneurs passifs.



Nouvelle application pour l'évaluation d'équipements de protection individuelle

Dr. César Metzger
Dr. Gilles Richner

Il y a une dizaine d'années, le groupe DIPI (Dispositifs d'intervention et de protection individuelle) du Laboratoire Spiez a développé une chambre d'essai simulant un environnement contaminé afin d'évaluer l'efficacité des équipements de protection individuelle NRBC. Depuis, plus d'une centaine de tests d'équipement ont été effectués. Une méthode innovante d'utilisation d'échantillonneurs passifs recouverts d'une phase solide absorbante en silicone (Stir Bar Sorptive Extraction, SBSE) fût alors développée, permettant la mesure précise des doses d'exposition cutanée sous la protection portée.¹

La diffusion percutanée est l'une des principales voies d'entrée de substances toxiques dans le corps. La performance des équipements de protection dans leur ensemble (comprenant une combinaison de protection avec capuchon, bottes, gants et masque à gaz ou unité respiratoire) contre les gaz et vapeurs chimiques ainsi que contre les agents biologiques doivent donc être scrupuleusement évalués et quantifiés.

Les essais intégraux de la performance des équipements de protections NRBC consistent en un mannequin ou une personne (cobaye) portant l'ensemble des EPI et suivant un protocole spécifique d'exercices durant quelques

¹ Cette méthode analytique a reçu cette année une reconnaissance supplémentaire en dehors de la communauté NRBC. En effet, le SBSE technical meeting a invité le groupe DIPI à présenter leur utilisation originale de la SBSE devant un panel d'experts, dont les développeurs actuels ainsi que les inventeurs des techniques analytiques SBSE.

heures dans une chambre contaminée. La concentration du contaminant, un gaz ou un aérosol, est précisément mesurée et contrôlée. Plusieurs ventilateurs simulent la vitesse du vent. Cette méthode, basée sur le programme MIST (Men-in-simulation test) initialement lancé il y a 30 ans aux USA [1], fût implémenté durant les années 2000 au Laboratoire Spiez.

Sensibilité de la peau et effet local

La sensibilité de la peau et la perméabilité cutanée des agents toxiques est inhomogène sur l'ensemble du corps. Ainsi, la performance des ensembles NRBC doit être évaluée globalement, comme système, ainsi que localement, pour toutes les parties du corps. Les facteurs de protection locaux, PFs, sont définis comme le rapport de la dose externe (c.-à-d. sans protection) et de la dose locale interne. Dans le cas d'agents vésicants, les facteurs de protection physiologique locaux sont donnés par les PFs, pondérés par la sensibilité locale de la peau, déterminée préalablement. Pour les agents innervant, un facteur de protection systémique (ou global) est donné par la moyenne géométrique des PFs, pondérée par la perméabilité locale de la peau. Une mesure représentative de l'exposition aux agents chimiques et biologiques des différentes régions de la peau est donc centrale et représente un des défis majeurs du programme MIST.

Mesure des doses d'exposition

L'exposition aux gaz toxiques de personnes dans des environnements contaminés peut être mesurée par différentes techniques. Il est possible de différencier les méthodes d'analyse en temps réel des analyses différées, dont les résultats sont déterminés ultérieurement en laboratoire, ainsi que les prélèvements passifs des actifs. La plupart de ces méthodes ne sont cependant pas adaptées au programme MIST car elles sont soit destructives (le système de pompage des prélèvements actifs des gaz change la concentration locale du contaminant), soit trop peu sensible (comme les dosimètres passifs), ou alors trop invasives (par ex. les systèmes portables de mesures électroniques sont trop encombrants).

Le *Centre Natick RDEC* a développé des échantillonneurs passifs [1] dans le cadre du programme MIST afin d'adsorber spécifiquement le méthyl salicylate, un simulant de gaz de combat communément utilisé. Ces échantillonneurs, appelés *échantillonneurs Natick*, sont de petits sacs carrés et plats, d'environ 5 cm², remplis d'une quantité précise de poudre Tenax® (Buchem B.V., Pays-Bas), un adsorbant pour produits chimiques. Après

exposition, la poudre Tenax® contaminée est prélevée des sacs. Les contaminants en sont alors extraits avec un solvant et finalement analysés quantitativement par chromatographie.

L'efficacité des protections contre les agents biologiques est déterminée au moyen de simulants sous forme d'aérosols liquides ou solides, de tailles et de compositions variées. Une méthode classique pour estimer l'exposition de la peau aux aérosols solides est l'analyse fluorométrique. Un simulant sous forme de poudre de silice avec des marqueurs fluorescents permet de révéler les régions cutanées exposées aux aérosols grâce à de l'illumination UV.

L'analyse fluorométrique permet une analyse quantitative rapide des dépôts sur la peau du simulant et cette preuve visuelle est facilement compréhensible par un public non spécialiste. Une analyse quantitative nécessite des prélèvements sur la peau de la déposition d'aérosols suivi des analyses quantitatives [2].

Les spectromètres laser et les compteurs de particules, tel que le Portacount® (TSI Inc., U.S.), sont des instruments de mesures couramment utilisés pour les mesures quantitatives de l'efficacité des filtres contre les particules et pour l'ajustement des masques personnels. Ces deux méthodes ne sont cependant pas envisageables pour tester les ensembles de protection contre les aérosols, étant donné qu'elles sont trop intrusives et ont de nombreuses limitations techniques liées aux prélèvements simultanés à différents points de mesure.

Une nouvelle méthode d'analyse avec Twister®

Après quelques tests initiaux dans les années 2000 avec les *échantillonneurs Natick*, le Laboratoire Spiez a rapidement identifié plusieurs inconvénients de cette méthode nécessitant beaucoup de travail et de temps en laboratoire, et décida donc de développer une nouvelle technique d'échantillonnage utilisant du silicone comme matériau absorbant. Les barres d'extraction au silicone, Twister® (Gerstel, Allemagne), ont alors été évaluées et ont montré des résultats prometteurs.

La technique d'extraction à l'aide de barres d'agitation recouvertes d'une couche absorbante de silicone (Stir Bar Sorptive Extraction, SBSE), brevetée sous le nom de Twister®, a été développée durant les années 1990 par le Prof. P. Sandra en Belgique [3] afin d'extraire des composants organiques d'une matrice aqueuse et est maintenant bien établie dans le milieu de la chromatographie. Les



Figure 2: Droite: Twister® et gauche: l'unité de désorption thermique couplée à une GC-MS au Laboratoire Spiez.

Twister® sont des barres d'agitation magnétiques mesurant jusqu'à 20 mm de long, recouvert d'une couche de silicone de 0.5 à 1 mm. L'analyse chimique des éléments absorbés est effectuée facilement par une désorption thermique automatisée suivi d'une analyse par chromatographie en phase gazeuse, nécessitant un faible temps en laboratoire.

La méthode développée au Laboratoire Spiez utilise 33 Twister® maintenus à des emplacements judicieusement choisis par un sous-vêtement séché, en coton, porté à même la peau. Ainsi, les Twister® absorbent les contaminants là où l'effet de l'exposition de la peau aurait lieu. De plus, il est important de relever que les changements d'humidité et de température dus à la transpiration et à la génération de chaleur corporelle à l'emplacement du prélèvement n'affectent que très peu le comportement absorbant des Twister®. Avec des méthodes de calibration appropriées, les facteurs de protection locaux peuvent être déterminés sur une plage de quatre ordres de grandeur, permettant ainsi l'évaluation de tous les types de protection anti-gaz. La méthode développée initialement pour l'exposition au méthyl-salicylate gazeux montre également de bons résultats avec l'aérosol liquide Di-Ethyl-Hexyl-Sebacate (DEHS). Pour le moment, la désorption thermique du DEHS est en cours de développement.

Cette utilisation originale par le Laboratoire Spiez de barreaux siliconés pour l'évaluation des équipements de protection individuel contre les gaz et les aérosols montre une grande versatilité et de nombreux avantages comme:

- méthode passive, simple d'utilisation
- système d'analyse hautement automatisé

- méthodologie unique d'échantillonnage pour les gaz et les aérosols ainsi que pour un mannequin ou un cobaye

Cette méthode a récemment reçu une reconnaissance en dehors de la communauté NRBC. Le Laboratoire Spiez a été invité à présenter cette méthode lors du meeting international biennuel SBSE *Technical Meeting* à Paris en septembre 2017, en présence des experts les plus renommés ainsi que des inventeurs des techniques d'analyse basées sur le SBSE. Divers spécialistes NRBC de par le monde ont également manifesté leur intérêt en vue d'implanter cette méthode dans leurs propres laboratoires. Il est également intéressant de noter qu'à l'heure actuelle, les Twister® sont également utilisés pour l'analyse des composés organiques volatiles dans l'air.

Références

- [1] Technical Assessment of the Man-in-Simulant Test Program (1997): National Research Council, U.S.
- [2] Test Operations Procedure (TOP) 10-2-022 (2005): *Chemical vapor and aerosol system-level testing of chemical/biological protective suits*; Aberdeen Proving Ground
- [3] Baltussen et al. (1999): *Study into the Equilibrium Mechanism between Water and Poly(dimethylsiloxane) for Very Apolar Solutes: Adsorption or Sorption?*; Analytical Chemistry, 10, 71(22)

Mitarbeitende

LABOR SPIEZ

Leitung: Dr. Marc Cadisch
Sekretariat: Irma Lehnherr

FACHBEREICH PHYSIK

Leitung: Dr. Mario Burger
Markus Astner
Dr. Béatrice Balsiger
François Byrde
Dr. José Corcho
Dr. Emmanuel Egger
Dr. Nina Mosimann
Jasmin Ossola
André Pignolet
Dr. Stefan Röllin
Hans Sahli
Marc Stauffer
Dr. Christoph Wirz
Stefanie Wüthrich

FACHBEREICH BIOLOGIE

Leitung: Dr. Marc Strasser
Dr. Rahel Ackermann
Werner Arnold
Marc-André Avondet
Dr. Christian Beuret
Dr. Olivier Engler
Dr. Cédric Invernizzi
Sandra Paniga Rudolf
Sarah Rytter
Dr. Nadia Schürch
Denise Siegrist
Johanna Signer
Susanne Thomann
Dr. Matthias Wittwer
Fritz Wüthrich
Dr. Roland Züst

FACHBEREICH CHEMIE

Leitung: Stefan Mogl¹⁾
Michael Arnold
Thomas Clare
Dr. Christophe Curty
Dr. Jean-Claude Dutoit
Dr. Anna-Barbara Gerber
Fausto Guidetti
Roland Kurzo
Dr. Urs Meier
Benjamin Menzi
Dr. Martin Schär
Dr. Beat Schmidt
Andreas Schorer
Dr. Peter Siegenthaler
Andreas Zaugg

FACHBEREICH ABC-SCHUTZ

Leitung: Daniel Jordi
Dr. Beat Aebi
Pia Feuz
Thomas Friedrich
Regula Gosteli
Markus Gurtner
Kurt Grimm
Marco Hofer
Manuela Merz
Dr. Gilles Richner
Dr. César Metzger
Angelo Seitz
Johann Stalder
Andres Wittwer
André Zahnd

FACHBEREICH LOGISTIK, QUALITÄT UND SICHERHEIT

Leitung: Mauro Zanni
Remo Bigler
Stefan Breitenbaumer
Lisa Brüggemann
Werner Bühlmann
Margrit Burkhalter-Blum
Beatrice Gurtner Kolly
Daniel Gurtner
Felicitas Jegher
Hans-Ulrich Kaderli
Therese Knutti
Hirmis Kamberi
Beat Lörtscher
Franziska Mala
Stefan Marti
Eveline Rogenmoser-Nguthu
Katharina Rothenbühler
René Scherz
Hans Schmid
Marcel Spahr
Isabelle Strasser
Samira Streit
Roger Tschirky
Marianne Walther-Leiser
Dr. Benjamin Weber
Alexander Werlen
Marianne Wittwer
Marianne Wüthrich

KOMPETENZZENTRUM STRAHLENSCHUTZ VBS

Markus Zürcher

STRATEGIE UND KOMMUNIKATION

Dr. Andreas Bucher

EXTERNE MITARBEITENDE

Thomas Hofmann
Christian Müller
Silvia Rothenberger
Giulia Torriani
Cédric von Gunten

LERNENDE

Silvan Glauser
Jan Klopfenstein
Luca Moschen
Tiffany Portmann
Vanina Prumatt
Eileen Trenkler
Julian Remund
Carole Schärer

MASTERARBEITEN

Tim Gelmi
Andreas Wenger

HOCHSCHULPRAKTIKA

Guy Doerfel
Nicolas Sambiagio

DOKTORATE

Joyce Akello
Andreas Bielmann
Stephen Jenkinson
Nicole Liechti
Samuel Lüdin
Corinne Oechslin

POST-DOKTORATE

Dr. Nicole Lenz

FELLOWSHIP IAEA

Manjola Shyti
Miha Trdin

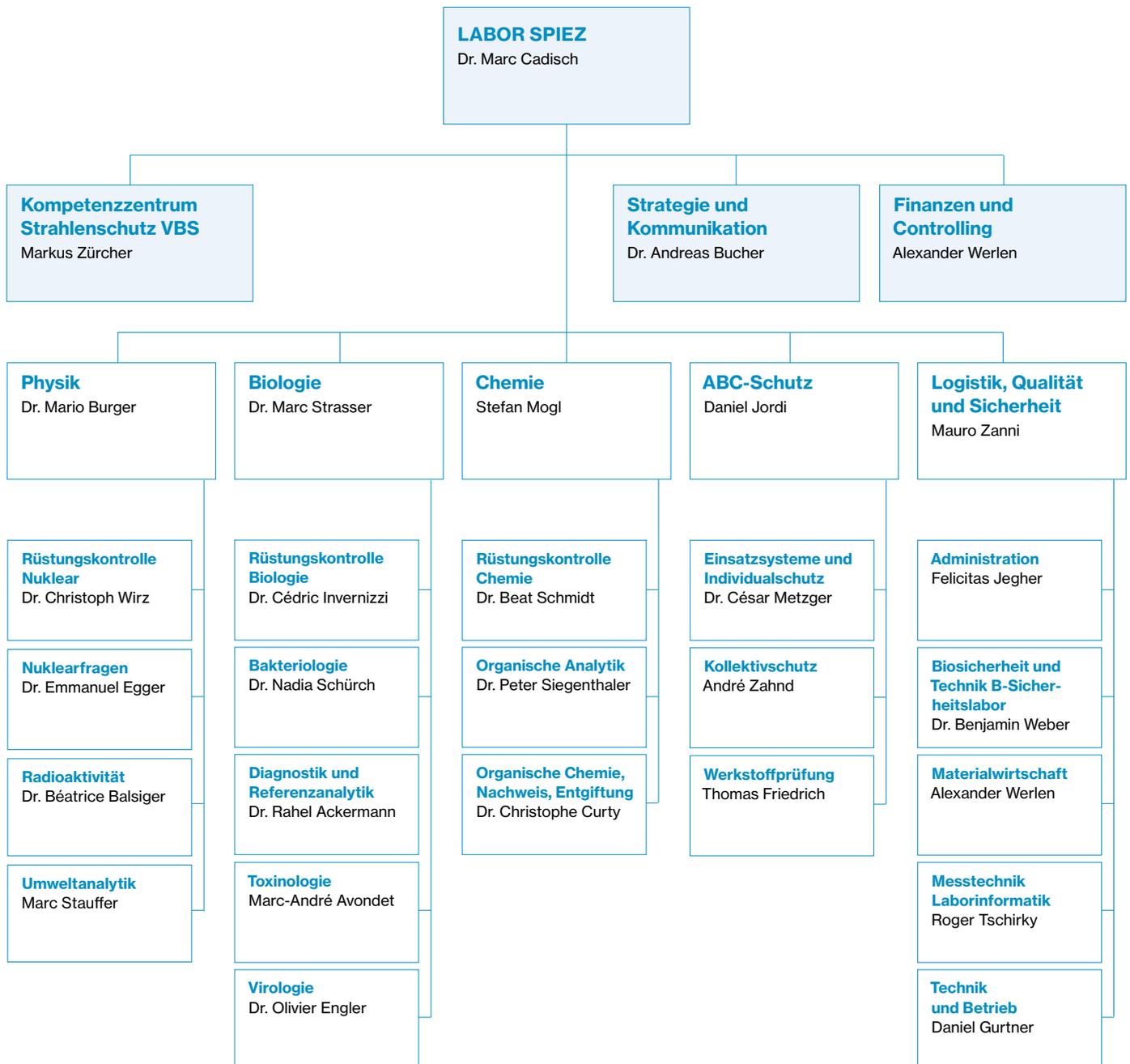
INTERNSHIP OPCW

Thierry Mawete Dani

Legende

¹⁾ Stv. Leiter LABOR SPIEZ

Organigramm



Stand:
2017

Akkreditierte Bereiche

Prüfstellen akkreditiert nach ISO/IEC 17025

STS 0019 Prüfstelle Chemische Analytik zur Verifikation der C-Abrüstung

STS 0022 Prüfstelle für Sorptionsmittel und Atemschutzfilter

STS 0028 Prüfstelle für die Bestimmung der Konzentration von Radionukliden

STS 0036 Prüfstelle für Kunststoffe und Gummi

STS 0054 Prüfstelle Nachweis biologischer Agenzien

STS 0055 Prüfstelle für ABC-Schutzmaterial sowie Einrichtungen und Installationen für Schutzbauten

STS 0101 Prüfstelle für die Bestimmung von Haupt- und Spurenelementen sowie ausgewählten Luftschadstoffen

Teilnahme an Ringversuchen Oktober 2016 bis September 2017

Akkreditierte Stelle	Anzahl	Art und Partner
STS 0019 Chemische Analytik/ Verifikation	0	Aufgrund von erfolgreich abgeschlossenen Off-Site Analysenaufträgen vom Frühjahr 2017 wurde das Labor Spiez durch die OPCW für 2017 von der Teilnahme an den Ringversuchen (OPCW Proficiency Tests) befreit und hat die OPCW Designierung für ein weiteres Jahr sicherstellen können.
STS 0022 Sorptionsmittel	1	Aerosolabscheidung von HEPA Filtern, Bericht WIS 410/2016–011; 4 Labors
STS 0028 Radionuklide	8	<ul style="list-style-type: none"> – PT IAEA TEL 2017-04 ALMERA: Gamma, Sr-Analytik, Tritium – IAEA Pu-Referenzmaterial: Radiochemie, ICP-MS – IAEA ConvEx-3: Gamma – IRSN: Tc-99: Radiochemie, ICP-MS – NMRoRo: U/Pu mittels ICP-MS-MC – IRA/BAG: Gamma in Wasser – IRA/BAG: Gamma in Pulver – IRA/BAG: Tritium in Wasser
STS 0036 Kunststoffe und Gummi	5	<ul style="list-style-type: none"> Deutsches Referenzbüro für Ringversuche und Referenzmaterialien DRRR – Flächenbezogene Masse von Textilien – Zugversuch an Textilien – Elmendorf-Weiterreissversuch an Textilien – Messung der Dichte von Festkörpern – Thermoanalyse DSC Schmelztemperatur und –enthalpie
STS 0054 Analytik biologischer Agenzien	2	<ul style="list-style-type: none"> – Ricin-Exercise OPCW 01.2017 – Vergleichsmessungen (LS/RKI)
Medizinische Biochemie	0	
Diagnostik von Bakterien – Trinkwasserkontrolle	5	Public Health England
Diagnostik von Bakterien – Molekularbiologie	3	<ul style="list-style-type: none"> – Instand Ringversuch Anthrax, Tularämie, Q-Fieber 11.2016 – EMERGE Ringversuch Anthrax, Pest, Tularämie, Q-Fieber 06.2016 – Instand Ringversuch Anthrax, Tularämie, Q-Fieber 06.2017
Diagnostik von Viren – Molekularbiologie	2	<ul style="list-style-type: none"> – Instand Ringversuch DENV PCR 09.2017 – Instand Ringversuch WNV PCR 09.2017
Diagnostik von Viren – Serologie	2	<ul style="list-style-type: none"> – Instand Ringversuch FSMEV Serologie 11.2016 – Instand Ringversuch FSMEV Serologie 06.2017
STS 0055 Lufttechnische Prüfungen	0	
Luftstosswirkungen	0	
Erdstosswirkungen	0	
STS 0101 Haupt- und Spurenelementen	3	Ielab Alicante (Wasser-Ringversuch für ICP-OES/MS/Fotometrie)
	1	ISE Wageningen (Boden-Ringversuch für AAS, ICP-OES/MS, div Aufschlussverfahren, Gravimetrie)
Luftschadstoffe	0	

Referate

Ausgewählte Referate aus dem Geschäftsjahr 2017. Die Liste ist nicht abschliessend.

Datum	Thema
24.01.2017	Dr. César Metzger: Impulsvortrag Nationaler ABC-Schutz – 10 Jahre später, Eidgenössische Kommission für ABC Schutz, Bern
03.02.2017	Dr. Cédric Invernizzi: Misuse of biological research: do we need to be concerned? LS2 Annual Meeting – Parallel Symposia IV: SCNAT Forum for Genetic Research, Zurich
07.02.2017	Dr. Marc Cadisch: National Laboratory Systems, Geneva Centre for Security Policy, Geneva
08.02.2017	Dr. José Corcho: Radiochemical separation of cesium and measurement by other techniques, IAEA Workshop and Proficiency Test on determination of low activity radiocaesium in freshwater, Vienna, A
21.03.2017	Dr. Anna Gerber: Chemical and Biological Weapons: Current and Future Challenges, 8 th SISPAT, Singapore, SGP
22.03.2017	Dr. Cédric Invernizzi: Session on CBRN Verification and Forensics, 8 th SISPAT, Singapore, SGP
28.04.2017	Markus Zürcher: Radonmessungen ALC-M, Kaderrapport 01/17 ALC-M, Andermatt
03.05.2017	Dr. Cédric Invernizzi: DEFTECH-Event zu CRISPR-Cas9, armasuisse W+T, Thun
09.05.2017	Dr. César Metzger: Investigations avec risques chimiques, biologiques et radiologiques, Institut Suisse de Police & Université de Lausanne, Lausanne
23.05.2017	Dr. Peter Siegenthaler: OPCW BioPT-2: Spiez Laboratory Findings, Auswertemeeting 2nd OPCW Biomedical Proficiency Test, Den Haag, NL
15.06.2017	Dr. Benjamin Weber: Peracetic Acid (PAA) as a Decontaminant and Its Use in a Chemical Shower, IVBW18, Santo Antônio, BR
26.06.2017	Dr. José Corcho: Sampling techniques for water and sediment, IAEA Regional Workshop on Sampling Procedures for Water and Sediment Sample, Kozloduy, BG
27.06.2017	Dr. José Corcho: Enrichment methods, IAEA Regional Workshop on Sampling Procedures for Water and Sediment Sample, Kozloduy, BG
28.08.2017	Andreas Biemann: Synthetic Approach to Protein Organophosphorus Chemical Warfare Agent Bioadducts, Swiss Summer School 2017, Villars sur Ollon
18.09.2017	Dr. Gilles Richner: SBSE applied to evaluate personal protective equipment against NBC threats, 4th Stir Bar Sorptive Extraction Technical Meeting, Paris, F
19.09.2017	Daniel Jordi: Prüfung Persönlicher Schutzausrüstung und Konzeptioneller CBRNe Schutz von Hochbauten, 13. Europäischer Katastrophenschutzkongress, Berlin, D
04.10.2017	Dr. Cédric Invernizzi: One Study, Two Paths: The Dual-Use Dilemma in the Life Sciences, ETH Zurich, Zürich
17.10.2017	Andreas Schorer: Einsatz des Agilent 7200 GC/Q-TOF in der Analyse von Chemischen Kampfstoffen, Agilent Technologies in Waldbronn, D
19.10.2017	Dr. Anna Gerber: C-Detektionstechnologie: Letzte Entwicklungen und Zukunft der C-Detektion, 14. Bevölkerungsschutzkonferenz 2017, Basel
19.10.2017	Tim Johan Gelmi: Comparison of different methylation methods for acids related to the Chemical Weapons Convention (CWC) in diverse matrices with/without background, École des sciences Criminelles, Université de Lausanne, Lausanne
19.10.2017	Dr. Marc Cadisch: Aktuelles aus dem Labor Spiez, 14. Bevölkerungsschutzkonferenz 2017, Basel
25.10.2017	Dr. Cédric Invernizzi: UNSGM Designated Laboratories Workshop, UNSGM Workshop, Berlin, D
25.10.2017	Dr. César Metzger: Neue Herausforderungen im ABC-Schutz, 2. Informationsanlass SVS, Bern
06.11.2017	Dr. Peter Siegenthaler: Aufgaben und analytische Möglichkeiten des Verifikationslabors für C-Kampfstoffe im LABOR SPIEZ, GERSTEL GmbH in Mülheim, D
16.11.2017	Dr. Cédric Invernizzi: Dual-Use, Briefing for BSOs of the University Hospital Zurich, Zurich
28.11.2017	Dr. José Corcho: Environmental radioactivity monitoring, Setting up a programme, IAEA national training course, Marshall Islands, MH
04.12.2017	Dr. José Corcho: Environmental sampling, Theoretical Basis, IAEA national training course, Marshall Islands, MH
19.12.2017	Dr. Martin Schär: Analytische Chemie im Labor Spiez: Einführung in die Methodik zur Detektion und Identifikation von Chemischen Kampfstoffen, ZHAW, Wädenswil

Publikationen 2017

Nach Fachbereichen geordnet; die Liste ist nicht abschliessend, u. a. weil einige Arbeiten unter die Informationsschutzverordnung des Bundes fallen.



Fachbereich Physik

Astner Markus, Burger Mario

Products of in Situ Corrosion of Depleted Uranium Ammunition in Bosnia and Herzegovina Soils

Environmental Science & Technology

Corcho José

A Comparison and Validation of Pb-210 Chronologies of Deep Sediment Cores from the Southern Gulf of Mexico

Gulf of Mexico Research Initiative, University of South Florida

Egger Emmanuel, Zürcher Markus

Schwerpunktkontrolle am Zollamt Chiasso

LN 2017-01 EGM/ZMS

Ossola Jasmin

Validierung der Gadoliniumbestimmung mit dem ICP-Massenspektrometer NexION 300D

LN 2017-02 OSJA

Pignolet André

Validierung der Quecksilber-Messungen in Luft mittels autoCOLLECT und DMA-80

LN 2017-02 PAN

Pignolet André

Validierung der Bodenaufbereitungsgeräte Backenbrecher BB 50, Planeten-Monomühle, Pulverisette 6, Schlagkreuzmühle SK 300

LN 2017-03 PAN

Sahli Hans, Röllin Stefan, Corcho José

Determination of Tc-99 in environmental samples and depleted uranium penetrators using ICP-MS

J Radioanal Nucl Chem

Sahli Hans, Röllin Stefan, Balsiger Béatrice, Corcho José e.a.

A procedure for the sequential determination of radionuclides in soil and sediment samples

J Radioanal Nucl Chem

Stauffer Marc

Ringversuchsergebnisse 2016 der Prüfstelle STS 0101

LN 2017-01 STM

Stauffer Marc, Pignolet André, Corcho José

Persistent Mercury Contamination in Shooting Range Soils: The Legacy from Former Primers

Bull Environ Contam Toxicol, 2017 Jan; 98 (1):14–21

Röllin Stefan

Isotopenverdünnungsanalyse von schwach an- und angereichertem Uran

LN 2017-01 ROF

Röllin Stefan

Validierung der Methode zur Bestimmung von Isotopenverhältnissen gemäss Vorschrift L 028 59 mit dem Neptune ICP-MS

LN 2017-02 ROF

Röllin Stefan

Isotopenverhältnisanalyse in Bleiprobe mit dem Neptune MC-ICP-MS

LN 2017-03 ROF

Trdin Miha

Determination of radium-226 in water: Micro-coprecipitation as barium (radium) sulfate

LN 2017-01 TRDM

Trdin Miha

Procedure for determination of Radium-226 and Radium-228 in water

LN 2017-03 TRDM

Trdin Miha, Shyti Manjola

Determination of Radium-226 and Radium-228 in water by gamma spectrometry micro-coprecipitation as lead (radium) sulfate

LN 2017-02 TRDM, SHMA

von Gunten Cédric

Methodenbeschreibung der Quecksilberspeziation mittels LC-ICP-MS

LN 2017-01 VGCE

von Gunten Cédric

Inaktive Nukleare Forensik – Spuren- und Isotopenverhältnisanalyse in Bleiprobe

LN 2017-02 VGCE

von Gunten Cédric

Validierung der Hg-Speziation mittels LC-ICP-MS auf dem NexION 300D

LN 2017-03 VGCE

von Gunten Cédric

Validierung der Schwefel- und Phosphorbestimmung mit dem ICP-Massenspektrometer NexION 300 D mittels Reaktionszelle

LN 2017-04 VGCE

von Gunten Cédric

Validierung der massenspektrometrischen Osmium-Bestimmung in Wasserproben mittels Isotopenverdünnung

LN 2017-05 VGCE

Wirz Christoph, Mosimann Nina

Teppich mit Thorium

LN 2017-01 WIC-SNIN

Wirz Christoph

Atmosphärische Ausbreitungsrechnung in urbanem Gebiet

LN 2017-01 WIC

Wirz Christoph

Nordkoreas Atomprogramm Technische Sicht aus Spiez

LN 2017-02 WIC

Wirz Christoph

CTBTO Radioaktivitätsmessungen und Atmosphärische Rückrechnungen

LN 2017-04 WIC

Stauffer Marc, Pignolet André, von Gunten Cédric, Ossola Jasmin

Fehlereinträge durch die Probenahme und die Feldanalytik (XRF) bei der Untersuchung militärischer Altlasten

LS 2017-02

von Gunten Cédric

Störungen der handheld-Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie durch partikuläres Blei

LS 2017-10



Fachbereich Biologie

Ackermann Rahel, Beuret Christian, Oechslin Corinne

Prevalence of tick-borne pathogens in questing Ixodes ricinus ticks in urban and suburban areas of Switzerland

Parasites & Vectors, 2017 Nov 9;10(1):558

Ackermann Rahel, Beuret Christian, Oechslin Corinne

Prevalence of tick-borne pathogens in questing Ixodes ricinus ticks in urban and suburban areas of Switzerland

Parasites & Vectors, 2017 Nov 9; 10 (1):558

Ackermann Rahel

Fatal Outcome of European Tick-borne Encephalitis after Vaccine Failure

Front Neurol. 2017 Apr 3; 8:119

Ackermann Rahel

Le Centre national de référence pour les maladies transmises par les tiques (CNRT/NRZK)

Pipette – Swiss Laboratory Medicine, 2017 Oct;5: 8-9

Ackermann Rahel

Etablierung eines Serumneutralisationstests (SNT) zum Nachweis neutralisierender Antikörper gegen Tick-borne Encephalitis Virus (TBEV).

Laborbericht März 2017

Avondet Marc-André, Jenkinson Stephen

Embryonic Stem Cell-Derived Neurons Grown on Multi-Electrode Arrays as a Novel In vitro Bioassay for the Detection of Clostridium botulinum Neurotoxins

Front Pharmacol. 2017 Feb 23; 8:73

Beuret Christian

Development and evaluation of a bioinformatics approach for designing molecular assays for viral detection

PLoS One. 2017 May 25; 12(5):e0178195

Beuret Christian

Susceptibility to Mycobacterium ulcerans Disease (Buruli ulcer) Is Associated with IFNG and iNOS Gene Polymorphisms

Front Microbiol. 2017 Oct 4; 8:1903

Jenkinson Stephen (Marc Avondet)

Development of an In Vitro Stem Cell-Based Bioassay for the Detection of Clostridium Botulinum Neurotoxins

PhD Thesis 2017 Universität Bern

Invernizzi Cédric

CRISPR and the Hype Cycle

Defence Future Technologies – What we see on the horizon (Publisher: armasuisse W+T)

Portmann Jasmine

Different features of V 2 T and NK cells in fatal and non-fatal human Ebola infections

PLoS Negl Trop Dis. 2017 May 30; 11(5):e0005645

Rothenberger Sylvia, Engler Olivier

Neue Strategien zur Entwicklung antiviraler Medikamente gegen Hantaviren

Pipette – Swiss Laboratory Medicine. 2017 Oct; 5:8-9

Thomann Susanne, Schürch Nadia

Structural Insights into the Mode of Action of the Peptide Antibiotic Copsin

Biochemistry, 2017 Sep 19; 56 (37):4992-5001

Wenger Andreas (Marc Avondet)

Bioanalytische Charakterisierung des Pflanztoxins Abrin

Masterarbeit 2017 ZHAW Wädenswil

Strasser Marc

The contribution of the European high containment laboratories during the 2014-2015 Ebola Virus Disease emergency

Clin Microbiol Infect, 2017; 23;2; 58-60

Wenger Andreas (Marc Avondet)

Bioanalytische Charakterisierung des Pflanztoxins Abrin

Masterarbeit 2017 ZHAW Wädenswil

Züst Roland

Early endonuclease-mediated evasion of RNA sensing ensures efficient coronavirus replication

PLoS Pathog. 2017 Feb 3; 13(2): e1006195



Fachbereich Chemie

Arnold Michael

Prüfung des toxic chemicals detection kit (K.D.T.C) des Herstellers NBC Sys

LN 2017-01 ARND

Arnold Michael

Prüfung der Agri-Screen Tickets zum Nachweis von C-Kampfstoffen des Herstellers Neogen

LN 2017-02 ARND

Bielmann Andreas, Curty Christophe, Christian Bochet

Solid-Phase Synthesis of the Aged-Nonapeptide-Nerve-Agent Adduct of Butyrylcholinesterase as Reference Materials for Analytical Verification

Helv. Chim. Acta, 100: e1700198. doi: 10.1002/hlca.201700198

Gelmi Tim Johan

Comparison of different methylation methods for acids related to the Chemical Weapons Convention (CWC) in diverse matrices with/without background

MA-2017-01-Gelmi-Tim (Masterarbeit), École des sciences Criminelles, Université de Lausanne

Gerber Anna Barbara

Auswertung der Dokumentation über die Dekontaminationsprodukte BX 24, SX 34, BX 40, BX 29 und BX 30 der Firma Cristanini

LN 2017-01 GERA

Guidetti Fausto

Überprüfung von C-Nachweisgeräten – 2016

LN 2017-01 GIF

Guidetti Fausto, Gerber Anna Barbara
Überprüfung von C-Nachweisgeräten – 2017
LN 2017-01 GIF/GERA

Kurzo Roland, Guidetti Fausto
Evaluierung eines Ersatzes für das Toximeter II
LN 2017-01 KURO/GIF

Menzi Benjamin
Entgiftung, Kontrolle und Entsorgung von Abfällen aus dem C-Sicherheitslabor
LN 2017-01 MEN

Sambiagio Nicolas
Solid-phase peptide synthesis approach to investigate the formation of Glutathione – Sulfur Mustard adducts
Master Thesis, 2017, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Spiez Laboratory, Switzerland

Siegenthaler Peter, Clare Thomas, Meier Urs
Anleitung zur Bestimmung des extrahierbaren 1,4-Diazabicyclo-[2.2.2]octan (TEDA) auf imprägnierter Aktivkohle mit GC-FID und NMR
LN 2017-01-SIG

Schorer Andreas, Gfeller Leonie, Trenkler Eileen, Siegenthaler Peter
Vergleich der Wiederfindungsraten von CWC-relevanten Verbindungen in Wasserproben mit verschiedenen Extraktionstechniken
LN 2017-02-ANDRS/SIG

Trenkler Eileen, Schorer Andreas, Siegenthaler Peter
Bestimmung der Wiederfindung von Ethyl methylphosphonsäure und Bis(2-diisopropylaminoethyl)disulfid bei der apolaren und polaren Extraktion von Wipe-Samples
LN 2017-03-TEIL/ANDRS/SIG

Meier Urs
Eignung einer Fluorophenylkolonne zur Auftrennung von CWÜ relevanten Sulfiden und Sulfoxiden
LN 2017-04-MRU

Meier Urs
Anwendung von der DOSY NMR Technik zur Analyse von Umweltproben mit CWÜ relevanten Verbindungen
LN 2017-05-MRU

Siegenthaler Peter, Dutoit Jean-Claude, Meier Urs, Schär Martin
Recommended Operating Procedures for Analysis in the Verification of Chemical Disarmament, Blue Book 2017 Edition
University of Helsinki, Finland, 2017 (Editor: Vanninen Paula)
ISBN 978-951-51-3917-7 (PDF)
ISBN 978-951-51-3916-0 (paperback)



Fachbereich ABC-Schutz

Richner Gilles
Effekt von Feuchte und Transpiration auf die Schutzwirkung vom semi-permeablen C-Schutzanzug der C-EEVBS – Stand der Kenntnisse
LN-2017-01 GRIC

Wittwer Andres
Abschätzung der Messunsicherheit für den Strömungswiderstand von Staubschutzmedien
LN 2017-01 WITA

Wittwer Andres

Sorptionsprüfung von grossen Filtern mit Cyclohexan

LS-2017-08 Validierungsbericht

Zahnd André

CBRE-Kollektivschutz in Hochbauten – Grundlagen, Abgrenzungen und Zielsetzungen (Teil 1)

Version 4.1, Ausgabe vom 11.09.2017, 24 Seiten

Zahnd André

CBRE-Kollektivschutz in Hochbauten – Gefährdungen und Risiken, Grundsätze der Massnahmenplanung (Teil 2)

Version 4.1, Ausgabe vom 11.09.2017, 40 Seiten

LABOR SPIEZ

Das eidgenössische Institut für ABC-Schutz

CH-3700 Spiez

Tel. +41 (0)58 468 14 00

Fax +41 (0)58 468 14 02

laborspiez@babs.admin.ch